

Ein Beispiel zur Feststellung von Grundwasserströmungen durch die „Ein-Loch-Methode“ und Tritiumanalysen

Von J. MAIRHOFER und F. RADL (Wien)

Einleitung

Im Zuge der Erarbeitung von Grundlagen für wasserwirtschaftliche Planungen und wasserbaulichen Maßnahmen im Zusammenhang mit Fragen der Abflußminderung, des Wasserrückhaltes sowie des Hochwasserschutzes in den Bereichen des Schwemmbach-Mittellaufes und des Hainbach-Unterlaufes (Oberösterreich) wurde die Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Abteilung Radiophysik, von der Bundesstrombauleitung Braunau beauftragt, die Filtergeschwindigkeit und die Strömungsrichtungen des Grundwassers in diesem Gebiet zu messen (Fig. 1). Gleichzeitig wurden aus den für diese Zwecke errichteten Bohrungen Proben des Grundwassers auf ihren Tritiumgehalt untersucht. Über das Ergebnis dieser Untersuchungen wird im folgenden berichtet.

1. Die geologischen Verhältnisse

Für die Deutung der erzielten Meßergebnisse ist die Kenntnis der geologischen Verhältnisse des Gebietes eine Voraussetzung. Das Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik und Technische Bodenkunde Petzenkirchen hat diese Erkundung durchgeführt und in einem Arbeitsbericht niedergelegt. Diesem Bericht sind die folgenden gekürzten Ausführungen und die geologische Karte (Fig. 2), mit freundlicher Zustimmung von Herrn Dr. M. SEDLACEK, entnommen.

Die Talebenen des Schwemm- und des Hainbaches stellen geologisch eine Niederterrasse dar, deren Schotter während und nach der letzten Eiszeit aufgeschüttet wurden. Ein langgestreckter Sporn einer Hochterrasse bildet den Rahmen im Westen, ein anderer, kürzerer Sporn scheidet das Schwemm- vom Hainbachtal. Im Osten grenzt die Niederterrasse des Schwemmbaches an die tertiären Süßwasserschichten des Kobernauber Waldes.

Das Einzugsgebiet des Hainbaches liegt im Moränengürtel des Irrseegletschers, einem Zweig des Traungletschers, das des Schwemmbaches in den tertiären kohleführenden Süßwasserschichten und pliozänen Quarzschottern des Kobernauber Waldes.

Die Unterlage des Niederterrassenschotter besteht aus miozänem Schlier. Er fällt steil nach Norden ab. Über dem Schlier liegen die grundwasserführenden sandigen Kiese und Schotter und darüber fluvial umgelagertes Moränenmaterial (grobsandig-lehmiger Kies, Schotter und Geröll).

Über dem Niederterrassenschotter liegt eine Deckschicht aus Lehm, Schluff und Ton von wechselnder Mächtigkeit und hoher Lagerungsdichte.

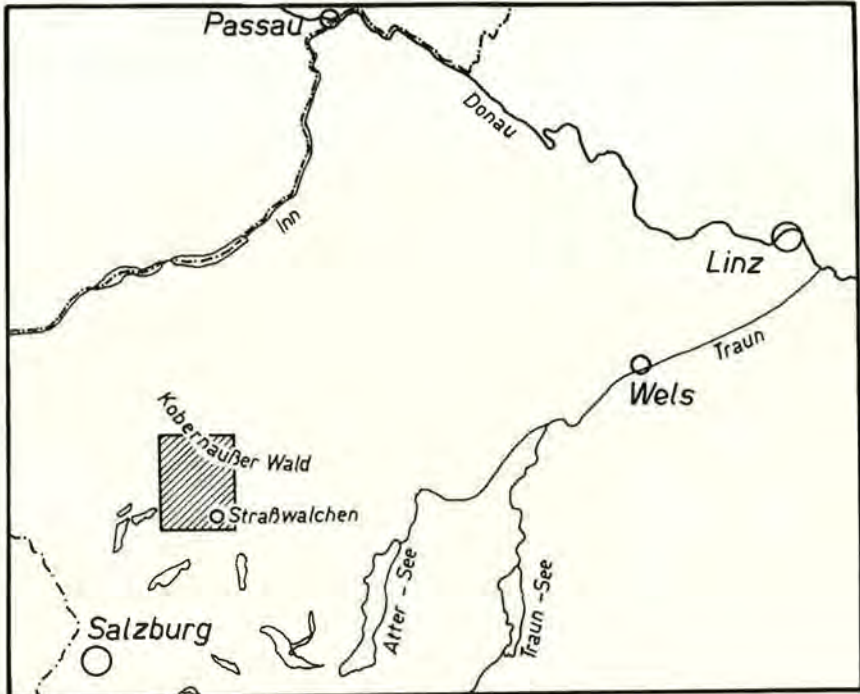


Fig. 1: Die Lage des Untersuchungsgebietes.

2. Die Richtungs- und Filtergeschwindigkeitsmessungen

Da die vorhandenen Meßpegel auf Grund ihrer Dimensionen und ihres Ausbaues nicht für die Anwendung unserer Methode geeignet waren, wurden entlang der beiden Täler in Querprofilen insgesamt 18 Bohrungen abgeteuft und mit Filterrohren ausgestattet, die eine geeignete Perforation aufwiesen.

Der Filterrohrdurchmesser betrug einheitlich 4 Zoll. Die Lage der Bohrpunkte ist aus Fig. 3 ersichtlich.

Die angewandte Meßmethode sei hier kurz dargelegt. Markiert man in einem vom Grundwasser durchflossenen Filterrohr eine definierte

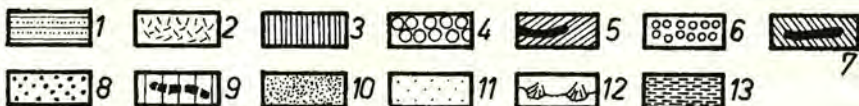
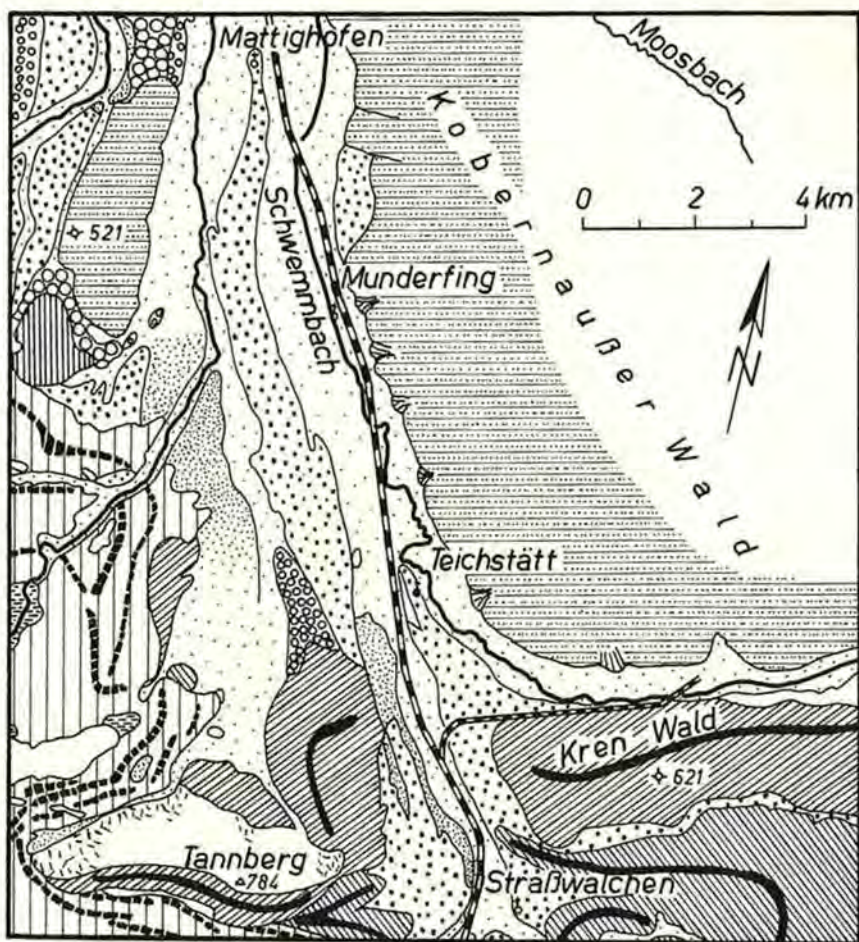


Fig. 2: Geologische Karte des Untersuchungsgebietes nach Dr. M. Sedlacek. 1 Kohleführende Süßwasserschichten (Miozän), 2 Glazialgeröllstreu auf Flysch, 3 Günzmoräne, 4 Älterer Deckenschotter, 5 Mindel-Endmoräne mit Wall, 6 Jüngerer Deckenschotter, 7 Riß-Endmoräne mit Wall, 8 Hochterrasse, 9 Würmmoräne mit Endmoränenwall, 10 Obere Niederterrasse, 11 Untere Niederterrasse, 12 Schuttkegel, 13 Moore.

Wassersäule mit einem radioaktiven Isotop und mißt die durch die Grundwasserströmung verursachte Dekonzentration des Markierungsmittels, so kann bei Kenntnis des Bohrlochausbaues aufgrund des über die Zeit beobachteten Konzentrationsabfalles auf die Filtergeschwindigkeit des Grundwassers in diesem Punkte zurückgerechnet werden.

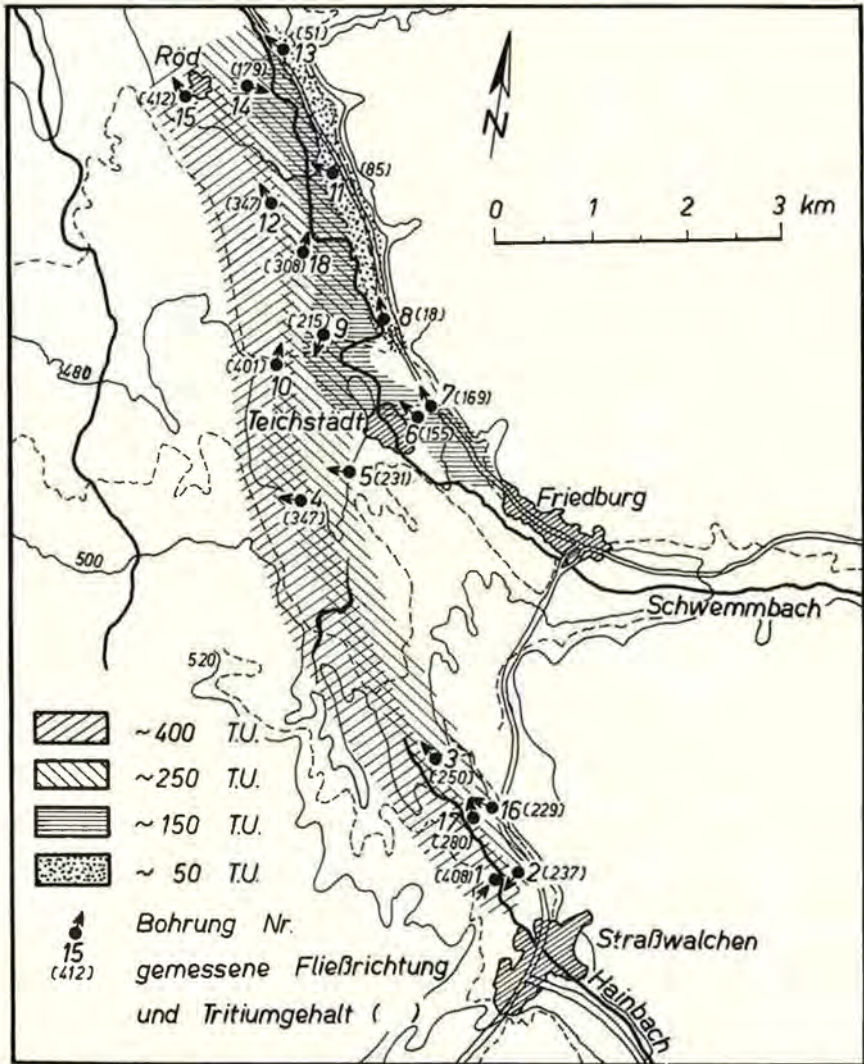


Fig. 3: Die Lage der Bohrungen, die gemessenen Fließrichtungen und die Tritiumwerte der Wasserproben.

Zwecks Ermittlung der Fließrichtung wird an dem gewählten Punkt der Filterstrecke eines Bohrloches in der Achse möglichst punktförmig ein radioaktives Isotop injiziert, welches von der Bohrlochwand bzw. dem umgebenden Bodenmaterial gut adsorbiert wird. Das Isotop wird vorwiegend in der Strömungsrichtung angelagert. Durch Messung der Aktivität am Injektionspunkt mit Hilfe eines richtungsempfindlichen Detektors wird dann die Strömungsrichtung ermittelt.

Hier sei der Hinweis gestattet, daß die so ermittelten Meßwerte streng genommen nur für den Meßpunkt und dessen nähere Umgebung Gültigkeit besitzen. Bei starken Inhomogenitäten des Grundwasserkörpers, wie dies in unseren Gegenden oft der Fall ist, kann man die generellen Strömungsverhältnisse nur durch ein Netz von Meßpegeln erfassen, dessen Dichte davon abhängt, wie genau man die Verhältnisse zu klären wünscht. Andererseits gestattet es die „Ein-Loch-Methode“, die gestörten oder ungestörten Verhältnisse in einem kleineren Bereich sehr gut zu erfassen. Die erhaltenen Meßergebnisse sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Meßergebnisse bei den Grundwasseruntersuchungen im Raume Straßwalchen.

Bohrung	Filtergeschwindigkeit		Fließrichtung			Wasserspiegel			
	Meßtiefe m ab ROZ	Datum 1970	Meßwert cm/sec	Meßtiefe m ab ROK	Datum 1970	Meßwert ° ab Nord	Datum 1970	WSP m ü. Adria	WSP-Diff. L. 11. 3. 70
1	21,5	21. 3.	3.10 ⁻³	21,5	17. 3.	45 ⁰	17. 3.	504,58	-0,13
	23,0	21. 3.	6.10 ⁻³						
2	21,0	17. 3.	6.10 ⁻³	22,0	17. 3.	220 ⁰	17. 3.	504,61	-0,04
	22,5	17. 3.	2.10 ⁻²						
3	19,0	18. 3.	2.10 ⁻²	19,0	20. 3.	320 ⁰	18. 3.	500,04	-0,25
	20,0	18. 3.	6.10 ⁻²						
	21,0	18. 3.	3.10 ⁻²						
	21,5	18. 3.	1.10 ⁻²						
4	17,5	19. 3.	3.10 ⁻³	17,6	20. 3.	250 ⁰	19. 3.	485,10	-0,15
	19,0	19. 3.	1.10 ⁻²						
	21,0	19. 3.	1.10 ⁻²						
5	17,5	19. 3.	1.10 ⁻¹	20,8	20. 3.	270 ⁰	19. 3.	484,55	-0,22
	19,5	19. 3.	3.10 ⁻¹						
	20,5	19. 3.	7.10 ⁻²						
6	10,0	21. 3.	2.10 ⁻¹	10,0	21. 3.	300 ⁰	21. 3.	495,87	+0,09
	16,0	21. 3.	2.10 ⁻¹						
	23,0	21. 3.	2.10 ⁻¹						
7	12,0	20. 3.	1.10 ⁻²	14,0	21. 3.	335 ⁰	20. 3.	496,38	+0,06
	14,0	20. 3.	5.10 ⁻³						
	16,0	20. 3.	1.10 ⁻³						
	18,0	20. 3.	2.10 ⁻³						
8	12,0	21. 3.	2.10 ⁻²	12,0	22. 3.	350 ⁰	21. 3.	479,20	+0,13
	15,0	21. 3.	3.10 ⁻²						
	20,0	21. 3.	2.10 ⁻¹						
	25,0	21. 3.	3.10 ⁻²						

Bohrung	Filtergeschwindigkeit			Fließrichtung			Wasserspiegel		
	Meßtiefe m ab ROZ	Datum 1970	Meßwert cm/sec	Meßtiefe m ab BOK	Datum 1970	Meßwert ° ab Nord	Datum 1970	WSP m ü. Adria	WSP-Diff. z. 11. 3. 70
9	20,0	22. 3.	5.10 ⁻²	22,0	22. 3.	180 ⁰	22. 3.	476,71	+0,90
	22,0	22. 3.	2.10 ⁻²	22,0	25. 3.	180 ⁰	25. 3.	477,18	+1,37
10	16,0	22. 3.	2.10 ⁻²	18,0	22. 3.	5 ⁰	22. 3.	477,28	-0,02
	18,0	22. 3.	1.10 ⁻²						
	19,5	22. 3.	1.10 ⁻²						
11	12,0	23. 3.	2.10 ⁻³	14,0	23. 3.	290 ⁰	23. 3.	470,26	+0,09
	14,0	23. 3.	1.10 ⁻²						
	16,0	23. 3.	5.10 ⁻³						
12	13,0	23. 3.	4.10 ⁻²	15,10	24. 3.	335 ⁰	23. 3.	471,28	+0,12
	15,0	23. 3.	2.10 ⁻²						
	17,0	23. 3.	1.10 ⁻²						
13	7,0	23. 3.	2.10 ⁻³	7,0	25. 3.	305 ⁰	23. 3.	468,30	+0,32
	9,0	23. 3.	1.10 ⁻²						
14	10,0	24. 3.	4.10 ⁻³	9,9	24. 3.	100 ⁰	24. 3.	465,68	+0,24
	12,0	24. 3.	8.10 ⁻³						
15	13,0	24. 3.	5.10 ⁻³	13,0	25. 3.	315 ⁰	24. 3.	465,34	+0,18
	15,0	24. 3.	6.10 ⁻³						
16	22,0	18. 3.	2.10 ⁻²	23,5	18. 3.	295 ⁰	18. 3.	501,76	-0,22
	23,5	18. 3.	7.10 ⁻³						
	25,0	18. 3.	4.10 ⁻³						
17	20,0	18. 3.	2.10 ⁻³	22,0	18. 3.	0 ⁰	18. 3.	502,43	-0,16
	22,0	18. 3.	2.10 ⁻³						
	24,0	18. 3.	6.10 ⁻²						
18	13,0	22. 3.	2.10 ⁻³	13,70	24. 3.	15 ⁰	22. 3.	473,97	+0,01
	14,5	22. 3.	4.10 ⁻³						

3. Die Tritiumbestimmung

Die Kenntnis der im Wasser natürlich vorkommenden Isotope, sowohl der stabilen wie der instabilen, erlaubt es, Rückschlüsse auf die Herkunft des Wassers bzw. die Zusammenhänge der verschiedenen Grundwässer zu ziehen. In unserem Falle haben wir die Wasserproben von den 18 mit unseren Methoden ausgemessenen Bohrungen nur auf Tritium untersucht.

Die Untersuchungsergebnisse sind in Tab. 2 niedergelegt.

Tabelle 2: Tritiumwerte der Wässer aus den einzelnen Bohrungen im März 1970.

Bohrloch Nr.	T. U.	Bohrloch Nr.	T. U.
1	408 ± 24	10	401 ± 25
2	237 ± 15	11	85 ± 10
3	250 ± 16	12	347 ± 20
4	341 ± 19	13	51 ± 9
5	231 ± 15	14	179 ± 13
6	155 ± 12	15	412 ± 23
7	169 ± 13	16	229 ± 15
8	18 ± 8	17	281 ± 17
9	215 ± 14	18	308 ± 19

4. Diskussion der Meßergebnisse

Betrachtet man die Tabelle über die Meßergebnisse der Filtergeschwindigkeitsmessungen, so sieht man, daß im allgemeinen hohe bis sehr hohe Meßwerte erhalten wurden. Sehr hohe Geschwindigkeitsmeßwerte sind als Rechnungsgrößen aufzufassen, da die unmittelbare Umrechnung aus den Meßwerten nicht in allen Fällen statthaft sein muß. In ihrem Verhältnis zueinander spiegeln sie aber sicher den wahren Sachverhalt wider.

Die ermittelten Strömungsrichtungen stimmen bis auf die Meßpunkte 4, 5, 9 und 14 mit der üblichen Modellvorstellung, erhalten aus den Wasserspiegellagen, überein. Die Isohypsendarstellung gibt im allgemeinen ein Gesamtverhalten des Grundwassers im betreffenden Untersuchungsgebiet an. Theoretisch sollen die Meßpegel als Piezometer funktionieren, zufolge ihrer in der Praxis üblichen Ausbildung geben sie aber einen Mittelwert der über die Tiefe herrschenden Druckverhältnisse an. Sind beim Meßpegel über die Tiefe starke Inhomogenitäten vorhanden, so zeigt ein vollfilterter Pegel aber nur einen Mittelwert der Druckverhältnisse an, der durchaus in das Bild der Isohypsendarstellung passen kann, der aber trotzdem keinen Aufschluß über die dort herrschenden gestörten Strömungen gibt. Manchmal wird auch bei der Isohypsendarstellung ein repräsentativer Wert genommen und dabei die Korrelation des zeitlichen Verlaufes der Wasserstände in den einzelnen Pegeln nicht beachtet. Ferner erscheint die übliche acht- bis 14tägige Messung der Wasserstände nicht geeignet, kurzzeitige Änderungen im Grundwasser festzustellen, welche oft Aufschluß über den Zusammenhang zwischen einzelnen Pegeln geben können. Um solche Änderungen und Inhomogenitäten feststellen zu können, sind kürzere Meßintervalle vonnöten. In der Fig. 4 ist der Gang der Wasserspiegeldifferenz, bezogen auf den 11. März 1970 (im folgenden „Ganglinien“ genannt), der 18 Beobachtungspiegel für den Zeitraum von Mitte März bis Mitte November wiedergegeben. Glücklicherweise sind zum Zeitpunkt unserer Untersuchungen (20. bis 27. März 1970) und zwischen dem 12. und 20. August 1970 in kurzen Zeitabständen Wasserstandsmessungen gemacht worden. Diese wenigen zusätzlichen Beobachtungen zeigen schon, um wieviel größer dadurch der Einblick in die tatsächlichen Verhältnisse wird.

Betrachten wir die Bohrpunkte 1, 2, 16, 17 und 3 im Hainbachtal, so zeigen die Strömungsrichtungen und die Ganglinien einen im Regime zusammengehörigen, nach Norden abfließenden Grundwasserkörper an.

Die Interpretation der Tritiumwerte ergibt folgendes Bild: Im Hainbachtal fließt im westlichen Teil Grundwasser mit ca. 400 T. U. und im mittleren und östlichen Teil solches mit ca. 250 T. U. nebeneinander ohne nennenswerte Vermischung (Fig. 3).

Beim Zusammentreffen des Hainbach- und des Schwemmbachtales drängt das von den Bohrungen 6 und 7 erfaßte Grundwasser den Grundwasserstrom des Hainbachtales, vermutlich zufolge hohen Druckunterschiedes, nach Westen ab.

Die Ganglinien der Bohrungen 6 und 7, im Schwemmbachtal gelegen, zeigen deutlich ein vom Hainbachtal verschiedenes Verhalten (Fig. 4). Die Ganglinien der Bohrungen 4, 5, 9, 10, 11, 12, 14, 15 und 18 hingegen zeigen, daß das Hainbachgrundwasser dominiert bzw. nach dem Zusammentreffen beider Täler durch Stauwirkung auch dem Grundwasser aus dem Schwemmbachtal die starken Spiegelschwankungen aufzwingt. Die in Fig. 3 eingezeichnete Richtung der Grund-

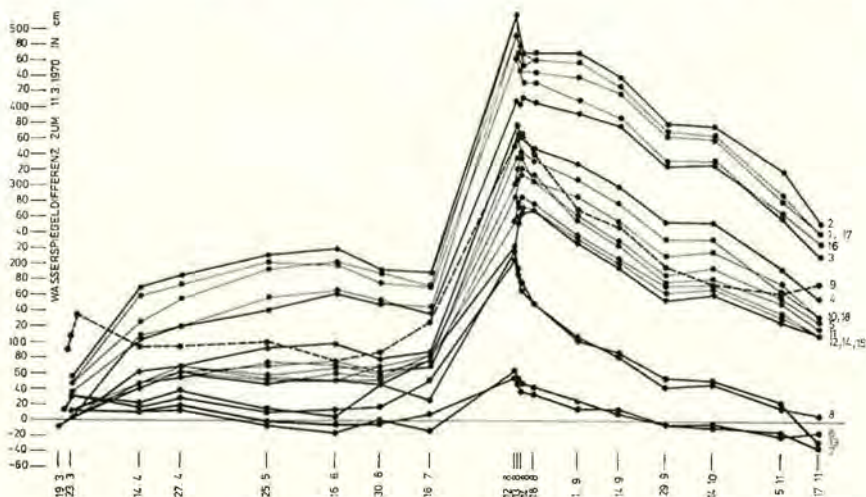


Fig. 4: Ganglinien der Wasserspiegeldifferenzen zum 11. 3. 1970 in den Bohrungen 1 bis 18.

wasserströmung in Bohrung 9 findet eine Parallele für ihr Abweichen im eigenständigen Verhalten der Ganglinie bei Bohrung 9, zumindest im Meßzeitraum. Möglicherweise infiltriert im Gebiet um die Bohrung 9 in starkem Maße Oberflächenwasser und führt zu einem kuppelförmigen Aufstau, der allseits abfließen kann. Die Tritiumwerte stehen dieser Anschauung nicht entgegen.

Ob eine ähnliche Erklärung auch für die Richtungsanomalie bei der Bohrung 14 angenommen werden kann, bleibt offen, die gemessenen Wasserstandsänderungen geben keinen Hinweis.

Die Bohrungen 8 und 13 führen in erster Linie Wasser aus der Westflanke des Kobernauser Waldes. Dies geht sowohl aus den gemessenen Richtungen als auch aus dem außerordentlich niedrigen Tri-

tiumgehalt hervor. Wenn das aus dem Kobernauber Wald zutretende Grundwasser auf kurzem Wege in nennenswerter Menge in das übrige Schwemmbachtal eintreten würde, müßte bei den hohen dort gemessenen Geschwindigkeiten zumindest in der Bohrung 18 noch eine deutliche Verringerung des Tritiumgehaltes im Verhältnis zum übrigen Tal auftreten. In der Bohrung 11 beispielsweise findet eine solche Erniedrigung des Tritiumgehaltes tatsächlich statt, obwohl das Wasser dieser Bohrung auf Grund der Ganglinie eindeutig zum Regime des übrigen Schwemmbachtales, das den dominierenden Faktor darstellt, gehört. Auch die Ganglinien des an sich eigenständigen, von den Bohrungen 8 und 13 erfaßten Grundwassers zeigen den gleichen Verlauf, allerdings in abgeschwächtem Maße.

Nach Eintritt des Hainbaches in das Schwemmbachtal lassen sich bezüglich des Tritiumgehaltes verschiedene Grundwasserteilströme nachweisen. Ein westlicher mit ca. 400 T. U., ein östlicher mit ca. 50 T. U. und ein mittlerer mit ca. 200 T. U. Die Bohrungen 18 und 12 mit ihren 308 bzw. 347 T. U. liegen in der Zone gegenseitiger Beeinflussung.

Zusammenfassung

Die hier gegebenen Darstellungen zeigen, daß für allgemeine großräumige Betrachtungen die herkömmlichen Untersuchungsmethoden ausreichend sind. Benötigt man aber genauere Informationen über das tatsächliche Verhalten des Grundwassers, so muß man zu zusätzlichen Methoden greifen. Die geschilderte Ein-Loch-Methode, kombiniert mit der Analyse des natürlich vorkommenden Isotopengehaltes der Grundwässer, bietet sich hier vorteilhaft an. Die Isotopenmessungen erlauben die eindeutige Trennung der verschiedenen Grundwasserströme (Fig. 3). Auch in anderen von uns bearbeiteten, aber hier nicht wiedergegebenen Fällen wurden ähnliche Ergebnisse erzielt, sofern der Grundwasserkörper aus grob-klastischem Material bestand. In allen solchen Fällen zeigte sich, daß man nicht von einem einheitlichen Grundwasserstrom sprechen konnte. Das Gesamtregime entspricht zwar den bisher üblichen Vorstellungen, setzt sich aber aus verschiedenen Grundwasser-Teilströmungen zusammen, die ihrerseits untereinander völlig verschiedenes Verhalten zeigen können. Die Kenntnis davon kann für viele wasser- und grundbauliche Vorhaben von entscheidender Bedeutung sein.

Summary

In the groundwaters of the neoquaternary gravel terraces of the valley of the Schwemm- and Hainbach (Pre-Alps) measurements of the filter velocity and flow direction were carried out by means of the „point dilution method“ (fig. 3, Table 1). At the same time samples for the determination of the tritium contents were taken from 18 boreholes (Table 2). Four different

types of ground water can be clearly distinguished (fig. 3), the lateral of which (tritium contents of about 400 T. U. in the west and about 50 T. U. in the east) did not manifest any substantial mixing with the groundwater flowing in the middle of the lower valley of the Schwemmbach. The fact that an apparently homogenous groundwater body is made up of various flow elements cannot be made out from the course of the groundwater-isohypses, might, however, be a matter of decisive importance for hydraulic projects.

Anschrift der Verfasser:

Dr. J. MAIRHOFER und Dipl.-Ing. F. RADL, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Isotopenabteilung des Grundlageninstitutes
Arsenal, Objekt 210, A-1030 Wien