

Hydrogeologische Studie des Gebietes Hohe Wand und Fischauer Berge

VON NORBERT FENZL

Mit 18 Abbildungen, 5 Tabellen und 9 Diagrammen

Österreichische Karte
1 : 50.000
Blätter 75, 76

Hydrogeologie
Gosaubecken
Hydrologische Bilanz
Permeabilität
Filtrationsgeschwindigkeit
Wasserchemismus
Tritium

Schlüsselwörter

Inhalt

Zusammenfassung	122
Resumé	122
Summary	123
1. Zur geologischen Übersicht	123
2. Hydrologie	124
2.1. Fragestellung und Problematik	124
2.2. Niederschlag	126
2.2.1. Berechnung von N (Hohe-Wand-Plateau)	128
2.2.2. Berechnung von N (Gosaubecken)	128
2.3. Evapotranspiration	128
2.3.1. Berechnungsmethoden	128
2.3.2. Praktische Anwendung	129
2.4. Abfluß	131
2.4.1. Gesamtabfluß des Jahres 1973	131
2.5. Wasserhaushaltsbilanz	131
2.5.1. Methode der Bilanzberechnung	131
2.5.2. Praktische Anwendung	133
2.6.2. Schlußfolgerungen	133
3. Hydrogeologie	134
3.1. Analyse der Karst- und Kluftelemente im Bereich Hohe Wand und Fischauer Berge	134
3.1.1. Allgemeines	134
3.1.2. Orientierung und Verteilung der Karstelemente	135
3.1.3. Methode der Kluftaufnahmen	135
3.1.4. Interpretation der Ergebnisse	136
3.1.5. Schlußfolgerungen	140
3.2. Berechnung des Permeabilitätstensor (\bar{K})	141
3.2.1. Allgemeines	141

Anschrift des Verfassers: Dr. N. FENZL, Universidade Federal do Para, Nucleo de Ciências Geológicas e Geofísicas, Caixa Postal 1611 — Belém — Pa.-Brasilien.

3.2.2. Methode	142
3.2.3. Praktische Anwendung	144
3.3. Berechnung der Hydraulischen Gradienten (\vec{J}_1 — Hohe Wand, \vec{J}_2 — Fischauer Berge)	146
3.3.1. Methode	146
3.3.2. Berechnung des Gradienten \vec{J}_1	146
3.3.3. Berechnung des Gradienten \vec{J}_2	147
3.4. Berechnung des Vektors der Filtrationsgeschwindigkeit \vec{q}_i	147
3.4.1. Methode	147
3.4.2. Filtrationsgeschwindigkeit \vec{q}_1 der Hohen Wand	148
3.4.3. Filtrationsgeschwindigkeit \vec{q}_2 der Fischauer Berge	149
3.5. Schlußfolgerungen	149
4. Chemismus	149
4.1. Wasseranalysen	149
4.2. Darstellungsmethode	151
5. Tritiumanalysen	154
5.1. Allgemeines	154
5.2. Methode	156
5.3. Praktische Anwendung	158
5.4. Schlußfolgerungen	160
5.4.1. Proben: p_2 , p_4 , p_9	160
5.4.2. Proben: p_{18} , p_{24}	160
5.4.3. Proben: p_{25} , p_{32}	161
Literatur	161
1. Geologie	161
2. Hydrologie — Klimatologie	162
3. Karst- und Kluftanalysen	162
4. Allgemeine Hydrogeologie	163
5. Spezielle Hydrogeologie	163
6. Isotopen, Radioaktivität, Wasserchemismus	164

Zusammenfassung

Schwerpunkte der Arbeit sind die Analyse der Karst- und Kluftverhältnisse und die Berechnung der Permeabilitätstensoren der Hohen Wand und der Fischauer Berge.

Die Erstellung einer Wasserhaushaltsbilanz soll einen Einblick in die im Substrat vorhandenen Wassermengen vermitteln.

Abschließend werden chemische Beschaffenheit, Mischverhältnisse und Alter der verschiedenen Grundwasserzonen durch Chemismus- und Tritiumanalysen erläutert.

Resumé

Le problème central du travail présenté était une analyse du système karstique en relation avec la fissuration et le calcul du tenseur de perméabilité pour la "Hohe Wand" et les "Fischauer Berge".

L'élaboration du bilan hydrologique donne une idée de la quantité d'eau circulant dans le substrat et les sols du terrain étudié.

Finalement l'analyse chimique et l'étude de la concentration du tritium dans les eaux souterraines permet d'élaborer la différentiation de 3 types d'eaux. Le tritium donne une idée des phénomènes de mélange et l'âge approximative de celles-ci.

Summary

The main problem of this investigation was the analysis of the Karstsystem in relation with the joint-system and the elaboration of the tensor of permeability for the areas of "Hohe Wand" and "Fischauer Berge".

The hydrological balance gives the approximative quantity of water moving in the mentioned zones.

Finally the analysis of ground-water-chemism and tritium concentration shows the difference between 3 types of ground-water-systems, the mixture phenomenon and their approximative age.

1. Zur geologischen Übersicht

3 Deckeneinheiten sind im Arbeitsgebiet vertreten:

Mürzalpendecke. Vertreten durch Hohe Wand und Fischauer Berge, welche jeweils eine Antiklinale in Richtung NE darstellen. Diese Einheit beinhaltet:

- Opponitzer Kalk
- Hauptdolomit
- Hallstätter Kalk
- „Wandkalk“
- Rhätmergel
- Lias-Fleckenmergel
- Hierlatzkalk

Die **Schneebergdecke** ist zungenförmig in den SW-Teil des Arbeitsgebietes eingeschoben und reicht bis Netting. Sie bildet ebenfalls eine Antiklinale, welche morphologisch annähernd die Fortsetzung der Fischauer Berge darstellt. Ein Fenster der Hallstätter Serie ist im Bereich des Zweierwaldes aufgeschlossen. Diese Einheit beinhaltet:

- Werfener Schichten
- gelbliche Rauhwacken + Breccie
- Wettersteinkalk- und Dolomit

Ötscherdecke. Die Ötscherdecke streift das Arbeitsgebiet im NW der Mürzalpendecke. Sie taucht im Bereich des Miesenbachtals mehrfach verschuppt unter die Mürzalpeneinheit.

Die **Gosau**einheit liegt zwischen den Antiklinalen der Hohen Wand und der Fischauer Bergen transgressiv eingebettet. Diese Einheit ist vom Liegenden zum Hangenden folgendermaßen aufgebaut:

- a) Basisbreccie
- b) Basiskonglomerat
- c) Gosausandstein, -tonmergel
- d) Orbitoidensandstein
- e) Inoceramenmergel
- f) Zweiersdorfer Schichten

Abbildung 1 und die Profile 1 und 2 (nach B. PLÖCHINGER, 1961) veranschaulichen die Situation.

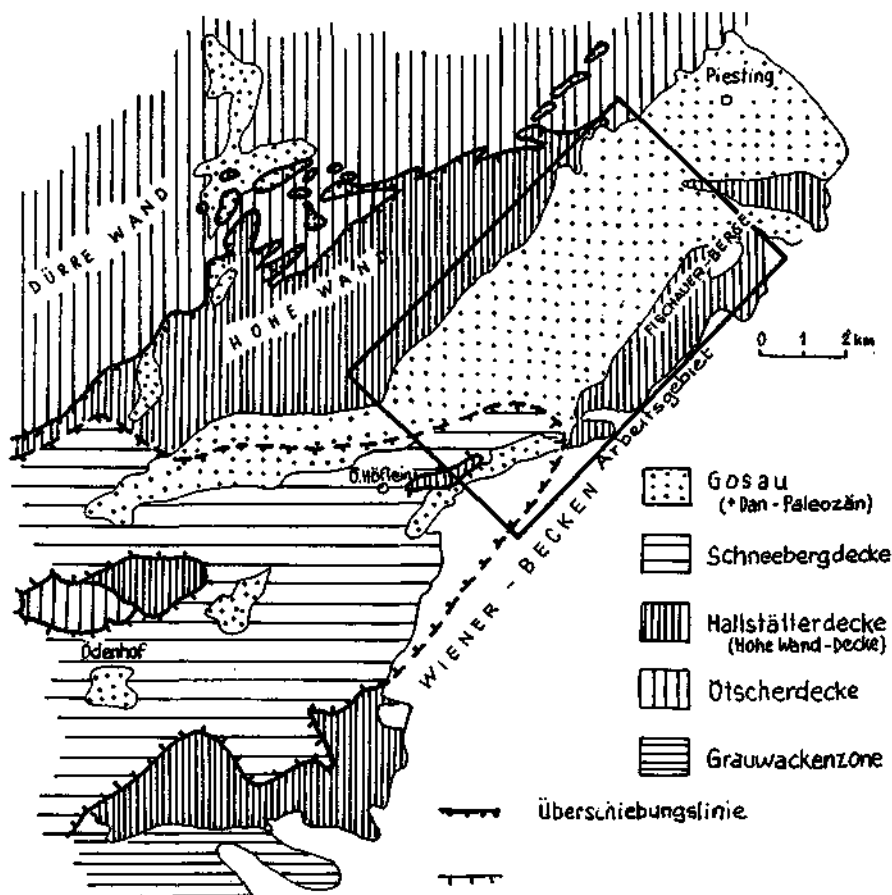


Abb. 1 a. Tektonisch-geologischer Rahmen des Arbeitsgebietes.

2. Hydrologie

2.1. Fragestellung und Problematik

In diesem Teil der Arbeit sollen alle Faktoren, welche für eine globale Bilanzrechnung des Wasserhaushaltes unerlässlich sind, in Betracht gezogen werden. Es sollen Niederschlag (N), Abfluß (A) und Evapotranspiration (ET) quantitativ erfaßt werden, um als Abschluß den Anteil des versickerten Wassers im hydrologischen Gesamthaushalt errechnen zu können.

Es muß darauf hingewiesen werden, daß es sich nur um eine globale Bilanz handeln kann, da solche Berechnungen von einer Fülle äußerst komplizierter Vorgänge in der Natur abhängig sind. Es war daher notwendig, die verschiedenen Faktoren auf ein erträgliches Minimum zu vereinfachen. Die Methode beruht darauf, an Hand der allgemeinen Bilanzformel $N = A + ET + V$ den Faktor $V = N - (A + ET)$ zu errechnen.

N = Niederschlag, A = Abfluß, ET = Evapotranspiration, V = Versickerung.

PROFILE DER NEUEN WELT

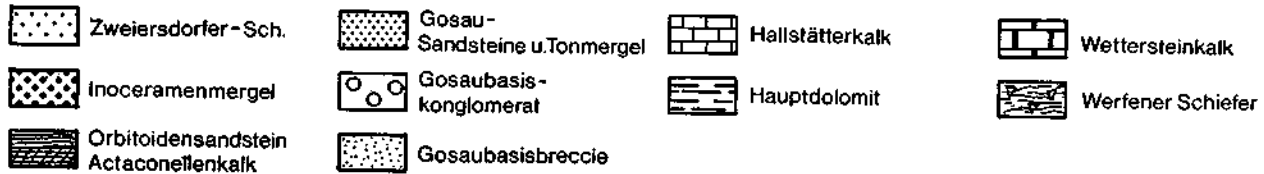
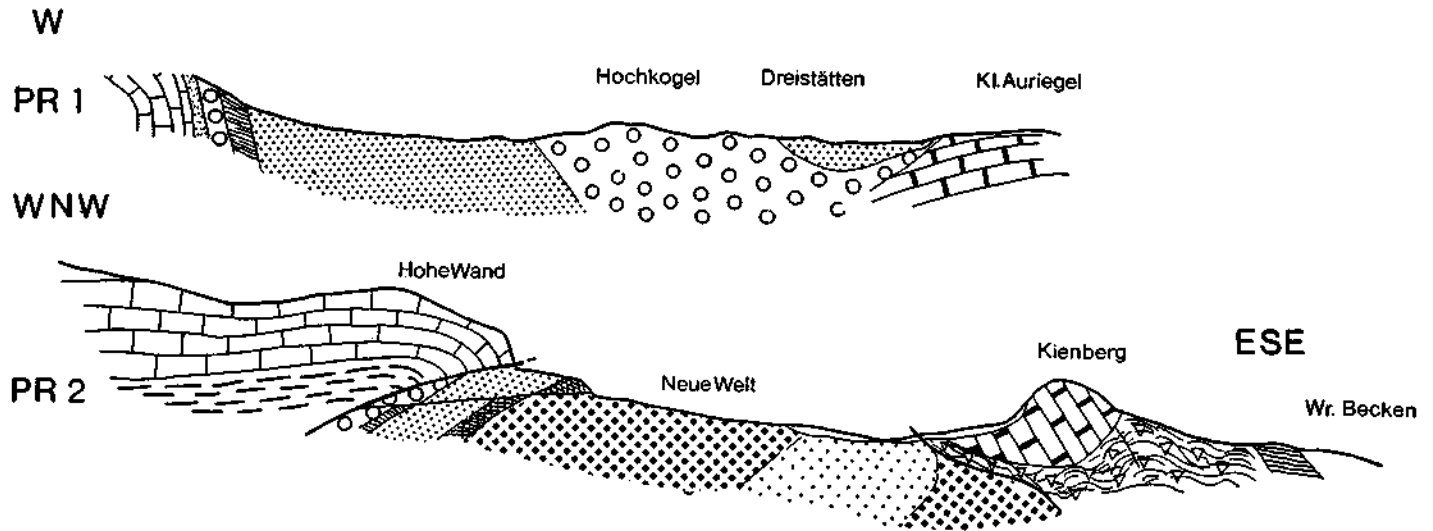


Abb. 1 b.

2.2. Niederschlag

Das Gosaubecken gehört zu den relativ niederschlagsarmen Zonen des Alpenostrandes. Das Jahresmittel von 1901 bis 1950 betrug 762 mm (F. HADER, 1967). Ab 1968 wurde der Niederschlag in Stollhof vom Hydrologischen Dienst für Niederösterreich gemessen. Die Jahresniederschlagsverteilung von 1968 bis 1973 wurde auf Abbildung 2 dargestellt. Die Hauptmengen des Niederschlages fallen zwischen Juni und August.

Das Gosaubecken ist auch durchschnittlich wesentlich trockener als andere Gebiete derselben Seehöhe.

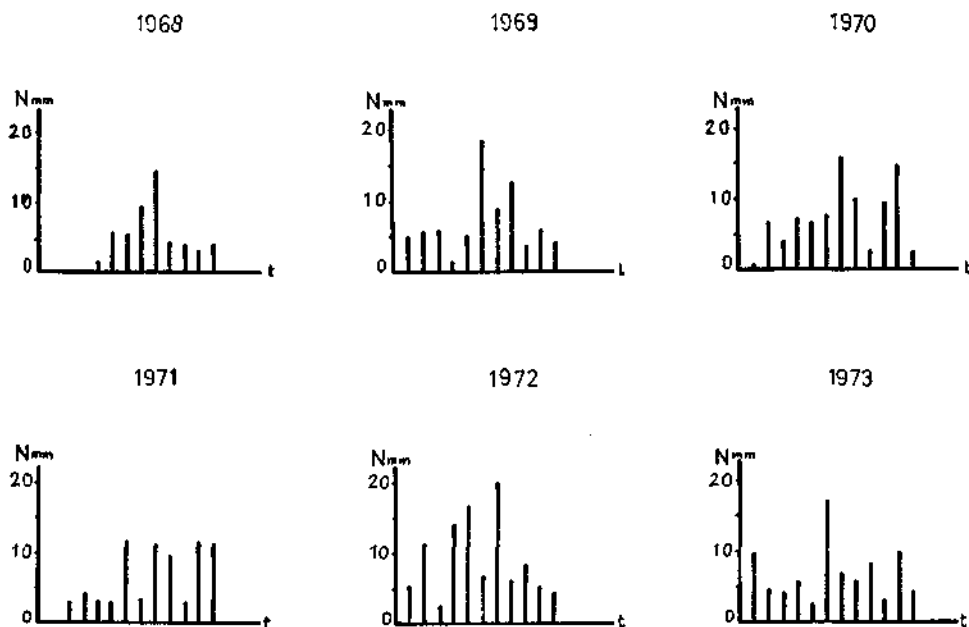


Abb. 2. Verteilung der Niederschläge zwischen April 1968 und Dezember 1973.

Schneeverhältnisse: Im Durchschnitt gibt es in diesem Raum keine kontinuierliche Schneedecke. Die Schneebedeckung ist durch starke Schneeverwehungen gekennzeichnet und daher von äußerst unterschiedlicher Mächtigkeit.

Für die Erstellung der Wasserhaushaltsbilanz ist es nun notwendig, die Niederschlagsmengen quantitativ zu erfassen. Die Niederschlagstätigkeit auf dem Plateau der Hohen Wand (N_1) ist von der des Beckens der Neuen Welt (N_2) zu unterscheiden (Abb. 3). Da auf der Hohen Wand keine Niederschlagsstation besteht, mußte an Hand von analogen Verhältnissen (z. B. dem Niederschlagsverhältnis Damböckhaus—Puchberg usw.) der Niederschlag auf der Hohen Wand (N_1) errechnet werden. Als Durchschnittsverhältnis kann auf Grund dieser Erfahrungswerte angenommen werden, daß der Niederschlag auf dem Hohe-Wand-Plateau um ca. 25% höher liegt als jener in Stollhof gemessene.

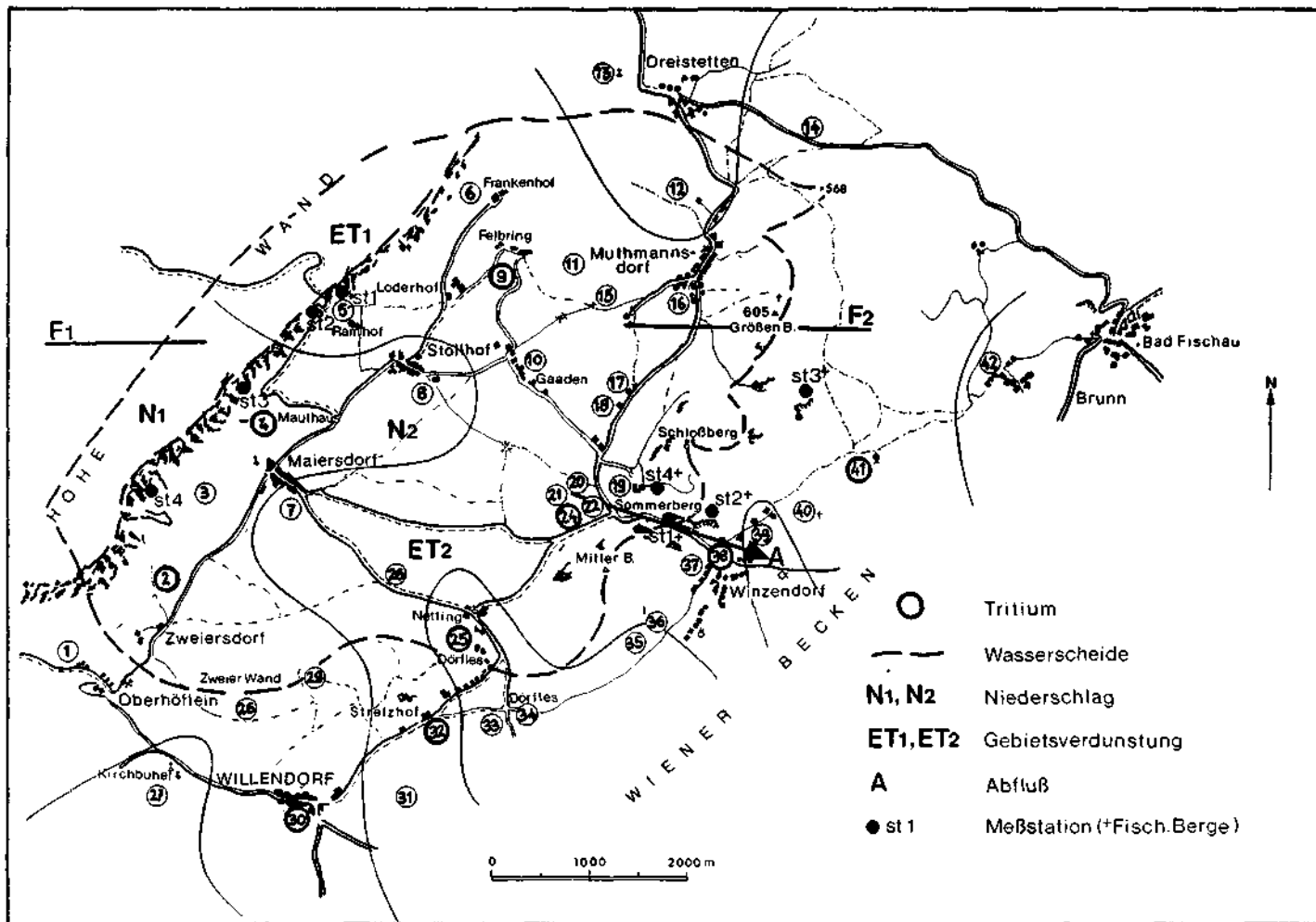


Abb. 3. Hydrologie des Arbeitsgebietes.

2.2.1. Berechnung von N_1 (Niederschlag am Hohe-Wand-Plateau)

Der auf fünf Jahre berechnete Durchschnittsniederschlag, gemessen in Stollhof, beträgt 779 mm.

$$\text{D. h.: } N_1 = N_2 + 25\% N_2 = 779 + 194 = 973 \text{ mm}$$
$$\underline{N_1 = 973 \text{ mm/Jahr.}}$$

Es muß nun angenommen werden, daß dieser Niederschlag gleichmäßig verteilt ist und anhaltend auf eine Fläche von

$$F_1 = 5,5 \text{ km}^2 \text{ (Abb. 3)}$$

fällt. Es fallen also $0,973 \text{ m/m}^2/\text{Jahr}$ für diesen Bereich an. Umgerechnet in m^3/Jahr erhalten wir:

$$\underline{N_1 = 5,351 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{Jahr.}}$$

2.2.2. Berechnung von N_2 (Niederschlag im Gosau-Becken)

Die Gebietsfläche, auf welcher der Niederschlag N_2 anfällt, beträgt $F_2 = 34,88 \text{ km}^2$ (siehe Abb. 3).

Der Durchschnittsniederschlag berechnet an Hand der letzten fünf Jahre beträgt $N_2 = 779 \text{ mm}$. Ebenso wie bei N_1 wird diese Menge in m^3/Jahr umgerechnet:

$$\underline{N_2 = 27,171 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{Jahr.}}$$

2.3. Evapotranspiration

2.3.1. Berechnungsmethoden

Eine annähernde quantitative Kenntnis der Gebietsverdunstung ist für die Erstellung der Bilanz des Wasserhaushaltes unerlässlich. Abgesehen von der Möglichkeit, die Evapotranspiration als unbekanntem Faktor, direkt aus der Bilanzformel zu errechnen, gibt es noch eine Reihe anderer Methoden.

So z. B. die Anschätzung der Gebietsverdunstung an Hand der Bodenfeuchtwerte (ALBRECHT, 1951).

$$V = N - (W_1 - W_2) + W_v$$

W_1 : Gesamtwassergehalt des Bodens zu Beginn der Meßperiode.

W_2 : Gesamtwassergehalt des Bodens zu Ende des Verdunstungszeitraumes.

W_v : Versickerte Wassermenge.

In den Alpen kann nur eine Erfassung auf Grund der Berechnung des Wärmeumsatzes am Boden vorgenommen werden, und zwar ermöglichen klimatologische Werte die Bestimmung von Oberflächentemperaturen. Damit kann der Sättigungsdampfdruck aus der Verdunstungsformel errechnet werden.

Die allgemeine Verdunstungsformel:

$$V = C \times f(v) (E_B \times f[w] - e_L)$$

C: Konstante.

$$C \times f(v) = 100 \times \sqrt{v}$$

E_B : Sättigungsdampfdruck bei Temperatur T_B der verdunstenden Oberfläche.

$f(w)$: Eine Funktion der Wasserbedeckung der verdunstenden Oberfläche.

e_L : Dampfdruck der Luft.

Die Formel $V = S - B - L$ stellt nun den Zusammenhang zwischen Wärmeumsatz am Boden und Verdunstung dar.

S: Strahlenbilanz der Oberfläche.

B: Wärmeumsatz im Medium Boden.

L: Wärmeumsatz im Medium Boden-Luft.

Im Falle einer Schneebedeckung wird an Hand der SVERDRUSCHEN Formel die Verdunstung der Schneeoberfläche berechnet.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{0,623 \times \varrho \times x^2_0 \times v \times (e_L - I_s)}{p \times \ln \frac{a}{z_0} \times \ln \frac{b}{z_0}} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$\frac{dV}{dt}$: Richtung des Wasserdampfstromes

$\frac{dV}{dt} > 0$: Richtung des Wasserdampfstromes von Luft \rightarrow Schneeboden

$\frac{dV}{dt} < 0$: Richtung des Wasserdampfstromes von Schneeboden \rightarrow Luft

ϱ : Luftdichte in (gr/cm³)

x: 0,24 Kálmánkonstante

v: Windgeschwindigkeit (cm/sec)

e_L : Dampfdruck der Luft (mb)

I_s : Sättigungsdampfdruck über Eis (mb) bei Temperatur T_s

p: herrschender Luftdruck (mb) in der Höhe der Schneeoberfläche

z_0 : 0,25 Rauigkeitsparameter (cm)

a: Höhe der Temperatur und Feuchtemeßstelle über der Schneeoberfläche (cm)

b: Anemometerhöhe über der Schneeoberfläche (cm)

2.3.2. Praktische Anwendung

In einer Dissertation (BIZEK, 1974) wurde versucht, eine Gebietsverdunstungskarte von Österreich unter Verwendung der jeweils für die verschiedenen Gebiete geeigneten Verdunstungsformeln zu erstellen.

Dabei konnten im besonderen drei Gebietsverdunstungsmeßstationen für meine Arbeit verwendet werden:

Station Wr. Neustadt	600 mm
Baden	635 mm
Puchberg	495 mm

Die erhaltenen Werte stellen die potentielle Evapotranspiration (der Sommermonate) auf einen Zeitraum von 15 Jahren gemessen dar. Berechnet wurden diese Werte nach der Relation von TURC (1954), welche sich als die brauchbarste in diesen Zonen erwies.

$$pET = 0,40 \frac{t}{t + 15} (I_g + 50)$$

pET = potentielle Evapotranspiration in mm

t = mittlere Lufttemperatur in °C

Ig = Globalstrahlung in $\text{cal} \times \text{cm}^{-2} \times \text{Tag}^{-1}$

Eine direkte Interpolation der drei oben erhaltenen Werte war nicht möglich, da im speziellen Bereich der Neuen Welt folgende zusätzliche Faktoren berücksichtigt werden mußten:

- a) der Höhenunterschied zu den Stationen Wr. Neustadt und Baden,
- b) die spezielle mikroklimatische Lage,
- c) die verschiedenen Durchlässigkeitsbereiche im Beckeninneren.

Für die Verdunstungsoberfläche F_1 (Abb. 3) konnte der Wert der potentiellen Gebietsverdunstung der Station Puchberg angenommen werden:

$$pET = 495 \text{ mm/J}$$

Davon können auf Grund von Erfahrungswerten ca. 10% abgezogen werden, um die reelle Gebietsverdunstung zu erhalten:

$$ET_{IR} = 450 \text{ mm/J}$$

Als potentielle Gebietsverdunstung im Beckeninneren, für die Verdunstungsfläche F_2 (Abb. 3) kann auf Grund der geschützten Lage und des Höhenunterschiedes (im Vergleich zu den Stationen Baden und Wr. Neustadt) folgender Wert angenommen werden:

$$pET_2 = 550 \text{ mm/J}$$

Weiters muß berücksichtigt werden, daß auf Grund eigener Untersuchungen im Arbeitsgebiet

- a) 50% des Bodens gut durchlässig
- b) 20% des Bodens mittel durchlässig
- c) 30% des Bodens schlecht durchlässig sind.

Da die Gebietsverdunstung in stark durchlässigen Böden geringer ist als in schlechter durchlässigen, müssen folgende Prozentsätze von der potentiellen Evapotranspiration abgezogen werden, um die reelle Gebietsverdunstung zu erhalten:

Bei den 50% der gut durchlässigen Gebietsfläche ($F_A = 17,44 \text{ km}^2$) werden 30% vom Initialwert der Gebietsverdunstung abgezogen.

Bei den 20% der mittel durchlässigen Gebietsfläche ($F_B = 6,976 \text{ km}^2$) werden 20% des Initialwertes abgezogen.

Bei den restlichen 30% ($F_C = 10,464 \text{ km}^2$) wird der Ausgangswert um 15% vermindert.

Wir erhalten:

$$\text{für die Fläche A} \dots et_{2A} = 6,713 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{Jahr}$$

$$\text{für die Fläche B} \dots et_{2B} = 4,983 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{Jahr}$$

$$\text{für die Fläche C} \dots et_{2C} = 3,071 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{Jahr}$$

Der Durchschnitt der reellen Gebietsverdunstung, welcher nun für das gesamte Becken repräsentativ ist, beträgt somit:

$$ET_{2R} = 14,677 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{Jahr}$$

2.4. Abfluß

2.4.1. Gesamtabfluß des Jahres 1973

Um nun den Abfluß (A) in die Bilanzgleichung einzubauen, muß dieser Faktor ebenso in m^3/Jahr ausgedrückt werden. Die Tab. 1 zeigt die gemessenen Abflußmengen in l/s zum jeweiligen Zeitpunkt der Messungen. Daraus konnte der Durchschnittsabfluß pro Monat (in l/s und m^3/Jahr) berechnet werden.

Der errechnete Durchschnittsabfluß in m^3/Jahr beträgt daher

$$A = 6,464 \times 10^6 \text{m}^3/\text{Jahr}$$

2.5. Wasserhaushaltsbilanz

2.5.1. Methode der Bilanzberechnung

In der Bilanzberechnung sind die Faktoren des Wasserhaushaltes in Form der Bilanzgleichung $N = A + ET + V$ einzubeziehen.

N = Niederschlag, ET = Evapotransp., V = Versickerung, A = Abfluß.

Im Bereiche des Arbeitsgebietes muß als wichtiger Faktor berücksichtigt werden, daß sich die Niederschlagsraten auf dem Plateau der Hohen Wand wesentlich von jenem im Neuen Welt-Becken unterscheiden. Die gemessenen Niederschläge in Stollhof geben nur die Werte für das Becken selbst. In die Wasserhaushaltsbilanz muß der Teil des Hohe-Wand-Gebirgsstockes einbezogen werden, welcher einen Teil des Niederschlags dem Neuen Welt-Becken zuführt. Aus der Geologie und der Lage der hydrologischen Wasserscheide ergibt sich, daß ca. 30% der Oberfläche des Hohe-Wand-Plateaus jene Niederschlagsmengen aufnehmen, welche abzüglich der Gebietsverdunstung das Neue Welt-Becken erreichen.

Oberflächenabflüsse sind hier nicht vorhanden, daher kann dieser Faktor unberücksichtigt bleiben. Abb. 3 zeigt die Flächen F_1 und F_2 , auf denen die Niederschläge N_1 und N_2 anfallen.

N_1 : der Niederschlag, welcher auf den 30% des Hohe-Wand-Plateaus anfällt. Davon muß der Anteil der dort herrschenden Gebietsverdunstung ET_1 abgezogen werden, um die Wassermenge n_1 zu erhalten, welche dem Neuen Welt-Becken zufließt. Wir haben also

$$n_1 = N_1 - ET_1$$

Der Niederschlag N_2 gilt für den Beckenbereich und jene Teile der Fischauer Berge, welche noch innerhalb der Wasserscheide liegen.

Dem Untersuchungsbereich wird also eine bekannte Wassermenge von $n_1 + N_2$ zugeführt. Ebenfalls bekannt ist die Abflußmenge A , welche einen Teil von $(n_1 + N_2)$ ausmacht.

Die Gebietsverdunstung ET_2 im Beckenbereich kann ebenfalls ermittelt werden. Zu berechnen bleibt nun der Anteil der Versickerung V am Gesamtwasserhaushalt.

Datum.	Pegelstand (cm)	Durchflußfl. (cm ²)	Abflußgeschw. (cm/s)	Mittl. Durchfluß- menge (l/s)
31. 1.73	17	7014,00	51,3	359,818
7. 2.73	9	2377,9	43,8	104,152
8. 2.73	13	4676,00	45,7	347,251
14. 3.73				
6. 4.73	14	5260,50	39,8	325,683
12. 4.73	12	4091,50	52	212,758
19. 4.73	17	7014,00	77,6	544,286
23. 4.73	22	9936,50	44,9	446,148
1. 5.73	16	6429,50	63,1	405,701
16. 5.73	11	3507,00	63,2	221,642
22. 5.73	11	3507,00	48,3	169,388
24. 5.73	9	2377,9	39	92,738
29. 5.73	9	2377,9	40,5	96,304
7. 6.73	11	3507,00	55,1	193,235
11. 6.73	8	1878,8	41,7	78,345
15. 6.73	7	1438,5	44,5	64,013
17. 6.73	8	1878,8	36,8	69,139
24. 6.73	14	5260,50	56,6	297,744
5. 7.73	9	2377,9	45,0	107,005
8. 7.73	1	29,35	21,0	0,616
15. 7.73	7	1438,5	35,9	51,642
19. 7.73	6	1056,8	41,0	43,328
6. 8.73	7	1438,5	33,8	48,621
11. 8.73	5	733,9	27,7	20,329
18. 8.73	5	733,9	19,5	14,311
27. 8.73	1	29,35	11,3	0,321
29. 8.73	6	1056,8	19,8	20,924
6. 9.73	5,5	733,9	19,5	14,311
14. 9.73	5	733,9	24,4	17,907
25. 9.73	14	5260,50	48,2	253,556
3.10.73	10	2922,5	38,2	111,639
18.10.73	7	1438,5	13,6	19,563
27.10.73	9	2377,9	30,9	73,477
1.11.73	16	6429,50	48,23	310,094
24.11.73	14	5260,50	42,05	221,210
9.12.73	17	7014,00	53,59	375,913

Tab. 1.

2.5.2. Praktische Anwendung

Eingangs wurden folgende Faktoren zur Bilanzerstellung berechnet:
Niederschlag:

$$\begin{aligned} \text{Hohe Wand: } N_1 &= 5,351 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{J} \\ \text{Gosaubecken: } N_2 &= 17,171 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{J} \end{aligned}$$

Gebietsverdunstung:

$$\begin{aligned} \text{Hohe Wand: } ET_{1R} &= 2,101 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{J} \\ \text{Gosaubecken: } ET_{2R} &= 14,677 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{J} \end{aligned}$$

Abfluß: gemessen am Ausgang der Prosselt-Klause: $A = 6,464 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{J}$.

Setzen wir nun diese Werte in die erhaltene Bilanzformel

$$V = (n_1 + N_2) - (A + ET_2), \text{ so erhalten wir: } V = 9,280 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{J}$$

Drückt man den Abflußwert, den Wert der Gebietsverdunstung und die Versickerungsmenge in Prozenten des Niederschlags aus, so erhält man folgende Relation:

$$100\% N = 30\% V + 20\% A + 50\% ET$$

2.6.2. Schlußfolgerungen

Wie bereits erwähnt, ist die errechnete Relation der Bilanzfaktoren als Globalwert zu betrachten. Die prozentuellen Anteile der Faktoren der erhaltenen Bilanzgleichung sind als Jahresdurchschnittswerte zu verstehen. Das Verhältnis der Faktoren verändert sich in den verschiedenen Niederschlagsperioden des Jahres. Im Herbst wird der Boden, welcher durch die hohe ET in den Sommermonaten untersättigt ist, von großen Teilen des Niederschlags aufgefüllt. Nach dieser Zeit kommt die Phase der Grundwasseranreicherung, in der die ET (speziell im Winter) extrem niedrig ist. Im Frühling steigt der Anteil der ET, während die Versickerung abnimmt. Der Sommer ist jene Phase, in der die Niederschläge das Austrocknen der Böden und den damit verbundenen Rückgang des Grundwasserspiegels nicht mehr verhindern können.

Diese Phasen spiegeln die Grundregeln des Wasserhaushaltes wider. Bei der Betrachtung des Abfluß-Niederschlag-Diagrammes (Diagramm 1) sind drei Perioden zu erkennen:

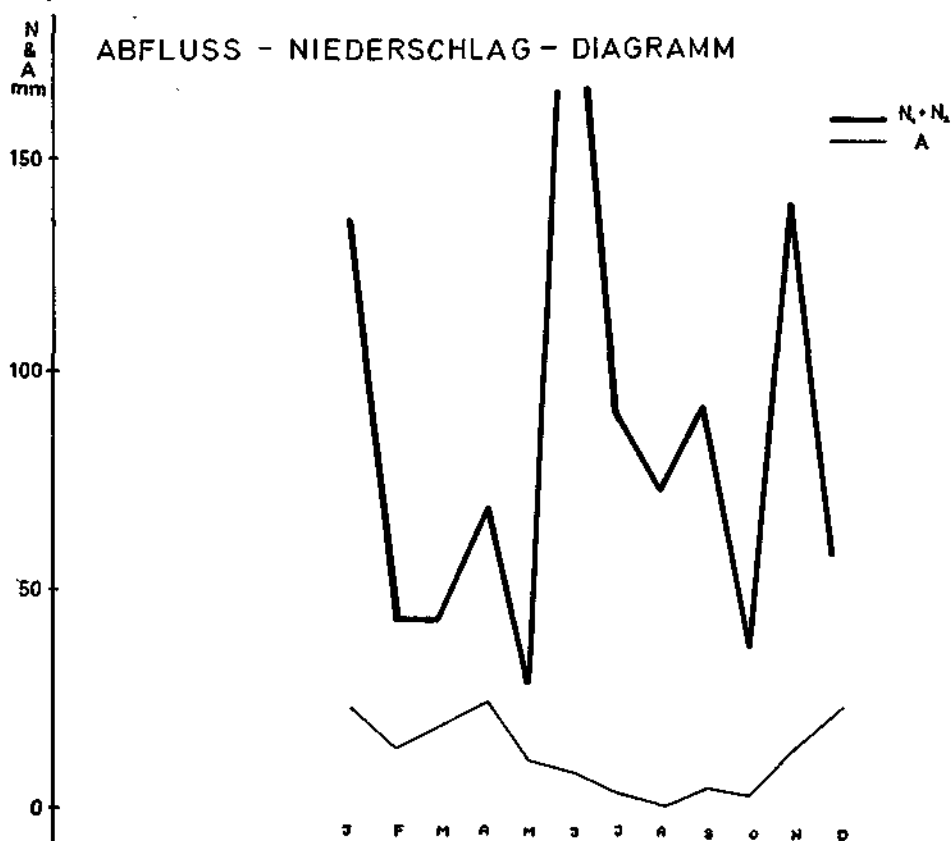
Jänner bis Mai: Der Anteil des Abflusses und der Versickerung am Niederschlag ist höher als im Durchschnitt errechnet wurde, während die ET unter dem Jahresdurchschnitt liegt.

Mai bis Oktober: Relativ hoher Niederschlag, geringer Abfluß und Versickerung. Die ET verschlingt den Hauptanteil des Niederschlages.

Oktober bis Dezember: In dieser Phase ist die Versickerung überdurchschnittlich hoch, der Abfluß steigt regelmäßig und die ET wird geringer.

Es wären noch einige Faktoren zu erwähnen, welche den Wasserhaushalt beeinflussen können. Die unterschiedliche Gestaltung der Vegetation und des Reliefs ergibt differenzierte Ausgangsbedingungen für die Grundwasserbildung. Unter Wäldern (speziell Laubwäldern) kann sich der Grundwasserspiegel senken, da diese, wie bereits erwähnt, einen großen Teil der Versickerung beanspruchen.

Diagramm 1



Ein anderes Beispiel sind die landwirtschaftlichen Nutzflächen, welche einen Großteil des Gosaubeckens ausmachen. In der Zeit, in der die Felder frisch geackert vorliegen, ist die Infiltration des Niederschlages und somit die Anreicherung des Grundwassers beträchtlich. Das Wachstum der Kulturen hingegen bewirkt das Gegenteil, indem sie einen beachtlichen Teil des Niederschlages absorbieren und somit eine Senkung des Grundwasserspiegels bewirken.

3. Hydrogeologie

3.1. Analyse der Karst- und Kluftelemente im Bereich Hohe Wand und Fischauer Berge

3.1.1. Allgemeines

Die Verkarstung der Hohen Wand und der Fischauer Berge ist für die gesamte hydrogeologische Situation von größter Bedeutung. Die Entstehung der Verkarstung ist anisotrop und die Hauptrichtungen der Karstelemente sind von drei Faktoren abhängig (L. KIRALY, B. MATHEY & J. P. TRIPET, 1971):

- a) von den Richtungen der Hauptkluftsysteme
- b) von der geometrischen Durchlässigkeit dieser Kluftgruppen
- c) von der Hauptrichtung des hydraulischen Gradienten.

L. KIRALY (1968) zeigte am Beispiel der Karsthöhle von Petit Pré, daß:

- a) Strukturelemente, welche zwar Dolinenbildungen und Schachthöhlenbildungen an der Oberfläche stark beeinflussen, die Karsthohlräume in der Tiefe kaum berühren.
- b) Sowohl Scherklüfte als auch Spannungsrisse die Karstphänomene gleichermaßen beeinflussen,
- c) die stereographische Projektion ein genaueres Studium der Beziehungen zwischen den geologischen Strukturelementen und der Orientierung von unterirdischen Karsthohlräumen ermöglicht.

Die erste Aufgabe in der folgenden Analyse bestand darin, jene Kluftgruppen zu ermitteln, welche für den Hauptanteil der Verkarstung verantwortlich sind.

Als nächstes war die Durchschnittspermeabilität (\bar{K}) der Untersuchungsgebiete und der Vektor der Filtrationsgeschwindigkeit (\vec{q}) in den ermittelten Kluftgruppen zu errechnen.

3.1.2. Orientierung und Verteilung der Karstelemente

An Hand von 50 Katasterplänen (als Beispiel siehe Abb. 4 und 5) werden alle mehr oder weniger geraden Grottenabschnitte auf eine Ebene projiziert (Abb. 6 und 7), gruppiert und von den Streuwerten separiert. Aus dieser Projektion ist ersichtlich, welchen Hauptrichtungen die Verkarstungen folgen. Aus dem Vergleich von Abb. 6 und Abb. 7 ist bereits bei flüchtiger Beobachtung eine eindeutige Übereinstimmung der Hauptrichtung der Verkarstung bei den Bereichen Hohe Wand und Fischauer Berge zu erkennen.

Abb. 4, 5, 6 und 7

Etwa 70% der gemessenen Grottenabschnitte besitzen eine Neigung um 10° . Neigungen über 50° wurden nicht in den Diagrammen berücksichtigt. Ebenfalls wurde untersucht, ob und in welchem Ausmaß die jeweiligen Längen der Grottenabschnitte an ein System gebunden sind. Es konnte jedoch keine eindeutige Systematik in der Längenverteilung festgestellt werden. Die Lösungswirkung ist bei geringem Winkel zwischen dem hydraulischen Gradienten und der verkarsteten Kluftfläche größer, daher wird im allgemeinen großräumiger verkarstet. Diese Annahme kann nur unter Berücksichtigung

- der chemischen Aggressivität des Wassers
- des Gesteinschemismus
- der Dauer der Lösungsvorgänge etc.

gemacht werden.

3.1.3. Methode der Kluftaufnahmen

Es werden statistisch verteilte Meßpunkte ausgesucht, welche sich im Bereich der Karsthöhlen befinden. An den jeweiligen Meßstationen wurde ein 10 m-Band

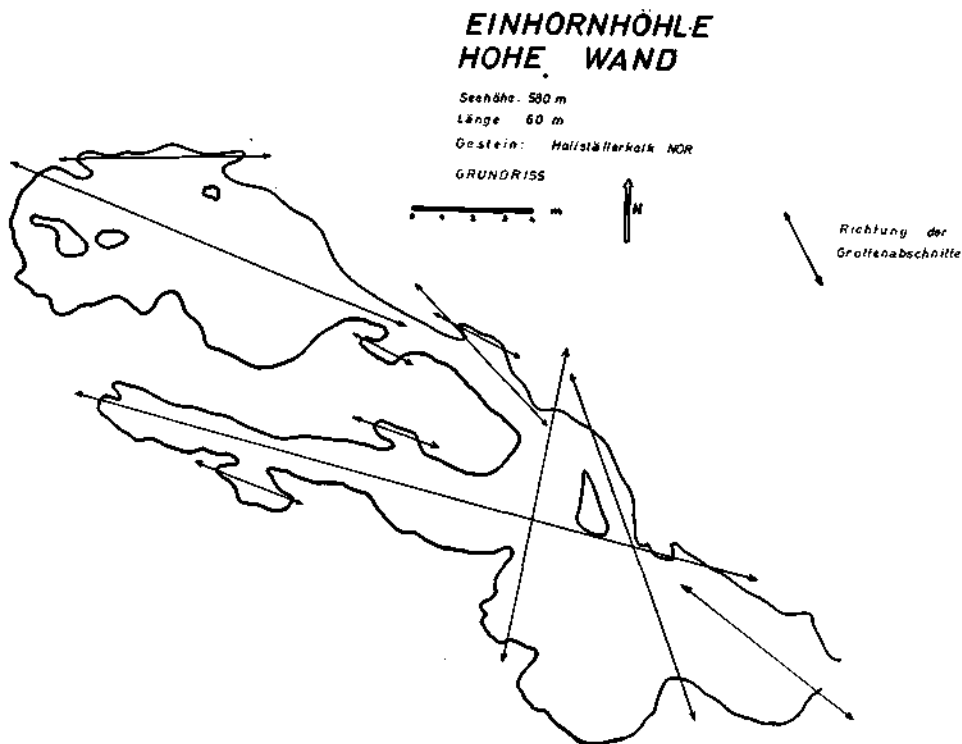


Abb. 4. Einhornhöhle — Hohe Wand (Verkarstungsorientierung).

ausgelegt und ausnahmslos jede Kluft, welche das Meßband kreuzt, gemessen (Diagramm 2 bis 9). Die Meßbänder dürfen nicht alle in derselben Richtung ausgelegt werden, damit der dreidimensionale Raum erfaßt werden kann. Die Lage der Meßstationen ist auf Abb. 3 gekennzeichnet. Bei der Kluftaufnahme wurden folgende Unterscheidungen getroffen:

- a) Klüfte offen, länger als 3 m (O⁺)
- b) Klüfte offen, kürzer als 3 m (O⁻)
- c) Kalzitbelag (K)
- d) glatte und/oder gestriemte Kluftfläche (G. St.)
- e) wasserführend (H)

3.1.4. Interpretation der Ergebnisse

Im folgenden werden die Kluftanalysen mit den erstellten Projektionen der Karstelemente verglichen.

Gehen wir davon aus, daß sich die Verkarstungen in der Kluftfläche ausbreiten, so muß die Kluftstreichrichtung mit der Projektionsrichtung der entsprechenden Karstelemente übereinstimmen. Die Hauptrichtungen der verschiedenen Kluftgruppen haben sich während der Zeit der Verkarstungsvorgänge kaum mehr grundlegend geändert. Die Verkarstungen können daher als Art „fossile“ paläohydraulische Bedingungen angesehen werden. Die Diagramme 2—9 stellen

EMMERSBERGHÖHLE FISCHAUERBERGE

SEEHÖHE : 480 m
 LÄNGE : 300 m
 GESTEIN : HALLSTÄTTERKALK NOR

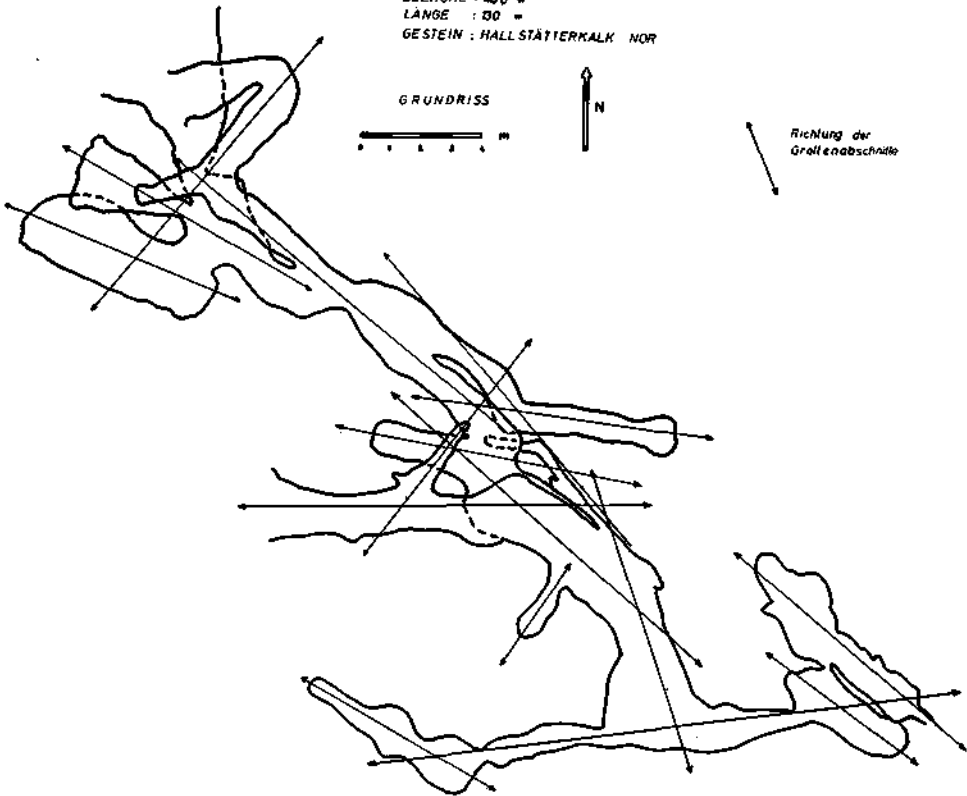


Abb. 5. Emmersberghöhle — Fischauer Berge (Verkarstungsorientierung).

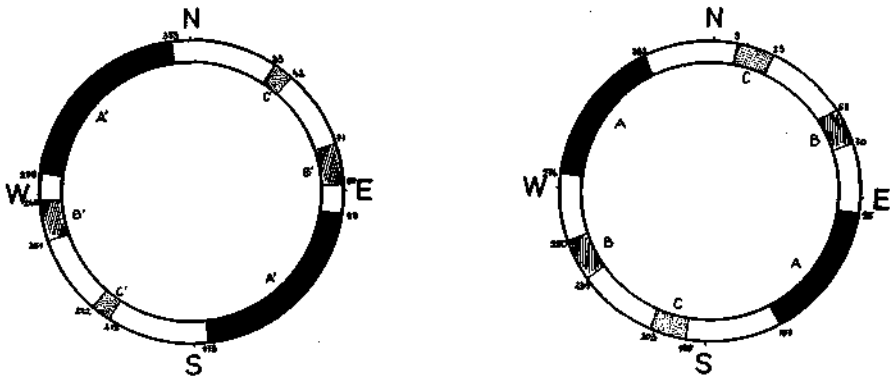


Abb. 6. Projektion und Gruppierung der Karstelemente (Hohe Wand) (links).
 Abb. 7. Projektion und Gruppierung der Karstelemente (Fischauer Berge) (rechts).

die Dichte der Flächenpole der verschiedenen Kluftgruppen dar. Die Karstelemente, welche einer Kluftgruppe entsprechen, müssen in der Fläche (Fl) (Senkrecht auf \vec{OP}) liegen. O : Zentrum der Lagekugel, P : Flächenpol.

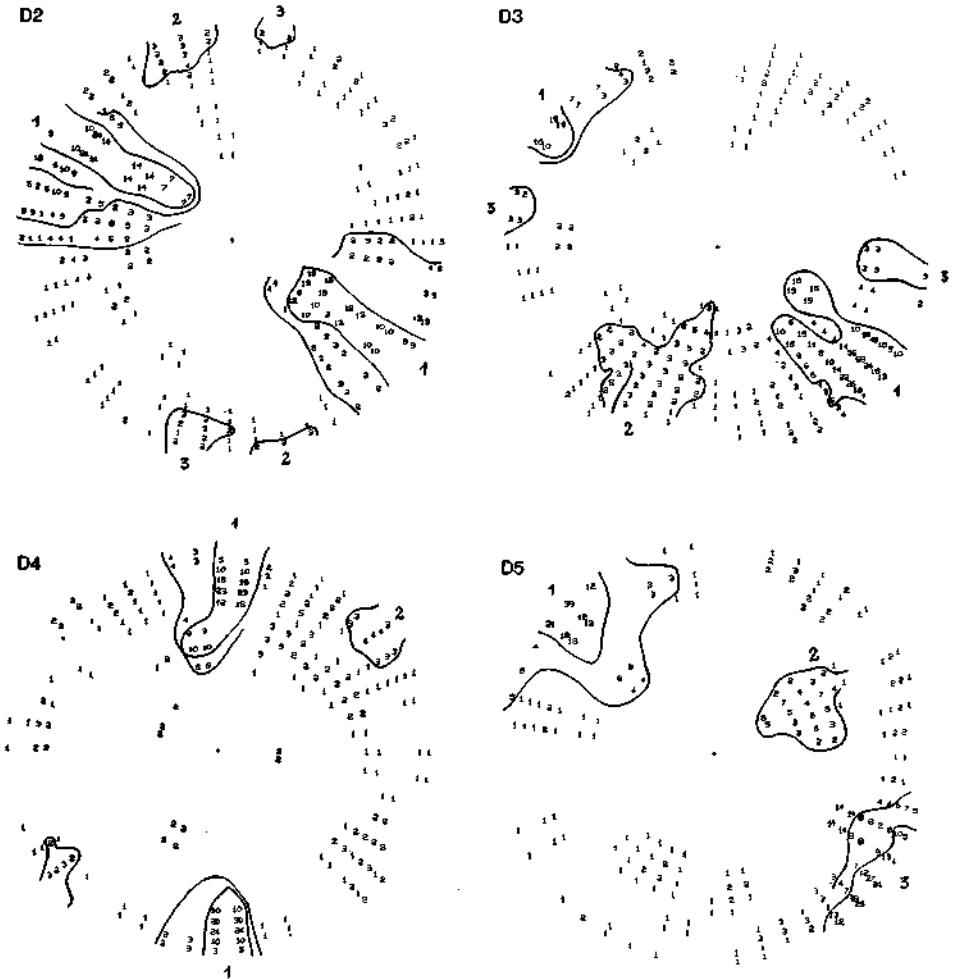
Es werden nun die Karstelementendiagramme mit den Kluftdiagrammen verglichen. Die Verhältnisse der Hohen Wand und der Fischauer Berge werden separiert betrachtet. Bei der Beschreibung werden folgende Abkürzungen verwendet:

K. G.: Kluftgruppe — K. E. G.: Karstelementgruppe.

H o h e W a n d

Diagramm 2:

Hier ist eindeutig die K. G. 1 dominierend. Die Richtung der entsprechenden K. E. muß mit der Streichrichtung der Klüfte übereinstimmen. Die am meisten vertretene Gruppe 1 ist also nur



sehr schwach verkarstet, und es entsprechen diesen Klüften die K. E. G.-B. Der K. G. 1 entspricht also eine Verkarstungsrichtung.

N (9° — 23°) E—S (188° — 203°) W.

Die K. G. 2 neigt ebenfalls nur sehr geringfügig zu Verkarstungen. Diese wären in der K. E. G.-C zu suchen:

N (ca. 60° — 70°) E—S (ca. 240° — 250°) W.

Die Verkarstungen der K. G. 3 hingegen fallen zur Gänze in die K. E. G.-A:

E (90° —ca. 110°) S bzw. E (276° — 290°) N.

Diagramm 3:

Ähnliche Situation wie bei Diagramm 1. Der größten K. G. 1 entsprechen Verkarstungen, die teils in der K. E. G.-B bzw. C zu suchen sind. Der K. G. 1 entsprechen Verkarstungen der Gruppe B:

N (ca. 14° — 23°) E—S (ca. 193° — 203°) W und der Gruppe C:

N (ca. 62° — 70°) E bzw. S (ca. 242° — 250°) W.

Die Verkarstungen der K. G. 2 liegen zur Gänze im Bereich der K. E. G.-A:

E (95° —ca. 117°) S—W (276° —ca. 298°) N.

Die K. G. 3 entspricht der K. E. G.-B:

N (9° — 23°) E—S (188° — 203°) W.

Diagramm 4:

Die Verkarstungen der K. G. 1 liegen außerhalb der K. E. G.-C, jedoch zu einem geringen Teil bereits in der K. E. G.-A:

E (95° —ca. 105°) S—W (176° —ca. 186°) N.

Die K. G. 2 hingegen verkarstet zur Gänze in der K. E. G.-A.

Diagramm 5:

Für die K. G. 1 ist die Situation fast identisch mit Diagramm 2. Die entsprechenden K. E. G. sind in den Grenzbereichen in der K. E. G.-B und C zu finden.

B: N (ca. 14° — 23°) E—S (ca. 193° — 203°) W bzw.

C: N (ca. 62° — 70°) E—S (ca. 242° — 250°) W.

Der K. G. 2 entspricht auch hier die K. E. G.-A.

Fischauer Berge

Diagramm 6:

Hier entsprechen die beiden K. G. 1 und 2 eindeutig der K. E. G.-A 1. Wenn sie verkarstet werden, so ausschließlich in der Richtung E (98° — 173°) S—W (278° — 353°) N.

Diagramm 7:

Praktisch ist nur die Gruppe 1 deutlich ausgeprägt. Sie scheint relativ schwach verkarstet zu sein. Die entsprechende K. E. G. wäre B 1:

N (33° — 42°) E—S (213° — 222°) W.

Diagramm 8:

Das Diagramm ist durch eine Anzahl von kleineren Kluftgruppen gekennzeichnet. Die ausgeprägteste wäre KlG. 1. Die dazugehörenden K. E. streichen fast genau N—S und liegen daher nur mehr im Randbereich der K. E. G. A 1:

E (ca. 168° — 173°) S—W (ca. 348° — 353°) N.

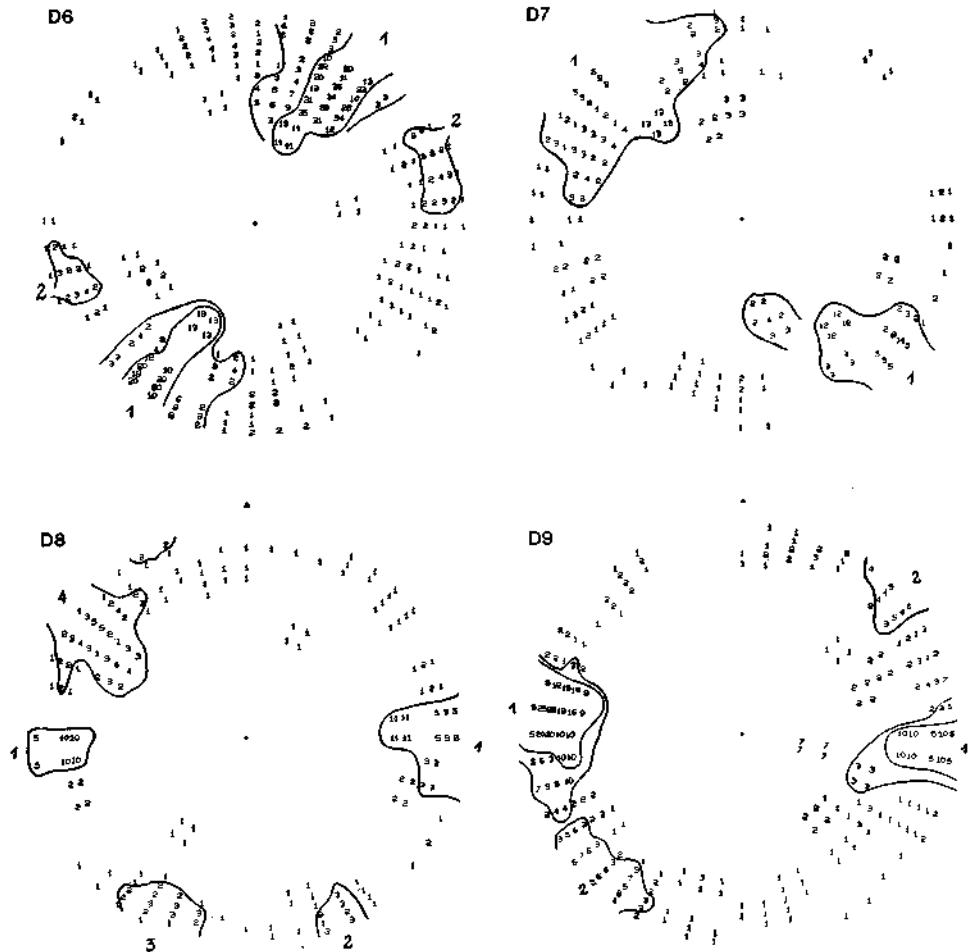
Die kleinen K. G. 2 entsprechen keiner vorhandenen K. E. G. Die K. G. 3, ebenfalls nur sehr schwach ausgeprägt, fällt zur Gänze in die K. E. G. A 1:

E (98° — 173°) S—W (278° — 353°) N.

Der Gruppe 4 entsprechen K. E. der Richtung N (33° — 42°) E—S (213° — 222°) W. Daraus ist zu schließen, daß diese Klüfte nur schwach verkarstet wurden.

Diagramm 9:

Die stark vertretene K. G. 1 ist nur teilweise verkarstet. Die entsprechenden K. E. streichen N—S und streifen daher nur im südlichen Bereich die K. E. G-A 1. Die Richtungen wären also E (ca. 163° — 173°) S—W (ca. 343° — 353°) N. Die Verkarstungen der K. G. 2 liegen zur Gänze in der K. E. G.-A 1.



3.1.5. Schlußfolgerungen:

Bei Betrachtung der Ergebnisse ist eine eindeutige Übereinstimmung im Verkarstungssystem der Hohen Wand und der Fischauer Berge zu ersehen. Die Diagrammvergleiche zeigten, daß mit Ausnahme des Diagramms 6 die am häufigsten vertretenen Kluffgruppen am wenigsten zur Verkarstung neigen, während quantitativ geringer auftretende Kluffhäufungen eindeutigen Karstelementgruppen entsprechen. Abb. 8 zeigt die Lage der Antiklinalen der Hohen Wand und der Fischauer Berge sowie die Hauptrichtungen des hydraulischen Gradienten dieser Gebiete.

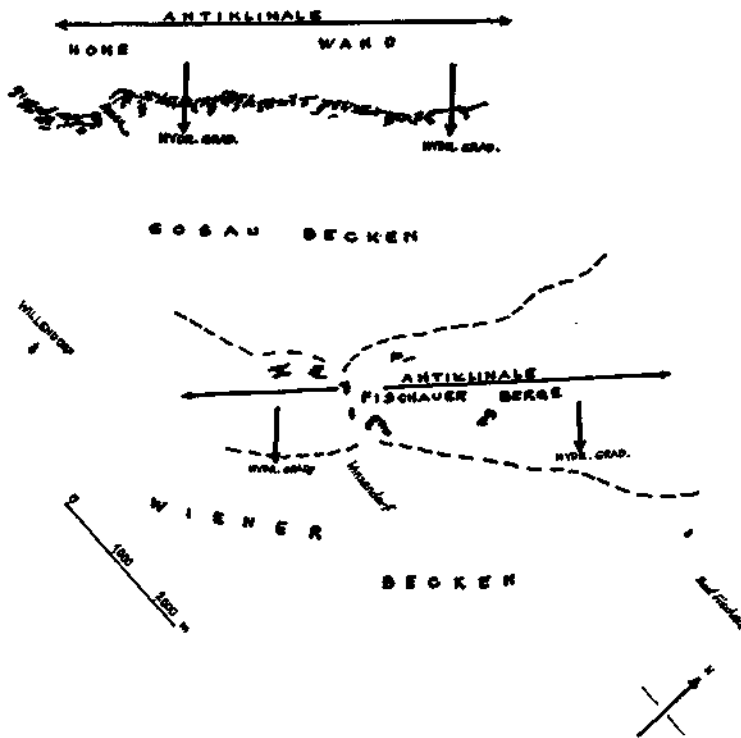


Abb. 8. Orientierung der Antiklinalen und der hydraulischen Gradienten.

Die B-Achse der Hohen Wand-Antiklinale verläuft in Richtung NW. Die darauf senkrecht stehenden Zerrklüfte und die entsprechenden Bruchsysteme müssen daher ebenfalls senkrecht auf die Hohe Wand bzw. auf den Verlauf der Fischauer Berge stehen. Diese Zerrklüfte entsprechen in den Diagrammen den quantitativ gering vertretenen Kluftgruppen, deren Verkarstungen in den Karstelementgruppen A und A 1 zu finden sind. Eine Erklärung ist in der Ähnlichkeit der geologischen und tektonischen Verhältnisse (zwei parallele Antiklinalen des Hallstätterkalkanteiles SW Mürzalphendecke) dieser beiden Bereiche zu sehen. Der wesentlichste Verkarstungsfaktor ist im parallelen Verlauf der Zerrklüfte und des hydraulischen Gradienten zu sehen. Diese für Verkarstungsvorgänge besonders vorteilhafte Konstellation sorgte für den Großteil der Karsterscheinungen und prägte die Morphologie der Gebiete der Hohen Wand.

3.2. Berechnung des Permeabilitätstensors ($\overline{\overline{K}}$)

3.2.1. Allgemeines

Der zweite Teil der Arbeit besteht in der Berechnung der Permeabilität ($\overline{\overline{K}}$) und des Vektors der Filtrationsgeschwindigkeit (\vec{q}). Dabei ist vorerst die Permeabilität jeder einzelnen Kluftgruppe zu errechnen. Die Gesamtpermeabilität

Nach obiger Skizze:

$$\vec{J}_p = \vec{J} - (\vec{n} \times \vec{J}) \times \vec{n}$$

I sei die identische Matrix und \vec{n} der Vektor \vec{OP} (Kluftflächennormale) somit haben wir:

$$\begin{aligned}\vec{J}_p &= I\vec{J} - (\vec{n} \otimes \vec{n})\vec{J} \\ &= I - (\vec{n} \otimes \vec{n}) \vec{J} \\ \vec{J}_p &= A \cdot \vec{J}\end{aligned}$$

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \vec{n} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Der Faktor A beträgt also:

$$A = \begin{bmatrix} 1-x_1 & -x_1x_2 & -x_1x_3 \\ -x_2x_1 & 1-x_2^2 & -x_2x_3 \\ -x_3x_1 & -x_3x_2 & 1-x_3^2 \end{bmatrix}$$

daher:

$$\vec{q} = \frac{g}{12\vartheta} d^3 \times \vec{A} \times \vec{J}$$

Nach DARCY ist nun

$$\vec{K} = \frac{g}{12\vartheta} \times d^3 \times \vec{A}$$

Bei f Klüften pro Meter (in Richtung \vec{n})

$$(I) \vec{K} = \frac{g}{12\vartheta} \times f \times d^3 \times \vec{A} = \frac{g}{12\vartheta} f_i \times d_i^3 \times [I - (\vec{n}_i \otimes \vec{n}_i)]$$

Bei N Kluftgruppen

$$(II) \vec{K} = \sum_{i=0}^N \vec{K}_i$$

Es kann nun auch der hypothetische Fall von Wasser, welches nur in schlauchförmigen Schnittlinien der Kluft Räume zirkuliert, welche den Durchmesser d besitzen, errechnet werden. An Hand derselben Methode erhält man

$$\vec{K} = \frac{g \times \pi}{128\vartheta} \times F \times d^4 \times \vec{m} \otimes \vec{m} \text{ und } \vec{q} = \vec{K} \times \vec{J}$$

F = Frequenz der Schnittlinien.

In der vorliegenden Arbeit wird an Hand von (I) die Permeabilität für jede Kluftgruppe separat berechnet, (II) erlaubt sodann den Wert für einen gewissen geologischen Bereich zu berechnen.

3.2.3. Praktische Anwendung

Im theoretischen Teil erhielten wir folgende Relation:

$$(I) \bar{K}_i = \frac{g}{12 \vartheta} f_i \times d_i^3 \times \left[I - (\vec{n} \otimes \vec{n}) \right] \text{ und } \vec{q}_i = \bar{K}_i \times \vec{J}_i$$

Ausgehend von den Kluftdiagrammen, welche pro Meßstation erstellt wurden, sind die Faktoren f_i und n_i zu errechnen. Zu diesem Zweck wurden von L. KIRALY (1969) zwei Programme (auf IBM 1130) ausgearbeitet. Im ersten Programm werden an Hand eines Koordinatometers auf jedem Kluftdiagramm (NDIA) genauestens die jeweiligen Kluftgruppen (NGR) separiert und numeriert. Das zweite Programm liefert eine genaue Aufstellung von

1. Frequenz (FREQ) einer Kluftgruppe/m/NDIA
2. die genauen Koordinaten x, y, z (Einheit = 1) des Polschwerpunktes jeder Kluftgruppe.

\vec{n} ist der Vektor \vec{OP} , wobei O das Zentrum der Lagekugel und P den Polschwerpunkt darstellt, d. h. x, y, z sind auch die Koordinaten des Vektors \vec{n} . Bekannt sind also pro NGR: $x, y, z, \text{ FREQ} = f$, sowie $d, g, 12 \vartheta$. Wir haben:

$$\vec{n} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \text{ Multiplizieren wir } \vec{n} \otimes \vec{n}$$

$$\vec{n} \otimes \vec{n} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \times [x \ y \ z] = \begin{bmatrix} x^2 & yx & zx \\ yx & y^2 & zy \\ zx & zy & z^2 \end{bmatrix}$$

Die identische Matrix I beträgt:

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ d. h. } I - (\vec{n} \otimes \vec{n}) = \begin{bmatrix} 1-x^2 & -yx & -zx \\ -yx & 1-y^2 & -zy \\ -zx & -zy & 1-z^2 \end{bmatrix}$$

$$\frac{g}{12 \vartheta} = 0,8175 \times 10^6$$

Setzen wir ein in die oben erhaltene Relation (I):

$$\bar{K}_i = 0,8175 \times 10^6 \times f_i \times d_i^3 \times \begin{bmatrix} 1-x^2 & -yx & -zx \\ -yx & 1-y^2 & -zy \\ -zx & -zy & 1-z^2 \end{bmatrix}$$

Um den Rechenvorgang nicht zu komplizieren, wird der Wert für die Kluftöffnung d erst im Endergebnis des Permeabilitätswertes eingesetzt. Bei den folgenden Berechnungen genügt es nun, die für jede Kluftgruppe erhaltenen Werte (f, x, y, z) einzusetzen.

Die durchschnittliche Kluftöffnung der Hohen Wand beträgt $d_1 = 0,2$ mm, jene der Fischauer Berge $d_2 = 0,3$ mm.

Im folgenden werden nur die bereits errechneten Mittelwerte der Permeabilität für die jeweiligen Meßstationen angeführt.

Für den Bereich der Hohen Wand erhält man nach (III) : ($d_1 = 0,2 \text{ mm}$)

$$\text{Station 1:} \quad \bar{K}_I = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1295,372 & 685,980 & 56,611 \\ 685,980 & 1364,067 & 209,988 \\ 56,611 & 209,988 & 2308,459 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Station 2:} \quad \bar{K}_{II} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1413,285 & -759,029 & 375,437 \\ -759,029 & 1953,277 & 78,352 \\ 375,437 & 78,352 & 1203,348 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Station 3:} \quad \bar{K}_{III} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 3089,254 & -327,705 & -55,650 \\ -327,705 & 923,426 & 569,635 \\ -55,650 & 569,635 & 3423,226 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Station 4:} \quad \bar{K}_{IV} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 524,805 & 199,319 & 12,994 \\ 199,319 & 637,728 & 76,681 \\ 12,994 & 76,681 & 973,029 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

Der Mittelwert dieser Stationen beträgt:

PERMEABILITÄT DER HOHEN WAND

$$\bar{K}_{H.W.} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1580,679 & -50,358 & 389,392 \\ -50,358 & 1219,624 & 233,664 \\ 389,392 & 233,664 & 1977,015 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

Dieselbe Methode gilt für die Fischauer Berge ($d_2 = 0,3 \text{ mm}$)

$$\text{Station 1':} \quad \bar{K}_V = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1542,131 & 571,563 & 148,049 \\ 571,563 & 115,164 & -169,138 \\ 148,049 & -169,138 & 2230,216 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Station 2':} \quad \bar{K}_{VI} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1087,956 & 233,459 & -84,028 \\ 233,459 & 2488,709 & -18,330 \\ -84,028 & -18,330 & 2401,049 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Station 3':} \quad \bar{K}_{VII} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 2090,612 & 754,080 & -157,133 \\ 754,080 & 1407,147 & 528,038 \\ -157,133 & 528,038 & 2541,893 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Station 4':} \quad \bar{K}_{VIII} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 2845,949 & 1181,413 & 899,818 \\ 1181,413 & 2626,752 & -552,159 \\ 899,818 & -552,159 & 4239,649 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

Der Mittelwert ergibt sodann die

PERMEABILITÄT DER FISCHAUER BERGE

$$\bar{K}_{F.B.} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1641,662 & 685,128 & 201,676 \\ 685,128 & 1909,443 & -211,589 \\ 201,676 & -211,589 & 2853,201 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

3.3. Berechnung der hydraulischen Gradienten

\vec{J}_1 (Hohe Wand) und \vec{J}_2 (Fischauer Berge)

3.3.1. Methode

Der hydraulische Gradient \vec{J}_i muß als Vektor im 3-dimensionalen Raum, d. h. durch seine Koordinaten dargestellt werden. Hierfür stellt man \vec{J}_i in ein ortho-normiertes Koordinatensystem mit dem Einheitsvektor $\vec{U} = \vec{OA} = 1$. Die y-Achse liegt in der Richtung N-S. Die x-Achse in Richtung E-W. Die z-Achse bildet die Vertikale (siehe Abb. 10).

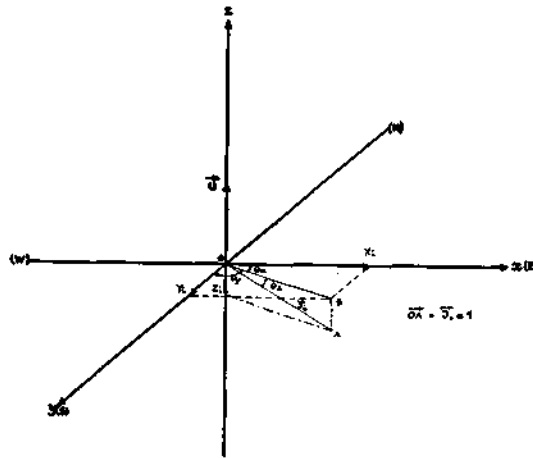


Abb. 10. Vektorielle Darstellung des hydraulischen Gradienten.

Gegeben sind:

1. Der Winkel des Gradienten zur Richtung N-S.
2. Die Neigung des Gradienten zur Horizontalen.

Man projiziert \vec{J}_i in die Ebene yo_x . Sei Θ_x der Winkel $\widehat{xO\vec{B}}$, Θ_y der Winkel $\widehat{yO\vec{B}}$ und Θ_z der Winkel $\widehat{A\circ\vec{B}}$. Die Koordinaten des Gradienten sind also:

$$(I) \quad \vec{J}_i = \begin{bmatrix} X_i = \cos \Theta_x \\ Y_i = \sin \Theta_x \text{ (oder } \cos \Theta_y) \\ Z_i = -\sin \Theta_z \end{bmatrix}$$

3.3.2. Berechnung des Gradienten \vec{J}_1

Der Winkel des Vektors \vec{J}_1 zur EW-Richtung beträgt 40° (gemessen). Die Neigung muß an Hand von Erfahrungswerten errechnet werden (sie ist allgemein sehr gering). Im Falle von \vec{J}_1 haben wir eine Neigung von ca. 30 m auf 1000 m. Daher: $\text{tg } \Theta_{z1} = 0,03 \Rightarrow \Theta_{z1} \approx 2^\circ$

Setzt man in die Relation (I):

$$\vec{J}_1 = \begin{bmatrix} X_1 = 0,80 \\ Y_1 = 0,58 \\ Z_1 = -0,03 \end{bmatrix}$$

3.3.3. Berechnung des Gradienten \vec{J}_2

Der Winkel \vec{J}_1 — EW beträgt 33° (gemessen). Die Neigung ist ca. 20 m auf 500 m.

Daher: $\text{tg } \Theta_{z2} = 0,04 \Rightarrow \Theta_{z2} \approx 2,5^\circ$

Setzt man in die Relation (I):

$$\vec{J}_2 = \begin{bmatrix} X_2 = 0,86 \\ Y_2 = 0,49 \\ Z_2 = -0,03 \end{bmatrix}$$

3.4. Berechnung des Vektors der Filtrationsgeschwindigkeit \vec{q} :

3.4.1. Methode

Sei $\overline{\overline{K}}_i$ der Permeabilitätstensor einer Kluftgruppe (oder eines bestimmten geologischen Bereiches) und \vec{J}_i der entsprechende hydraulische Gradient.

Nach der bereits bekannten Relation $\vec{q} = \overline{\overline{K}} \times \vec{J}$ haben wir:

$$\overline{\overline{K}}_i = A_i \times \begin{bmatrix} 1-z^2 & -yx & -zx \\ -yx & 1-y^2 & -zy \\ -zx & -zy & 1-x^2 \end{bmatrix}$$

$$\text{und } \vec{J}_i = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$\text{d. h.: } \vec{q}_i = \overline{\overline{K}} \times \vec{J} = A_i \begin{bmatrix} \alpha = X(1-z^2) - Y(yz) - Z(zx) \\ \beta = -X(yz) + Y(1-y^2) - Z(zy) \\ \gamma = -X(zx) - Y(zy) + Z(1-x^2) \end{bmatrix}$$

der absolute Wert von \vec{q} beträgt somit:

$$|\vec{q}_i| = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}$$

Es ist also möglich, den Vektor der Filtrationsgeschwindigkeit sowohl für eine einzelne Kluftgruppe, als auch für einen großen geologischen Bereich zu berechnen.

3.4.2. Filtrationsgeschwindigkeit \vec{q}_I der Hohen Wand

$$\bar{K}_{H. w.} \times \vec{J}_I = \vec{q}_I = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1223,655 \\ 660,086 \\ 387,726 \end{bmatrix} \text{ m. s}^{-1}$$

der Absolutbetrag des Vektors \vec{q}_I

$$|\vec{q}_I| = 1.443 \times 10^{-3} \text{ m. s}^{-1}$$

Im Falle der Hohen Wand ergibt sich eine andere interessante Möglichkeit: Berechnet man die Filtrationsgeschwindigkeit für jede der Meßstationen, so kann man diese Werte graphisch darstellen und man erhält die Variation der Filtrationsgeschwindigkeit entlang der Hohen Wand. Dies ist möglich, da die Meßstationen auf einer ungefähren Geraden liegen.

$$\vec{q}_I = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 640,127 \\ 248,677 \\ -236,334 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1} \quad |\vec{q}_I| = 0,726 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\vec{q}_{II} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1582,127 \\ 1742,473 \\ -381,893 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1} \quad |\vec{q}_{II}| = 2,384 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\vec{q}_{III} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 2659,802 \\ 814,821 \\ -388,564 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1} \quad |\vec{q}_{III}| = 2,808 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\vec{q}_{IV} = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 825,250 \\ 161,709 \\ -78,480 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1} \quad |\vec{q}_{IV}| = 0,371 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$$

Graphische Darstellung:

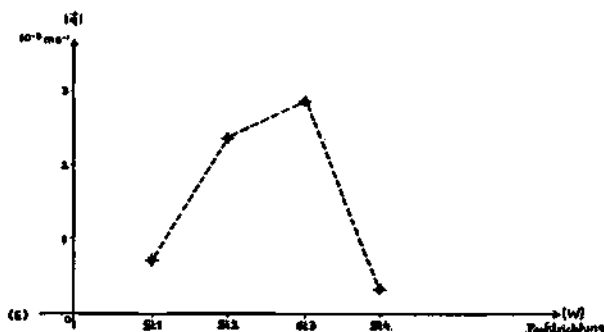


Abb. 11. Graphische Darstellung der Variation der Filtrationsgeschwindigkeit.

3.4.3. Filtrationsgeschwindigkeit \vec{q}_2 der Fischauer Berge

$$\bar{K}_{F.B} \times \vec{J}_2 = \vec{q}_2 = 10^{-6} \times \begin{bmatrix} 1740,922 \\ 1009,943 \\ -15,833 \end{bmatrix} \text{ m.s}^{-1}$$

der Absolutbetrag des Vektors \vec{q}_2

$$|\vec{q}_2| = 2,012 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$$

3.5. Schlußfolgerungen

Die hier angeführte Methodik zur Berechnung von Permeabilität und Filtrationsgeschwindigkeit bietet äußerst günstige Voraussetzungen für die Lösung der verschiedensten hydrogeologischen Probleme, wie zum Beispiel Prognosen für Wassererschließungen, bei Errichtung von Wasserschutzgebieten, Staudämmen usw.

Die Methode ist ausschließlich für klüftiges Festgestein konzipiert.

Die Permeabilität (auch Permeabilität von DARCY genannt) kann als die Eigenschaft eines Körpers, eine Flüssigkeit unter Druck weiterzuleiten, betrachtet werden. Diese Eigenschaft ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Korngröße (bei Sedimenten)
- Kluftöffnung (bei Festgesteinen)
- Temperatur und spez. Gewicht der zirkulierenden Flüssigkeit
- Saturationsgrad des Mediums.

Die Filtrationsgeschwindigkeit, dargestellt in Form eines Vektors ist einzig die Aussage über die Geschwindigkeit eines Wasserteilchens und dessen Richtung.

4. Chemismus

4.1 Wasseranalysen

Es wurden möglichst gleichmäßig verteilte Wasserproben aus Brunnen und Quellen entnommen. Abb. 13 zeigt die Verteilung der Proben mit ihrer jeweiligen Nummer versehen.

Die Gewässer dieser 42 Probenpunkte wurden vom chemischen Labor der Geologischen Bundesanstalt analysiert.

Folgende Werte wurden pro Probe ermittelt:

- pH-Wert; — dGH = Deutsche Gesamthärte; — dKH = Karbonat-Härte;
- dNKH = Nicht Karbonat-Härte; dKH + dNKH = dGH
- CaO — in mg/l; — MgO — in mg/l; — Cl⁻ — in mg/l; — SO₄⁻ — in mg/l
- mVal GH/l: Gesamthärte pro Liter in mVal
- mVal Ca/l: Kalzium pro Liter in mVal
- mVal Mg/l: Magnesium pro Liter in mVal

Tabelle 2 zeigt die erhaltenen Werte der verschiedenen Probenanalysen.

Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH	7,3	7,9	8,1	7,5	7,4	7,4	7,8	7,9	7,6	8,2
dGH	17,1	16,3	23,4	15,9	20,5	21,7	20,6	18,6	21,4	21,4
dKH	3,3	2,9	19,1	3,0	18,5	19,0	3,6	16,6	4,0	16,8
dNKH	13,8	13,4	4,3	12,9	2,0	2,1	17,0	2,0	17,4	4,6
CaO mg/l	141,0	109,0	172,5	115,2	170,2	165,8	119,0	153,4	151,0	168,0
MgO mg/l	19,1	37,4	44,3	31,2	25,0	32,5	58,9	23,4	45,1	33,0
Cl- mg/l	1,6	1,7	0,5	5,6	10,0	3,0	9,5	8,5	6,4	18,5
SO ₄ ²⁻ mg/l	38,7	42,4	117,0	32,5	37,0	45,0	30,9	63,0	84,4	74,0
mval GH/l	6,104	5,817	8,4	5,673	7,3	7,5	7,354	6,6	7,649	7,6
mval Ca/l	5,028	3,887	6,2	4,007	6,1	5,9	4,243	5,5	5,396	6,0
mval Mg/l	0,947	1,856	2,2	1,546	1,2	1,6	2,919	1,1	2,242	1,6
Probe Nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
pH	8,4	7,8	7,5	8,2	8,2	8,4	8,0	8,4	8,3	8,2
dGH	22,0	17,3	17,5	22,3	22,3	27,0	26,5	21,4	23,4	23,6
dKH	19,8	2,9	13,5	18,3	17,5	23,9	24,9	16,8	20,1	4,0
dNKH	2,2	14,4	4,0	4,0	4,8	3,1	1,6	4,6	3,3	19,6
CaO mg/l	133,3	120,0	127,7	163,5	152,3	168,0	161,3	138,6	136,6	164,0
MgO mg/l	62,0	36,3	33,9	42,7	50,7	73,3	74,9	53,9	70,1	52,3
Cl- mg/l	4,5	5,2	2,2	16,8	17,5	23,0	17,0	19,0	15,0	19,7
SO ₄ ²⁻ mg/l	70,0	59,7	28,0	51,0	79,0	105,0	158,0	70,0	84,0	71,6
mval GH/l	7,9	6,182	6,3	8,0	8,0	9,8	9,6	7,6	8,4	8,4
mval Ca/l	4,8	4,274	4,6	5,8	5,4	6,0	5,8	5,0	4,9	5,8
mval Mg/l	3,1	1,798	1,7	2,1	2,6	3,6	3,7	2,6	3,5	2,5
Probe Nr.	21	22	24	25	26	27	28	29	40	42
pH	8,0	7,7	7,3	7,2	7,9	7,1	8,0	7,9	7,6	7,7
dGH	22,9	26,5	21,2	42,9	26,7	43,9	13,9	16,6	23,2	33,5
dKH	3,7	3,0	3,9	3,4	2,9	3,0	13,0	14,3	15,2	15,5
dNKH	19,2	23,5	17,3	39,5	23,9	40,9	0,9	2,3	8,0	18,0
CaO mg/l	169,0	198,0	131,0	299,0	190,0	318,0	123,2	138,9	165,8	239,7
MgO mg/l	41,7	45,4	56,9	90,9	46,8	63,1	11,3	19,4	48,4	68,5
Cl- mg/l	23,5	9,4	--	2,1	3,3	2,7	2,0	2,2	17,5	34,0
SO ₄ ²⁻ mg/l	71,7	223,0	51,8	510,0	213,0	531,0	78,0	110,0	140,0	337,0
mval GH/l	8,158	9,469	7,568	15,315	9,531	15,690	5,0	5,9	8,3	11,9
mval Ca/l	6,015	7,059	4,661	10,663	6,776	11,430	4,4	4,9	5,9	8,5
mval Mg/l	2,068	2,252	2,821	4,505	2,320	4,117	0,6	1,0	2,4	3,4
Probe Nr.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
pH	7,4	7,3	7,6	7,8	7,1	7,1	7,3	7,8	7,9	7,5
dGH	25,3	23,7	37,8	37,5	49,0	26,0	22,9	24,3	58,5	21,3
dKH	15,6	4,5	3,8	12,4	18,5	4,8	4,4	3,2	3,0	15,7
dNKH	9,7	19,2	34,4	25,1	30,5	21,2	18,5	21,1	55,5	5,6
CaO mg/l	217,3	167,0	251,0	264,3	259,7	148,0	149,0	176,0	456,0	130,0
MgO mg/l	25,8	50,3	79,5	79,8	140,3	78,0	56,9	48,4	93,6	59,7
Cl- mg/l	11,7	8,8	53,8	91,9	122,6	33,4	36,2	16,6	3,4	24,0
SO ₄ ²⁻ mg/l	181,0	73,2	271,0	212,0	244,0	63,8	138,8	146,0	822,0	62,0
mval GH/l	9,0	8,471	13,494	13,4	17,5	9,292	8,158	8,686	20,892	7,6
mval Ca/l	7,7	5,957	8,951	9,4	10,6	5,280	5,139	6,266	16,247	4,6
mval Mg/l	1,3	2,493	3,916	4,0	6,9	3,866	2,822	2,397	4,639	3,0

Tab. 2.

4.2. Darstellungsmethode

Die vorliegende Darstellung (Abb. 12) ist eine Vereinfachung des Diagrammes von H. SCHOELLER.

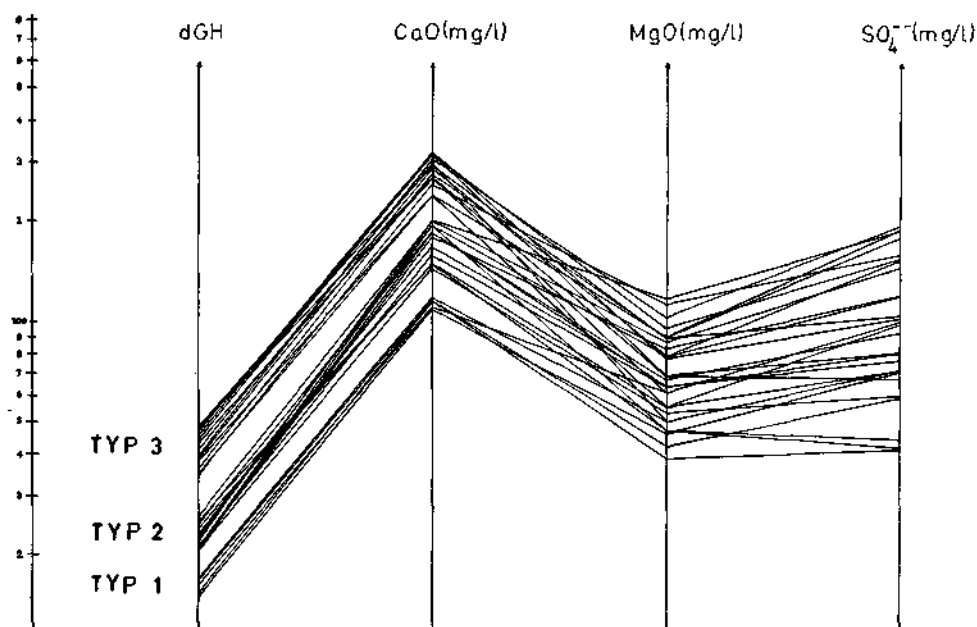


Abb. 12. Graphische Darstellung des Wasserchemismus (nach H. SCHOELLER).

Auf einem doppellogarithmischen Papier werden vier Werte (dGH — CaO — MgO und SO_4^{2-}) aufgetragen, wobei dieselbe Einheit der y-Achse verwendet werden kann. Nach Auftragen der Werte der gesamten Proben konnte eine deutliche Gruppierung in drei Wasserchemismustypen festgestellt werden. Diese Gruppierung ist bei der Deutschen Gesamthärte und dem CaO besonders ausgeprägt. Die Grenzwerte dieser beiden Faktoren sind auf folgender Tabelle dargestellt.

Tab. 3.

	dGH	CaO (mg/l)
Typ 1	15,5—17,2	230—320
Typ 2	21 —27	142—200
Typ 3	33,5—50	106—120

An Hand der drei Gewässertypen konnte eine schematische Darstellung (Abb. 13) der Wasserfazies angefertigt werden. Die Punkte, an denen Tritiumanalysen vorgenommen wurden, sind mittels schwarzer Ringe gekennzeichnet.

Abb. 13. Wasserdeminus des Arbeitsgebietes.

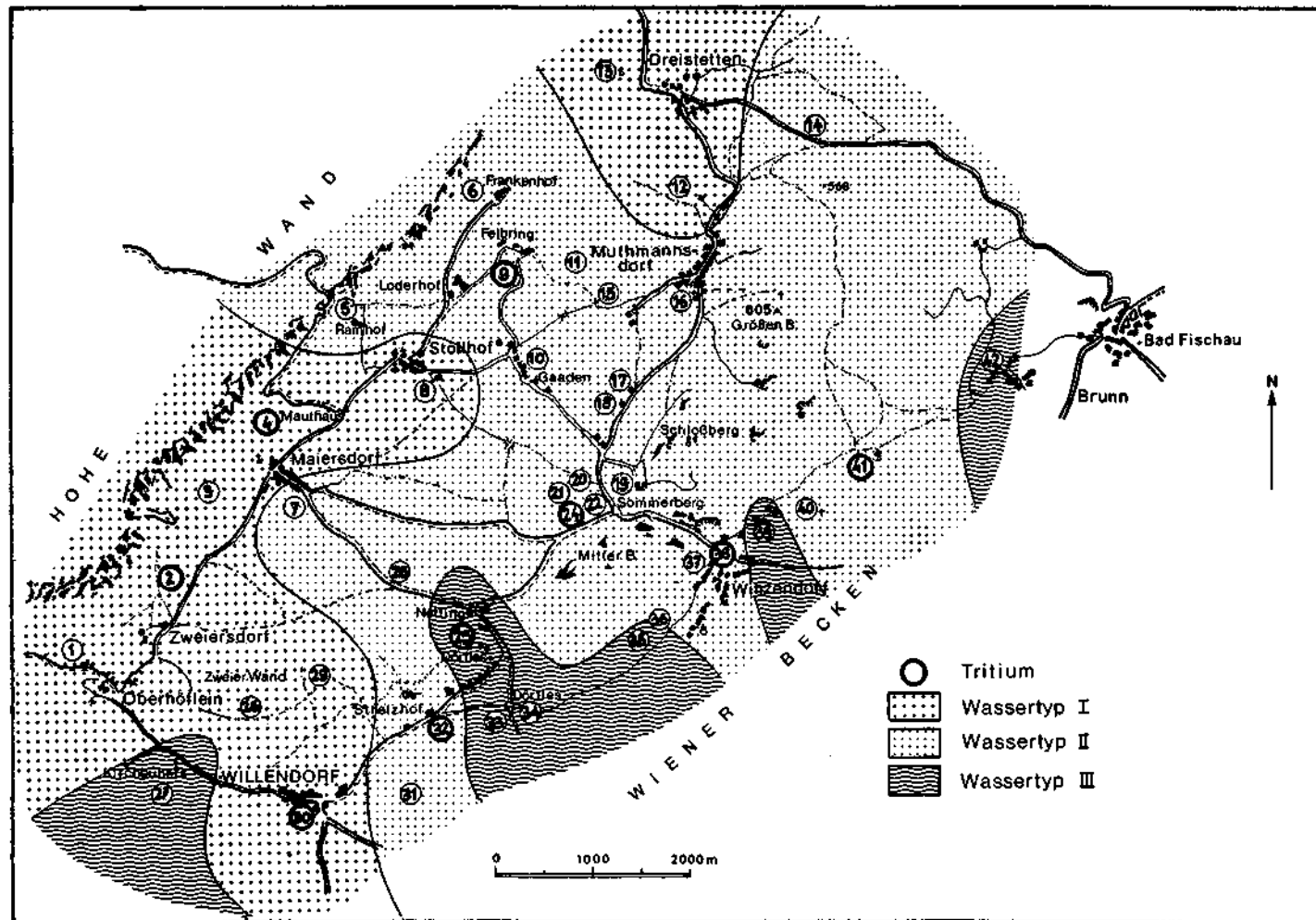
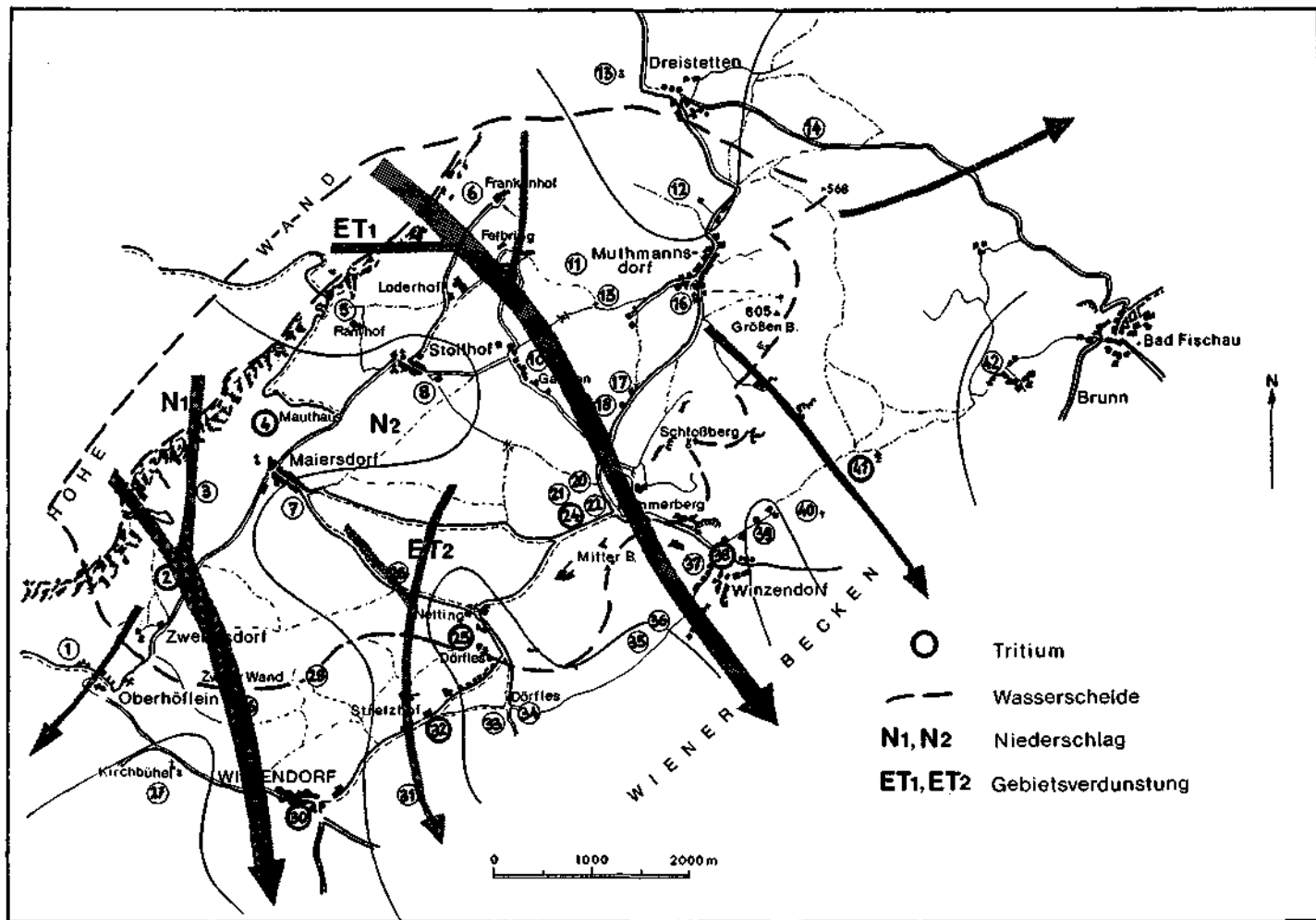


Abb. 14. Abflusssystem des Arbergergebietes.



- Tritium
- Wasserscheide
- N1, N2 Niederschlag
- ET1, ET2 Gebietsverdunstung

Nach einer Einteilung von T. GATTINGER entspricht der Gewässertyp 1 eher dem sogenannten kalkalpinen Randtypus. Während die Typen 2 und 3 als Extremtypus bezeichnet werden, da sie relativ hohe dGH-Werte sowie hohe CaO-Gehalte aufweisen.

Ausgehend von der Wasserfazies wurde versucht, das Abflußsystem der Neuen Welt darzustellen (Abb. 14).

Diese Interpretation beruht ausschließlich auf den Resultaten der Wasseranalysen. Da die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Wassertyp kein absolutes Kriterium für die Einheit dieser Wasserfazies darstellt, müßten die Resultate des Wasserchemismus mit langjährigen Tritiumanalysen verglichen werden, um ein vollständiges Bild zu ergeben.

5. Tritiumanalysen

5.1. Allgemeines

Natürliches Wasser enthält unter anderem das radioaktive Isotop Tritium ($T, ^3H$). Die Halbwertszeit des Tritium beträgt 12,3 Jahre. In der Natur liegt es als HTO vor, d. h. als isotopisch markiertes H_2O -Molekül und folgt daher dem Kreislauf des Wassers. Die Tritiumanalyse erlaubt eine chronologische Aussage über die verschiedenen Gewässertypen. Tritium wird in den hohen Schichten der Atmosphäre durch Einwirkung von Höhenstrahlung erzeugt. In der Stratosphäre verbrennt Tritium zu HTO und verbleibt ca. 1 Jahr in diesem Bereich. Von dort gelangt das HTO (bevorzugt im Frühjahr) in die Troposphäre. Nach einer Verweildauer von ca. 0,1 Jahr gelangen diese isotopisch markierten Moleküle mit dem Niederschlag in den Wasserkreislauf. Der Tritiumgehalt des Niederschlages weist jedoch von Regen zu Regen starke Schwankungen auf, da er sich jeweils zwischen Nachlieferung aus höheren atmosphärischen Schichten und Verdünnung innerhalb der Troposphäre einpendelt (Abb. 15).

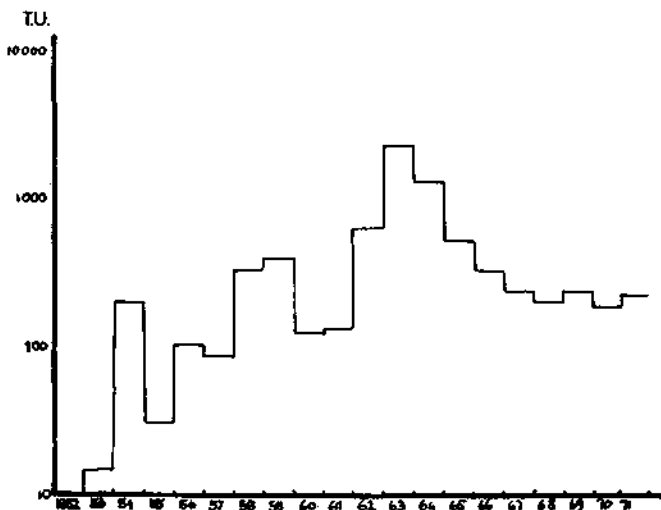


Abb. 15. Tritiumkonzentration in den Niederschlägen West-Europas.

Diesen Schwankungen ist ein mittleres Verhalten überlagert. Da für die hydrologische Anwendung im allgemeinen der Tritiumgehalt des jeweiligen Untersuchungsgebietes nicht bekannt ist, wird dieser von einem weit auseinanderliegenden Stationennetz interpoliert. Die Tritiumgehalte des Niederschlages schwanken mit einem Maximum im Frühjahr bzw. im Frühsommer. Das jahreszeitliche Maximum ist ca. 5mal höher als das jahreszeitliche Minimum (W. ROETHER, 1967 a), siehe Abb. 16.

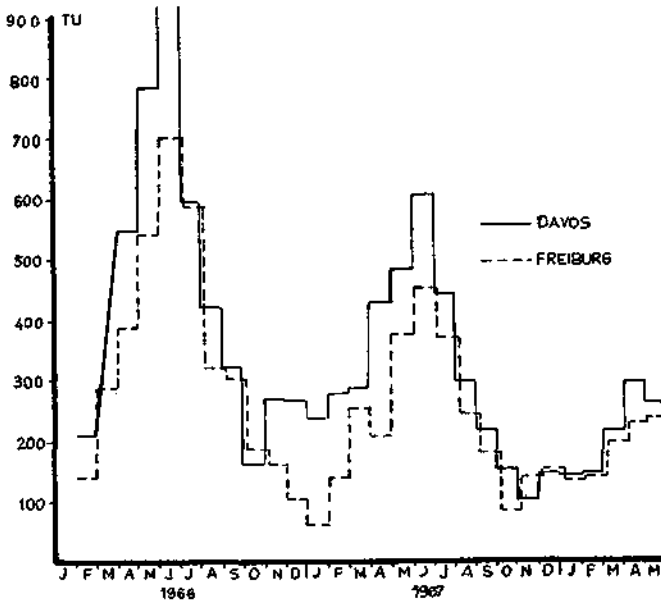


Abb. 16. Jahreszeitliche Schwankungen der Tritiumkonzentration im Niederschlag.

Ebenso steigt von der europäischen Westküste bis ins Innere des Kontinents die Tritiumkonzentration des Niederschlages um ca. das Dreifache.

Näherungsweise läßt sich der Tritiumgehalt der Grundwasserspense mit dem mittleren Tritiumgehalt der jährlichen Niederschlagsmenge der Monate September, März gleichsetzen (W. ROETHER, 1967, K. O. MÜNNICH et. al., 1967).

Tritium kann im Grundwasser als idealer Spurenstoff angesehen werden, da er nur äußerst selten in eine andere chemische Form, wie z. B. in gebundene Hydroxylgruppen übertreten kann (G. KNUTSON & H. G. FORSBURG, 1967). Der natürliche Tritiumgehalt in Mitteleuropa beträgt ca. 4 TU (W. ROETHER, 1967 a).

$$1 \text{ TU} = \frac{(T)}{(H)} = 10^{-18}$$

TU: Tritium unit

1 TU entspricht einer Tritiumaktivität von 0,06 pCi/mol H₂O bzw. der Konzentration von 1 Tritiumatom pro 10¹⁸ Wasserstoffatome.

5.2. Methode

Die maximale Alterseinstufung des Wassers liegt bei 50 Jahren. Ein anderer Anwendungsbereich ergibt sich durch die H-Bomben-Tests der fünfziger Jahre. Dadurch kann festgestellt werden, ob und in welchen Mengen jüngerer Wasser (d. h. eingespeist nach 1950) älterem beigemischt ist. Man muß also, um Tritiumuntersuchungen auszuführen, die Konzentration des versickerten Wassers (Input-Concentration) kennen. Dabei muß man berücksichtigen, daß die Niederschläge verschiedener Jahreszeiten in verschiedenem Maße zur Grundwasserneubildung beitragen. Nach K. O. MÜNNICH et al. (1967) und R. DİNÇER (1970) verdunsten die Sommerniederschläge fast völlig, deshalb werden zur Berechnung der Input-Concentration nur die Monate September bis März herangezogen. Darüber hinaus müssen lokale Faktoren, wie Bodenbeschaffenheit, Mikroklima, Morphologie etc. berücksichtigt werden. Entsprechend dem allgemeinen radioaktiven Zerfallsgesetz verringert sich die Tritiumkonzentration des Niederschlages wie folgt:

$$C = C_0 \times e^{-\lambda T}$$

C_0 : Anfangskonzentration; C : Konzentration nach der Zeit T ; λ : Zerfallskonstante des Tritium.

Im allgemeinen werden 2 Betrachtungsmodelle verwendet um die Tritiumverhältnisse zu berechnen.

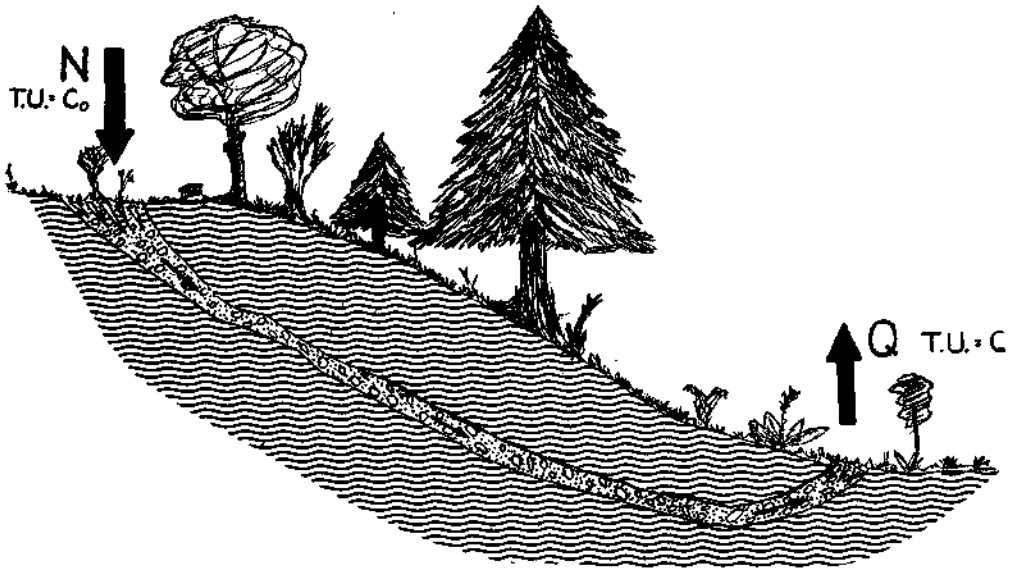


Abb. 17. Schematische Darstellung des PISTON-FLOW-Modells.

(1) Piston — Flow Modell:

Hier wird vorausgesetzt, daß die T-Konzentration des Wassers bei der Entnahme ausschließlich von der Durchgangszeit abhängt und keine Mischungen oder Dispersionen auftreten. Dieses Verhältnis kann durch Abb. 17 dargestellt werden.

In diesem Fall gilt folgende Relation: $C(t) = C_0 (t - T) \times e^{-\lambda T}$
 T: Durchgangszeit des Grundwassers; t: Zeitpunkt der Probenentnahme
 $C_0 (t - T)$: Tritiumkonzentration zum Zeitpunkt des Versickerens.

(2) Dispersionsmodell:

Hier werden gewisse Mischungsverhältnisse von altem und jungem Grundwasser berücksichtigt. Es gilt folgende Relation:

$$C(t) = \int_0^{\infty} C_0 (t - T) \times e^{-\lambda T} \times f(T) \times dT$$

$f(T)$ = Verteilungsfunktion. Sie definiert den Wasseranteil einer Probe, deren Anfangskonzentration $C_0 (t - T)$ und deren Durchgangszeit T beträgt. Die Anwendungsmöglichkeiten von Tritiumanalysen sind zahlreich:

- Allgemeine Aussagen über den Wasserhaushalt
- Berechnung von Fließgeschwindigkeiten
- Verbindungen von Grundwasserkörpern
- Bestimmung der Herkunft von Quellwasser etc.

Kenntnisse über Tritiumverhältnisse ermöglichen gute Aussagen über die allgemeine hydrogeologische Situation eines bestimmten Gebietes. Auf Tab. 4 sind Datum der Probeentnahme und Tritiumgehalt des Wassers dargestellt.

Tab. 4.

Frühjahr:	Datum der Probeentnahme: 30. 4. 73
Bezeichnung der Wasserprobe	TU
2	239 ± 12
4	176 ± 9
9	173 ± 9
18	143 ± 8
24	172 ± 9
25	53 ± 3
32	32 ± 2
38	173 ± 9
41	157 ± 8
Herbst:	Datum der Probeentnahme: 31. 10. 73
Bezeichnung der Wasserprobe	TU
2	198 ± 10
4	168 ± 9
9	142 ± 8
18	157 ± 8
24	170 ± 9
25	18 ± 2
30	151 ± 8
32	33 ± 3
38	133 ± 7

Tab. 5 zeigt die Tritiumkonzentration des Niederschlags der Jahre 1970 bis 1973 (zur Verfügung gestellt von der IAEA).

Tab. 5.

Tritium im Niederschlag (Station Wien)

	1970	1971	1972	1973
Jänner	120 ± 7	147 ± 9	91,8 ± 3	54 ± 2,6
Februar	101 ± 10	84,3 ± 6,9	—	146 ± 6
März	176 ± 8	551 ± 16	126 ± 6	117 ± 5
April	172 ± 9	292 ± 13	131 ± 5	125 ± 5
Mai	310 ± 12	390 ± 15	166 ± 5	190 ± 6
Juni	333 ± 11	333 ± 17	217 ± 6	171 ± 6
Juli	319 ± 11	216 ± 11	206 ± 6	124 ± 5
August	266 ± 13	127 ± 17	149 ± 6	144 ± 5
September	191 ± 13	146 ± 17	93,7 ± 5,3	57,1 ± 3,2
Oktober	114 ± 11	134 ± 14	45,8 ± 3,4	99,2 ± 4,7
November	106 ± 9	66,4 ± 2,8	48,6 ± 2,4	53,9 ± 3,8
Dezember	124 ± 12	64,2 ± 3,7	—	80 ± 4,3

5.3. Praktische Anwendung

Die T-Konzentrationen des Niederschlags und der Proben werden vorerst in Form eines Diagrammes (Abb. 18) dargestellt. Die Frühsommermaxima der Jahre 1970—1973 sind deutlich erkennbar. Der ungewöhnlich hohe Tritium-Wert im Niederschlag des Monats März 1971 kann auf atmosphärische H-Bomben-Tests zurückgeführt werden.

Betrachtet man die Variation der Tritium-Konzentration der Proben zwischen April und Oktober 1973, können folgende Versuche angestellt werden:

Versuch 1: Ausgehend von der T-Konzentration (C_0) in der 1. Probenreihe und der 2. Serie (c), wird errechnet, in welcher Zeit (t) das Wasser die Konzentration c aufweisen müßte, wenn es keiner entscheidenden Mischung unterworfen wäre.

Beispiel: Die Probe 2 besitzt die Konzentration $C_0 = 239$ TU. Um die Konzentration $c = 189$ TU zu erreichen, müßte eine Zeit $t = \log \frac{C_0}{C} \times \frac{T/2}{\log 2}$

Jahre vergehen.

Die Halbwertszeit des Tritium beträgt: $T/2 = 12,3$ Jahre. Daher: $t = 4,15$ Jahre. Bei den restlichen Proben erhält man:

P_4	$t_4 = 9,6$ Monate
P_9	$t_9 = 3,5$ Jahre
P_{24}	$t_{24} = 2,4$ Monate
P_{25}	$t_{25} = 19,16$ Jahre
P_{38}	$t_{38} = 4,6$ Jahre

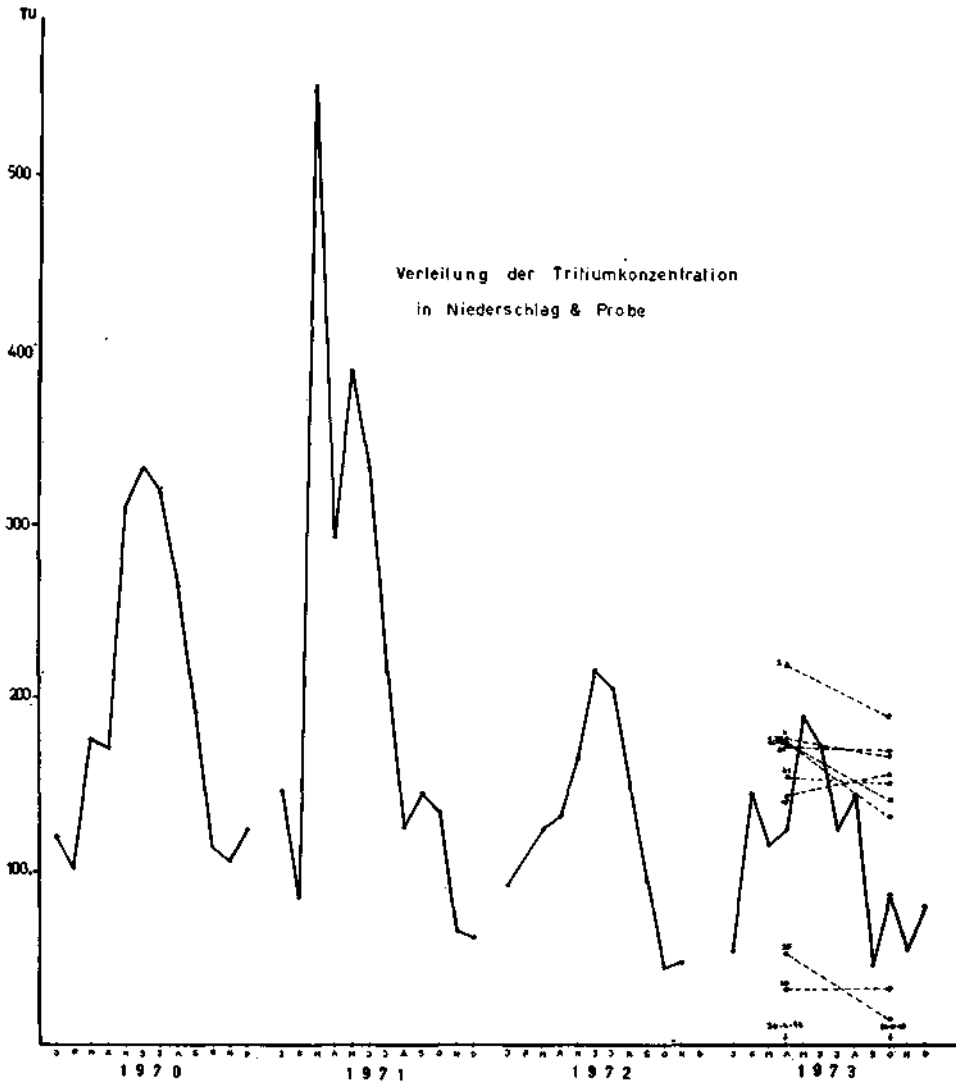


Abb. 18. Verteilung der TU-Konzentration in Niederschlag und Probe.

Daraus ist ersichtlich, daß die Proben 2, 9, 25, 38 in den 6 Monaten sehr stark verdünnt werden. Bei Probe 4 stimmt die Konzentration der 2. Probennahme mit der verstrichenen Zeit annähernd überein. Probe 24 wurde hingegen leicht mit Tritium angereichert.

Eine gegengesetzte Tendenz weisen die Proben 32, 18, 24 auf. Ihre Konzentration bleibt in den 6 Monaten unverändert bzw. steigt stark an. Daraus ist zu schließen, daß eine Mischung mit frischem Niederschlagswasser oder anderem T-reicheren Gewässer erfolgt ist.

Versuch 2: Welche Tritium-Konzentration müßte das Niederschlagswasser der vorhergegangenen Jahre zur Zeit der 1. Probenentnahme (30. 4. 73) aufweisen? Hierfür wurde die Tritium-Konzentration in den Frühsommermonaten der Jahre 70, 71, 72, 73 verwendet.

Beispiel: Mai 1970: Niederschlagskonzentration $C_0 = 310$ TU nach $t = 35$ Monaten beträgt die Konzentration:

$$\log c = \log c_0 - \frac{t \times \log 2}{T_{1/2}} \quad c = 263 \text{ TU}$$

1970	Juni	$C_0 = 333$ TU	nach 34 Monaten	$c = 283,3$ TU
	Juli	$C_0 = 319$ TU	nach 33 Monaten	$c = 272,9$ TU
1971	März	$C_0 = 551$ TU	nach 25 Monaten	$c = 490,9$ TU
	April	$C_0 = 292$ TU	nach 24 Monaten	$c = 261,2$ TU
	Mai	$C_0 = 390$ TU	nach 23 Monaten	$c = 350,7$ TU
	Juni	$C_0 = 333$ TU	nach 22 Monaten	$c = 300,6$ TU
1972	April	$C_0 = 166$ TU	nach 11 Monaten	$c = 157,7$ TU
	Mai	$C_0 = 217$ TU	nach 10 Monaten	$c = 207,0$ TU
	Juni	$C_0 = 206$ TU	nach 9 Monaten	$c = 197,4$ TU

5.4. Schlußfolgerungen

5.4.1. Proben: P 2, P 4, P 9

Die Quellen am Fuße der Hohen Wand sind Überlaufquellen, d. h. der G.W.-Spiegel in den Kluft- und Karsträumen der Hohen Wand steigt im Frühsommer und fördert die Wasserabgabe. Dadurch entsteht ein stärkeres Abfließen der höheren Partien des G.W.-Körpers, also jener Teile, welche noch sehr junges N-Wasser enthalten (aus dem Niederschlag der letzten Jahreshälfte 72 bis Mitte 73). Die Konzentration sinkt also sehr stark durch Verdünnung. In den Wintermonaten senkt sich die Oberkante des G.W.-Körpers und der Wasseraustausch mit den Quellzonen erlahmt bzw. kommt stellenweise gänzlich zum Stillstand. In dieser Periode scheint sich das Gebirgswasser besser zu mischen, wodurch eine höhere T-Konzentration aus den vorhergehenden Jahren besser zum Tragen kommt.

5.4.2. Proben: P 18, P 24

Diese beiden Brunnen enthalten Mischwasser aus grundsätzlich zwei Bereichen: Aus dem G.W. des Gosaubeckens und den Karst- und Kluftspeichern der Fischauer Berge. Es können zwei Interpretationsmöglichkeiten gegeben werden:

- 1) Die direkte Wirksamkeit des Niederschlags Mai, Juni 1973 auf das G.W. kann den Anstieg der Konzentration bewirken.
- 2) Älteres G.W. mit noch sehr hohem T-Anteil (beispielsweise aus den Jahren 1970, 1971 oder früher) kann aus den G.W.-Speichern der Fischauer Berge in den Brunnen P 18 und P 28 gelangen.

In beiden Fällen wäre ein Anstieg der T-Konzentration zu erklären.

Die Probe 38 wurde direkt aus der Prosselt entnommen und zeigt daher gleiche Tendenz wie P 2, P 4, P 9, da ihr Wasser hauptsächlich aus Quellen am Fuße der Hohen Wand entstammt.

5.4.3. Proben: P 25, P 32

Auffallend ist — im Gegensatz zu den restlichen Proben — die äußerst geringe T-Konzentration. Bei P 25 ist die direkte Wirksamkeit des Niederschlages von Ende 72 und Jänner 73 äußerst unwahrscheinlich, da es sich um eine Fassungsanlage der Wasserversorgung von Netting handelt.

Da sowohl P 25 als auch P 32 derart niedrige Konzentrationen aufweisen, kann man daraus schließen, daß es sich in beiden Fällen um relativ altes Wasser handelt. Berücksichtigt man die in der Vergangenheit bei weitem höheren T-Gehalte im Niederschlag, so kann das Wasser aus diesem Bereich mit jahrzehntealtem G.W. gemischt sein. Auf Grund dieser Tatsache liegt die Annahme nahe, daß hier ein G.W.-Speicher mit jeweils jahrzehntealtem Inhalt wirksam wird.

Literatur

1. Geologie

- AMPFERER, O.: Vorläufiger Bericht über neue Untersuchungen der exotischen Gerölle und der Tektonik niederösterreichischer Gosauablagerungen. — Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl., Abt. I, 125, 1—10, Wien 1916.
- BRINKMANN, R.: Zur Schichtfolge und Lagerung der Gosau in den nördlichen Ostalpen. — Sitz.-Ber. preuß. Akad. Wiss., phys.-math. Kl., 27, 8 S., 2 Abb., Berlin 1934.
- CORNELIUS, H. P.: Die Geologie des Schneeberggebietes (Erläuterungen zur Geologischen Karte des Schneeberggebietes). — Jb. Geol. B.-A., Sdh. 2, 1—111, 25 Abb., Wien 1951.
- CIJZEK, J.: Die Kohle in den Kreideablagerungen bei Grünbach. — Jb. Geol. R.-A., 2, 107—123, Wien 1851.
- HERTWECK, G.: Die Geologie der Ötztaldecke. — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 12, 3—84, 5. Taf., Wien 1961.
- KOBER, L.: Der Deckenbau der östlichen Nordalpen. — Denkschr. Akad. Wiss. Wien, math.-natw. Kl., 88, 345—396, 7 Abb., Kt. 1—2, Taf. 1, Wien 1912.
- KOBER, L.: Über Bau und Entstehung der Ostalpen. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 5, 368—481, Taf. 1—7, Wien 1912.
- KRISTAN, E.: Neues vom Puchberger Becken, Odenhofer Fenster und Semmering-Mesozoikum (Exkursionsbericht). — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 4, 43—46, Wien 1956.
- KRISTAN, E.: Ophthalmidiidae und Tetrataxina (Foraminifera) aus dem Rhät der Hohen Wand in Niederösterreich. — Jb. Geol. B.-A., 100, 269—298, 4 Abb., Taf. 1—6, Wien 1957.
- KRISTAN, E.: Geologie der Hohen Wand und des Miesbachtals (N.-Ö.). — Jb. Geol. B.-A., 101, 249—290, 3 Abb., Taf. 1—2, Wien 1958.
- KÜPPER, H.: Geologie und Grundwasservorkommen im südlichen Wiener Becken. — Jb. Geol. B.-A., 97, 161—210, 6 Abb., Taf. 1—6, Wien 1954.
- PAPP, A.: Orbitoiden aus der Oberkreide der Ostalpen (Gosauschichten). — Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-natw. Kl., Abt. I, 164, 303—315, Taf. 1—3, Wien 1955.
- PETRASCHECK, W.: Die Gosau der Neuen Welt bei Wiener Neustadt, ein Steinkohlenschurfgebiet der Ostmark. — Berg- u. Hüttenmänn. Mh., 89, Wien 1941.
- PLÖCHINGER, B.: Die Gosaumulde von Grünbach und der Neuen Welt (Niederösterreich). — Jb. Geol. B.-A., 104, 359—441, 19 Abb., Wien 1961.
- SEGDWICK, A., & MURCHISON, R. J.: A sketch of the Structure of the Eastern Alps. — Transact. Geol. Soc. London (2) 3, Jb. 2, 301—340, 2 Tab., Taf. 35—40, London 1831.

- SPENGLER, E.: Versuch einer Rekonstruktion des Ablagerungsraumes der Decken der nördlichen Kalkalpen. III. Teil: Der Ostabschnitt der Kalkalpen. — Jb. Geol. B.-A., 102, 193—312, 5 Abb., Taf. 1, Wien 1959.
- TOLLMANN, A.: Faziesanalysen der alpinen Serien der Ostalpen. — Verh. Geol. B.-A., Sh. G, 103—133, 1 Abb., Wien 1965.
- TOLLMANN, A.: Geologie der Kalkvorralpen im Ötztal als Beispiel alpiner Deckentektonik. — Mitt. Geol. Ges., Wien, 58, 103—207, Taf. 1—4, Wien 1966.
- TOLLMANN, A.: Ein Querprofil durch den Ostrand der Alpen. — Ecl. Geol. Helv., 60, 109—135, 1 Abb., Taf. 1, Basel 1957.

2. Hydrologie — Klimatologie

- ALBRECHT, F.: Die Bestimmungen der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche. — Arch. Met. Geophys. Biokl., 2, 1—38, Wien 1951.
- BIZEK, P.: Vergleich der verschiedenen Berechnungsmethoden der Verdunstung mit dem Ziel, Verdunstungskarten für Österreich zu erstellen. — Unveröff. Diss. Phil. Fak. Univ. Wien, 114 S., 26 Abb., 5 Tab., 18 Kt., Wien 1974.
- HADER, F.: Zum Klima und Bioklima von Hanglagen. — Sonderdruck „Wetter und Leben“, 19, 269—278, 1 Abb., Wien 1967.
- JUNG, W., & SPILKER, M.: Hydrologische Probleme beim Wasserstau in der Mansfelder Mulde. — Z. Angew. Geol., 18, 17—22, 2 Abb., Berlin 1972.
- LEE, CH. H.: Transpiration and total evaporation. — Physics of Earth, Ed. Hydrology, 9, 56—82, 2 Abb., New York 1942.
- LITSCHAUER, D.: Untersuchungen der Entwicklung von Kalkluftseen in Dolinen und Beckenlagen. — Unveröff. Diss. Phil. Fak. Univ. Wien, 129 S., 52 Abb., 16 Tab., Wien 1962.
- RABER, O.: Water utilization by trees with special reference to the economic forest species of the north temperate zone, Washington. — U. S. Dept. Agricultr. Nr. 257, 97 S., 9 Abb., Washington 1937.
- SVERDRUP, H. U.: The Eddy conductivity of the air over a Smooth snowfield. Results of the Norwegian Swedish Spitzbergen Expedition in 1934. — Geofys. Publ., 11, H. 7, 1—29, 2 Abb., Oslo 1936.
- TURC, L.: Calcul du bilan de l'eau. Évaluation en fonction des précipitations et des températures. — Ass. Int. Hydrogeol. Soc., 38, 188—202, 3 Abb., Paris 1954.
- TURC, L.: Le bilan de l'eau des sols, relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. — Ann. Agro. Serie A, 5, 491—596, 7 Abb., Paris 1954.
- WHITE, W. N.: A method of estimating ground-water supplies based on discharge by plants and evaporation from soil. Results of investigation in Escalante Valley, Utah. — Water Surv. Pap., Nr. 659, 105 S., 29 Abb., 10 Taf., Washington 1932.

3. Karst- und Kluftanalysen

- AUBERT, D.: Phénomènes et formes du karst Jurassien. — Eclogae Geol. Helv., 62, 325—399, 44 Abb., 4 Taf., Basel 1969.
- BIROT, P.: Problèmes de morphologie karstique. — Ann. Geogr., 58, 161—192, 5 Abb., Paris 1954.
- CVIJC, J.: Hydrographie souterraine et évolution morphologique du karst. — Recl. Trav. Inst. géogr.-alpine, 6, H. 4, 56 S., 3 Taf., Grenoble 1918.
- KIRALY, L., MATHEY, B., & TRIPET, J. P.: Fissuration et orientation des cavités souterraines. Région de la Grotte de Milandre (Jura tabulaire). — Bull. soc. Neuchâtel. Sci. nat., 94, 99—114, 5 Abb., Neuchâtel 1971.
- KIRALY, L.: Anisotropie et hétérogénéité de la perméabilité dans les calcaires fissurés. — Eclogae Geol. Helv., 62, 613—619, 3 Abb., Basel 1969.
- KIRALY, L.: Elements structuraux et alignements des phénomènes karstiques (Region gouffre du Petit-Pré, St. Livres, Jura Vaudois). — Bull. soc. neuchâtel. Sci. nat., 91, 127—146, 10 Abb., Neuchâtel 1968.
- LEHMANN, O.: Hydrographie des Karstes. — 212 S., 78 Abb., Leipzig & Wien (Deuticke), Wien 1932.

- MÜLLER, L.: Der Felsbau. Theoretischer Teil. — 624 S., 307 Abb., 22 Taf., Stuttgart (Springer) 1963.
- REUTER, F., & KOCKERT, W.: Zu einigen Fragen des Karstproblems. — *Z. Angew. Geol.*, 17, 343—347, 2 Abb., Berlin 1971.
- SCHNEIDEGGER, A. E.: On the statistics of the orientation of Bedding planes. Graine axes and similar sedimentological Data. — Prof. Paper, U. S. Geol. 525 C, 164—167, 1 Abb., Washington 1965.
- TOTH, J.: A theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada. — *J. Geophys. Res.*, 67, 4375—4387, 3 Abb., Toronto 1962.
- TOTH, J.: A hydrogeological study of the Three Hills area, Alberta. — *Res. Counc. Alberta*, 24, 117 S., 24 Abb., Toronto 1968.
- WITKE, W., & LOUIS, CL.: Modellversuche zur Durchströmung klüftiger Medien. — *Felsmedh. Ing. Geol.*, 1968, H. 4, 52—78, 24 Abb., Wien-New York 1968.

4. Allgemeine Hydrogeologie

- BENTZ, A., & MARTINI, H. J.: Lehrbuch der Angewandten Geologie. II. Teil. — 1357—1546, 302 Abb., 101 Taf., Stuttgart (Enke) 1969.
- BOGOMOLOV, G. V.: Elements d'hydrogéologie. 2. Aufl. — 188 S., 104 Abb., Moskau (Gosgeotekhnizdat) 1955.
- BOGOMOLOV, G. V., SILIN-BEKTCHOURIN, A. I.: Hydrogéologie spéciale. — 247 S., 166 Abb., Moskau (Gosgeotekhnizdat) 1955.
- CASTANY, G.: Traité pratique des eaux souterraines. — 657 S., 192 Abb., 86 Taf., Paris (Dunod) 1963.
- FOURMARIER, P.: Hydrogéologie. 2. Aufl. — 294 S., 164 Abb., Paris (Hassou) 1958.
- SCHOELLER, H.: Hydrogéologie. — 2. Bd., 443 S., 119 Abb., Paris (Technique) 1955.
- SCHOELLER, H.: Les eaux souterraines. — 642 S., 187 Abb., Paris (Masson & Cie) 1962.
- TOLMAN, C. F.: Ground-Water. — 593 S., 189 Abb., London (MacGraw-Hill) 1937.
- THURNER, A.: Hydrogeologie. — 350 S., 187 Abb., Wien-New York (Springer) 1967.
- WUNDT, W.: Gewässerkunde. — 320 S., 185 Abb., Wien (Springer) 1953.

5. Spezielle Hydrogeologie

- CHOUKER, F.: Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen der gegenwärtig in der Grundwassererkundung eingesetzten geophysikalischen Verfahren. — *Z. Angew. Geol.*, 16 (H. 5), 222—236, 1 Abb., 2 Tab., Berlin 1970.
- DIESEL, E.: Hydrogeologische Untersuchungen am Rurrandsprung bei Jülich. — *Geol. Mitt. Aachen*, 2 (H. 1), 70—89, 4 Abb., 1 Taf., Aachen 1961.
- GATTINGER, T.: Trinkwasser, Thermen und Tektonik im südlichen Wiener Becken. — *Mitt. Geol. Ges. Wien*, 57, 205—216, 2 Abb., Wien 1964.
- GRUBINGER, H.: Gespannte Grundwässer im südlichen Wiener Becken. — *Öst. Wasserwirtschaft*, 3, 241—245, 6 Abb., Wien 1951.
- KANTAS, K.: Geophysikalische Interpretationsfragen im südlichen Wiener Becken. — *Erdöl und Kohle*, 14, 600—606, Hamburg 1961.
- KÖTTNER, A.: Grundwasserstandsschwankungen im Marchfeld. — *Z. öst. Ing. Arch.-Ver.*, 96, 26—28, 1 Abb., Wien 1951.
- KOLLER, R.: Die Wasserversorgung von Wien (nach einem Vortrag). — *Öst. Ing.-Z.*, 109, 181—198, 2 Abb., Wien 1954.
- KRAFT, W., et al.: Die hydrogeologischen Verhältnisse in der mittleren Tihama. — *Z. Angew. Geol.*, 17, 239—241, 13 Abb., 3 Tab., Berlin 1971.
- KÜPPER, H.: Zur hydrogeologischen Situation des Wiener Beckens, südlich der Donau. 2. Teil. — *Gas — Wasser — Wärme*, 3, 212—217, 1 Abb., Wien 1949.
- KÜPPER, H.: Geologie und Grundwasserbilanz im Wiener Becken. — *Z. Dtsch. Geol. Ges.*, 106, 75—81, 3 Abb., Stuttgart 1955.
- KÜPPER, H.: Das südliche Wiener Becken. Wassernutzung und eiszeitliche Landschaftsentwicklung. — *Mitt. Öst. Geogr. Ges.*, 104, 161—171, 1 Abb., Wien 1962.

- KÜPPER, H.: Die Charakterisierung von Gewässern durch Temperaturmessungen. — *Öst. Wasserwirtsch.*, 6, 107—110, 1 Abb., Wien 1954.
- MANHENKE, V.: Die Partierung der hydrogeologischen Verhältnisse bei der Vorerkundung der Braunkohlelagerstätte Harzfeld. — *Z. Angew. Geol.*, 16, 78—89, 5 Abb., Berlin 1970.
- MILDE, G., et al.: Ergebnisse und praktische Folgerungen physikalischer Altersbestimmungen an Grundwässern. — *Z. Angew. Geol.*, 16, 35—41, 7 Abb., 2 Tab., Berlin 1970.
- SCHIRRMAYER, W.: Einfluß der Ostsee auf die Lage der Versalzungsgrenze in küstennahen Grundwasserleitern. — *Z. Angew. Geol.*, 16-10—14, 3 Abb., Berlin 1970.
- STINI, J.: Gespannte Wässer im Gebirge. — *Öst. Wasserwirtsch.*, 4, 211—215, 12 Abb., Wien 1952.
- SPENGLER, R.: Neuere Erkenntnisse über die Grundwasserneubildung durch Infiltration in Abhängigkeit von geologischen und anderen Faktoren. — *Z. Angew. Geol.*, 16, 67—69, 4 Abb., Berlin 1970.
- WINTER, U.: Anwendung des elektromagnetischen Wellendurchstrahlungsverfahrens zur hydrogeologischen Erkundung. — *Z. Angew. Geologie*, 17, 497—501, 7 Abb., Berlin 1971.

6. Isotopen, Radioaktivität, Wasserchemismus

- BENNET, R.: Carbon-14 Dating of Groundwater in an Arid Basin. — *Radiocarbon and Tritium Dating*. — Pullman, 1965, 590 S., 91 Abb., 17 Taf., Washington 1965.
- BÖSENBERG, G., & LÜTTIG, G.: Zur Methodik hydrogeochemischer Untersuchungen im Wesergebiet. — *Geol. Jb.*, 76, 539—596, 24 Abb., 2 Tab., Hannover 1959.
- BURGER, A., et al.: Tritium et oxygène-18 dans les bassins de l'Areuse et de la Serrière (Jura Neuchâtelois/Suisse). — *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.*, 79—82, 4 Abb., Neuchâtel 1971.
- DAVIS, G. H., et al.: Seasonal variations in the tritium content of groundwaters of the Vienna basin, Austria (SM-83/82). — *Isotopes in Hydrology*, IAEA, 451—468, 9 Abb., 1 Tab., Wien 1967.
- DINGER, T., & DAVIS, G. H.: Some considerations on tritium dating and the estimates of tritium input function. — *Int. Ass. Soc. Hydrol.* 8, 276—293, 12 Abb., 2 Tab., Wien 1968.
- FRANTZ, A.: Radioaktivitätsmessungen in österreichischen Gewässern. — *Öst. Wasserwirtsch.*, 13, 45—49, 2 Abb., Wien 1961.
- GLANDER, H.: Zur Verteilung, Typisierung und graphischen Dokumentation hydrochemischer Verhältnisse im genutzten Grundwasser mit vorwiegend geringem Mineralisationsgrad. — *Z. Angew. Geol.*, 17, 520—526, Abb., 3 Tab., Berlin 1971.
- KNUTSON, G., & FORSBERG, H. G.: Laboratory evaluation of 51 Cr. EDTA as a tracer for Groundwater-flow. — *Isotopes in Hydrology*, IAEA, 629—652, 10 Abb., 2 Tab., Wien 1967.
- MÜNNICH, K. O., et al.: Dating of Groundwater with Tritium and C-14. — *Isotopes in Hydrology*, IAEA, 305—319, 10 Abb., Wien 1967.
- OLIVE, Ph.: Contribution à l'étude géodynamique du cycle de l'eau dans l'hémisphère nord par la méthode du tritium. — *Thèse d'Etat*, 138 S., 54 Abb., 20 Taf., Paris 1970.
- ROETHER, W.: Estimating the tritium input to Groundwater from wine samples; Groundwater and direct run-off contribution to Central European surface waters. — *Isotopes in Hydrology*, IAEA 73—90, 7 Abb., 3 Tab., Wien 1967.
- ROETHER, W., & MÜNNICH, K. O.: Tritium profile at the North Pacific Geosecs Intercalibration Station. — *Jb. Geophys. Res.*, 75, 7672—7675, 1 Abb., Wien 1970.
- SIEGENTHALER, H., et al.: Tritium and Oxygene-18 in natural water samples from Switzerland. — *Isotopes in Hydrology*, IAEA, 375—385, 4 Abb., Wien 1970.
- SCHWILLE, F.: Ionenumtausch und der Chemismus von Grund- und Mineralwässern. — *Z. dtch. Geol. Ges.*, 106, 16—22, 3 Abb., Hannover 1954.
- SIMEONI, G., TRIPET, J. P.: Influence de l'hétérogénéité de la perméabilité des roches sur la surface piézométrique quelques essais réalisés sur papier conducteur. — *Extraits des Actes du 4^e congrès Suisse Spéléologique*, 68—77, 8 Abb., Neuchâtel 1971.
- TAMERS, M. A.: Surface water infiltration and ground-water in mouvement in Arid zones of Venezuela. — *Isotopes in Hydrology*, IAEA, 319—351, 5 Abb., 1 Tab., Wien 1967.

Manuskript eingereicht im März 1976.