

AUSWEIS DER GEZEITEN-ERSCHEINUNGEN DES KARSTWASSERSPIEGELS

von
L. MAUCHA

Jósvafőer Forschungsstation des Geologischen Katheders der Technischen Hochschule
der Bauindustrie und des Verkehrs.

Fragestellung

Die eingehende Ermittlung der Gesetze der Karstwasserbewegungen ist eine der schwersten Aufgaben der hydrogeologischen Untersuchungen, Innerhalb dieser Aufgaben steht noch die Klärung vieler Fragen vor uns (5, 9, 17). Für die Schwierigkeiten ist es charakteristisch, dass eines der Grundprobleme der Karsthydrologie, unter anderem, auch noch heute mit der Aufnahme der die Karstwasserspiegel-Schwankungen beeinflussenden Faktoren verbunden ist.

Auf unseren Karstgebieten wäre für die Lösung der Grubenwasserhaltung und der damit zusammenhängenden Probleme der Trinkwasserversorgung eine genaue und verlässliche Prognose der mit der Drainierungen verbundenen Karstwasserspiegel-Schwankungen erforderlich. Dagegen stellt, besonders hinsichtlich ihrer praktischen Durchführung, auch die Bestimmung der Menge des Versickerten Niederschlages notwendigerweise schwere Probleme dar, wenn es um sich grössere Gebiete handelt (5). In diesem Fall wäre aber die Berücksichtigung der störenden Nebenerscheinungen besonders berechtigt. Der Mechanismus der den Karstwasserspiegel beeinflussenden Luftdruckveränderungen ist aber auch bis heute noch nicht genügend geklärt. Auf diesem Gebiet wurden einige annehmbare Messungen nur bezüglich der Grössenordnung des Einflusses und des Zusammenhanges der Vorzeichen der Veränderungen durchgeführt (8). Dennoch führte die frühere Annahme der lunisolaren Einwirkungen (16) erst in den letzten Zeiten zur Feststellung der bedeutenden Grösse der Erscheinung, zu den ersten direkten (8) und indirekten (14) instrumentalen Beobachtungen.

Die Frage des Einflusses des lunisolaren Effektes auf den Karstwasserspiegel wurde bis zur jüngsten Zeit — wenn diese Frage überhaupt sich stellte — als ein Problem von zehnter Ordnung behandelt. Im Laufe der Untersuchungen des dynamischen Gleichgewichts des Karstwasserspiegels hielten wir nämlich, oft konventionell — für den Einfluss der Luftdruckveränderungen alle zweitrangig kleine Differenzen, die die Ordnung der Berechnungen, die voraussichtlichen Werte der bisherigen Vormeldungen gestört haben. Die Auswertung der Bedeutung dieser Frage wird in dieser Arbeit gegeben.

Die Bedeutung des Thema wird aber bereits dadurch hervorgehoben, dass wir unsere Untersuchungen nicht mit vorbedachter Absicht angefangen haben, sondern, dass diese Erscheinungen, merkwürdigerweise von sich selbst in den Vordergrund getreten sind.

Die Entwicklung des Problems

An der Jósvalföer Forschungsstation führen wir seit den Jahren 1963–1965 instrumentale Ergiebigkeitsmessungen im Rahmen der kontinuierlichen Beobachtung der Karstwasserbewegungen bei den Quellen *Nagytohonya* und *Lófej* durch*. Unsere Wahl fiel vor allem auf die obengenannten Karstquellen darum, weil es schon vor dem Beginn der Untersuchungen bekannt war, dass diese natürlichen Drainierungen auch aklimatische Fluterscheinungen hervorrufen. Andererseits war es auch klar, dass die grösseren, sprunghaften aklimatischen Ergiebigkeits-Veränderungen mit der Tätigkeit der unterirdischen Saugheber zusammenhängen (10, 13, 15.) Auf Grund der während der drei Jahren der Untersuchungen der Quelle *Nagytohonya* und während der 22 Monaten der Untersuchungen der Quelle *Lófej* erhaltenen Angaben ist es uns gelungen diese Annahme auch logisch und durch Modellversuche zu bekräftigen (1, 12, 13).**

Im Fall der beiden Karstquellen stellte es sich heraus, dass die Ergiebigkeits-Kurven der Saugheber-Ausbrüche mit scharfem Bruch der jeweiligen Basiskurve entsprangen. Und in der Zwischenperiode der Ausbruch-Maxima setzt auch eine um eine Grössenordnung kleinere, gleichfalls aklimatische Durchfluss-Pulsation ein.

Im Laufe der Untersuchungen an der Quelle *Nagytohonya* wurde festgestellt, dass die Saugheber-Ausbrüche dieser Quelle mit einem Speicher-Saugheber-Mechanismus in Zusammenhang standen und die zwischen den Ausbrüchen wahrnehmbaren Durchfluss-Pulsationen nicht von der Saugheber-Tätigkeit verursacht sind. Dagegen werden sowohl die Ausbrüche der *Lófej*-Quelle, als auch die den Ausbrüchen regelmässig vorangehenden Durchfluss-Abnahmen und die Durchfluss-Pulsation durch das aus drei Einheiten bestehende Saugheber-System hervorgerufen.

In Tabelle I. legen wir zusammenfassend die charakteristischen Angaben der Ergiebigkeit, der Ausbrüche und der Pulsationen der Quellen *Nagytohonya* und *Lófej* vor.

Vom Anfang an war die Tatsache widerspruchsvoll, dass die zwischen den aufeinander folgenden Ausbrüchen feststellbaren Zeiträume bei einer gleichbleibenden Grundergiebigkeit sehr oft nicht einmal annähernd gleich sind. Gleichzeitig beobachteten wir, dass die Anfangspunkte der Ausbrüche merkwürdigerweise zu oft auf 6, 12, 18, 24 Uhr fielen. Da es bei der statistischen Bearbeitung der Angaben festgestellt wurde, dass 33% der Anfangspunkte der Saugheber-Ausbrüche bei der Quelle *Nagytohonya* und *Lófej* in den obengenannten Zeitpunkten stattfand, kam es zur Annahme, dass die statistisch 6-stündige Einsatztendenz auf Gezeiten-Erscheinungen des Karstwasserspiegels zurückzuführen sei. In diesem Zusammenhang haben wir schon im Herbst 1965 darauf hingewiesen, dass im Falle des Karstwasserspiegels mit einer Gezeiten-Erscheinung von einigen Zentimetern — als Funktion der lunisolaren Einflüsse — zu rechnen ist (14). Da an der Tagesoberfläche die kürzeste Zeit, binnen welcher bedeutende meteorologische

* Diese Untersuchungen werden mit der Zusammenarbeit der VITUKI durchgeführt, mit der Kombination der Wasserstand-Registrierinstruments Metra und des linearen Überfalls.

** Über den Betrieb der Karst-Saugheber und ihre Konstruktion werden wir in einer anderen Abhandlung berichten.

Tabelle 1.

Ergiebigkeits-Angaben	Nagytohonya- Quelle 1.10. 1963—1.10. 1966	Lófej-Quelle 1.1. 1965—1.10. 1966	Dimensionen
Minimale Ergiebigkeit	1500	50	Lit/Min.
Durchschnittliche Ergiebigkeit:	7670	780	Lit/Min.
Maximale Ergiebigkeit:	50000	5400	Lit/Min.
Angaben der Ausbrüche:			
Beobachtete Amplitude der Ergiebigkeits-Schwankungen:	2000—15 000	100—2500	Lit/Min.
Durchschnittliche Zeitdauer:	22,2	3,0	Stunde
Durchschnittlicher Maximum über der Grundergiebigkeit:	5000	3000	Lit/Min.
Durchschnittliche Durchflussmenge	4700	340	m ³
Durchschnittliche Zeitdauer des Einstands des Maximums nach dem Anfangspunkt:	5,5	0,5	Stunde
Einstand der Nachschulter oder der sekundären Spitze nach dem Anfangspunkte (Mittelwert):	12,5	1,5	Stunde
Durchschnittliche Häufigkeit:	84	36	Stundenweise
Durchschnittliche maximale Häufigkeit:	56	12	Stundenweise
Pulsationsangaben Maximale Ergiebigkeits-Differenz:	700	200	Lit/Min.

Wirkungen zur Geltung kommen können, 24 Stunden beträgt, schien es wenig wahrscheinlich, dass die Veränderungen des Oberfläche-Klimas die Bewegungsverhältnisse der Karstwässer binnen 6 Stunden beeinflussen könnten. Das rhapsodische Auftreten der Ausbrüche, das auch bei gleichbleibender Ergiebigkeit bemerkbar war, zeigte, dass auch ein, regelmässig auftretender, aber bisher wenig bekannter äusserer Faktor — ausser dem einsickernden Niederschlag — eine wichtige Rolle in der Regelung der Ergiebigkeit der Karstwasser, d.h. in der Steuerung der Ausbrüche spielt.

Die Vorassetzungen des Nachweises

Die Vorstellung, dass in den Karstwasserspiegel-Schwankungen eine lunisolare Einwirkung zur Geltung kommt, ist nur eine nötige, aber nicht genügende Begründung der auffallenden, statistisch 6-stündigen, periodischen Ausbruchstendenz.

Unserer Meinung nach, ist zum Nachweis des Problems die Erfüllung einer Zahl von Postulaten nötig, die über die Verkettung der Wechselwirkungen zwischen den die Gezeiten-Erscheinungen des Karstwasserspiegels, bzw. ihren Mechanismus zustande bringenden wichtigsten Erscheinungen ein lückenloses, und widerspruchsfreies kausale Gesamtbild geben können.

Mit Rücksicht auf diese Erwägungen können wir die Gezeiten-Erscheinungen des Karstwasserspiegels nur im Fall der Erfüllung folgender Bedingungen für objektive Realitäten halten:

1. Unsere Grundvoraussetzung kann aus irgendeinem der bekannten Effekte des auf die Erdoberfläche wirkenden Gezeiten-Einflusses auch auf theoretischen Wege abgeleitet werden.

2. Im Zusammenhang mit den Karst-Saughebern ist es nachweisbar, dass diese auf die Einwirkungen der im Karstwasserspiegel angenommenen Mikro-Gezeitenerscheinungen oft durch Ausbrüche reagieren können.

3. Von den Ausbrüchen der den Karstwasserspiegel anzapfenden Saugheber-Karstquellen ist es theoretisch und allgemein nachweisbar, dass die grösste zeitliche Häufigkeit der Anfangszeitpunkte — mit unseren Grundbeobachtungen übereinstimmend — statistisch 6, 12, 18, 24 Uhr zu erwarten ist, und diese Zeitpunkte den häufigsten Zeitpunkten der Höchstfluten des Karstwasserspiegels entsprechen.

4. Die Anfangs- oder Umschlags-Zeitpunkte der den Karstwasserspiegel senkenden Karstquellen (die Anfangspunkte also der den Ausbrüchen der *Lófej*-Quelle vorangehenden Minimumkurve) stimmen mit auffallender zeitlicher Häufigkeit mit einem der Grenzwerte der unter der kosmischen Einwirkung sich verändernden terrestrischen Gravitations-Feldstärke überein.

5. Die Häufigkeit des auf Mondtage umgerechneten Auftretens der Ausbruch-Anfangspunkte verändert sich parallel mit den Mondphasen so, dass diese Häufigkeitskurve bei Neumond und Vollmond ein Maximum, beim ersten und letzten Viertel ein Minimum aufweist.

6. Die Gezeiten-Erscheinungen sind auch unmittelbar in den Beobachtungsquellen des Karstwasserspiegels nachweisbar, mit periodisch auftretenden Schwankungen von 5–10 cm.

7. In der Ergiebigkeit jeder den Karstwasserspiegel senkenden Karstquelle, tritt im mittleren Ergiebigkeitsbereich (wenigstens in der Zeit des Neumonds und des Vollmonds) eine, durch die Ebbe, oder durch die Flut hervorgerufene, regelmässige Schwankung in allen 12 Stunden auf.

8. Da die erste Bedingung sich nur in dem Fall erfüllen kann, wenn die Gezeiten-Erscheinung der festen Erdkruste die Gezeiten-Erscheinung des Karstwasserspiegels indirekt, durch Litoklasen-Pulsation hervorruft, sollen, im Fall der Richtigkeit unserer Grundvoraussetzung, die Gezeiten-Erscheinungen der festen Kruste, in den Zeitpunkten der lunisolaren Grenzwerte, eine massbare Ausdehnung oder Einengung der Querprofile der den vertikalen Litoklasen entlangentstandenen Karstgänge (Höhlengänge) zustandebringen.

Untersuchungen zum Nachweis der Gezeitenerscheinungen des Karstwasserspiegels

Im Zusammenhang mit der Bedingung 1. lassen sich folgende Feststellungen machen: Auf Grund der Angaben der Messungen und durch logischen Weg ist es nachweisbar dass wir den realen Mechanismus der Gezeiten-Erscheinungen des Karstwasserspiegels in der direkten Einwirkung der Gezeiten-Erscheinungen der festen Kruste suchen müssen.

Dies umsomehr da weder der unmittelbar auf das Wasser einwirkende lunisolare Effekt, noch die aus dem atmosphärischen lunisolaren Effekt stammenden Luftdruckveränderungen eine entsprechende Karstwasserspiegel-Schwankung zu verursachen vermögen die so hervorgerufene Ergiebigkeit-Schwankungen auf den Umschlag der unterirdischen Saugheber eine Wirkung ausüben (2, 3, 6, 7, 11, 13.). Mit Rücksicht auf diese Erkenntnis, kann die Gezeiten-Erscheinung des Karstwasserspiegels, nach Grössenordnung, auf Grund folgender Ausführungen richtig gedeutet werden:

In Kenntnis der lunisolaren Anziehungskräfte kann die grösstmögliche Deformation der Niveaufläche des Gravitationsraums auf 563 mm geschätzt werden (4). Die maximale Deformation der dem Stahl ähnlich harten festen Kruste folgt der Deformation der Niveauflächen nur in 60%, das heisst, die in der festen Kruste sich entwickelnde maximale Fluthöhe kann auf einer Viertel-Aequatordistanz (10 000 km), infolge der Massenumlagerung auf 338 mm geschätzt werden (7). Da die Fluthöhe der Gezeiten-Erscheinung vom gegebenen Masstabe in der festen Kruste ausschliesslich durch eine, von der horizontalen Materialwanderung freie, elastische Deformation erklärt werden kann, müssen wir bei Ebbe und Flut mit der Verlängerung oder der Verkürzung der Viertel-Aequatordistanzen rechnen. Der maximale Wert dieser Pulsation ergibt sich auf Grund der Rechnungen als +266 mm. Die Dichte der in den Flut-Zustand geratenen festen Erdkruste nimmt infolge der Volumenzunahme ab, was sich im gegebenen Krustenabstand durch die Öffnung der vertikalen Litoklasen realisieren kann. Im Fall der Ebbe der Erdkruste ist der Gegenteil dieser Erscheinungen zu erwarten.

Für das Karstgebiet von Aggtelek bekommen wir eine reale, d.h. 10 Zentimeter betragende Karstwasserspiegel-Fluthöhe nur dann, wenn wir annehmen, dass sich ein Karst wasserspeicher unter dem durchschnittlichen Karstwasserspiegel in einer maximalen Tiefe von 300 m auf unserem Gebiet befindet, und gleichzeitig die vertikalen Bruchlinien des räumlichen Litoklasennetzes der 10–20 m dicken Zone (die sich über dem durchschnittlichen Karstwasserspiegel befindet) ein 50-metriges in einer Breite von 1 cm, Netz bilden*.

Ein, für die Untersuchungen der Bedingung 2. geeignetes Tatsachenmaterial geben die eingehenden Bearbeitungen unserer Grundbeobachtung, in Abbildungen 1 und 2, die die Kurven der Häufigkeit der Ausbruch-Anfangspunkte, der Umschlagpunkte, der Ausbruchs-Gipfelpunkte, bzw. der Anfangspunkte des Nachschalters der *Nagytohonya*- und *Lófej*-Quellen binnen einer Stunde zeigen.

Auf Grund der breitesten Maxima der Ausbruchs-Anfangspunkte und der Umschlagpunkte ist es annehmbar, dass die Saugheber-Ausbrüche durch die Flutwellen der unterirdischen Wasserströme hervorgerufen werden, obwohl ihre 6-stündige Periode

*Die Annahme eines 50-metriges vertikalen Litoklasennetzes stimmt gut mit der Wirklichkeit überein, weil die horizontalen Höhennetze der Umbeugung von Aggtelek einem beinahe 50 m langen vertikalen Bruchliniennetze entlang ausgebildet sind. Die Annahme der maximalen 300 m Tiefe des Karstwasserspeichers scheint ebenso real zu sein, da auf Grund der Durchschnittstemperatur des Quellenwassers und der statistischen Verhältnisse die Anwesenheit eines ungefähr 300 m tiefen Karstwasserspeichers im Raume des Karstwassersystems der Quelle *Nagytohonya* wahrscheinlich ist. Dieses Modell gibt auch vom Gesichtspunkt der Porenraumverhältnisse eine reale Annäherung, wenn man annimmt, dass das 50-metriges vertikale Litoklasennetz in der gegebenen Tiefe, horizontal, in jeden 5 m von 1 cm dicken Rissen durchgezogen ist, und, wenn wir im durchschnittlichen Karstwasserspiegel in einer Mächtigkeit von 10 cm, im 50-metriges Netz eine 50 zentimetriges Durchschnittsbreite annehmen. In diesem Fall ist der durchschnittliche Porenraum 0,5%.

vorläufig noch widerspruchswoll scheint. Nach der experimentellen Ermittlung der komplizierten Saugheber-Struktur der *Lófej*-Quelle wurde eindeutig nachgewiesen, dass das dreifache Saughebersystem auch zur systematischen Wahrnehmung der in dem Wasserzufluss auftretenden, einer Zunahme von 10–30 l/Min. entsprechenden Flut-Mikrowellen geeignet ist. Im Fall des Ein-Speichermechanismus der *Nagytohonya*-Quelle sichert die Wasserdurchlässigkeit der Grenzfläche des Speicher-Hohlraums eine gleiche regelmässige Empfindlichkeit, weil bei einer mittleren Ergiebigkeit, in der Nähe der Sättigung, mit der langsamen Verschiebung des dynamischen Gleichgewichts, die Zeitdauer des instabilen Zustands sich verlängert. Auf Grund dieser Annahme gibt es eine Möglichkeit dafür, dass sich ein beliebiger Karst-Saugheber, unter dem Einflusse der verhältnismässig schwachen Impulse der Flutwellen des Speisewassers entleeren kann (13)

Als Grundlagen zur Besprechung der Bedingung 3 dienen ebenso die Abbildungen 1. und 2.

Die klaren, 6, 12, 18, 24-stündigen Häufigkeits-Maxima der Durchschnittskurven liefern nämlich einen von den Beweisen für die Gezeiten-Erscheinungen des Karstwasserspiegels, da nur die stärksten Veränderungen der Mikro-Gezeitenerscheinungen der festen Kruste einen so starken Gezeiteneffekt hervorrufen können, dessen Flutwellen eine Saugheber-Entleerung mitbringen kann. Die grössten Amplituden der Schwankungen kommen aber in der Nähe der obengenannten Zeitpunkte zustande. Es ist nun verständlich, dass die grösste Häufigkeit der Anfangspunkte der karstischen Saugheber-Tätigkeit auch auf 6, 12, 18, 24 Uhr fällt, vorläufig ist aber nur der kosmische Ebbepunkt um 6 und 18 Uhr, d.h. die karstische Flutspitze auf Grund der ersten Annäherung des Problems erklärlich. Die Halbperiode des Gezeiten-Effektes ist nämlich sechsstündig.

Zur Untersuchung der Bedingungen 4 und 5 haben wir, auf Grund der 120 Umschlagpunkte der *Lófej*-Quelle vom Jahre statistische Auswertungen 1965 durchgeführt.

Hinsichtlich der Bedingung 4 haben wir untersucht, wie die Umschlagpunkte zusammentreffen, oder um wieviel Stunden und Minuten sie von den Zeitpunkten der lunisolaren Maxima und Minima des entsprechenden Tages abweichen. Die statistische Untersuchung wurde mit einer Auflösung von ± 30 Minuten durchgeführt. Zur Aufnahme der lunisolaren Grenzwerte haben wir die Abbildung 3. angewandt. Die mit Vektorkonstruktion zusammengestellte theoretische Linienschar gibt die zeitlichen Veränderungen des lunisolaren Effektes in einem Punkte des Erdäquators an, wenn wir den Mond und die Sonne in die Ebene des Äquators stellen, und die Gezeiten-Effekte des Mondes im Vergleich mit dem der Sonne zweimal grösser nehmen.* Wir haben festgestellt, dass die Linienschar auch für die Ausseräquatorialen Punkte gute Grenzwert-Zeitpunkte liefern kann, im Fall der ± 30 minutiger Auflösung.

Hinsichtlich der Bedingung 5 haben wir gleichzeitig auch untersucht, wie sich die Dichte der Umschlagpunkte in der Funktion der Mond-Lichtwechsel verändert. Dafür haben wir die Umschlagpunkte — der Wirklichkeit naheliegend — für 28 Mondtage verteilt. Das gewonnene Doppeltdiagramm zeigt (Abb. 4.), dass die Häufigkeit der Umschlagpunkte, in den Zeitpunkten der lunisolaren Grenzwerte der irdischen Gravitationsfeldstärke, mit scharf hervorrangenden, gleichen Maxima auftritt, während dieselben bei Neumond und Vollmond häufig, beim ersten und letzten Viertel selten vorkommen.

*In Wirklichkeit ist die Lage weitaus komplizierter, infolge der halbtägigen, halbmonatlichen, halbjährlichen und jährlichen Perioden der Gezeiten-Erscheinung.

Löfej-Quelle

Statistische Bearbeitung von 175 Ausbrüchen

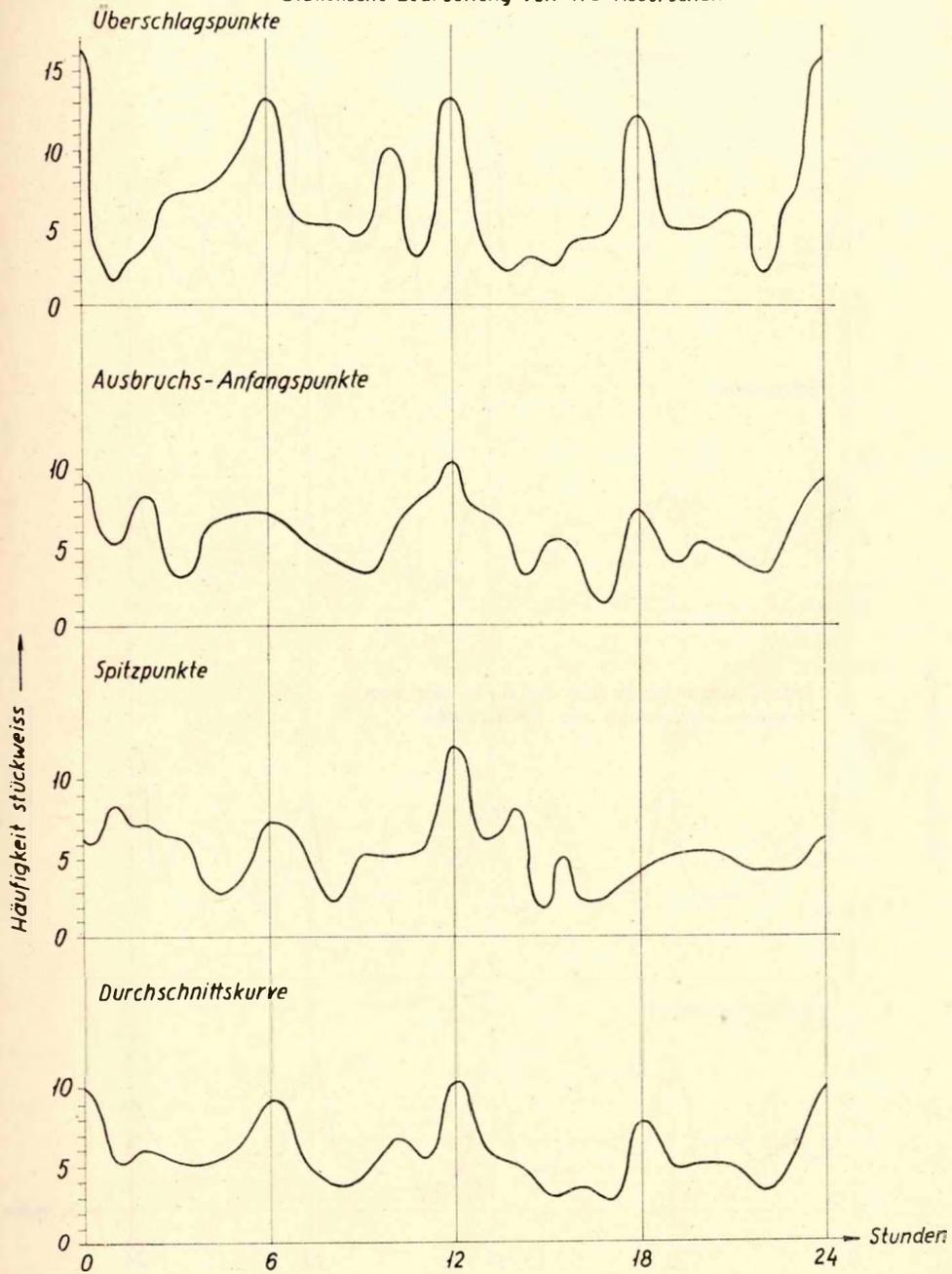


Abb. 1. Die Ergiebigkeitskurve des Ausbruchs der Löfej-Quelle, die stündliche Häufigkeit der Anfangs- und Höhepunkte der Umschläge.

Nagytohonya - Quelle
Statistische Bearbeitung von 128 Ausbrüchen

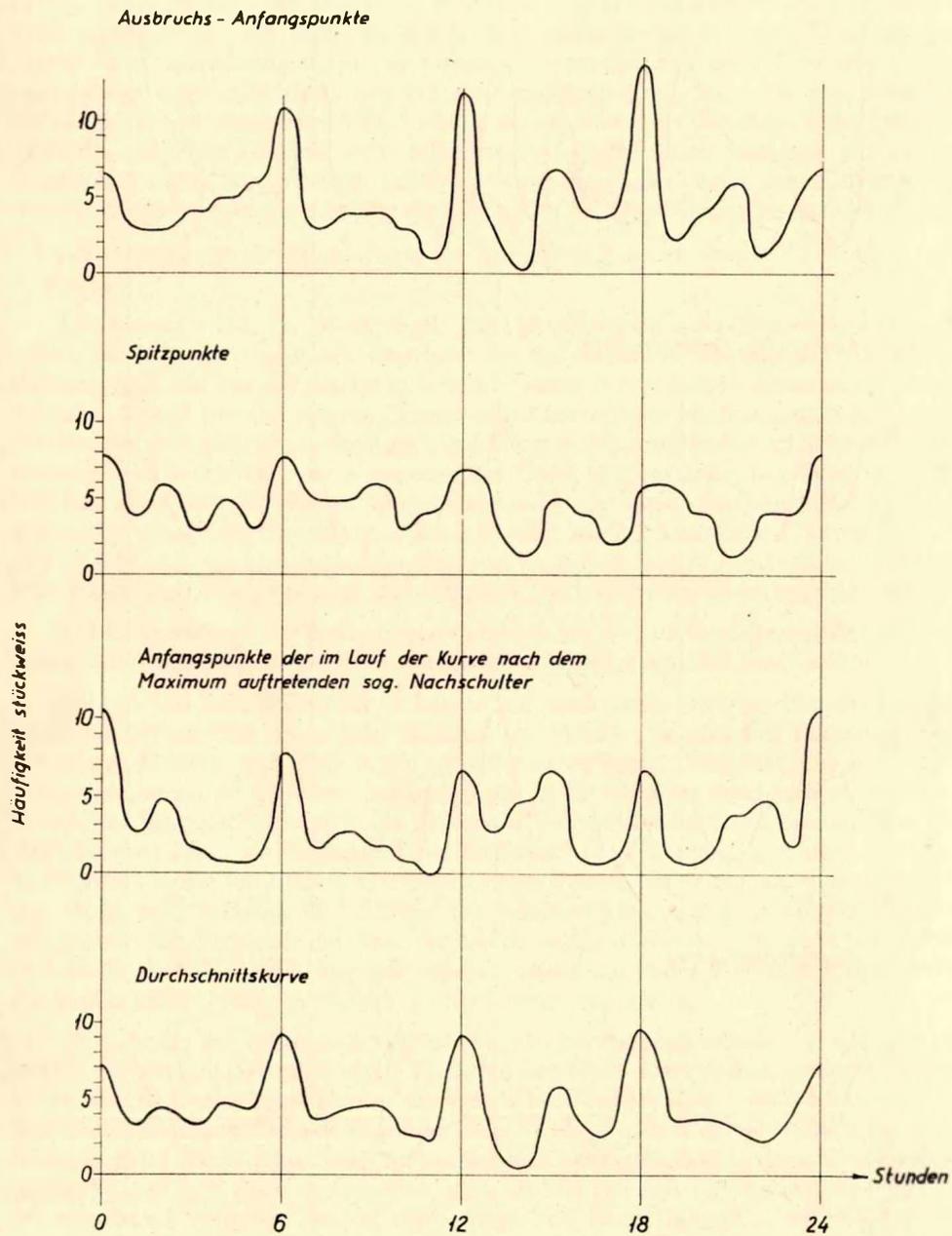


Abb. 2. Die Ausbruchs-Ergiebigkeitskurve der Nagytohonya-Quelle, mit der Häufigkeit der Höhepunkte und der Punkte der sekundären Welle.

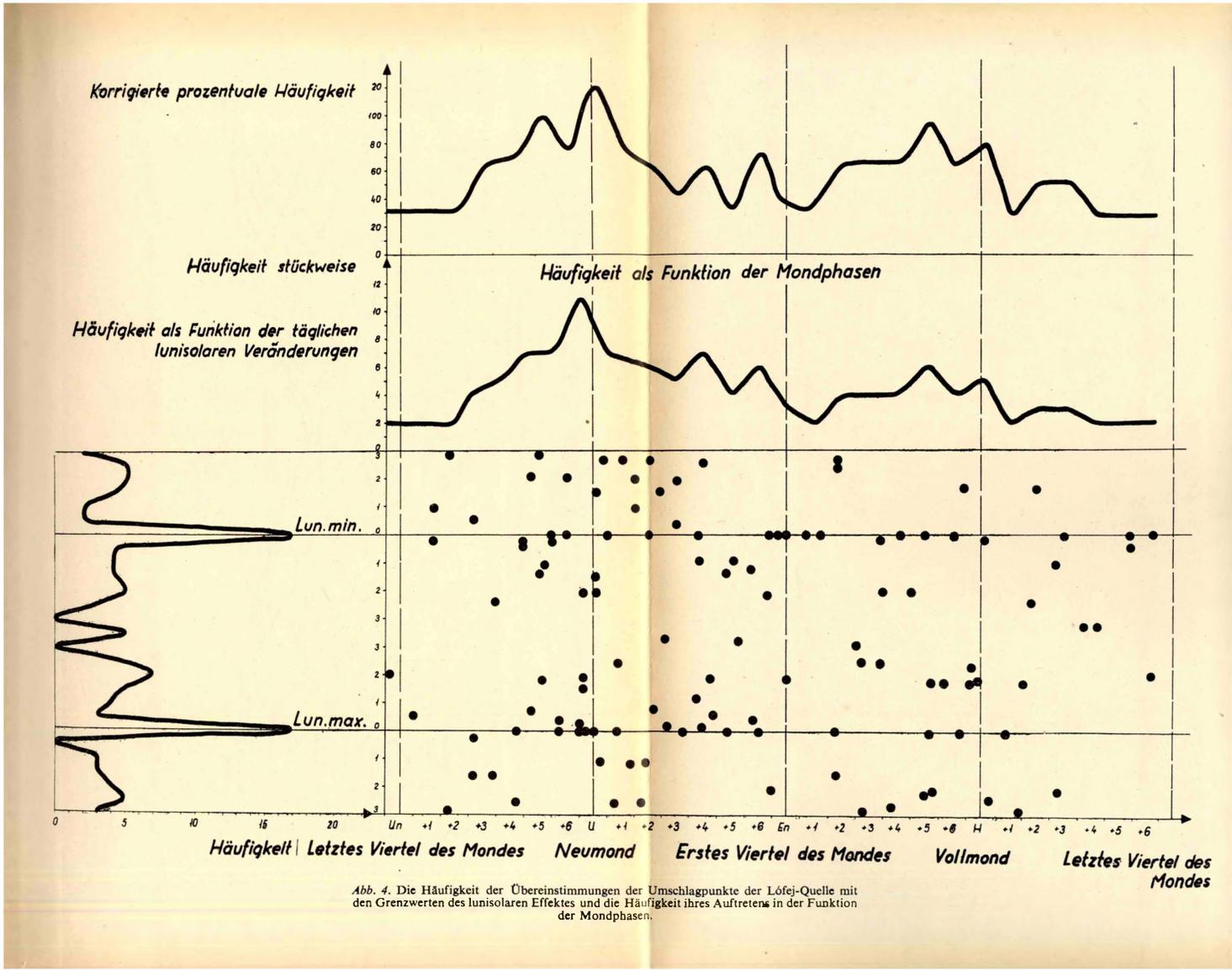


Abb. 4. Die Häufigkeit der Übereinstimmungen der Umschlagpunkte der Lófej-Quelle mit den Grenzwerten des lunisolaren Effektes und die Häufigkeit ihres Auftretens in der Funktion der Mondphasen.

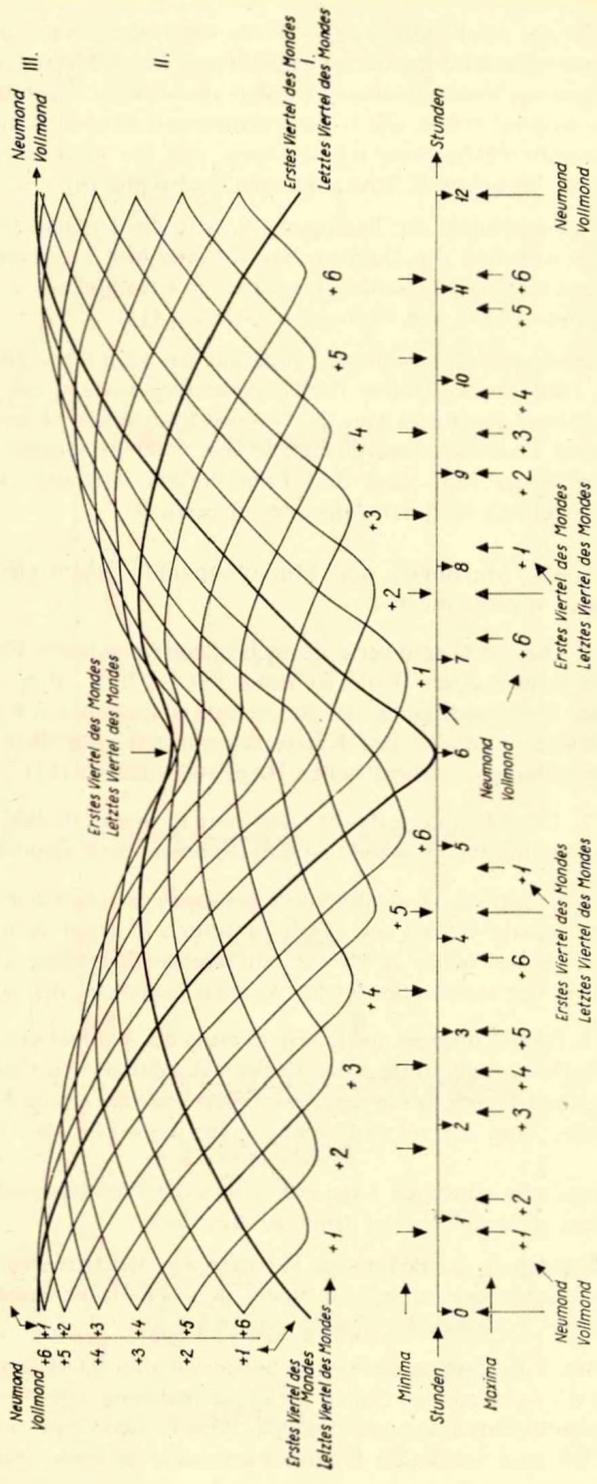


Abb. 3. Die durch Vektor-Konstruktion zusammengestellte theoretische Linienschar für die approximative Bestimmung der Grenzwert-Zeitpunkte der lunisolaren Veränderungen

Zum Beweis der Bedingung 6 konnten wir in der Umgebung von Jósvalö, mangels einer Karstwasserstand-Beobachtungsbohrung, keine Messungen durchführen. Gleichzeitig mit unseren Untersuchungen wurden aber in der Umgebung von Tatabánya, unabhängig von unserer Arbeit, mit Hilfe instrumentale Beobachtungen in einer Karstwasserspiegel-Beobachtungsbohrung regelmässige, auf die Gezeiten-Erscheinung des Karstwasserspiegels hinweisende Schwankungen beobachtet (8).

Zur Untersuchung der Bedingung 6, war die Untersuchung der ununterbrochen registrierten Angaben der Quellen *Nagytohonya* und *Lófej* sehr geeignet, wo sich die kleineren und nicht sprunghaften aklimatischen Ergiebigkeitsveränderungen als unmittelbar auftretende Ebbe- und Flutwellen erwiesen (13).

Im Zusammenhang mit dieser Frage war das vom Ende November bis zum Anfang Dezember 1966 durchgeführte Ergiebigkeits-Registratum der *Nagytohonya*-Quelle entscheidend (Abb. 5.), auf dem wir zwischen zwei klimatischen Flutwellen, bei einer langsam abnehmenden Durchschnittsergiebigkeit von 7000 lit/Minute das Auftreten von drei ganz ausgeprägten Flut- und drei Ebbe-Wellen feststellen können. Die Richtigkeit unserer Feststellung ist durch folgendes unterstützt:

1. Die Maximum- und Minimumpunkte folgen gleichmässig rund in je 12 Stunden nacheinander.

2. Die die Grundwerte überschreitende maximale Ergiebigkeit der mittleren, unten vergrösserten Welle ist rund 500 Lit/Min., ihre Ablaufzeit ist 8 Stunde. (Unter Berücksichtigung der theoretisch annehmbaren 8 zentimeter betragen den maximalen Fluthöhe des Karstwasserspiegels sind diese Werte, auf Grund der Untersuchung der klimatischen Hochflut ableitbar (13).

3. Die Maximum-Punkte der zwei äusseren Wellen melden sich mit einer Verschiebung von 1 Stunde an den nacheinanderfolgenden Tagen (9 und 10 Uhr).

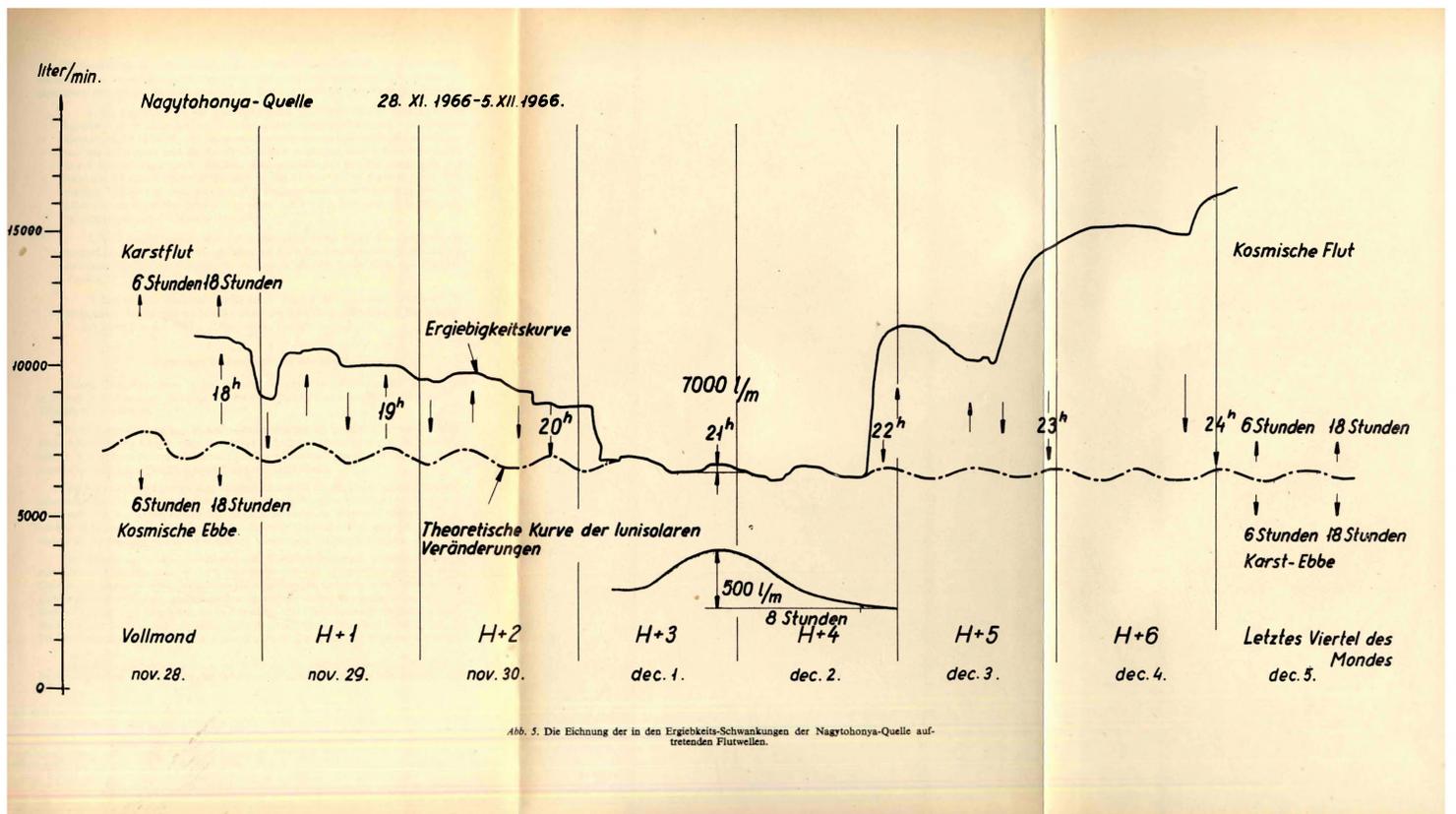
4. Konstruieren wir die Verlängerungen der ursprünglichen Wellenkurve, dann haben wir auf Grund der Maximumzeiten, in erster Annäherung, theoretisch am ersten Tag der Woche den Neumond-oder Vollmondtag, am letzten Tag der Woche den Tag des ersten oder letzten Viertels bestimmt, der wirklichkeit entsprechend.

5. Die Richtigkeit der Konstruierung der Wellenkurve wird dadurch bewiesen, dass alle Veränderungen der Ergiebigkeitskurve parallel mit dem konstruierten Wellenbild laufen, ausserdem, dass auch der rechtseitige Ausbruch durch Flutwelle ausgelöst, und ihre sekundäre Spitze auch von Flutwelle hervorgerufen ist.

In dieser sehr günstigen Lage erhält nun die Ergiebigkeitskurve der *Nagytohonya*-Quelle unmittelbar ablesbare kosmische Angaben.

Zur Bestätigung der Bedingung 8, haben wir zwischen dem 17. und 24. August 1966 Litoklasenpulsationsmessungen in einem der N-S-Höhlengänge der *Vass Imre*-Höhle durchgeführt.

Als Mittel der direkten Messung haben wir drei 0,001 mm. Indikatoruhren aufgewandt, die wir zwischen den Enden der in der östlichen bzw. westlichen Wand der Höhle befestigten Stahlröhre festgemacht gaben. West-östliche Pulsation für die Wahrnehmung der dem N-S und vertikalen Drehmoment entsprechenden relativen Verschiebungen.*



Die Ergebnisse der Untersuchung zeigt die Abb. 6. die auf Grund der vom Neumond bis zum ersten Viertel durchgeführten kontinuierlichen Messungen und in je 10 Minuten gemachten Ablesungen zusammengestellt ist. Die bekommenen Kurven zeigen wie folgt:

1. Im Laufe der an der quer befestigten Uhr beobachteten Veränderungen haben wir — in einer der theoretischen grösse entsprechenden durchschnittlichen Grösse von 2,4 Mikron — 11 bedeutend hervorstechende Kontraktionsmaxima erhalten. Die Häufigkeit und die Amplitude dieser zeigt eine, vom Neumond bis zum ersten Viertel abnehmende Tendenz. Die zwischen den Spitzen vergangene Zeit betrug in 5 Fällen beinahe 12 Stunden, in den übrigen Fällen ergab sich als vollständiges Vielfache der beinahe 6 Stunden. Dagegen konnten wir an den anderen zwei Uhren — von einem einzigen Fall abgesehen — nur Veränderungen mit einer Durchschnittsgrösse von 0,1 Mikron feststellen.

2. Von den 11 queren Kontraktionsmaxima fielen 8 auf den Zeitpunkt der kosmischen Grenzwerte. 4 davon fielen auf die Nähe der Zenit- bzw. Nadir- Kulminationszeitpunkte des Mondes, die anderen 4 Maxima in die Nähe der Halbzeitpunkte.

3. Das grösste Maximum wurde am 20 August 1966, zwischen 22 und 24 Uhr festgestellt, dessen zackige Strecke einen der Erdstösse des während der Zeit der Untersuchung in der Türkei aufgetretenen Erdbebens zeigt (13).

Auswertung der Ergebnisse und ihre Folgen

Unsere Grundhypothese wurde in allen wesentlichen Belangen der erforderten postulierten Bedingungen bestätigt. Unsere Annahmen können wir durch die folgenden Tatsachen unterstützen:

Die Gezeiten-Erscheinung des Karstwasserspiegels kann aus der Grössenordnung des *Erdflut-Effektes* abgeleitet werden, da wir auf Grund der Annahme der im Fall des Aggteleker Karstgebiete für real haltbaren Litoklasen-Raumgitterparameter mit einer Karstwasserfluthöhe von realer Grössenordnung rechnen können.

Der Übertragmechanismus des Zustandekommens der im Laufe unserer Beobachtungen festgestellten, statistisch 6-stündigen Ausbruch-Tendenz kann aus der *hydraulische Empfangsrelais* Rolle der karstischen Saugheber-Tätigkeit abgeleitet werden. Da die kosmische Grundperiode der Gezeiten-Erscheinung 12-stündig ist, ergibt sich ein Widerspruch in der Interprätierung der statistisch 6-stündigen Ausbruch-Tendenz.

Die äusserst auffallende Häufigkeit der Übereinstimmungen zwischen den Zeitpunkten der Umschlagspunkte der *Lófej*-Quelle und den Zeitpunkten der lunisolaren Grenzwerte einerseits, und die parallelen Häufigkeitsveränderungen mit den Mondphasen andererseits, liefern einen überzeugenden Beweis für unsere Ausgangs-Hypothese. Die überraschend gleiche Amplitude der in den Ebbe- und Flutzeitpunkten erhaltenen Maxima führt aber auch in dieser unabhängigen Bearbeitung zu demselben Widerspruch, als bei der 6-stündigen Periodizität der Ausbruchs-Anfangspunkte. Der Widerspruch besteht

*Den störenden Einfluss der aus der Nähe der Beobachter stammenden Temperatur-Differenzen haben wir auch doppelseitig kontrolliert und diesen Wert insignifikant gefunden (13).

darin, dass es in dem Zeitpunkt des karstischen Ebbe-Minimums eine gleiche Möglichkeit für den Umschlag der Saugheber gibt, wie im Zeitpunkt des Flutmaximums. Die Unverständlichkeit diese Tatsache ist wegen der Folgen der durch die 6-stündigen Flut- oder Ebbewellen gesteuerten Ausbrüche bedeutend.

Die in der Umgebung von Tatabánya und auf grössere Entfernungen, direkt, unabhängig durchgeführten instrumentalen Beobachtungen liefern schon einen ausschlaggebenden Beweis für die Existenz dieser Erscheinung, wenn wir ihre Ergebnisse in der Synthese des Tatsachenmaterials des Aggteleker Karstes betrachten. Diese Feststellungen bestätigen unsere Grössenordnung-Berechnungen und weisen — dem Charakter des Effektes entsprechend — auf den allgemeinen Einfluss der Erscheinung hin (8).

Einen weiteren Beweis zu dieser Frage liefert das Auftreten der direkten Gezeiten-Wellen auf die Ergiebigkeitsregistratur der Saugheber- und Nicht-Saugheber-Karstquellen von Jósvalfö. Auf Grund der in Abb. 5. erwähnten Eichmöglichkeit ergibt sich, nach den vergleichenden Untersuchungen der Ergiebigkeitsregistraturen, dass auch die Gezeiten-Erscheinung des Karstwasserspiegels immer periodisch 12-stündig ist, aber die karstische Gezeiten-Erscheinung nach kleineren Zeitabständen — und innerhalb der einzelnen Tektonischen Einheiten gleichzeitig — bald gegensinnig, bald parallel mit der kosmischen Grund-Erscheinung auftritt. Diese Erkenntnis löst jene scheinbaren Widersprüche auf (und macht sie gleichzeitig verständlich), die sich aus der ursprünglichen Betrachtung des Mechanismus bei der ersten Annäherung des Problems ergaben.

Die experimentale Untersuchung des Mechanismus der Gezeiten-Erscheinung hat es bestätigt, dass die Gezeiten-Deformation der festen Kruste eine Litoklasen-Pulsation in der vorausgesetzten Grössenordnung im karstischen Kluftnetz hervorruft, obwohl die einwöchige Zeitdauer zur ausführlichen Ermittlung des Problems bei weitem nicht genügend ist. Trotz alledem steht fest, dass die querlaufend gewonnenen Kontraktionsmaxima wechselweise in je 2—3 Tagen nach dem Zeitpunkte der Grenzwerte des Flut- oder Ebbezustandes folgen. Daraus folgt, dass die Ergebnisse des Experimentes unsere hydrologischen Beobachtungen und ihre theoretischen Konsequenzen in allen Beziehungen bestätigen.

Auf Grund der Übereinstimmenden hydrologischen und geophysikalischen Ergebnisse scheint es wahrscheinlich, dass die obere feste Kruste eine solche Struktur hat, die unter dem globalen Druck- und Zugeffekt periodisch und lokal gegensinnige Spannungszustände an irgendeinem Punkt der Kruste gleichfalls gestattet. Eine sogenannte Krustenstruktur ist wahrscheinlich mit einem solchen geometrischen Aufbau verbunden, der sich in der strukturellen Wellenförmigkeit der Kugelfläche der Erde dartut. Wenn die vertikalen Litoklasen, die sich in den die tektonischen Einheiten trennenden Bruchzonen befinden, einen, in den Wellenkuppen unten, in den Wellentälern oben geschlossenen Zustand aufweisen, können sich bei den gleichen globalen Spannungszuständen, in Halbperioden-Abständen mit dem globalen übereinstimmende oder gegensinnige Zustände entwickeln. Erleidet aber die relative Lage der längs der Wellenoberfläche befindlichen tektonischen Einheiten — wegen der bedeutenden inneren Reibung — in den Gezeiten-Perioden auch eine dauerhafte Deformation, kann die allmähliche Anhäufung dieser letzteren eine stehende Wellenbewegung der theoretischen strukturellen Wellenoberfläche mit einer 4—6 tägigen Periode verursachen. In diesem Fall kann sich der lokale Spannungszustand bei gleichen globalen Spannungszuständen, an einer gegebenen Stelle auch halbperiodisch verändern.

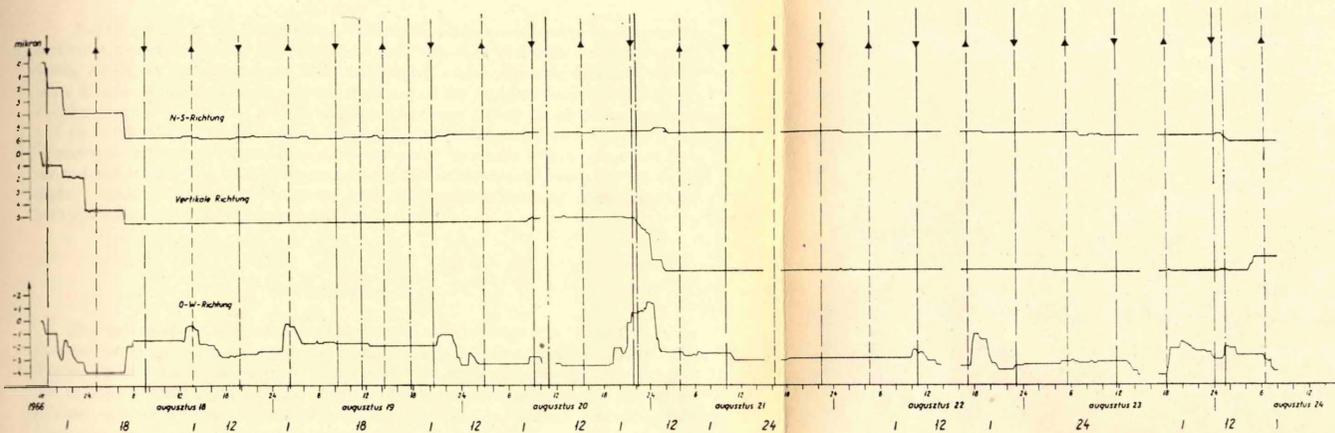


Abb. 6. Die Messungskurven der aus der lunisolaren Krustendeformation stammenden Litoklasen-Pulsation. Die untere Kurve zeigt die quergerichteten Veränderungen. Die nach oben gerichteten Pfeile zeigen die Zeitpunkte der Flutmaxima. Die fett ausgezogenen Resultatslinien zeigen die Zeitpunkte der Erdstöße der im August 1966 in der Türkei stattgefundenen und auch in Budapest registrierten Erdbeben.

Beim heutigen Stand der Untersuchungen — infolge der ziemlich bedeutenden inneren Harmonie der Messungsangaben und wegen der verhältnismässigen Zuverlässigkeit der anhand der bekannten Gesetzmässigkeit aufstellbaren Prognosen — dürfte die Gezeiten-Erscheinung des Karstwasserspiegels als eine grundlegende Bewegungsform des Karstwassers betrachtet werden.

Praktische Bedeutung der Ergebnisse

Auf Grund der in der Einführung erörterten Gesichtspunkte werden die Ergebnisse unserer Untersuchungen die Zuverlässigkeit der Prognosen bezüglich der durch künstliches Anzapfen hervorgerufenen Karstwasserspiegel-Schwankungen erhöhen. Andererseits, können wir anhand der Ergebnisse hoffen, dass die erkannte Gesetzmässigkeit der Erscheinung der karstischen Hohlraumspulation in unsere Hände die genaueste Methode für die Feststellung der bestimmten Parameter des Hohlraumgehalts der karstischen Wasserspeicher und der karstischen Litoklasennetze in unsere Hände geben wird. In diesem Fall können wir die Krärung einiger für die Grubenwasserhaltung und für diemit dieser zusammenhängenden Industrie- und Trinkwassererkundung ausserordentlich wichtige karsthydraulische Zusammenhänge erwarten.*

Zusammenfassung

Die industrielle Karstwasserforschung strebt nach verlässlichen Prognosen jener Karstwasserspiegel-Schwankungen die durch Anzapfen hervorgerufen werden. Die Veränderungen des dynamischen Gleichgewichts des Karstwasserspiegels können aber auf grössere Entfernungen auch von den Luftdruckveränderungen und den lunisolaren Effekte auch prozentuell bedeutend beeinflusst werden. Auf Grund der vieljährigen Registrierungen der Ergiebigkeit der Karstquellen an der Forschungsstelle von Jósaväő und mit der Hilfe der ergänzenden geophysikalischen Untersuchungen ist es gelungen die Grössenordnung, den Wirkungsmechanismus und die wichtigsten Folgen der lunisolaren Effekte eingehend zu bestimmen. Nach den Untersuchungen wird die Gezeiten-Erscheinung des Karstwasserspiegels durch die Gezeiten-Deformation der festen Kruste, indirekt, mit einer mikrotektonischen Hohlraumgehalt-Pulsation verursacht. Aus der maximal 338 Millimeter betragenden Fluthöhe der festen Kruste kann eine Karstwasserspiegel-Fluthöhe in der Grössenordnung von 10 Zentimeter abgeleitet werden. Unter dem Einfluss des globalen Spannungszustandes der festen Kruste bilden sich in jeder tektonischen Einheit, räumlich und auch zeitlich sich verändernde, parallele oder gegensinnige Spannungszustände aus. Dementsprechend erleiden die vertikalen Klüfte des karstischen Litoklasennetzes, in den Zeitpunkten der lunisolaren Grenzwerte von Fall zu Fall mit einer 12-stündigen Periode — statistisch mit einer 6-stündigen virtuellen pericde — eine durchschnittliche Kontraktion von 2,5 Mikron und gleichzeitig rufen sie den Flutzustand des

*Zum Erfolg der vorliegenden Studien haben — von messungstechnischen und theoretischen Gesichtspunkte aus — meine Kollegen Miklós Gádoros und Gyula Pályi und die Mitglieder der Höhlenforschungsgruppe der ÉKME, ferner mein Freund Lajos Bartha junior, Mitglied des Lehrobservatoriums Urania, sowie einige Mitarbeiter desselben kontinuierlich und vielseitig beigetragen, wofür ich hiermit einen recht herzlichen Dank sage.

Karstwasserspiegels hervor. Deswegen kann die aklimatische Ergiebigkeitsschwankung der die Karstquellen speisenden unterirdischen Wasserläufe im Aggteleker Karstgebiet sogar eine Differenz von 700 Liter/Minute erreichen. Die Ausbrüche der Saugheber-Karstquellen werden von den Flutwellen mit einer 40–50%-igen Häufigkeit gesteuert, und die Saugheber-Ausbrüche treten in 33% der Fälle um 6, 12, 18, 24 Uhr auf. Die praktische Bedeutung unserer Ergebnisse besteht in der Schaffung neuer Möglichkeiten den Porenraum und die hydraulischen Faktoren zu rechenen, die für die Lösung der mit Grubenwasserhaltung verbundene Problemen benötigt sind.

Literatur

1. ANKER, T.F.: Über intermittierende und pulsierende Karstwasserläufe. Mitteilungen. Jahrgang 8. Nr. 3. München, (1962.) pp. 64–67.
2. BARTHA L. ifj.: A Hold légköri hatásai. Meteor I. évf. 3. sz. pp. 128–135 és 4. sz. pp. 181–190. A TIT Csillagászati és Matematikai Sz.O. Híradója. Budapest (1954).
3. BARTHA L. ifj.: A Hold és a magaslégkör. Meteor II. évf. 5. sz. pp. 282–285. A TIT Csillagászati és Matematikai Sz.O. Híradója. Budapest, (1955).
4. BULLA B., KÉZ A.: Általános természeti földrajz. I–II. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó. Budapest, (1953).
5. DARÁNYI F.: A Bakony-hegység karszthidrológiai kérdései a bányászati tapasztalatok alapján. Hidrológiai Közöny XLVI. évf. 5. sz. pp. 211–219. Budapest, (1966).
6. DARWIN, G.H.: A tengerjárás és rokontünemények naprendszerünkben. Magy. Term. Tud. Társ. Kiadása. Könyv. Budapest, (1904).
7. EGYED L.: Geofizikai alapismeretek. Egyetemi Tankönyv. Tankönyvkiadó. Budapest, (1955).
8. GERBER P.: Karszthidrológiai megfigyelések a tatabányai medence nyugati sásbércén. V. Bányavízvédelmi Konferencia tárgyalási anyaga. (1965). IX. 20–22. pp. 74–95, Budapest.
9. KESSLER H.: Az országos forrásnyilvántartás VITUKI Tanulmányok és Kutatási eredmények 7. sz. Budapest, (1959).
10. KESSLER H.: Forrástani részletvizsgálatok az Aggteleki Karsztvidéken. Beszámoló a VITUKI 1964. évi munkásságáról. Műszaki Könyvkiadó. pp. 134–152. Budapest, (1955).
11. KÖVESLIGETHY R.: Matematikai és csillagászati földrajz. Könyv. Budapest, (1899).
12. LUTZ I.: A Rank-Herlányi időszakos szökőkút tüneményeinek kísérleti előállítás. Természettudományi Közöny XVI. kötet. Budapest, (1888). pp. 386–388.
13. MAUCHA L.: A karsztvízszint árapály-jelensége. Előadás a MTESZ Karszt- és Barlangkutató Bizottságának szakülésén. Budapest, (1967). január 20. Vorlesung.
14. MAUCHA L.: Beszámoló az ÉKME Jósvafői Kutatóállomásának 1964–1965. évi munkájáról. Jósvafő, (1965). október 17. Vorlesung.
15. NÉMETH E.: Hidrológia és hidrometria. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó. Budapest. (1954).
16. PAPP F.: Dunántúl karsztvizei és a feltárás lehetősége Budapesten. Hidrológiai Közöny XXI. évf. 7–12. sz. Budapest, (1941).
17. ÖLLÖS G.: A repedezett kőzetekben fellépő vízmozgás hidraulikai vizsgálata. Építés és Közlekedéstudományi Közlemények. Budapest, (1962). pp. 537–562.

DEMONSTRATION OF TIDAL CHANGES IN KARST WATER LEVEL

by
L. MAUCHA

Summary

Industrial karst-water research aims at a reliable forecasting of changes in karst water level caused by tapping. In larger areas, however, the dynamic equilibrium of the karst water level may be greatly influenced by changes in atmospheric depression and by lunisolar effects. At the Research Station of Jósvalfö, relying upon long-term records of the fields of karst springs and on geophysical results, the author could assess the order of magnitude of the lunisolar influences, its mechanism, and main consequences. According to investigations, the tidal phenomenon of the karst water table is directly caused by tidal deformations of the solid crust due to microtectonical void volume pulsation. From a maximum of 338 mm tidal height of the solid crust, a tidal height of 10 cm at the karst water level can be deduced. Global stresses in the tectonic units of the solid induce normal or inverse tension stresses changing in time and space. Consequently, at extreme lunisolar values, the vertical fissures of the karstic lithoclase net endure a mean contraction average of 2.5μ size with an apparent periodicity averaging 6 hours, occasionally attaining 12 hours, as shown by statistics. At the same time, tidal changes are brought about in the karst water level. Accordingly the oscillation of the acclimatic discharge of underground streams feeding karst springs can also attain an amplitude of 770 l/min in a karst area. Outbursts of siphonal karst springs are controlled by tidal waves with a frequency of 40–50 per cent and the siphonal outbursts manifest themselves at 6, 12, 18, 24 o'clock in 33 per cent of the cases. The practical significance of the results is in the new possibilities for void-volume and hydraulic calculations necessary for solving problems of water control in mines.

О ПРИЛИВО-ОТЛИВНЫХ ЯВЛЕНИЯХ ЗЕРКАЛ КАРСТОВЫХ ВОД

Л. МАУХА

Резюме

Промышленное исследование карстовых вод стремится к надежному прогнозу изменений уровня карстовых вод, вызываемых водозаборами. Однако, на динамическое равновесие зеркала карстовых вод могут повлиять в значительной мере и широко и изменения давления воздуха и лунно-солнечные эффекты. На исследовательской станции у с. Йошвафё, на основании многолетней регистрации расхода воды карстовых источников и с помощью дополнительных геофизических исследований удалось детально определить порядок, механизм действия и самые значительные последствия лунно-солнечных эффектов. По результатам исследований, приливо-отливные явления зеркала карстовых вод косвенно вызываются приливо-отливной деформацией твердой земной коры, а именно микротектонической пульсацией порового пространства горных пород. Из максимальной высоты прилива твердой земной коры в 338 мм мы получили 10 см для высоты прилива карстовых вод. Под влиянием глобально напряженного состояния земной коры фор-

мируются по отдельным тектоническим единицам изменчивые во время и пространстве параллельные или противоположенные напряжения. Соответственно этому, во время предельных величин лунно-солнечных влияний вертикальные трещины карстовой сети литоклаза претерпевают сжатие с средней величиной 2,5 микрона через каждые 6 часов в среднем и 12 часов в частности и одновременно вызывают приливное состояние уровня карстовых вод. В связи с этим аклиматическое колебание расхода воды питающих карстовые источники подземных водотоков в Аггтелекской карстовой области может достигать даже амплитуды порядка 770 л/мин. Выбросы сифонных карстовых источников управляются приливными волнами с частотой 40—50% и сифонные выбросы проявляются в 33% от общего числа случаев в 6, 12, 18 и 24 часов дня. Практическое значение результатов заключается в новых возможностях вычисления объема порового пространства горных пород и их гидравлического режима, что необходимо для решения проблем осушения пластов в подземных выработках шахт.

DEMONSTRO DE LA FENOMENO DE TAJDO ĈE LA KARSTAKVO-NIVelo

L. MAUCHA

Resumo

La industria karstakvo-esplorado strebas fidinde prognozi la ŝanĝojn de la karstakvo-nivelo kaŭzatajn de akvodepreno. Sed en pli grandaj distancoj la formiĝon de la dinamika ekvilibro de la karstakvo-nivelo povas influi — eĉ procente en konsiderinda grado — la ŝanĝoj de la aerpremo kaj la luno-sunaj (lunisolaraj) efektoj.

En la Esplorstacio de la Geologia Katedro de la Budapeŝta Teknika Universitato en Jósvalfő oni sukcesis konstati la amplitudojn, efikmanieron kaj la plej gravajn konsekvencojn de la luno-sunaj efikoj surbaze de plurjara registrado de la akvoprodukto de la karstaj fontoj ĉe Jósvalfő kaj helpe de kompletigaj geofizikaj ekzamenoj.

Laŭ tiuj ekzamenoj la fenomenon de tajdo de la karstakvo-nivelo kaŭzas indirekte la tajda deformiĝo de la solida terkrusto sekve de mikroteknika deformiĝo de la volumeno de la breĉoj. El la maksimume 338 milimetra tajdoamplitudo de la solida terkrusto estas deduktebla ĉirkaŭ 10 cm-a fluso-alteco ĉe la karstakvo-nivelo.

Sub la efiko de la ĝenerala tensia stato de la terkrusto estigas paralelaj aŭ kontraŭdirektaj tensiostatoj sin ŝanĝantaj space kaj tempe, laŭ la unuopaj tektonaj unuoj. Konforme al tio ĉi la vertikalaj breĉoj de la karsta litoklazoreto periode kunpremiĝas en la tempopunktoj de la ekstremvaloroj de la luno-suna efiko. La tempo de la periodo estas ĉiufoje 12 horoj, kio statistike montras 6 horojn. La mezuro de la kunpremiĝo estas mezvalore 2,5 mikronoj. Ĉi tiu kunpremiĝo kaŭzas samtempe flusan staton ĉe la nivelo de la karstakvo. Pro tio ĉi la aklimatgia flukuado de la akvoprodukto ĉe la subteraj akvofluoj nutrataj de karstaj fontoj povas atingi sur la karsto-teritorio de Aggtelek eĉ diferencon de 700 lit./min. La erupcioj de la sifonhavaj karstaj fontoj estas funkciigataj en 40—50%-a ofteco fare de la flus-ondoj. Sekve de ĉi tio ĉe la sifonhavaj karstaj fontoj la 33% de la erupcioj okazas je 6, 12, 18, 24 horoj. La praktika signifo de la rezultatoj troviĝas en la novaj eblecoj por la kalkuloj de breĉvolumeno kaj hidraŭlikaj kalkuloj, ambaŭ necesaj por solvi la problemojn de la minejakvoŝirmado.