

- LANG, G., 1961: Die spät- und frühpostglaziale Vegetationsentwicklung im Umkreis der Alpen. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 12, S. 9—17.
- LÜRZER, E. v., 1954: Das Spätglazial im Egelseegebiet (Salzach—Vorlandgletscher). *Z. f. Gletscherk. u. Glazialgeol.* 3, S. 83—90.
- LÜRZER, E. v., 1956: Die postglaziale Waldgeschichte des Salzburger Vorlandes. *Mitt. Ges. f. Salzburger Landeskunde*, 96, S. 223—234.
- MAYER, H., 1965: Zur Waldgeschichte des Steinernen Meeres (Naturschutzgebiet Königssee). *Jb. 1965*, 30, Verein zum Schutze der Alpenpflanzen und -tiere e. V. München.
- PAUL, H., & RUOFF, S., 1927: Pollenstatistische und stratigraphische Mooruntersuchungen im südlichen Bayern, 1. Teil, Ber. Bayr. Bot. Ges. München, 19, H. 1.
- PREY, S., 1959: Zwei Tiefbohrungen der Stieglbrauerei in Salzburg. *Verh. Geol. B.-A.*, H. 2, Wien 1959.
- PREY, S., 1959: Bericht (1958) über geologische Aufnahmen im Flyschanteil der Umgebungskarte (1 : 25.000) von Salzburg. *Verh. Geol. B.-A.*, Wien 1959.
- REICH, H., 1953: Die Vegetationsentwicklung der Interglaziale von Großweil-Ohlstadt und Pfefferbichl im Bayerischen Alpenvorland. *Flora* 140, S. 386—443.
- SARNTHEIN, R. GRAF v., 1936: Moor und Seeablagerungen aus den Tiroler Alpen in ihrer waldgeschichtlichen Bedeutung. I. Beih. *Bot. Zbl.*, 55/B, 544.
- SARNTHEIN, R. GRAF v., 1940: Moor und Seeablagerungen aus den Tiroler Alpen in ihrer waldgeschichtlichen Bedeutung. II. Teil. Beih. *Bot. Zbl.*, 60/B, 437.
- SCHLAGER, M., 1951: Neuere Erfahrungen über die Lokalvergletscherung des Untersberg- und des Tauglgebietes. *Mitt. Haus d. Natur*, Salzburg, 1951.
- SCHREIBER, H., 1913: Die Moore Salzburgs. — Staab 1913.
- STRAKA, H., 1957: Zwei C¹⁴-Bestimmungen zum Alter der Eifelmoore. *Naturw. Rdsch. Stuttgart*, S. 109—119, 1957.
- WEBER, C. A., 1911: Der Aufbau einiger Hochmoore der Alpenländer. *Protokoll d. 66. Sitz. d. Central-Moor-Commission*. Berlin 1911.
- WELTEN, M.: Über die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des Simmentales. — *Veröff. Geobot. Inst. Rübel*, Zürich 26.
- ZAGWIJN, W. H., 1952: Pollenanalytische Untersuchungen einer spätglazialen Seeablagerung aus Tirol. *Geol. en Mijnb. NW. ser.*, Vol. 14, 7, S. 235—239.
- ZOLLER, H., 1960: Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der Insubrischen Schweiz. *Denkschr. Schweiz. Naturforsch. Ges.* 73, 2, S. 45—175.

Jahreszeitliche Schwankungen des Tritiumgehaltes von Grundwässern des Wiener Beckens

Von G. H. DAVIS, IAEA Wien, T. GATTINGER, Geologische Bundesanstalt Wien, B. R. PAYNE, T. DINCER und T. FLORKOWSKI, IAEA Wien

Mit 9 Abbildungen

Übersetzung des Vortrages aus dem Englischen, der beim „Symposium on the Use of Isotopes in Hydrology“ der Internationalen Atomic Energy Agency (IAEA), Wien, 14. bis 18. November 1966, gehalten wurde. Übersetzt von T. GATTINGER, Geologische Bundesanstalt Wien.

Einleitung

Als Teil des österreichischen Programmes für die Internationale Hydrologische Dekade hat die International Atomic Energy Agency in Zusammenarbeit mit offiziellen österreichischen Stellen während der letzten 2½ Jahre Probennahmen und Analysen auf Tritiumgehalt von Grundwässern des Südlichen Wiener

Beckens durchgeführt. Gegenstand des Programmes ist es, sich Kenntnis über Einzug, Abfluß und Bewegung des Grundwassers im Südlichen Wiener Becken zu verschaffen. Der folgende Bericht bringt die vorläufigen Ergebnisse der Untersuchungen, die weitergeführt werden.

Das Südliche Wiener Becken ist ein hornförmiges, zwischen Bergen eingebettetes Tal, das sich nach Norden öffnet und sich von der Donau in südwestlicher Richtung etwa 70 km bis in die Gegend von Gloggnitz erstreckt. Seine Durchschnittsbreite beträgt um 20 km und der Talgrund umfaßt ein Gebiet von rund 1570 km². Im Norden wird die Grenze von der Donau gebildet, im Nordwesten von den Kalkalpen und im Südosten vom Leitha- und Rosaliengebirge, deren Fortsetzung die Karpathen sind.

Annähernd ein Drittel der österreichischen Bevölkerung ist im Raume des Südlichen Wiener Beckens konzentriert, und die Wasserversorgung für öffentlichen, industriellen und häuslichen Bedarf erfolgt weitgehend aus dem Becken und dem zugehörigen Einzugsgebiet. Demgemäß herrscht für die Möglichkeiten der Wasserversorgung großes Interesse, und es wurden bereits früher hydrologische Studien verschiedener Art durchgeführt.

Auf Grund des Vorhandenseins hydrologischer Unterlagen und des bestehenden Interesses an Wasserproblemen wurde das Südliche Wiener Becken vom Österreichischen Nationalkomitee für die Internationale Hydrologische Dekade als repräsentatives Becken für konzentrierte Studien als Teil des Dekadenprogrammes ausgewählt.

Geologie

Die geographische Einheit des Südlichen Wiener Beckens gehört zu einem tektonischen Tief, das sich nördlich der Donau bis in die Tschechoslowakei fortsetzt. Im Nordwesten wird das Becken von den Kalkalpen begrenzt, die aus triadischen bis kretazischen Karbonatgesteinen bestehen, im Südosten vom Leitha- und Rosaliengebirge, bestehend aus paläozoischen, magmatischen und metamorphen Gesteinen.

Das Südliche Wiener Becken war während des Jungtertiärs in fortgesetzter Absenkung begriffen, und die Sedimentation von Tonen mit Einlagerungen von Sanden und Lignit erreichte Mächtigkeiten bis 3000 m. Im zentralen Beckenteil, einem trogförmigen Graben, der sogenannten Mitterndorfer Senke (Abb. 1), dauerte das Absinken auch während des Pleistozäns an, und es entstand eine Füllung aus groben Schottern und Sanden.

Die Absenkung des Beckeninneren erfordert ausgeprägte Dislokationen an den Rändern zu den anschließenden Gebirgen, und Bohrungen sowie geophysikalische Untersuchungen haben das Vorhandensein einer Folge von Staffelbrüchen an beiden Rändern bestätigt, die gegen die Südwestecke des Beckens zusammenlaufen. Diese Bruchsysteme bilden die Aufstiegswege für warme Wässer, die aus der Tiefe kommen und als Thermalquellen in Baden, Bad Vöslau, Bad Fischau und Mannersdorf zum Austritt gelangen. Der größte Teil der Oberfläche des Südlichen Wiener Beckens wird von einer dünnen Decke von Pleistozän-Schottern, -Sanden und -Tonen mit Mächtigkeiten von wenigen Dezimetern bis 20 m gebildet. Wie in Abb. 2 gezeigt, erreichen die Pleistozän-Ablagerungen maximale Mächtigkeiten um 150 m in der Mitterndorfer Senke. Gegen Ende des Pleistozän überlagerten Schwarza- und Piestingfluß mit ausgedehnten Schotterkegeln den südlichen und westlichen Teil des Beckens.

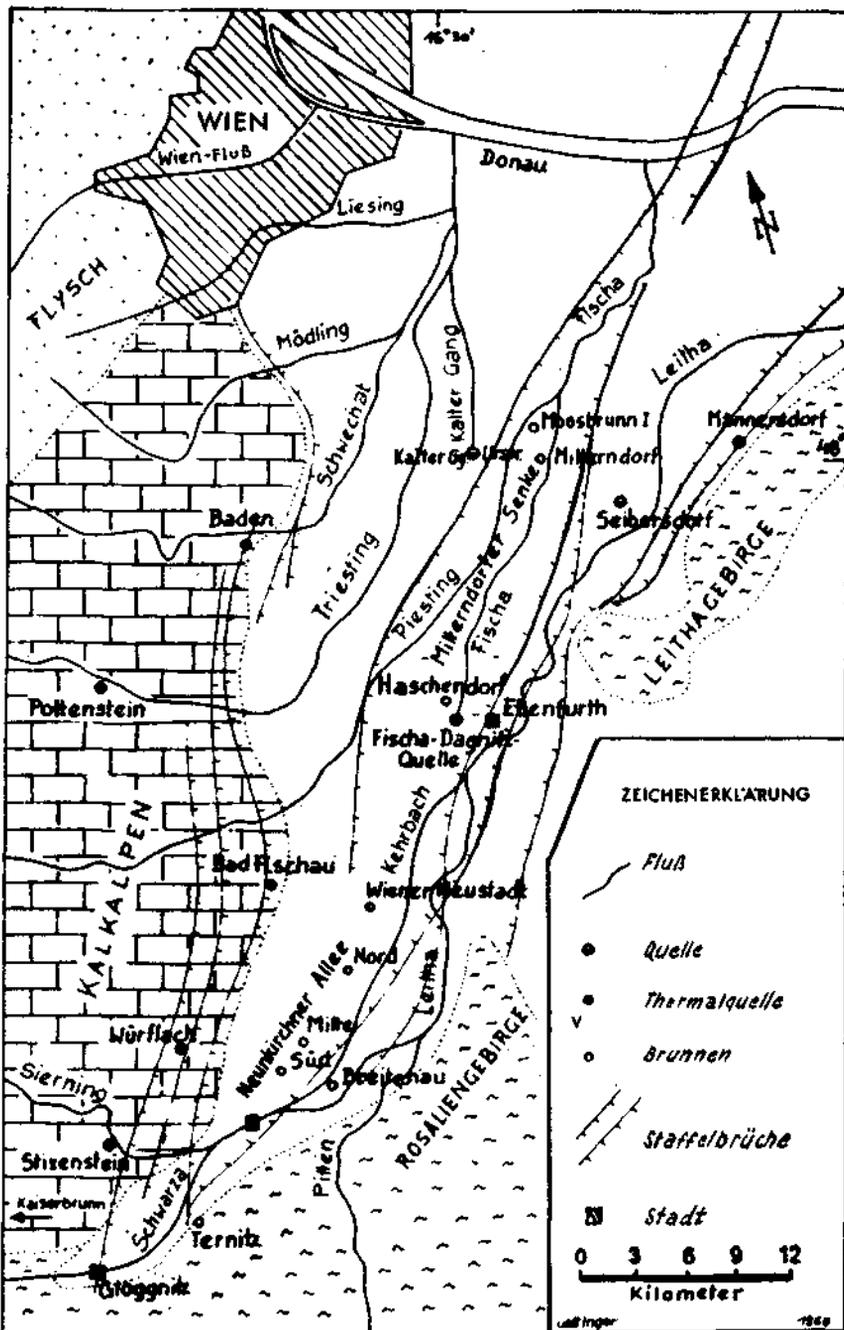


Abb. 1: Schematische geologische Karte des Südlichen Wiener Beckens. Erläuterungen im Text.

Der Grundwasserspiegel liegt im Becken in Tiefen zwischen 0,5 und 40 m. Die tertiäre Beckenfüllung besteht jedoch weitgehend aus kaum durchlässigen Tonen, die nur einen sehr langsamen Wasserdurchgang ermöglichen. Die gelegentlichen Sandeinlagerungen im Tertiär enthalten artesisches Wasser, das jedoch nicht im hydraulischen Zusammenhang mit dem überlagernden Pleistozän steht. Der Hauptgrundwasserkörper liegt in den stark durchlässigen pleistozänen Sanden und Schottern, vor allem in der Mitterndorfer Senke, wo diese Ablagerungen ihre größte Mächtigkeit erreichen, ebenso im Neunkirchner Trog südwestlich der Senke, speziell im Raum südwestlich Wiener Neustadt.

Hydrologie

Wie oben beschrieben, stellen die grobkörnigen fluviatilen Ablagerungen des Neunkirchner Troges und der Mitterndorfer Senke die Hauptgrundwasserreservoirs des Südlichen Wiener Beckens dar. Im übrigen liegen im Becken feinkörnige Tertiärablagerungen in geringer Tiefe, die weitgehend marinen Ursprungs sind und infolge ihrer geringen Durchlässigkeit und langsamen Wasserdurchganges nur geringe Brunnenergiebigkeiten aufweisen.

Die fluviatilen Ablagerungen des Neunkirchner Troges und der Mitterndorfer Senke bilden sowohl das Hauptgrundwasserreservoir als auch die wesentliche Durchflußzone der Grundwasserbewegung im Südlichen Wiener Becken. Die Füllung der Senke wirkt recht ähnlich einer Pipeline, indem sie das Wasser vom Haupteinzugsgebiet südwestlich Wiener Neustadt direkt zu oberflächlichen Wasseraustrittsstellen im nördlichen Teil des Beckens weiterleitet.

Die grobkörnigen Ablagerungen des Hauptgrundwasserkörpers werden vornehmlich durch Infiltration von Oberflächenwasser aus Flüssen gespeist, welche die Beckenoberfläche durchqueren, und aus Kanälen, die von den größeren Flüssen abzweigen. Im südwestlichen Teil des Wiener Beckens, etwa südwestlich der Linie von Ebenfurth, liegt der Grundwasserspiegel allgemein tiefer als 3 m unter der Oberfläche, und es besteht die Möglichkeit von direkter Einspeisung von Oberflächenwässern. Hingegen liegt in den nördlichen zwei Dritteln des Beckengebietes der Grundwasserspiegel nahe unter der Oberfläche, und an tiefergelegenen Punkten kommt es zu Grundwasseraustritten. Dieser Grundwasserabfluß ist sehr bedeutend und bildet einen wesentlichen Anteil des oberflächlichen Abflusses während eines Großteils des Jahres.

Die Niederschläge im Südlichen Wiener Becken sind gering, sie machen nur 500—700 mm im Jahresdurchschnitt aus; dementsprechend ist auch die Einspeisung durch Niederschlagswässer gering. Das ist von spezieller Bedeutung für den Tritium-Zyklus, weil die Periode der Fallout-Maxima April bis August mit einem Minimum an Einspeisung durch Infiltration von Niederschlagswässern zusammenfällt. In den meisten Jahren reicht die Evapotranspiration aus, die Sommerniederschläge aufzuwiegen. Wie jedoch später noch erläutert wird, gibt es in Jahren mit außergewöhnlich hohen Sommerniederschlägen, wie 1965, bedeutende Infiltration von Niederschlagswässern im Beckengebiet.

Eine weitere Einspeisungsmöglichkeit stellen unterirdische Zuflüsse von den angrenzenden Gebirgszügen dar. Leitha- und Rosaliengebirge im Südosten zeigen wenig durchlässige kristalline Gesteine, die stellenweise von tertiären marinen Sedimenten bedeckt werden, die größtenteils ebenfalls geringe Durchlässigkeit besitzen. Unterirdischer Wassereinzug von der südöstlichen Begrenzung kann daher als nicht nennenswert angenommen werden. Im Nordwesten liegen die Kalkalpen, ein Gebiet mit hohen Niederschlagswerten (bis 2000 mm Jahresdurch-

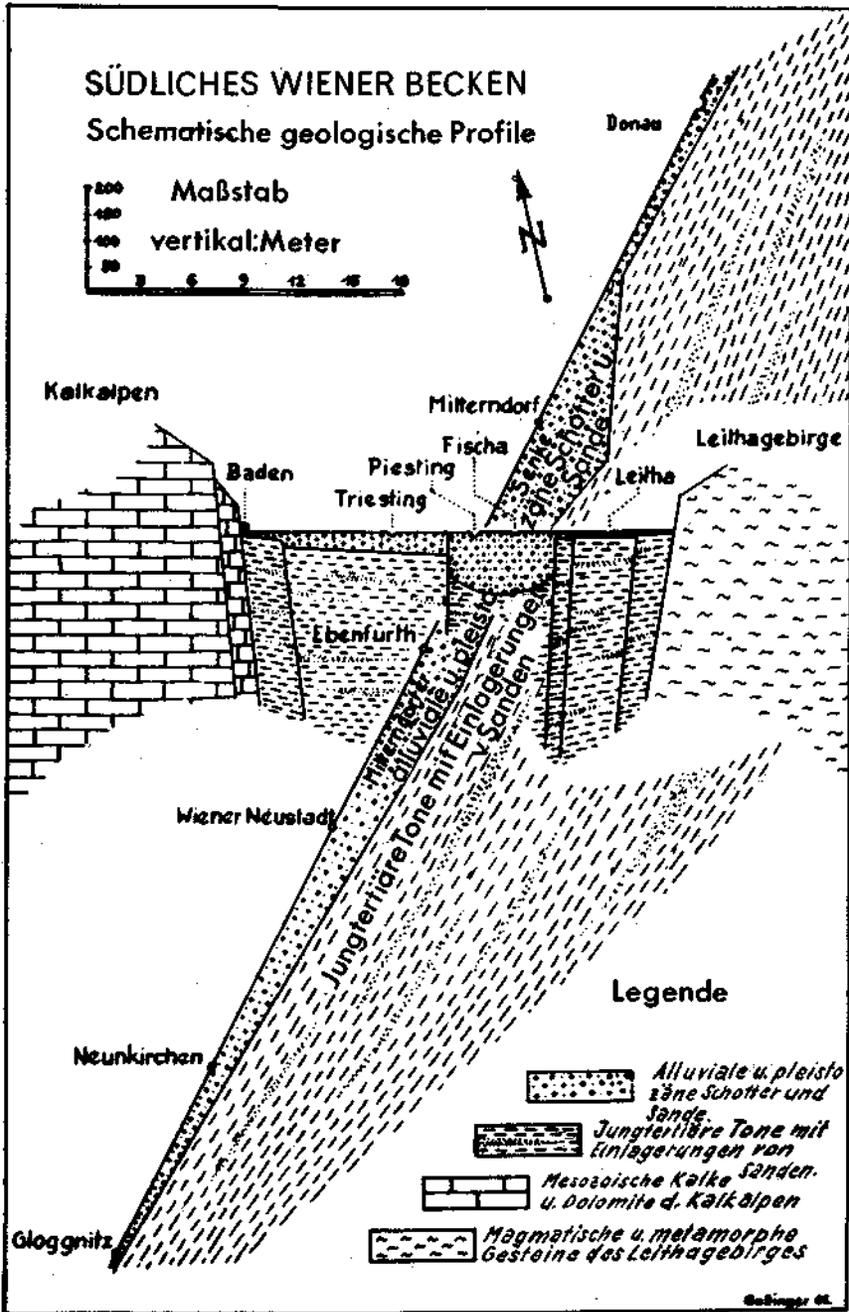


Abb. 2: Schematische geologische Profile durch das Südliche Wiener Becken.

schnitt), in dem sehr rascher Wasserdurchgang durch Lösungshohlräume in Kalksteinen erfolgt. Zahlreiche große Karstquellen speisen Flüsse in den Kalkalpen; so schüttert z. B. Kaiserbrunn 140—2200 l/sec, Stixenstein-Schloßquelle 55—300 l/sec und die Würflacher Frauenquelle angeblich bis zu 3000 l/sec. Es wäre daher die Möglichkeit von unterirdischen Zuflüssen von den Kalkalpen her gegeben. Doch treten an der Grenze Wiener Becken—Kalkalpen kaum durchlässige marine Sedimente den Kalkgesteinen gegenüber, wodurch die Möglichkeit unterirdischer Zuflüsse beträchtlich reduziert wird. Außerdem zeigt eine Reihe von Thermalquellen großer Schüttung entlang der Begrenzungszone an, daß Wässer, welche in der Tiefe der Kalkalpen zirkulieren, an den begrenzenden Störungen zum Aufsteigen an die Oberfläche gezwungen werden, was nahelegend erscheinen läßt, daß es nur wenig unterirdische Wasserbewegung geben kann, die über die Grenzzone hinweg wirksam ist.

Entlang dem Nordrand des Südlichen Wiener Beckens verläuft eine niedrige Hügelkette parallel zur Donau. Diese Hügel liegen im Bereich einer Hochstruktur unterlagernder Tertiärsedimente von geringer Permeabilität. Diese bilden eine wirksame Barriere für den Grundwasserabfluß, und die einzigen tatsächlichen Wasseraustritte aus dem Beckenbereich erfolgen durch zwei diese Hügel durchschneidende Flüsse, nämlich die Schwechat und die Fischa, sowie durch die Leitha, welche die Hügel an der Ostbegrenzung des Beckens durchbricht.

Dem hydraulischen Gradienten entsprechend bewegt sich das Grundwasser vom Einzugsgebiet in nordöstlicher Richtung abwärts und kommt in der nördlichen Hälfte des Beckens durch Oberflächengerinne zum Abfluß. Der Abfluß der Fischa besteht tatsächlich fast zur Gänze aus Grundwasseraustritten, da der Fluß im Beckenbereich entspringt und nur einen kleinen Zubringer hat, der überhaupt oberflächlich einziehendes Wasser vom Gebirge her zu bringen imstande ist. Grundwasser kommt im ganzen nördlichen Teil des Beckens in natürlichen und künstlichen Gerinnen sowie an verschiedenen Stellen großer Austritte, die „Überläufe“ genannt werden, zum Abfluß.

Obwohl das obige Bild sehr gut die bisherigen Kenntnisse der hydrologischen Erscheinungen wiedergibt, sind einige Punkte noch Gegenstand weiterer Überprüfung, so z. B. ob es nennenswerte unterirdische Zuflüsse zu m und Abflüsse aus dem Becken gibt oder nicht. Auf Grund der gegenwärtigen Kenntnisse scheint jedoch eine einfache hydrologische Situation gegeben, in welcher der wesentliche Wassereinzug und -abfluß durch Flüsse erfolgt, und die einzigen übrigen Faktoren, mit denen in der hydraulischen Bilanz zu rechnen ist, Einspeisung durch Niederschlag und Wasserverlust durch Evapotranspiration sind.

Obwohl das allgemeine Bild unkompliziert erscheint, sind die Wechselbeziehungen zwischen Oberflächenwässern und Grundwässern innerhalb des Beckens äußerst komplex. Im oberen Teil des Beckens, wo der Grundwasserspiegel tief liegt, erfolgt die Grundwassereinspeisung fast durchwegs entlang Flußläufen und einem Netzwerk von Kanälen, die Wasser von den Flüssen abziehen. Außerdem bilden hier die Böden stark durchlässige Auflagen auf grobem Schottermaterial, was einen raschen Einzug von Niederschlagswässern gestattet. Im tieferen Beckenteil, in dem der Grundwasserspiegel seicht liegt, existiert ein ähnlich kompliziertes Netzwerk von Flüssen und Kanälen, dazu noch ein Netz von Drainagegräben, die zu den Flußläufen abziehen. Obwohl im ganzen tieferen Beckenteil der Grundwasserspiegel seicht liegt, gibt es trotzdem reichlich Gelegenheit für lokale Infiltration von Oberflächen- und Niederschlagswässern.

Voraussichtlich ist der unterirdische Fließweg allgemein kurz, reicht aber doch vom Einspeisungspunkt bis zum nächsten Oberflächengerinne. Infolge der Kompliziertheit des Drainagesystems möchte es scheinen, daß relativ gute Durchmischung der Wasser stattfindet, zumindest im obersten Teil der Sättigungszone des gesamten Beckens. Wie später noch zu erläutern sein wird, beschränkt die Schichtung der fluviatilen Ablagerungen die Durchmischung offenbar auf den oberen Teil der Sättigungszone.

Tritium-Probenprogramm

Im Anschluß an eine dreimonatige Voruntersuchung im Sommer 1964 wurden Probenpunkte für ein langfristiges Tritiumanalysen-Programm von Grundwässern des Südlichen Wiener Beckens ausgewählt, das im April 1965 begann. Von diesem Zeitpunkt an wurden nach Tunlichkeit monatliche Grundwasserproben von 22 Probestellen gezogen. Diese umfaßten 10 Brunnen, 3 Thermalquellen, 5 kalte Quellen und 4 „Überläufe“ — große Grundwasseraustritte im Gebiet des Beckens. Die Lage der Probenpunkte ist in Fig. 1 dargestellt. Die Brunnen und Überläufe liegen sämtlich im Beckengebiet und repräsentieren Wasser des Hauptgrundwasserkörpers Neunkirchner-Trog—Mitterndorfer Senke. Die drei Thermalquellen liegen an Randstörungen des Beckens; zwei davon — Baden und Bad Fischau — am Westrand, Mannersdorf am Ostrand. Zu den kalten Quellen zählen vier, die im verkarsteten Kalk der Kalkalpen entspringen und eine (Seibersdorf), die im Gebiet des Beckens außerhalb der Begrenzungslinie der Mitterndorfer Senke austritt. Die Schwankungen im Tritiumgehalt in Abhängigkeit von der Zeit sind in den Abbildungen 3 bis 6 gezeigt.

Bei der Auswahl der Probenpunkte wurde getrachtet, Stellen heranzuziehen, die entweder der Wasserversorgung dienen oder sonst ständigen Durchfluß aufweisen, um sicherzugehen, daß die Proben für den Entnahmegrundwasserkörper auch tatsächlich repräsentativ sind.

Tritium-Schwankungen

Die Proben sämtlicher Entnahmestellen zeigten entsprechend einer dreimonatigen Periode übermäßiger Niederschläge vom April bis Juli 1965 deutlichen Anstieg der Tritiumgehalte. Hinsichtlich der Tritium-Schwankungen können die Entnahmestellen generell in drei Gruppen eingeteilt werden: Entnahmestellen, wo eine Beeinflussung des Grundwassers durch hohe Tritiumgehalte der Niederschläge zu erwarten ist; solche, wo eine derartige Beeinflussung nicht zu erwarten ist; und schließlich eine Kategorie, wo eine Beeinflussung nicht notwendigerweise zu erwarten, aber auch nicht überraschend ist.

Die Entnahmestellen, wo eine Beeinflussung zu erwarten war, umfassen die Karstquellen, die in Abb. 3 eingezeichnet sind. Kaiserbrunn und Stixenstein sind Quellen großer Schüttung, die für die Wasserversorgung Wiens genützt werden. Die Tritium-Ganglinie von Kaiserbrunn stimmt eng mit dem Tritiumgehalt der Niederschläge in Wien überein, nur sind die Maxima und Minima weniger betont. Dieser Dämpfungseffekt beruht vermutlich teilweise auf Speicherung der Winter- und Frühjahrs-Niederschläge als Schnee im Gebirge oberhalb Kaiserbrunn, kann aber teilweise auch eine Speicherwirkung des unterirdischen Karstsystems widerspiegeln, aus dem der Kaiserbrunn gespeist wird. Durch Färberversuche ist bekannt (1), daß die minimale Durchgangsgeschwindigkeit vom Einzugsgebiet auf dem Schneeberg-Plateau, 1500 m höher gelegen als der Kaiserbrunn und 3,6 km von ihm entfernt, nur 16 Stunden beträgt.

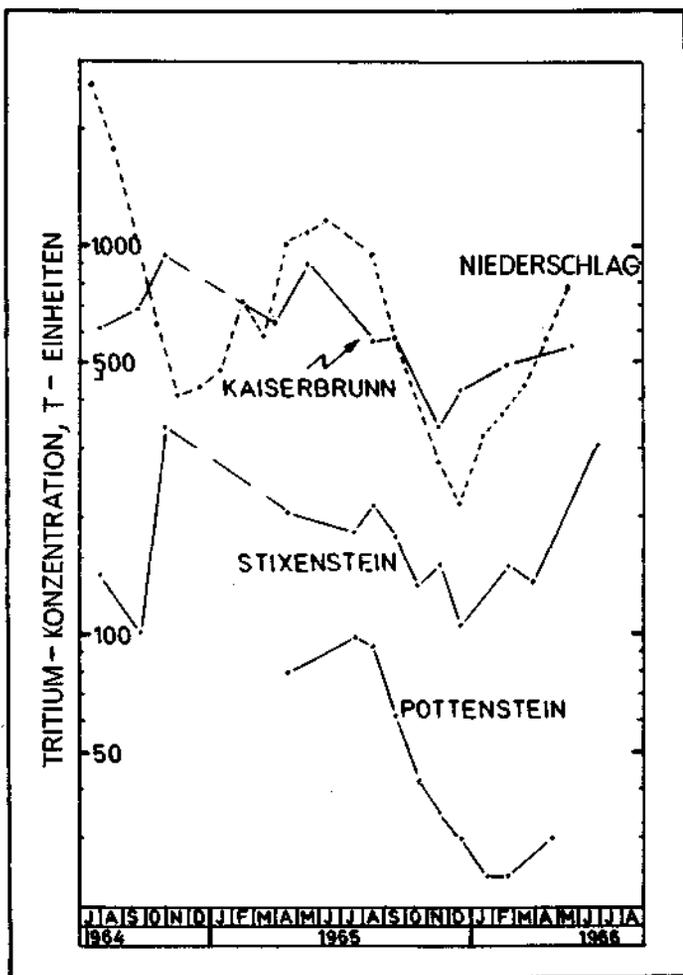


Abb. 3: Tritiumschwankungen in Karstquellen der Kalkalpen und im Regen von Wien, 1964—1966.

Der Tritium-Gehalt von den Quellen von Stixenstein und Pottenstein zeigt ähnliche Tendenz, indem er ein Winter-Minimum und ein Sommer-Maximum aufweist, doch liegt er bei diesen Wässern viel tiefer. Für die Monate, von denen Analysenwerte von allen drei Quellen vorliegen, beträgt der Tritiumgehalt für Stixenstein 25 bis 45%, der von Pottenstein 5 bis 16% des Tritiumgehaltes von Kaiserbrunn. Wie zu erwarten ist, entsprechen die niedrigen Prozentanteile den Winter-Minima an Tritium, die höchsten Prozentanteile den Frühjahrs- und Sommer-Spitzen. Unter der Voraussetzung eines einfachen Modells für das Durchflußsystem, in dem die Wässer von Stixenstein und Pottenstein eine Mischung aus dem Einzug des laufenden Jahres (wie das Kaiserbrunn-Wasser) und älteren, langsamer zirkulierenden Wässern sind, kann vom oben angeführten Prozentsatz angenommen werden, daß er den Anteil an Einzug des

laufenden Jahres an der Quellschüttung darstellt. Demgemäß kam der größte Prozentsatz an Einzug des laufenden Jahres während der Periode übermäßiger Niederschläge im späten Frühjahr und Sommer 1965 zustande.

Die Tritiumschwankungen in den Thermalquellen des Südlichen Wiener Beckens bilden einen besonders interessanten Fall. Zufolge der thermalen und chemischen Eigenschaften wurde vor Einsetzen der Tritiumanalysen angenommen, daß die Quellen Austritte von tief zirkulierenden Grundwässern im Kalksystem des angrenzenden Gebirges darstellen. Die Tritiumanalysen zeigen jedoch, daß zu allen Zeiten ein moderner Anteil in den Thermalwässern vorhan-

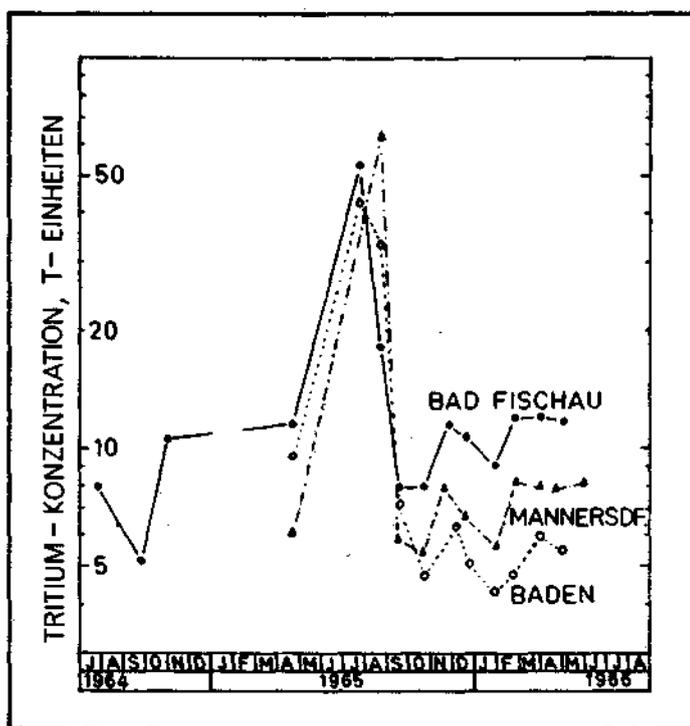


Abb. 4: Tritiumschwankungen in Thermalquellen an den Rändern des Südlichen Wiener Beckens, 1964—1966.

den ist. Das Badener Wasser wies z. B. den größten Teil des Jahres 4 bis 6 T. U. (Tritium-Einheiten) auf, während die vergleichbaren Werte für Mannersdorf bei 5 bis 8 T. U. und für Bad Fischau bei 8 bis 12 T. U. lagen (Abb. 4). Darüber hinaus stieg der Tritiumgehalt während des Sommers 1965 in den Quellen auf Maximalwerte von 43 T. U. in Baden, 53 T. U. in Bad Fischau und 63 T. U. in Mannersdorf (ein Monat später als in Baden und Bad Fischau). Dieser Anstieg ist zweifellos auf lokale Einspeisung hoher Tritiumgehalte während des späten Frühjahrs 1965 zurückzuführen. Eine ^{14}C -Analyse einer Wasserprobe von Baden, die dem Tritium-Minimum des Frühjahrs 1966 entspricht, zeigte 29 Prozent modernen Kohlenstoff in gelöster Form des Karbonats (was einem unkorrigierten scheinbaren Alter von 10.000 ? Jahren ent-

spricht). Die kombinierten Ergebnisse führen zu einem Modell mit zwei oder mehr Ursprungskomponenten des Wassers: einer alten und einer modernen. Das einfachste Modell wäre eines, bei dem altes Tiefenwasser sich mit weichem modernem Wasser mischt, welches periodische Tritiumzuschüsse durch rasche lokale Einspeisung erhält. Die Tritiumkurven aller drei Quellen zeigen scharfen Anstieg im Juli und August 1965, gefolgt von einem Absinken auf den ursprünglichen Tritiumspiegel und sogar etwas tiefer als vor dem Sommeranstieg. Damit wird augenscheinlich, daß der Tritiumzuschuß von Juli-August rasch abgebaut wird, so, als würde der Zufluß rasch wieder abgeführt und hörte wieder auf zu liefern. Dies legt die Annahme eines Modells mit drei Komponenten nahe, in dem eine Mischung stattfindet. 1. von altem Wasser (angezeigt durch den ^{14}C -Gehalt), 2. von Wasser das seit 1954, wahrscheinlich jedoch vor 1963 eingespeist wurde und 3. periodischen Zuschüssen von Wasser des jeweils laufenden Jahres (angezeigt durch den scharfen Anstieg und Abfall im Sommer 1965). Von dieser fraglichen Annahme ausgehend und weiters unter der Annahme, daß der durchschnittliche Tritiumgehalt des Wassereinzuges im Raum von Wien im Zeitraum von 1954 bis 1962 in der Größenordnung von 100 T. U. lag, kann geschlossen werden, daß im Frühjahr 1966 das Wasser von Baden einen Anteil von größenordnungsmäßig 10% an modernem Wasser enthielt, während die übrigen 90%, was Tritium betrifft, als „tot“ zu bezeichnen sind. Bei Gültigkeit all dieser gemachten Annahmen ergibt sich, daß der ^{14}C -Gehalt in karbonatischer Form im alten Wasser um 20% beträgt, was zu einem scheinbaren Alter des Wassers von etwa 13.000 Jahren führt.

Nimmt man an, daß 50% der in der Wasserprobe gelöst vorhandenen karbonatischen Form aus mesozoischen Kalken der Kalkalpen (4) stammen, so ergibt sich für die tiefen Wässer ein Durchschnittsalter von ungefähr 6500 Jahren. Diese Annahme erscheint in diesem Fall angemessen, da im wesentlichen das gesamte, zur Badener Quelle gehörende Einzugsgebiet von alten Karbonatgesteinen aufgebaut wird.

Die Gruppe von Probenpunkten, wo jahreszeitliche Schwankungen des Tritiumgehaltes zwar nicht notwendigerweise zu erwarten, aber auch nicht weiter überraschend waren, umfaßt Brunnen, Quellen und Überläufe von Grundwasser im Beckengebiet. Arbeiten von Zimmermann und anderen (2) haben gezeigt, daß Wasser, welches durch Böden zum Grundwasserkörper einzieht, eine merkliche Dämpfung der Tritium-Spitzen erfährt. Ähnliche Erscheinungen wurden auch anderweitig beschrieben (3). Es wäre nicht unangebracht, entsprechend diesem Phänomen auch eine ausgesprochene Dämpfung der Spitzen des Sommers 1965 zu erwarten, trotzdem zeigen aber die meisten Grundwässer des Südlichen Wiener Beckens einen scharfen Anstieg, der dem Sommer-Maximum 1965 entspricht.

Abb. 5 zeigt die Tritium-Ganglinien von einer Quelle im Beckengebiet (Seibersdorf), zwei Vertikalbrunnen (Wiener Neustadt, Breitenau), zwei Überläufen (Kalter Gang, Fischa-Dagnitz) und einem Horizontalfilterbrunnen (Moosbrunn I), der aus einer Tiefe von 23 m entnimmt.

Die Quelle von Seibersdorf und der Brunnen Breitenau (ungenutzt) zeigen mit allgemein hohem Tritiumspiegel (500—700 T. U.) und kleinen relativen Schwankungen ähnliche Tendenz. Beide zeigen Anstiege bis zu Spitzenwerten im Sommer 1965, gefolgt von sanftem Absinken bis Juni 1966. Bei keiner der beiden Probenstellen werden große Wassermengen entnommen. Die Quelle, ein Austritt im Niveau des Grundwasserspiegels, schüttet ungefähr 1 l/min. oder darüber während des größten Teils des Jahres, der Brunnen wird nicht gepumpt. Beide

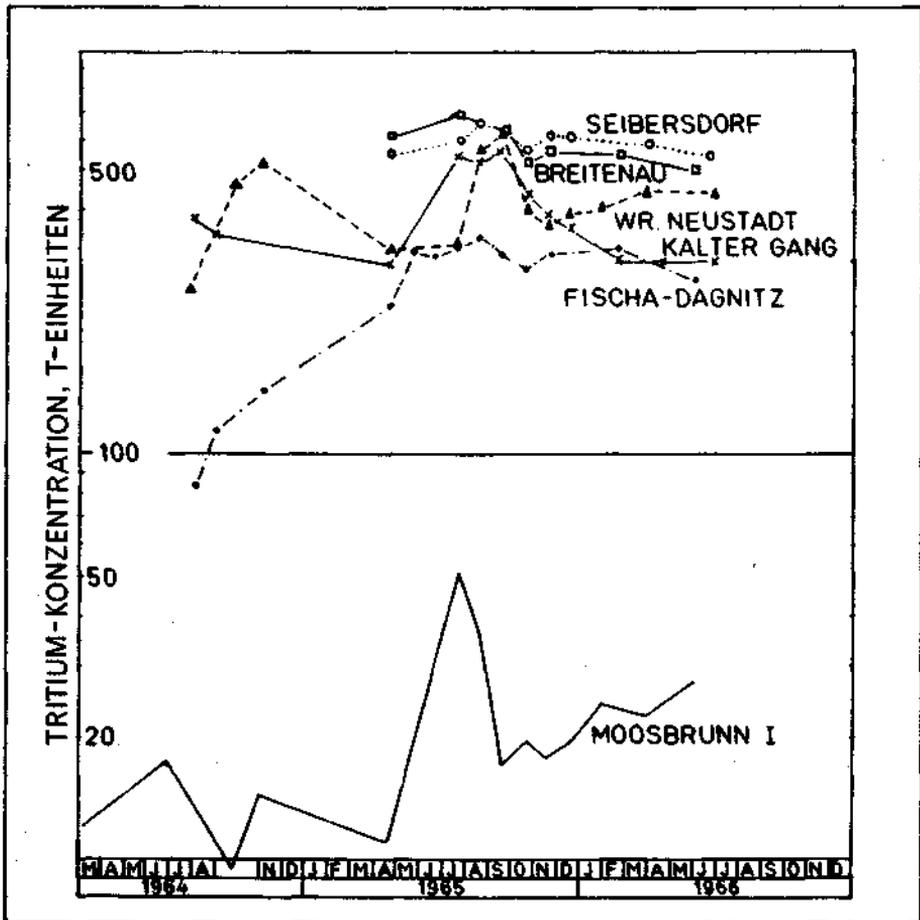


Abb. 5: Tritiumschwankungen ausgewählter Brunnen und Quellen im Südlichen Wiener Becken, 1964—1966.

Probenstellen scheinen die Oberkante der Sättigungszone gerade zu erreichen. Der Brunnen Breitenau ist, wie festgestellt wurde, 21 m tief, der Wasserspiegel liegt bei 12 m unter Gelände. Der hohe Tritium-Gehalt des Wassers stimmt mit der Gegebenheit, daß der Grundwasserkörper gerade noch berührt wird, überein. Der Tritium-Gehalt des Regens in Wien 1965 lag im Durchschnitt bei 700 T. U., und die leichten relativen Schwankungen scheinen mit dem Dämpfungseffekt bei der Infiltration im Zusammenhang zu stehen.

Die anderen Grundwasser-Probestellen im Beckengebiet zeigen sämtlich deutlichen Anstieg des Tritiums im Sommer 1965. So war beim Brunnen Wiener Neustadt z. B. ein Anstieg von 330 T. U. im Juli auf 562 T. U. im August und 631 T. U. im September zu verzeichnen. Der Tritiumspiegel kehrte bis November auf 370 T. U. zurück, gefolgt von einem sanften Ansteigen. Der 25 m tiefe Brunnen gehört zu einer Gruppe von Brunnen der städtischen Wasserversorgung, die in starkem Pumpbetrieb stehen. Es ist anzunehmen, daß der scharfe Anstieg

des Tritiumgehalts dadurch erfolgt, daß Wasser vom Kehrbach, einem 200 m weiter östlich gelegenen Kanal, der von der Schwarza abzweigt, ins Brunnenfeld eingespeist wird. Obwohl der höchste Tritiumanfall aus dem Regen im Einzugsgebiet im April, Mai und Juni erfolgte, erschienen im Brunnen die höchsten Tritiumwerte erst im August und September. Diese Verzögerung beruht vermutlich auf der Fließzeit des Wassers vom Kanal zum Brunnen. Unvollständige Ganglien des vorangegangenen Jahres lassen vermuten, daß damals die höchste Tritium-Konzentration des Brunnenwassers im Juli und August auftrat.

Die untere Kurve in Abb. 5 stellt einen höchst interessanten Fall dar. Diese Ganglinie stammt von einem Horizontalfilterbrunnen (Moosbrunn I), der das Wasser durch 12 horizontale, 20 m lange Filterrohre bezieht, die von einem zentralen Brunnenschacht in 23 m Tiefe ausgehen. In der Umgebung des Brunnens liegt der Grundwasserspiegel allgemein etwa 2 m unter Gelände. Der Tritiumgehalt der ursprünglich zwischen 9 und 18 T. U. lag, stieg im Juli 1965 auf 52 T. U., betrug im August 36 T. U., sank im September wieder ab auf 17 T. U. und stieg seither wieder langsam an. Diese ausgeprägte jahreszeitliche Schwankung in einer Zone 20 m unter dem Wasserspiegel läßt eine rasche Mischung nach der Tiefe vermuten. Die Ganglinie stimmt mit Ergebnissen einer Bohrung überein, die sich zwei Kilometer südöstlich bei Mitterndorf befindet und die während des Abteufens bemustert wurde. Sie soll später noch besprochen werden. Es kann jedoch die Einspeisung von Wasser mit hohem Tritiumgehalt in 20 m Tiefe unter dem Wasserspiegel auch darauf zurückzuführen sein, daß der Brunnen zu Versuchszwecken seit seiner Errichtung 1963 zeitweise im Pumpbetrieb stand. Es muß jedoch bemerkt werden, daß in diesem Gebiet 1965 nur sehr wenig gepumpt wurde, was zu der Annahme führt, daß der Sommeranstieg doch auf 1965 stattgefundene Infiltration von nahegelegenen Oberflächengraben zurückzuführen ist. Zwei weitere Horizontalfilterbrunnen in dieser Gegend zeigen ähnliche Tritiumschwankungen.

Die Kurven, die in Abb. 5 mit Kalter Gang und Fischa-Dagnitz bezeichnet sind, stammen von großen Grundwasserüberläufen im Beckengebiet, welche die Ursprünge von Flüssen gleicher Namen bilden. Beide Probenstellen zeigten deutlichen Anstieg des Tritiumgehaltes im Frühjahr-Sommer 1965, obwohl ihre Tendenzen im übrigen bemerkenswert unterschiedlich sind. Der Kalte Gang zeigte — wie viele andere Grundwasser-Probestellen auch — einen scharfen Anstieg im Tritiumgehalt von 293 T. U. im April, erreichte einen Höchstwert von 565 T. U. im September und sank dann bis zum Frühjahr 1966 wieder auf den Ausgangswert ab, wodurch als gegeben erscheint, daß der hohe Tritiumzuschuß, der im Frühjahr-Sommer 1965 zum Einzug gelangte, bis zum April 1966 wieder abgeströmt war. Demgegenüber zeigt die Fischa-Dagnitz ein anderes Bild. Der Tritiumgehalt, der hier von August bis November 1964 von 85 auf 146 T. U. gestiegen war, hielt bei 233 T. U., als im April 1965 die Probenentnahmen wieder aufgenommen wurden. Der Anstieg hielt an bis zu einem Höchstwert von 345 T. U. im August, aber danach blieb der Tritiumspiegel relativ hoch, sein Rückgang erreichte nur 271 T. U. bis zum Juni 1966. Der Unterschied in den Tendenzen vom Kalten Gang und der Fischa-Dagnitz scheint in der deutlichen Verschiedenheit ihrer Einzugs-Regimes zu liegen. Der Kalte Gang liegt bereits ausgesprochen im Abflußgebiet des Hauptgrundwasserkörpers, wogegen Fischa-Dagnitz gerade im Grenzbereich des Einzugsgebietes liegt. Fischa-Dagnitz ist wegen der Konstanz ihrer chemischen Eigenschaften (5) und Temperatur bemerkenswert, hingegen zeigt der Kalte Gang deutliche jahreszeitliche Tempera-

turschwankungen, wobei die Sommerschüttung um 3°C wärmer ist als die Winterschüttung. Offenbar nimmt der Kalte Gang während des Sommers mehr direkten Einzug von der Oberfläche her auf, während die Fischa-Dagnitz eher den Hauptgrundwasserkörper repräsentiert. Der niedrige Tritiumspiegel vom Frühjahr 1964 scheint Wasser zu repräsentieren, das vor 1962 eingespeist wurde. Der scharfe Anstieg vom Frühjahr 1965 bis März 1966 scheint das Eintreffen des Tritium-Impulses von 1962 bis 1963 darzustellen. In dieser Hinsicht gibt eine Bohrung weitere Informationen, die in der Nähe, und zwar bei Haschendorf, im Frühjahr 1966 niedergebracht wurde. Proben, die während der Bohrarbeiten (Februar—März 1966) genommen wurden, zeigten 225 T. U. bei 6 m

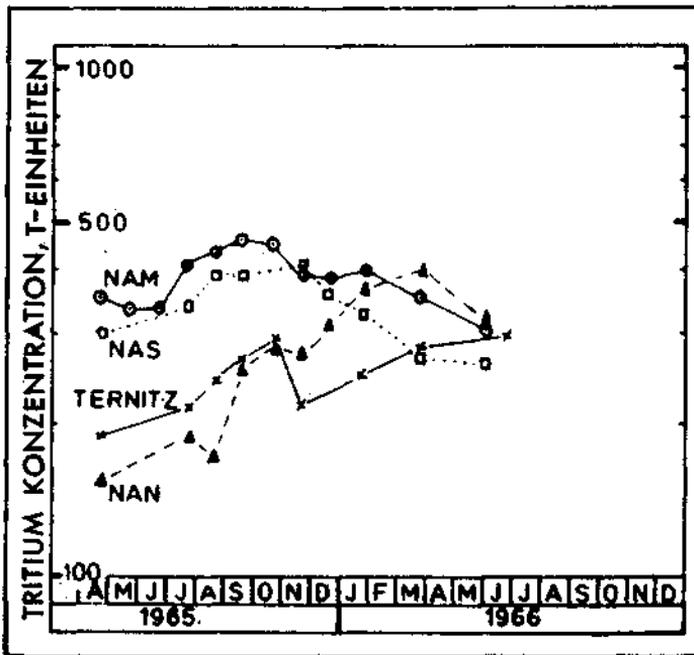


Abb. 6: Tritiumschwankungen in Brunnen des Haupteinzugsgebietes des Südlichen Wiener Beckens, 1965—1966.

Tiefe, 169 T. U. bei 12,4 m, 67 T. U. bei 41 m und 30 bis 45 T. U. in 7 Proben unterhalb dieser Tiefe bis zur Endteufe bei 117 m. Somit lag der Austritt der Fischa-Dagnitz zu der Zeit, als die Bohrung abgeteuft wurde, um 100 T. U. höher als das Wasser aus 6 m Tiefe, was zur Annahme führt, daß der Quellaustritt weitgehend aus einer Zone gespeist wurde, die oberhalb 6 m liegt.

Abb. 6 illustriert die Tritiumtendenzen in Brunnen, die im Haupteinzugsgebiet am Südwestende des Beckens liegen. Drei dieser Brunnen, nämlich Neunkirchner Allee Nord (NAN), Neunkirchner Allee Mitte (NAM) und Neunkirchner Allee Süd (NAS) liegen entlang einer geraden Überlandstraße zwischen Neunkirchen und Wiener Neustadt. Der andere Brunnen, TERNITZ, befindet sich grob gesprochen in der Verlängerung dieser Linie, jedoch jenseits des Schwarzaflusses. Alle diese Brunnen liegen stromaufwärts von Kanälen und Schwarzafluß, und bei allen übersteigt die Tiefe bis zum Wasserspiegel 20 m. Alle stehen

in Gebrauch für kleine Versorgungsanlagen, sind also aktiv, aber nicht in starken Pumpenbetrieb. Die drei Neunkirchner-Allee-Brunnen wurden als Probenpunkte ausgewählt, weil sie entlang der Hauptströmungsrichtung des Grundwassers liegen, die sich aus Grundwasserschichtlinien ergab. Es war zu hoffen, daß Tritium-Impulse vom stromaufwärts liegenden Schwarzafluß bei ihrem Durchgang durch die Brunnen aufzuspüren sein würden und es ermöglichen müßten, die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers zu berechnen. Die bisherigen Werte haben diesem Zweck nicht entsprochen, es haben sich jedoch einige andere sehr interessante Auswirkungen gezeigt. Obwohl alle vier Brunnen während des Sommers 1965 einen Anstieg des Tritiumgehaltes zeigten, waren ihre Tendenzen doch deutlich voneinander verschieden, und im Juni 1966 schienen alle wieder einem gemeinsamen Wert zuzustreben.

Als im April 1965 die Probenentnahme begann, umfaßte der Tritiumgehalt z. B. eine weite Spanne von Süd nach Nord. Ternitz 189 T. U., NAS 300, NAM 357, NAN 154 T. U. Somit lagen die beiden Endpunkte der Linie im Vergleich zu den beiden inneren Brunnen niedrig. Auch weiterhin zeigen die beiden inneren Brunnen ähnliche Tendenzen, indem sie im September und Oktober bis zu Höchstwerten von etwa 450 T. U. anstiegen und bis Juni 1966 zu tieferen als den Ausgangswerten absanken. Im Gegensatz dazu begannen die beiden End-Brunnen mit niedrigen Werten, um dann einen allgemeinen Anstieg bis März 1966 zu zeigen mit der Andeutung eines gleichbleibenden Tritiumspiegels bzw. Absinkens desselben von März bis Juni. Das eigenartige an den vier Ganglinien ist, daß sie, obwohl mit gänzlich verschiedenen Werten einsetzend, mit Juni 1966 einen gemeinsamen Wert irgendwo zwischen 260 und 300 T. U. anzustreben scheinen. Das könnte andeuten, daß im oberen Teil der Sättigungszone dieses Einzugsgebietes eine allgemeine Durchmischung stattfindet, für eine erschöpfendere Erklärung wird man aber die Ergebnisse weiterer Probenuntersuchungen abwarten müssen.

Abb. 7, welche Niederschlag und Tritiumgehalt des Regens von Wien zeigt, soll die oben getroffene Feststellung hinsichtlich kurzfristiger Tritiumeinspeisung zum Grundwasser im Frühjahr—Sommer 1965 untermauern. Besondere Beachtung verdienen dabei die mittleren monatlichen Niederschläge (44 mm), angedeutet durch einen Strich an der linken Seite der Tabelle, und die monatlichen Gesamtniederschläge für April bis August 1965. Der Tritiumgehalt der Schwarza, seit August 1965 am oberen Ende des Südlichen Wiener Beckens bei Gloggnitz bemustert, wurde eingetragen, um die Unterschiede im Tritiumgehalt zwischen dem wichtigsten Lieferanten der oberflächlichen Einspeisung und den Niederschlägen aufzuzeigen. Die kurze verfügbare Ganglinie zeigt eine deutliche Dämpfung des Tritiumgehaltes im Gerinnesystem.

Ein Vergleich der Niederschläge von 1965 mit der nach der Thornthwait-Methode berechneten potentiellen Evapotranspiration für Wiener Neustadt zeigt die Wahrscheinlichkeit wesentlicher Grundwasserspeisung durch direkte Infiltration von Niederschlägen im Frühjahr 1965. Tabelle 1 gibt die monatlichen Werte für April—September 1965.

Es wird ersichtlich, daß in einem normalen Jahr die Wahrscheinlichkeit, daß die Frühjahrs- und Sommer-Niederschläge die potentielle Evapotranspiration übersteigen, sehr gering ist oder, anders ausgedrückt, daß die potentielle Evapotranspiration die Niederschläge gewöhnlich übersteigt. Im Gegensatz dazu hielten sich im ganzen Sommer 1965 Niederschläge und potentielle Evapotranspira-

tion fast die Waage, und im April 1965 überstiegen die Niederschläge um 125 mm die potentielle Evapotranspiration.

Tab. 1. Niederschlag und potentielle Evapotranspiration von Wiener Neustadt für April—September 1965

Monat	Monatliche Niederschläge (mm)		Potentielle Evapotranspiration (mm)	Niederschlagsüberschuß (mm)	
	Normal (1901 bis 1950)	1965		Normal	1965
	April	50		198	73
Mai	65	112	110	-45	2
Juni	80	114	142	-62	-28
Juli	85	172	168	-83	4
August	75	74	147	-72	-73
September	64	47	93	-29	-46

Der Sommer 1965 kann daher, was die Niederschlagsmengen betrifft, als ein Ausnahmefall angesehen werden. Diese Tatsache wird auch durch die Niederschlagsganglinien bestätigt. Ohne eine Hypothese über Verteilungsfunktionen von Sommerniederschlägen aufstellen zu wollen ist ersichtlich, daß während der Beobachtungszeit von 1901 bis 1950 der in Wiener Neustadt im Mai 1965 beobachtete Niederschlagswert nur zweimal überschritten wurde. Auch wenn man die Periode von Mai bis August in Betracht zieht, zeigt sich, daß die Gesamtniederschläge der 4 Monate während der 50jährigen Beobachtungszeit nur zweimal erreicht bzw. überschritten wurden.

Es erscheint daher vertretbar, anzunehmen, daß die Frühjahrs- und Sommerniederschlagsmengen, wie sie 1965 auftraten, eine Rekurrenzperiode von etwa 25 Jahren haben. Auf diese Weise war im ersten Jahr der Probenentnahme die einmalige Gelegenheit einer großen Eingangsmenge ins Grundwasserreservoir gegeben.

Veränderungen des Tritiumgehalts mit der Tiefe

Die Ausführung zweier Testbohrungen im Zusammenhang mit hydrologischen Untersuchungen österreichischer Stellen*) gab Gelegenheit zur Bestimmung von Unterschieden im Tritiumgehalt in Abhängigkeit von der Tiefenlage. Die Bohrung Mitterndorf, abgeteuft im Juni—September 1965, wurde an 17 Punkten von 2—150 m Tiefe bemustert. Es wurden jedoch nur 8 Proben nach ausgiebigem Pumpen gezogen, die übrigen hauptsächlich während der Bohrung, so daß sie wegen möglicher Oberflächenkontamination zweifelhaft sind. Die Bohrung Haschendorf, ausgeführt im Februar—März 1966, wurde in 10 verschiedenen Tiefen zwischen 6 und 117 m während der Bohrarbeiten und nach Pumpung bemustert. Die Tritium-Ergebnisse sind, soweit sie hinsichtlich Kontamination als zweifelsfrei gelten können, in Abb. 8 dargestellt. Die Kurven beider Bohrlöcher zeigen starke Abnahme des Tritiumgehalts bis zu einer bestimmten Tiefe, und unterhalb dieser ziemlich gleichbleibende niedrige Werte. Im Bohrloch Haschendorf stimmt der Knick der Tritiumkurve mit einem lithologischen

*) Die Bohrungen wurden im Rahmen des Österr. Nationalprogramms für die Internationale Hydrologische Dekade und auf Anregung des Instituts f. Hydraulik der T. H. Wien durchgeführt.

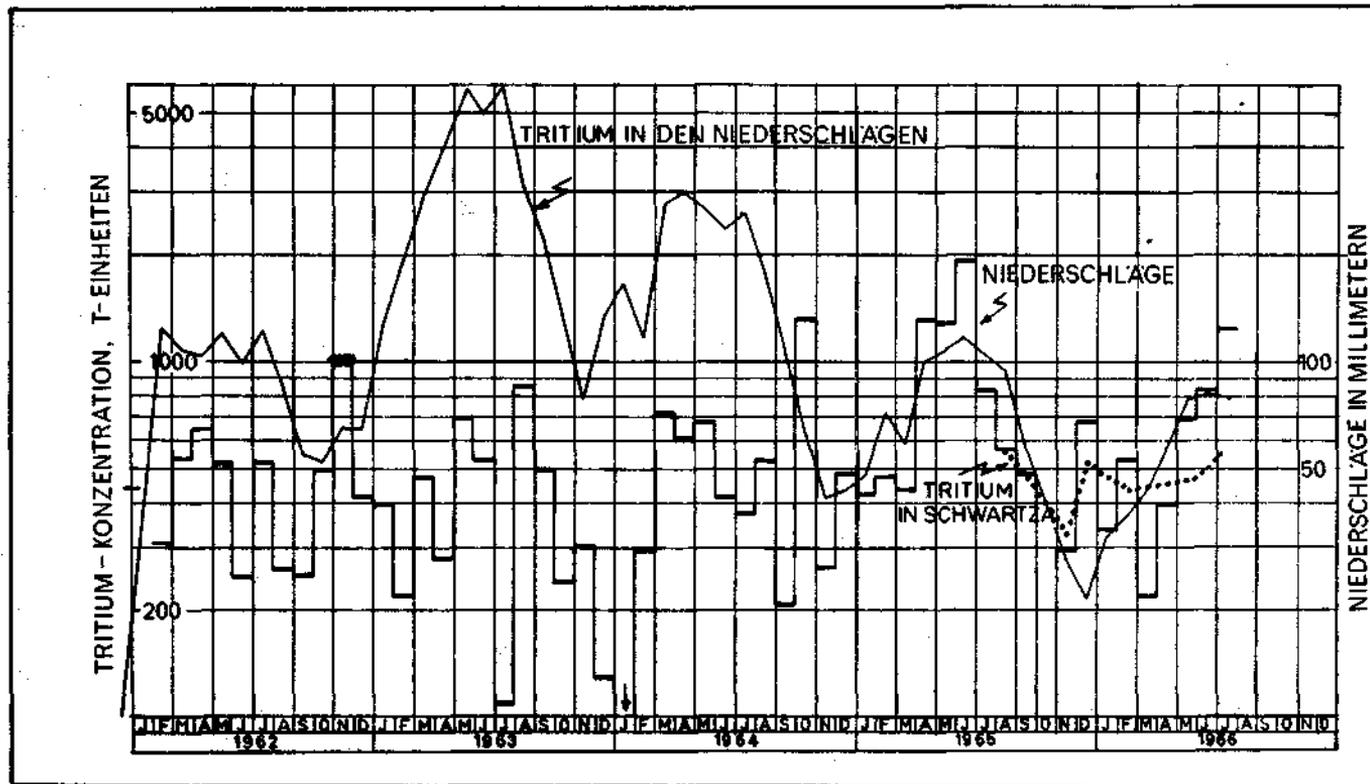


Abb. 7: Monatlicher Niederschlag in Wien, Tritiumschwankungen im Niederschlag von Wien und Tritiumgehalt der Schwarza in Gloggnitz.

Wechsel von grobem unverfestigtem Material oberhalb 44 m zu tonigem, mehr verfestigtem Material unterhalb dieser Tiefe überein. Im Bohrloch Mitterndorf trat ein ähnlich deutlicher lithologischer Wechsel in 53 m Tiefe auf, doch war auch bei 36 m ein weniger deutlicher Wechsel zu tonigem, etwas geschichtetem Material vorhanden, und dieser lag nicht weit unterhalb des Knickes in der Tritium-Kurve. Die stratigraphische Bedeutung dieser lithologischen Veränderungen in den beiden Bohrungen ist noch nicht genau bekannt, doch sind bei der Geologischen Bundesanstalt weitere Detailstudien an Proben im Gange. Die Tritiumkurven aber lassen eine deutliche Trennung des Grundwassers in eine obere Zone mit unvollständiger Durchmischung und in eine tiefere, gut durchmischte Zone annehmen. Dieses Verhältnis kann zur Schätzung der Grundwasserfließgeschwindigkeit in der tieferen Zone genützt werden unter der Annahme, daß von oben her keine Mischung stattfindet.

Die vorhandenen hydrologischen Kenntnisse und die Tritiumdaten weisen darauf hin, daß das Haupteinspeisungsgebiet des Beckens allgemein das Gebiet von Neunkirchen bis Wiener Neustadt darstellt. Geht man von dieser Annahme aus und konstruiert man die Kurven des Tritium-Einganges für dieses Gebiet, dann ist es auch möglich, die Fließgeschwindigkeit vom Einspeisungsgebiet zu den Bohrlöchern zu errechnen. Die Tritiumwerte der Niederschläge in Wien reichen nur bis 1961 zurück, da aber Wien und Ottawa, Kanada, ähnliche Tritiumschwankungen zeigen, ist es möglich, auf Grund der Daten von Ottawa die Werte für Wien bis zurück zum Jahr 1952 zu extrapolieren (6).

Im einfachen Modell zur Errechnung der Fließzeit in der tieferen Zone wurden folgende Grundannahmen gemacht:

1. Daß die Einspeisung im Gebiet Wiener Neustadt—Neunkirchen erfolgt und daß zwischen Wiener Neustadt und den Bohrungen keine Mischung von oben oder seitlich stattfindet.
2. Daß die Einspeisung hauptsächlich durch Schmelze von Schnee erfolgt, der sich vom Dezember bis April im oberen Schwarzabereich in den Kalkalpen ansammelt.
3. Daß der Tritiumgehalt von Wien (für 1952—1961 von Ottawa extrapoliert) repräsentativ für den Schmelzwasserabfluß der Schwarza ist.
4. Daß die Dispersion von Tritium im Grundwasser der Gauß'schen Relation folgt.

Das Ausmaß, in dem diese Annahmen mit der Natur übereinstimmen, begrenzt die Gültigkeit der Schlußfolgerungen, doch dürften sie in Anbetracht des Umstandes, daß weitere Kontrollen und Datenanalysen noch im Gange sind, dem natürlichen Regime einigermaßen gut entsprechen.

Es wurden zur Interpretation der Daten des Wiener Beckens verschiedene Modelle in Betracht gezogen. Eines der einfachsten ist das sogenannte „piston-flow“-Modell der Grundwasserbewegung, welches vollständige Durchmischung im Einzugsgebiet und Übertragung von Tracer-Impulsen ohne Veränderung durch Dispersion annimmt. Dieses ist in Abb. 9 durch die durchgezogene Linie veranschaulicht, wird in diesem Falle jedoch nicht für anwendbar gehalten.

Ein anderes, wohlbekanntes Modell, das bei Tracer-Studien weitgehend Verwendung findet, ist das sogenannte „exponentiell wohldurchmischte Reservoir“, bei dem von der Annahme ausgegangen wird, daß ein in einem gegebenen Jahr verabreichter Impuls sofort mit dem ganzen Reservoir durchmischt wird und sein Wert sich exponentiell als Faktor k (Rezessionskonstante) verringert.

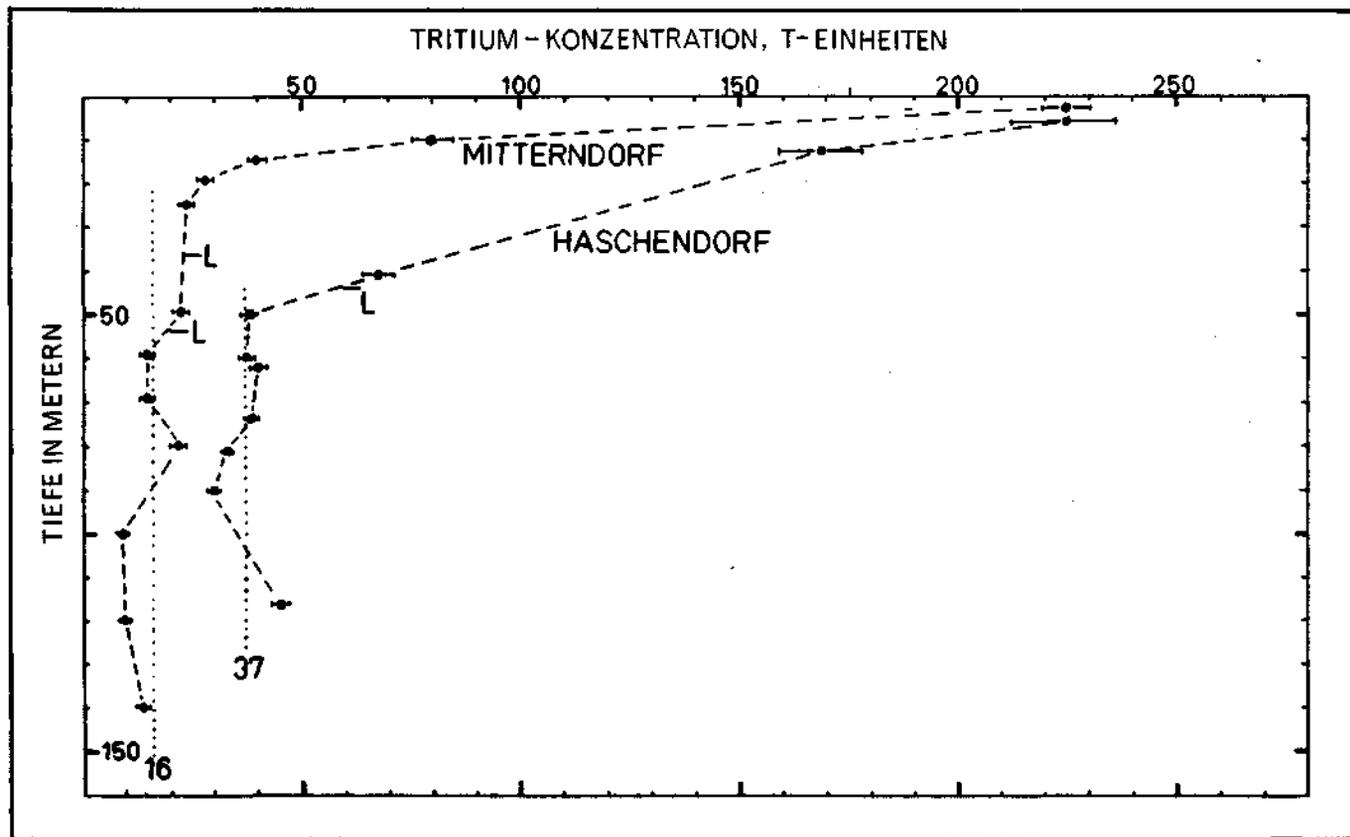


Abb. 8: Tritiumgehalt von Wasserproben, die aus verschiedenen Tiefen während des Abteufens der Untersuchungsbohrungen Mitterndorf und Haschendorf entnommen wurden. „L“ zeigt die Tiefen von lithologischen Veränderungen an.

Obwohl dieses Modell für Studien in Seen sich als sehr nützlich erwiesen hat, erscheint die Annahme der sofortigen Durchmischung für ein Grundwasserreservoir unrealistisch.

Frühere Studien von SCHEIDEGGER (7), DAY (8), RIFAI und anderen (9) und HALEVY und NIR (10) zeigen, daß Tracerverteilung im Grundwasser durch normale Verteilung angenähert werden kann. In dem Fall der tieferen Zone des Hauptgrundwasserkörpers wurde ein Modell eingesetzt, in welchem angenommen wurde, daß die Altersverteilung der Wässer, aus denen sich die Probe zusammensetzt, eine Gauß'sche wäre. Im Falle einer Gauß'schen räumlichen Verteilung eines Tracers kann nachgewiesen werden, daß die Altersverteilung in Proben, die an einem entfernten Punkt dem Grundwasser entnommen werden, annähernd eine Gauß'sche sein wird — sofern die Einspeisung in regelmäßigen Intervallen stattfindet und die Einspeisungsmengen annähernd gleich sind. Tatsächlich wurde der Einfachheit der Berechnung wegen ein binomiales Modell verwendet. Bei einer Verteilung dieser Art wird das Hauptgewicht auf ein zentrales Jahr verlegt und weniger Gewicht auf das vergangene und darauffolgende Jahr. Drei solcher Kurven mit verschiedenen Altersverteilungen sind in Abb. 9 dargestellt. Das hier angewendete binomiale Modell hat einige Ähnlichkeit mit dem von NIR (11) beschriebenen dispersiven Modell. Obwohl kein strenges Modell, hat es den Vorteil der Einfachheit und leichten Berechenbarkeit.

Die Kurven, die in Abb. 9 gegeben sind, umfassen die durchgehende Linie, die den „piston-flow“ wiedergibt, plus drei Kurven von binomialen Modellen, welche jeweils die Variablen (σ^2) von 0,50, 1,00 und 2,00 Jahre² haben. Es wird deutlich, daß mit Ansteigen der Variablen sich die Kurve einer Geraden nähert. Die Kurven sind für den radioaktiven Zerfall des Tritiums korrigiert, so daß die mittlere Einzugszeit direkt aus der graphischen Darstellung als Tritiumgehalt im Reservoir abgelesen werden kann.

Angewendet auf die in Betrachtung stehenden Bohrungen möchte es scheinen, daß der mittlere Tritiumwert von etwa 16 T. U. in der tieferen Zone von Mitterndorf einen durchschnittlichen Einzug von 1952 darstellt. Die Tatsache, daß dieser Wert etwas höher liegt als das atmosphärische Tritium vor den Bombentests, erklärt sich durch differentiale Fließgeschwindigkeiten im Grundwassersystem. Der vergleichbare, beim Bohrloch Haschendorf gefundene Wert von etwa 37 T. U. scheint dem Einzug von 1953 oder 1957 zuzuordnen zu sein, je nachdem, welche Variable man annimmt. Da die Bohrung Haschendorf auf halber Strecke zwischen dem Haupteinzugsgebiet und Mitterndorf liegt, erscheint das Datum 1957 eher annehmbar.

Berechnet man die Laufzeit vom Einzugsgebiet bis Mitterndorf, so ergeben sich 13 Jahre für 30 km oder 2,3 km/Jahr (6,3 m/Tag). Die vergleichbare Laufzeit vom Einzugsgebiet bis Haschendorf beträgt 9 Jahre für 15 km oder 1,7 km/Jahr (4,7 m/Tag).

Die für die Mitterndorfer Bohrung berechnete Geschwindigkeit kann als verlässlicher gelten, da die Deutung der Kurven in Fig. 9 weniger zweifelhaft ist und ferner, weil von anderer Stelle aus dem Gebiet von Mitterndorf ein bestätigender Befund in Form von Tritiumgehalt gegenüber Zeit vorliegt. Es sei dabei auf Abb. 5 hingewiesen, welche den Tritiumgehalt des in der Nähe von Mitterndorf befindlichen Horizontalfilterbrunnens Moosbrunn I zeigt, wobei die Tendenz eines allgemeinen Anstieges während der Untersuchungszeit mit einem deutlichen jahreszeitlichen Anstieg im Sommer 1965 zu erkennen ist. Läßt man den Sommer 1965 unberücksichtigt, so bleibt ein gradueller Anstieg der Tritium-

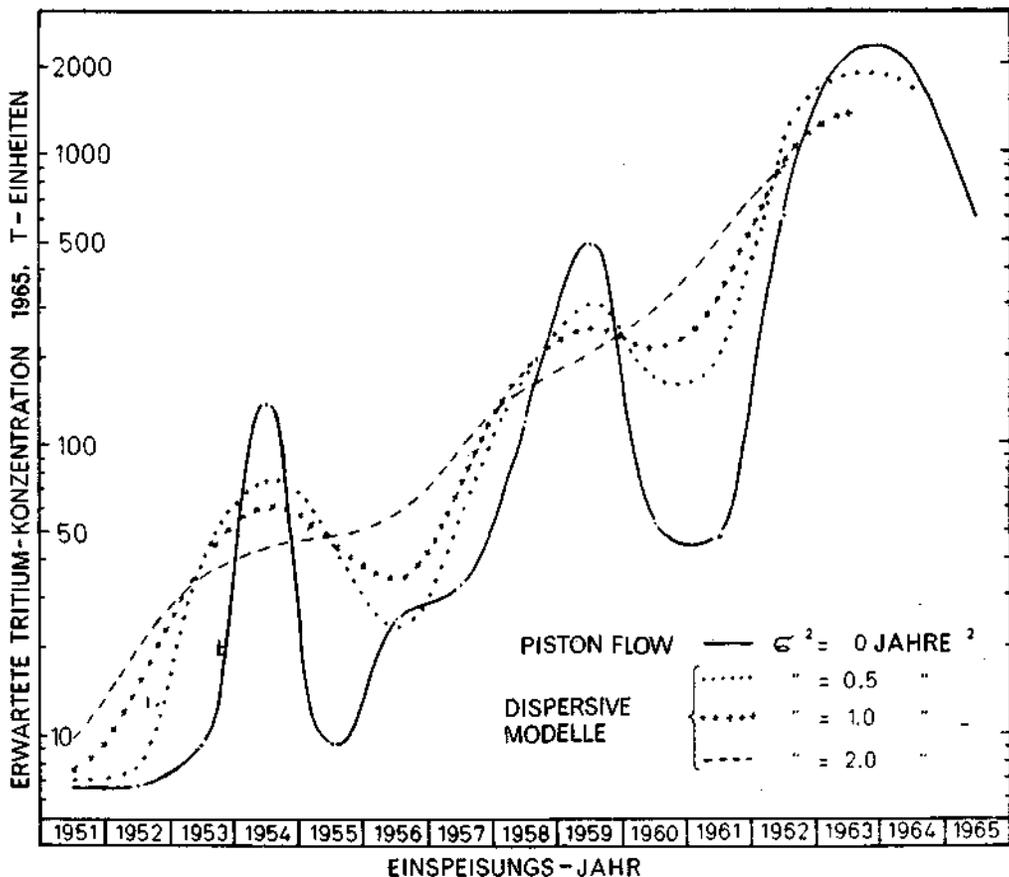


Abb. 9: Graphische Darstellung der Beziehung zwischen dem zu erwartenden Tritiumgehalt von Brunnenwässern und dem Einspeisungszeitpunkt unter Annahme verschiedener Modelle.

tendenz, die einen Tritiumgehalt zeigt, welcher mit jenem der tieferen Zone im Mitterndorfer Bohrloch (16 T. U.) zu jener Zeit übereinstimmt, als es abgeteufelt wurde (September 1965). Zieht man in Betracht, daß die Filterstrecken der Moosbrunn-I-Anlage in 23 m Tiefe liegen, und daß der Tritiumgehalt in der Bohrung Mitterndorf in vergleichbarer Tiefe etwa 25 T. U. betrug, dann ist es wenig verwunderlich, daß der Tritiumgehalt im Horizontalfilterbrunnen nicht höher liegt, besonders deshalb, weil er durch seine Tiefe sehr nahe an die Oberkante der tieferen Zone, wie durch die Tritiumwerte angezeigt wird, herankommt. Eine Erklärung für diese Tritiumtendenz könnte in der Verschiedenheit der hydraulischen Drücke im Hauptgrundwasserkörper liegen. Ist der hydraulische Druck in der tieferen Zone größer, wie zu erwarten wäre, dann würde der Horizontalfilterbrunnen hauptsächlich aus der tieferen Zone fördern, und ein zeitweiliger Anstieg des hydraulischen Druckes der oberen Zone auf Grund

starker Einspeisung im Sommer 1965 könnte einen Zuschuß von Wasser höheren Tritiumgehaltes zur Anlage verursacht haben, wie beobachtet wurde.

Schlußfolgerungen

Kurz zusammengefaßt hat das Programm der periodischen Beobachtung des Tritiumgehaltes von Grundwässern des Südlichen Wiener Beckens wertvolle neue Informationen über Einzug, Durchmischung, Trennung von Wasserkörpern und Geschwindigkeit der Grundwasserbewegung im Hauptgrundwasserkörper erbracht und zur Bestimmung des Alters und der Mischungsverhältnisse im Hauptquellgebiet des Beckens beigetragen. Es wird vorgeschlagen, die periodischen Beobachtungen fortzusetzen, um Veränderungen im Grundwasser zu überwachen, das Hauptgewicht des Tritiumprogrammes aber auf die Bemusterung des Oberflächeneinzuges zu und -abflusses aus dem Becken zu legen mit dem Ziel, zu einer Tritiumbilanz des Beckens zu gelangen.

Literatur

- (1) DOSCH, F.: Färbversuch Hochschneeberg 1. u. 2. Teil. Gas, Wasser, Wärme, Jg. 1956, H. 1 u. 2, Wien.
- (2) ZIMMERMANN, U., MÜNNICH, K. O., & ROETHER, W.: Tracers determine movement of soil moisture and evapotranspiration, Science, 152 (1966), 2.
- (3) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY: Tritium and other environmental isotopes in hydrology, meteorology and oceanography, Tech. Rept. Series No. (in press).
- (4) MÜNNICH, K. O.: Messungen des ^{14}C -Gehaltes von hartem Grundwasser. Naturwiss. 44 (1957), 32—33.
- (5) KÜPPER, H.: Geologie und Grundwasservorkommen im Südlichen Wiener Becken. Jahrbuch Geologische Bundesanstalt, XCVII Bd., H. 2 (1954), 49.
- (6) PAYNE, B. R., & DINCER, T.: Isotope Survey of the Karst Region of Southern Turkey. Proc. 6th Int. Conf. Radiocarbon and Tritium Dating, Pullman, Wash. (1966), 671—686.
- (7) SCHEIDEGGER, A. E.: Statistical hydrodynamics in porous media, J. Appl. Phys., 25 (1954) 995—1001.
- (8) DAY, P. R.: Dispersion of moving salt-water boundary advancing through saturated sand, Trans. Am. Geophys. Union, 39, 5 (1956), 595—601.
- (9) RIFAI, E. M. N., KAUFMANN, W. J., & TODD, D. K.: Dispersion phenomena in laminar flow through porous media, Prog. Rept. 2, Sanitary Engr. Res. Lab. Univ. of Calif. Berkeley (1956).
- (10) HALEVY, E., & NIR, A.: Use of radioisotopes in studies of ground water flow: part II The characteristics of tracer pulse shape, 2nd UN Geneva Conference (1958), 1962—5.
- (11) NIR, A.: On the interpretation of tritium age measurements of ground water, Jour. Geophys. Res. 69, 12 (1964), 2589—95.

Wasserbohrungen im Raume Hartberg in der Oststeiermark

VON RUPERT WEINHANDL

Die Bohrfirma Latzel und Kutscha in Wien führte im Jahre 1966 für das Trocken-Milchwerk in Hartberg in der Oststeiermark zwei Tiefbohrungen auf Wasser aus. Die erste Bohrung wurde unmittelbar im Werksgelände hinter dem Bahnhof niedergebracht und bei 198,10 m im Kristallin eingestellt. Die zweite Bohrung war 2 km nördlich von Hartberg in Neudorf (wo die Straße nach Wolfgrub von der Bundesstraße abzweigt) angesetzt worden. Sie wurde bei 150,0 m in einem grauen Mergel beendet. Beide Bohrungen lieferten geschlossene Kernprofile. Das angefallene Material wurde mikropaläontologisch ausgewertet.