Zeitschrift: Mitteilungen der aargauischen Naturforschenden Gesellschaft

Herausgeber: Aargauische Naturforschende Gesellschaft

Band: 30 (1983)

Artikel: Das Felsgrundwasser des oberen Muschelkalks im Tafeljura des mittleren Fricktals

Autor: Hoehn, Eduard

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-172720

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Das Felsgrundwasser des oberen Muschelkalks im Tafeljura des mittleren Fricktals

von EDUARD HOEHN

Zusammenfassung

Der obere Muschelkalk ist im Tafeljura bekannt als ein guter Felsgrundwasserleiter. Das Felsgrundwasser zirkuliert vorwiegend durch Klüfte und entlang von tektonischen Störungen. Karstphänomene spielen eine untergeordnete Rolle. Im mittleren Fricktal wurde ein Kluftvolumen von 0,5 bis 1,1 % bestimmt. Wo der obere Muschelkalk über den Talsohlen aussticht, liegen Quellen, welche in der Schüttung stark schwanken und schnell auf Niederschläge ansprechen. Im Trokkenjahr 1976 wurden Auslaufkoeffizienten an Ganglinien des Trockenwetterabflusses berechnet; ihre Werte betrugen 0,0053 bis 0,019 pro Tag. Unterhalb der Talsohlen ist ein Felsgrundwasserspiegel ausgebildet. In untersuchten Wasserproben lag das molare Verhältnis von Calcium- zu Magnesium-Ionen im Durchschnitt bei 1,7. Ein hoher Gehalt an Fluorid von im Durchschnitt 0,38 mg F^-/l charakterisierte das Felsgrundwasser weiter. Die Klüfte sind z. T. verlehmt, so daß das Felsgrundwasser bei Regenwetter vielerorts trüb fließt. Hinzu kommt, daß Schmutzstoffe schlecht verdünnt werden. Daher ist es nicht einfach, das Felsgrundwasser des oberen Muschelkalks so zu schützen, daß es als Trinkwasser verwendet werden kann.

1. Einleitung

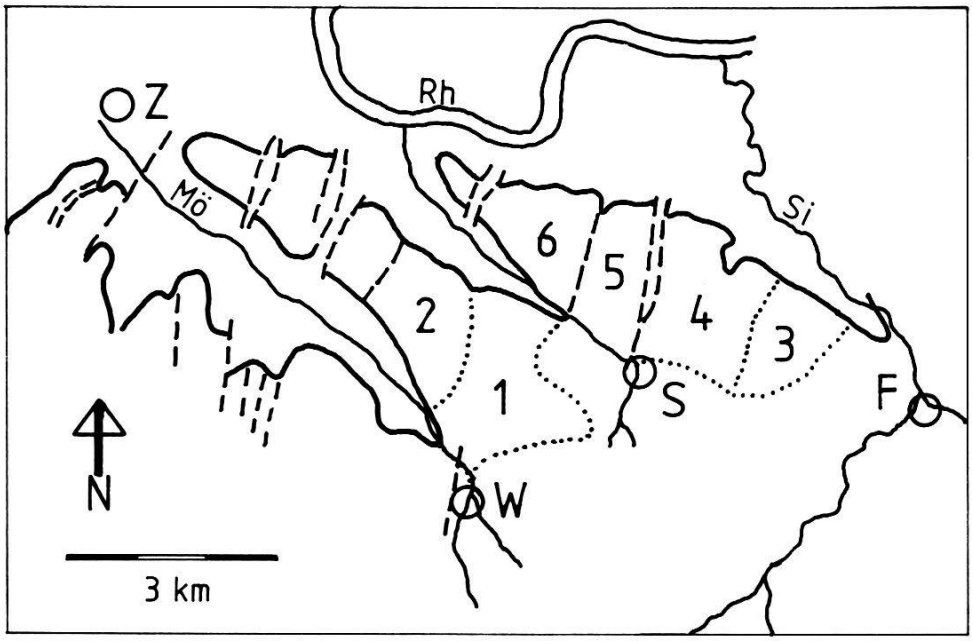
In der Schweiz sind Karbonatgesteine (Kalke und Dolomite*) neben den fluvioglazialen Schottern wichtige Grundwasserleiter. Während in den Schottern Wasser durch Poren zirkuliert, fließt es in den Karbonatgesteinen entlang von Klüften, tektonischen Störungen und Karstgängen (Felsgrundwasser, Karstwasser; HOEHN und BUNDI, 1982). In manchen Gebieten der Schweiz – vorab im Jura – wird das Felsgrundwasser oder Karstwasser als Trinkwasser genutzt, so z. B. auch an einigen Orten im Aargauer Jura. MÜHLBERG (1896, 1905) wies als erster im Quellenkataster des Kantons Aargau auf die Wasserführung des oberen Muschelkalks hin.

Im westlichen Aargauer Tafeljura stellt der obere Muschelkalk den wichtigsten Felsgrundwasserleiter dar (SCHMASSMANN, 1970, 1972). Im Rahmen einer Dissertation untersuchte HOEHN (1978) das Gebiet westlich von Frick hydrogeologisch.

* Dolomit als Mineral: $CaMg(CO_3)_2$.
Dolomit als Gestein: vor allem aus dem Mineral Dolomit aufgebaut.

Im vorliegenden Bericht werden die in jener Arbeit gefundenen Resultate über den oberen Muschelkalk und das durch ihn fließende Felsgrundwasser zusammengefaßt und ergänzt.

Das untersuchte und in Abb. 1 dargestellte Gebiet weist weitgehend natürliche Grenzen auf: im Norden den Rhein, im Osten die Sißle und den Bruggbach und im Westen den Möhlinbach. Es erhebt sich von 450 bis 550 m Höhe.



Z = Zeiningen
W = Wegenstetten
S = Schupfart
F = Frick

Rh = Rhein
Mö = Möhlinbach
Si = Sißle

Abb. 1: *Situation mit Teileinzugsgebieten*

1–6 = Tafelberg-Komplexe:
1 = Wabrig: Tägertli bis Jättetal
2 = Wabrig: Jättetal bis Looberg
3 = Seckeberg
4 = Schupferterberg
5 = Eich
6 = Eikerberg

2. Tafelberge als morphologische Form

Im untersuchten Gebiet bilden die Tafelberge die für die vorliegende Arbeit wichtigste morphologische Form. Aus einer alten Tafellandschaft entstanden Täler vor allem als Folge einer fluvioglazialen Erosion, insbesondere der vorletzten Eiszeit, von denen das der Sißle mit ihren Seitenbächen das wichtigste ist. Die Erosion hat an den meisten Stellen bis in den Muschelkalk hinabgegriffen und dabei insbesondere die harten Kalke und Dolomite des oberen Muschelkalks herausmodelliert. Diese bilden vielerorts den oberen Abschluß der Tafelberge und geben ihnen ein für die Gegend charakteristisches Gepräge. Die Schichtköpfe der Tafelberge sind steil und stark der Erosion ausgesetzt.

3. Geologischer Rahmen

3.1. Beschreibung der Schichten

Das Untersuchungsgebiet ist von unten nach oben von folgenden Gesteinen aufgebaut: Zuunterst liegt das Kristallin des Schwarzwald-Massivs. Darüber wurde mit Bohrungen Rotliegendes (Perm-Formation) und 30–40 m Buntsandstein nachgewiesen (HEUSSER, 1926; SCHMASSMANN und BAYRAMGIL, 1946). Darüber liegen die Formationen Unterer Muschelkalk, ca. 45 m mächtig (SUTER, 1915; BRAUN, 1920), und Mittlerer Muschelkalk, ca. 25–80 m mächtig (SUTER, 1915; BRAUN, 1920). Das Dach des mittleren Muschelkalks wird von der 10–15 m mächtigen Dolomitzone gebildet.

Im oberen Muschelkalk (Hauptmuschelkalk) liegt der spätige Trochitenkalk zuunterst. Über ihm liegt der vorwiegend mikritische Plattenkalk (Nodosus-Kalk). Im Dach des Plattenkalks setzt eine Dolomitisierung einzelner Kalkbänke ein. Der Trigonodus-Dolomit liegt im oberen Muschelkalk zuoberst. An vielen Orten auf den Tafelbergen liegt er direkt unter dem stark verlehmten Boden. Die Dolomite des Trigonodus-Dolomit sind porös und enthalten Drusen und Silex-Knollen. Die Mächtigkeit des oberen Muschelkalks beträgt nach MERKI (1951) ca. 75 m; auf dem Wabrig ist sie auf unter 70 m reduziert (HOEHN, 1979). Im Süden des untersuchten Gebiets taucht der obere Muschelkalk unter die jüngeren Sedimente. Etwa ⅓ des im Aargauer Tafeljura anstehenden oberen Muschelkalks befindet sich im untersuchten Gebiet.

Beim Rückzug des Gletschers der vorletzten Eiszeit glitten Gesteinspakete im Schichtverband von den Flanken der Tafelberge ab (Sackungen). Zum Teil mochten dabei auch Erdbeben eine Rolle gespielt haben. Ausgedehnte Gehängeschutt-Massen säumen die Flanken der Tafelberge. Sie sind teils eiszeitlichen, teils nacheiszeitlichen Alters und entstanden durch die Wirkung von Spaltenfrost. Sie bestehen aus kantigem Grobkies, Steinen und Blöcken, mit wenig Feinanteil in den Zwischenräumen.

3.2. Tektonik (vgl. mit Abb. 2, siehe Seiten 72/73)

Im südlichen Bereich des untersuchten Gebiets fallen die Schichten generell mit 4–8° nach Süden bis Südwesten ein. Im nördlichen Bereich hingegen weicht der Verlauf der Schichten hiervon ab. Östlich und westlich des Eichbühlgrabens (Nr. 4 in Abb. 2) und am Wabrig sind flache Antiklinalen ausgebildet. Zwischen Mumpf und Münchwilen fallen die Schichten nach Norden gegen das Sißlefeld. Im Bereich der von Nordwest nach Südost verlaufenden Tälern des Fischingerbachs und des Möhlinbachs sind im Untergrund eventuell Strukturterrassen ausgebildet; außer dem Verlauf der Schichten an den Talflanken gibt es jedoch keinen Hinweis auf eine tektonische Vorzeichnung der Bildung dieser Täler.

Der Schichtverlauf wird durch Brüche zweier Systeme unterbrochen: Von Südsüdwest nach Nordnordost verlaufen Brüche des Rheingraben-Systems (BUXTORF, 1916). Sie sind eozänen bis miozänen Alters (BUXTORF, 1916; BLÖSCH, 1910; HERZOG, 1956). Von Ostnordost nach Westsüdwest lassen sich Brüche der ausklingenden Mandacher Störung über das Tal der Sißle hinweg bis einige Kilometer westlich von Frick verfolgen. Die Störung fächert sich dort in Einzelbrüche auf, deren Sprunghöhen nach Westen abnehmen (HOEHN, 1979). Die Bildung der Mandacher Verwerfung ist pliozänen Alters. Sie ist im Zusammenhang mit der Faltung des Juragebirges entstanden (WILDI, 1975).

4. Oberflächenwasser

Das Gebiet westlich von Frick liegt in einer relativ niederschlagsarmen Zone zwischen Gebieten mit hohen Niederschlagsmengen im Schwarzwald und im Kettenjura (UTTINGER, 1965). Der Jahresniederschlag der Meßstation Frick betrug zwischen 1939 und 1975 im Mittel 105 cm (HOEHN, 1979). Der Juni ist im Durchschnitt am niederschlagsreichsten, der Oktober am niederschlagsärmsten. Die vorliegenden hydrogeologischen Untersuchungen fielen in die Jahre 1975 bis 1977. Das Niederschlagsgeschehen während dieser Jahre war folgendermaßen: 1975 fielen mit 94 cm etwas unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen; 1976 war mit 77 cm Niederschlag ein sehr trockenes, 1977 mit 118 cm ein eher nasses Jahr. Eigene Beobachtungen zeigten, daß in dieser Periode Schneefall nur unwesentlich zur Jahressumme des Niederschlags beitrug; der Boden war damals auch nur selten gefroren (HOEHN, 1979). Mangels zusätzlicher Beobachtungsstellen wurde der Stationsniederschlag von Frick als Mittelwert des Gebietsniederschlags betrachtet.

Aufgrund von Wasserbilanzen in bekannten Einzugsgebieten von Quellen wurden die folgenden Werte für die Verdunstung im mittleren Fricktal abgeschätzt (HOEHN, 1979):

1975: 52 cm = 55 % des Niederschlags, bei 0 % Bewaldung
61 cm = 65 % des Niederschlags, bei 100 % Bewaldung
1976: 49 cm = 63 % des Niederschlags, bei 0 % Bewaldung
56 cm = 73 % des Niederschlags, bei 100 % Bewaldung

Der oberflächliche Abfluß von den Tafelbergen des oberen Muschelkalks konnte vernachlässigt werden, denn der Anteil des Niederschlagswassers, welcher nicht verdunstete, versickerte nahezu vollständig. Beobachtungen zeigten, daß fast nur bei Starkregen, insbesondere im Sommer, etwas Oberflächenwasser an den Flanken der Tafelberge abzufließen vermochte.

5. Hydrogeologische Verhältnisse

5.1. Der Felsgrundwasserleiter

Die unteren Formationsglieder Trochitenkalk und Plattenkalk des oberen Muschelkalks sind vorab entlang von großen Klüften und tektonischen Störungen gut durchlässig. Karstgänge spielen eine untergeordnete Rolle. Innerhalb einer Gebirgsscholle ist die Durchlässigkeit eher geringer (SCHMASSMANN, 1968). Die Durchlässigkeit des oberen Muschelkalks beträgt im Untersuchungsgebiet $10–200 \cdot 10^{-6}$ m/sec, ermittelt aus Pumpversuchen in zwei Felsbohrungen SCHMASSMANN, 1968, 1978) und abgeschätzt aus dem Ertrag eines Quellaufstoßes (HOEHN, 1978). Die Durchlässigkeit ist also bis zu 20mal kleiner als die im Gebiet von Kaiseraugst gemessene (SCHMASSMANN, 1978). Das Volumen des entwässerbaren Kluftraums im oberen Muschelkalk wurde in Steinbrüchen außerhalb von Störungszonen bestimmt. Die ermittelten Werte von 0,5 bis 1,1 % sind gegenüber solchen, die an Sandsteinen gemessen worden waren (0,07 bis 0,18 %; UDLUFT, 1972) recht hoch. Gegenüber dem Trochitenkalk und dem Plattenkalk ist der Trigonodus-Dolomit eher schlechter durchlässig. Hingegen deuten Dolinen, welche auf dem Trigonodus-Dolomit an der Erdoberfläche vorkommen, auf eine oberflächennahe Verkarstung des Gesteins hin. Vielerorts besteht ein hydraulischer Zusammenhang zwischen Dolinen an einer tektonischen Störungszone und Schichtquellen an der Basis des Trochitenkalks, die an deren Schnittstelle an die Oberfläche austreten*. Das Felsgrundwasser wird im untersuchten Gebiet über der Dolomitzone des mittleren Muschelkalks gestaut, denn die Durchlässigkeit dieses Formationsglieds ist wesentlich geringer als die des darüberliegenden Trochitenkalks. Quellen treten daher an der Basis des oberen Muschelkalks aus (Schichtquellen).

5.2. Schüttungs- und Temperaturstudien an Quellen

Typisierung. Wo die Basis des oberen Muschelkalks über dem Niveau der Vorfluter in den Talsohlen liegt, können Quellen austreten. Wo diese Basis unter dem Vorflutniveau liegt, ist ein Felsgrundwasserspiegel ausgebildet, siehe unten. Eine Zwischenstellung nehmen die aus dem Felsgrundwasser in der Talsohle überlaufenden Quellaufstöße ein.

Unverdeckte sind zu unterscheiden von verdeckten Quellen. Unverdeckte Quellen treten direkt aus dem oberen Muschelkalk aus. Kennwerte einiger unverdeckter Quellen sind in Tabelle 1 dargestellt. Wenn das Quellwasser zuerst in einen

* Anläßlich eines Markierversuchs vom 12. bis 19. Oktober 1976 wurde in eine Doline im Gebiet Seckeberg westlich von Oeschgen, 1,13 km von der Quelle Nr. 5 in Tab. 1 entfernt, Fluoreszein eingespült. Durch Ermittlung des Schwerpunkts in der Durchbruchskurve bei dieser Quelle wurde eine Fließgeschwindigkeit von 18 m/h errechnet (HOEHN, 1978).

Tabelle 1: Kennwerte von Quellen

Nr.	Name der Quelle	Koordinaten	Kote m ü. M.	Q_{max} l/min	Datum	Q_{min} l/min	Datum	durchschn. Schüttung 1975	durchschn. Schüttung 1976	$Q_{max}:Q_{min}$
1 u	Frauenholzquelle unten, Stein	638 520/265 480	350	800	03.03.75	22,6	16.11.76	220	76,0	35,4
1 o	Frauenholzquelle oben, Stein	638 520/265 480	350	24,2	17.02.76	2,3	29.11.76	–	6,7	10,5
1 s	Frauenholzquelle Südwest, Stein	638 520/265 480	350	23,7	17.02.76	0	02.11.76	–	4,0	
2	Zollbrunnenquelle, Stein	638 850/265 210	365	207	22.02.77	26,1	02.11.76	–	61,0	7,9
3	Brieglibrunnenquelle, Eiken	641 090/264 415	365	800	15.09.75	60,0	02.11.76	300	100	14,3
4	Dorfbachquelle, Eiken	641 000/263 750	405	2000	08.02.77	250	29.06.76	–	–	8
5	Volliweidquelle, Oeschgen	642 460/263 740	340	1000	22.02.77	40	30.08.74	350	230	250

Nr.	Einzugsgebiet m²	T_{max} °C	Datum	T_{min} °C	Datum	Temperaturamplitude °C
1 u		10,7	29.06.76	8,2	03.02.76	2,5
1 o	168 680	12,2	22.08.75	8,0	03.02.76	4,2
1 s		13,2	13.07.76	9,1	16.12.75	4,1
2	139 000	10,7	21.09.75	9,2	21.05.76	1,5
3	304 000	11,6	23.08.76	9,8	17.02.76	1,8
4	788 400	11,2	16.09.75	8,5	05.04.77	2,7
5	473 700	10,7	15.06.76	8,5	14.12.76	2,2

Q_{max} = höchste gemessene Quellschüttung
Q_{min} = kleinste gemessene Quellschüttung
$Q_{max}:Q_{min}$ = Schüttungsquotient
T_{max} = höchste gemessene Quellwassertemperatur
T_{min} = niedrigste gemessene Quellwassertemperatur

Gehängeschutt oder in eine Sackung übertritt und dann erst an deren Basis ausfließt, spricht man von verdeckten Quellen. Verdeckte Quellen wiesen im Untersuchungsgebiet ausgeglichenere Schüttungen auf als unverdeckte. Das Verhältnis zwischen höchster und niedrigster gemessener Quellschüttung ($Q_{max}:Q_{min}$) wird als Schüttungsquotient bezeichnet. Dieser schwankte bei den unverdeckten Quellen zwischen 7,9 und 250 (Tab. 1). Als Ausnahmen davon versiegten einige seichte Quellen (z. B. 1 s in Tab. 1) im Trockenjahr 1976 ganz. Bei verdeckten Quellen wurden keine Schüttungsquotienten von über 100 errechnet.

Während Trockenperioden nehmen Quellschüttungen mehr oder weniger exponentiell ab. Als Maß für die Schüttungsabnahme wurde der sogenannte Auslaufkoeffizient α eingeführt:

$$\alpha = \frac{\ln\,(\text{Schüttung am Anfang minus Schüttung am Ende einer Meßperiode})}{\text{Meßperiode, in welcher die Auslauffunktion erfüllt ist}}$$

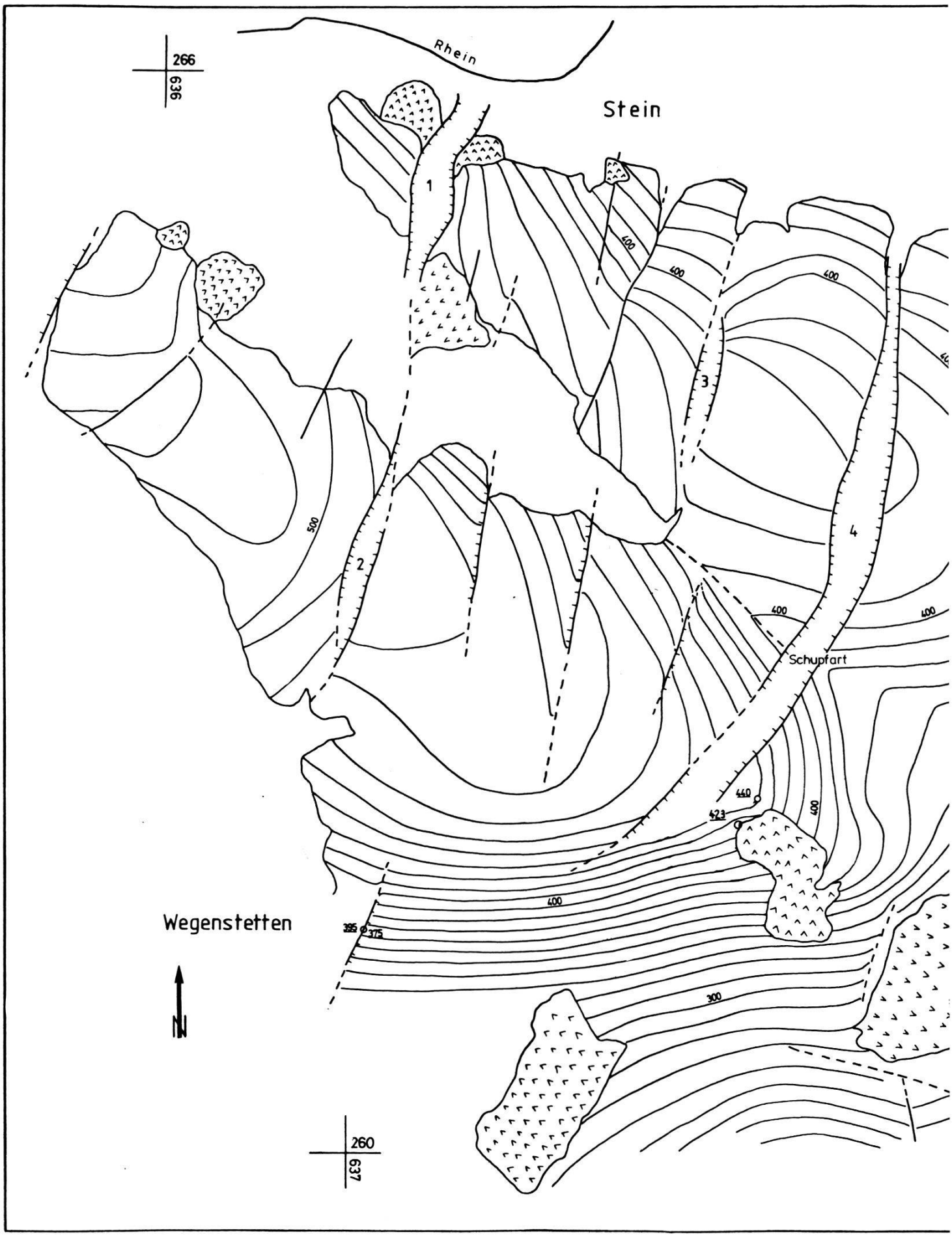
Dimension: 1/Tag $\qquad \alpha = \dfrac{Q_0(t_0) - Q_1(t_1)}{t_0 - t_1}$

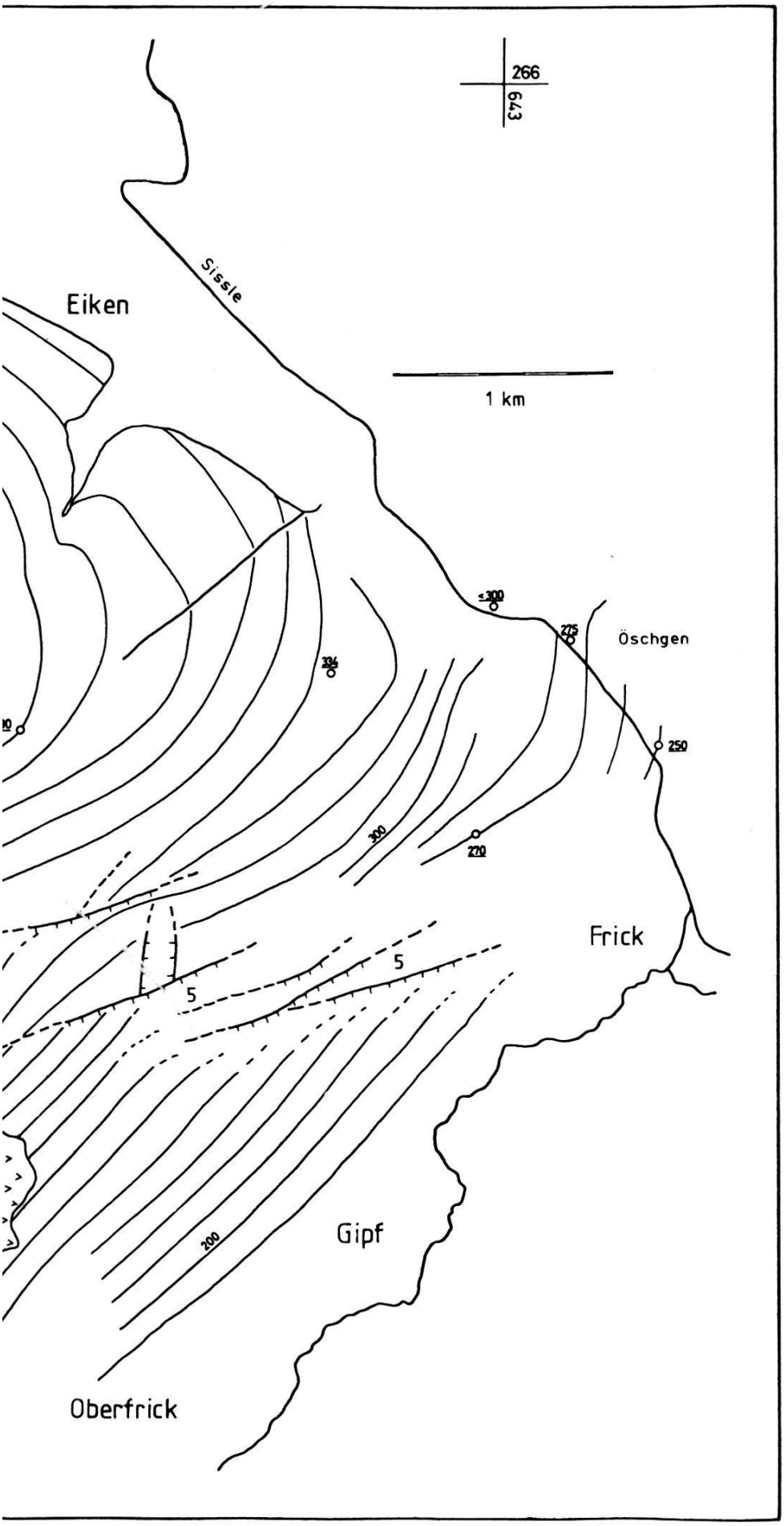
Im Trockenjahr 1976 wurden an einigen Quellen kontinuierlich abnehmende Schüttungen über eine Dauer von bis zu 5 ½ Monaten gemessen. Auslaufkoeffizienten sind in Tabelle 2 dargestellt; sie schwankten zwischen 0,0053 und 0,019/Tag. Bei der Quelle Nr. 5 wurden im Laufe des Jahres 1976 drei verschiedene Ereignisse ausgewertet. Dabei zeigte es sich, daß der Auslaufkoeffizient im Laufe eines Jahres verschieden groß war und somit keine Konstante darstellte. Quellen aus den Felsgrundwasserleitern Gansinger-Dolomit, Arietenkalk und Hauptrogenstein im Aargauer Tafeljura wiesen etwa gleich große Auslaufkoeffizienten auf, während Quellen aus Lockergesteinen im Mittelland in der selben Meßperiode höhere Werte aufwiesen. Bei der intensiv untersuchten Areuse-Quelle im Malm-Karst des Neuenburger Juras fand TRIPET (1973) einen Auslaufkoeffizienten von 0,026/Tag.

Tabelle 2: Auswertungen von Trockenwetterlinien

Quelle Nr.	Zeitperiode	$t_0 - t_1$ Tage	$Q_0\,(t_0)$ l/min	$Q_1\,(t_1)$ l/min	α 1/Tag
2	19.03.–18.05.76	60	98	71,5	0,0053
3	02.03.–01.06.76	91	104	40,0	0,011
5	02.03.–20.04.76	50	333	190	0,011
3	18.05.–29.06.76	42	46,9	27,3	0,013
5	06.04.–28.06.76	83	225	109	0,0087
1 u	01.06.–23.08.76	84	70	33,3	0,0088
1 s	15.06.–05.10.76	112	0,8	0,1	0,019
2	19.03.–07.09.76	172	98	30	0,0069
5	18.05.–09.07.76	52	196	76,9	0,018

$t_0 - t_1$ = Meßperiode, in welcher die Auslauffunktion erfüllt ist
$Q_0(t_0)$ = Quellschüttung am Anfang der Meßperiode
$Q_1(t_1)$ = Quellschüttung am Ende der Meßperiode $\qquad \alpha$ = Auslaufkoeffizient


266
636
Rhein
Stein
1
2
3
4
600
400
500
Schupfart
440
423
395
375
300
Wegenstetten
N
260
637



1–5 = tektonische Störungen:

1 = Katzenfluhgraben
2 = Jättetalgraben
3 = Sichletenhofgraben
4 = Eichbühlgraben
5 = Mandacher Störung

○ = Bohrungen

VVVVV = Sackungen

Abb. 2: *Strukturisohypsen der Basis Trochitenkalk*

Die untersuchten unverdeckten Quellen reagierten rasch und stark auf Niederschläge; einige von ihnen führten bei plötzlich einsetzenden hohen Schüttungen häufig trübes Wasser. An der Quelle Nr. 2 aus Tab. 1 wurde der Ertrag mittels eines Wasserzolls* kontinuierlich gemessen. Die Aufzeichnungen zeigten, daß die Quellschüttung erst 2 ½ bis 3 Tage nach dem Ende eines Niederschlagsereignisses wieder mit einem Trockenwetter-Auslaufkoeffizienten beschrieben werden konnte. Bei der Areuse-Quelle wurde die Abnahme der Schüttung unmittelbar nach einem Maximum von BURGER (1956) mit Erfolg durch eine mit der Zeit quadratisch abnehmende Funktion erklärt.

Quellwassertemperaturen. Bei Quellen mit kleiner Schüttung wurden größere jahreszeitliche Temperaturschwankungen des Quellwassers gemessen als bei Quellen mit großer Schüttung. Bei den Quellen 1 o und 1 s z. B. (in Tab. 1) war der Schwankungsbereich der Quellwassertemperatur größer als 4 °C. Bei den übrigen Quellen aus Tab. 1, welche alle eher große Schüttungen aufwiesen, schwankten die Wassertemperaturen um weniger als 3 °C. Die Temperaturschwankungen von Quellen aus dem Gansinger-Dolomit, dem Arietenkalk und dem Hauptrogenstein im Aargauer Tafeljura waren größer als jene von Quellen aus dem oberen Muschelkalk (HOEHN, 1979). Temperaturschwankungen von Quellen aus Lockergesteinen im Mittelland hingegen waren in der selben Meßperiode kleiner als jene aus Muschelkalkquellen.

Bei Quellen mit kleiner Schüttung traten die jahreszeitlichen Extremwerte der Wassertemperatur nur wenig später auf als die Extremwerte der Lufttemperatur, bei den Quellen 1 o und 1 s in Tab. 1 z. B. innert weniger als einem Monat. Bei Quellen mit großer Schüttung hingegen wurden Extremwerte der Wassertemperatur 1 ½ bis 3 ½ Monate später als die Extremwerte der Lufttemperatur gemessen.

5.3. Felsgrundwasser

Wo die Basis des oberen Muschelkalks unter dem Niveau der Vorfluter in den Talsohlen liegt, bildet sich ein Felsgrundwasserspiegel aus. Das Felsgrundwasser ist meist gespannt. Es zirkuliert vorwiegend entlang von Klüften. In einer Tiefbohrung auf Steinsalz in Frick wurde artesisch gespanntes Wasser aus einer Tiefe von 151 m erschlossen, das unter einem Druck von ca. 5 atü aufstieg und eine Temperatur von 19,5 °C aufwies (d. h. subthermales Wasser). In Schupfart besteht ein natürlicher Aufstoß von artesisch gespanntem Felsgrundwasser. Die Höhenlagen der Druckwasserspiegel von Bohrungen in Wegenstetten, Schupfart und Frick

* Das nach TORRICELLI konstruierte Wasserzoll bestand aus einem 220-l-Benzinfaß mit 10 Auslauföffnungen (∅ ca. 1,5 cm) an seiner Basis, die je nach Wasserstand wieder verschlossen werden konnten. Dieses Gefäß wurde unter den Wasserstrahl der in ein leeres Reservoir einlaufenden Quelle gestellt und kommunizierend mit einem zweiten 220-l-Faß verbunden. Der mit dem Quellertrag schwankende Wasserspiegel wurde im zweiten Faß mit einem Pegelschreiber registriert. Behältermessungen der Quellschüttung ergaben Meßpunkte für eine Eichkurve: Quellschüttung aufgetragen gegen Wasserstand im Faß (HOEHN, 1978).

sowie des Quellaufstoßes von Schupfart ließen vermuten, daß das Felsgrundwasser in nördlicher bis nordöstlicher Richtung fließt, vorausgesetzt, daß die Felsgrundwasserspiegel hydraulisch zusammenhängen. Die Ergiebigkeit dieser Vorkommen von Felsgrundwasser ist in erster Linie abhängig von der Zerklüftung des Gesteins in der Nähe tektonischer Störungen, welche die Durchlässigkeit verbessern, sowie einer allfälligen Verkarstung (SCHMASSMANN, 1972).

Im Tafeljura herrscht ausgeprägter Stockwerkbau der Grundwasserleiter. Der obere Muschelkalk wird von stratigraphisch jüngeren Grundwasserleitern überlagert (z. B. Gipskeuper, Gansinger-Dolomit, Arietenkalk, Hauptrogenstein). Unter ihm liegen weitere Felsgrundwasserleiter (Buntsandstein/Perm, Kristallin).

5.4. Wasserbilanz

Die einfachste Wasserbilanz für ein bestimmtes Bilanzgebiet lautet (nach RICHTER und LILLICH, 1975):

$$N = V + A,$$

wobei N = Niederschlag, V = Verdunstung, und A = Abfluß. «Abfluß» kann Oberflächenabfluß oder Versickerung von Wasser in den Boden bedeuten. Wo der obere Muschelkalk oberflächlich ansteht, z. B. vielerorts auf den Tafelbergen, versickert das Niederschlagswasser weitgehend, und ein «Oberflächenabfluß» kann vernachlässigt werden. Zum Teil erscheint das versickerte Wasser wieder als Quelle. Der Rest sickert in die Talsohlen und speist dort das Talsohlen-Grundwasser. Somit läßt sich der «Abfluß», d. h. die Versickerung in den Boden, in zwei Teile gliedern, nämlich in Quellwasser, welches innerhalb des Bilanzgebiets wieder an die Oberfläche austritt (A_Q), und in Wasser, das unterirdisch aus dem Bilanzgebiet heraus abfließt (A_u). Das untersuchte Gebiet wurde in Abb. 1 in sechs Teilgebiete, hier die Bilanzgebiete, unterteilt. In Tabelle 3 sind Wasserbilanzen für die sechs Bilanzgebiete enthalten. Diese Bilanzgebiete wurden so gewählt, daß sie mit einzelnen Gebirgsschollen des oberen Muschelkalks und morphologisch mit Teilen der Tafelberge zusammenfallen. Bei dieser Art der Bilanzierung blieb das Bilanzglied «Unterirdischer Abfluß in die Talsohle» (A_u) unbekannt und mußte berechnet werden. Wo ein Tafelberg allseitig eindeutig begrenzt ist und keinen unterirdischen Abfluß in die Talsohle (A_u) aufweist, wirkt er als «natürliches Lysimeter»*. Die Bilanzgebiete 4–6 erfüllten diese Bedingung nahezu, weil Werte für A_u zwischen 1 und 10 % errechnet worden waren. Damit wurde indirekt bestätigt, daß die Verdunstung richtig veranschlagt worden war, denn die Versickerung $N - V$ entsprach dem gemessenen Quellertrag ($N - V \sim A_Q$). In den Bilanzgebieten 2 und 3 hingegen, wo Teile des oberen Muschelkalks unter die Talsohle tauchen oder Lockergesteine die Basis des oberen Muschelkalks verdecken, resultierten für den unterirdischen Abfluß in die Talsohle (A_u) hohe Werte von 22 und 32 %.

* Lysimeter sind in die Erde vergrabene, bis auf Terrainhöhe reichende Gefäße. Das Bodenmaterial soll im Gefäß möglichst ungestört gelagert sein. Mit Lysimetern wird die Versickerung am Ort gemessen und die Verdunstung berechnet (RICHTER und LILLICH, 1975).

Tabelle 3: Durchschnittliche Gesamtwasser-Jahresbilanzen von Teilgebieten

		N	V	$N-V$	A_Q	A_u
Teilgebiet 1: Wabrig	in cm:	105	59	46	12	34
Tägertli bis Jättetal	in $10^6 m^3/J$:	4,67	2,63	2,05	0,53	1,52
Einzugsgebiet: 4,5 km²	in l/min:	8900	5000	3900	1000	2900
Waldanteil: 10 %	in %:	100	56	44	12	32
Teilgebiet 2: Wabrig	in cm:	105	61	44	–	–
Jättetal bis Looberg	in $10^6 m^3/J$:	2,65	1,54	1,11	–	–
Einzugsgebiet: 2,5 km²	in l/min:	5000	2900	2100	–	–
Waldanteil: 30 %	in %:	100	58	42	–	–
Teilgebiet 3: Seckeberg	in cm:	105	66	39	16	23
Langefeld bis Widematt	in $10^6 m^3/J$:	1,81	1,14	0,67	0,26	0,41
Einzugsgebiet: 1,7 km²	in l/min:	3400	2200	1300	500	800
Waldanteil: 80 %	in %:	100	63	37	15	22
Teilgebiet 4: Übriger	in cm:	105	63	42	35	7
Seckeberg und Schupferterberg	in $10^6 m^3/J$:	2,99	1,79	1,20	1,00	0,20
Einzugsgebiet: 2,9 km²	in l/min:	5700	3400	2300	1900	400
Waldanteil: 50 %	in %:	100	60	40	33	7
Teilgebiet 5: Eich	in cm:	105	61	44	34	10
Einzugsgebiet: 1,4 km²	in $10^6 m^3/J$:	1,47	0,85	0,62	0,47	0,15
Waldanteil: 30 %	in l/min:	2800	1600	1200	900	300
	in %:	100	58	42	32	10
Teilgebiet 6: Eikerberg	in cm:	105	61	44	43	1
Einzugsgebiet: 1,6 km²	in $10^6 m^3/J$:	1,68	0,98	0,70	0,68	0,02
Waldanteil: 30 %	in l/min:	3200	1900	1300	1300	0
	in %:	100	58	42	41	1

N = Niederschlag
V = Verdunstung
$N-V$ = Versickerung von Wasser in den Boden
A_Q = Quellwasser, das innerhalb des Bilanzgebiets wieder an die Oberfläche austritt
A_u = unterirdisch aus dem Bilanzgebiet herausfließendes Wasser

6. Der Chemismus der Quellen und des Felsgrundwassers

6.1. Geochemische Charakterisierung

Das Wasser im oberen Muschelkalk ist ziemlich stark mineralisiert, stärker als das Wasser aus dem Hauptrogenstein. Die eigenen, im Winter 1975/1976 durchgeführten hydrochemischen Analysen von Quellen und von Felsgrundwasser ergaben fast durchwegs niedrigere Werte als solche von älteren Analysen von Wässern der selben Probenahmestellen. Abb. 3 zeigt eine durchschnittliche Zusammensetzung der untersuchten Wässer, dargestellt in mval/l. Die niedrigeren Werte rührten von den damaligen hohen Niederschlägen her, welche die Wässer beeinflußten. Ein

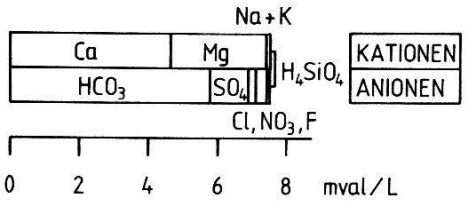


Abb. 3: *Mittlere hydrochemische Zusammensetzung der Wässer aus dem oberen Muschelkalk*

ziemlich ausgeglichenes Verhältnis der molaren Konzentrationen von Calcium- und Magnesium-Ionen von durchschnittlich 1,7 : 1,0 erwies sich als das deutlichste Unterscheidungsmerkmal gegenüber anderen Grundwässern. Auch durch den hohen Gehalt an Fluoridionen (im Durchschnitt 0,38 mg F^-/l; höchste gemessene Konzentration: 1,02 mg F^-/l) unterschied es sich von anderen Grundwässern. Das Quellwasser aus dem Gansinger Dolomit war bezüglich des Ca : Mg-Verhältnisses ähnlich, wies aber weniger Fluorid auf. Wo der obere Muschelkalk das oberste Grundwasserstockwerk bildet, waren die Chloridkonzentrationen geringer als dort, wo der obere Muschelkalk von weiteren Grundwasserleitern überlagert ist. In der Bohrung auf Steinsalz in Frick z. B. wurde im oberen Muschelkalk in 151 m Tiefe das bislang stärkste muriatische (d. h. kochsalzhaltige) Gips-Mineralwasser festgestellt. SCHMASSMANN (1972) nimmt eine «Wanderung» von salzhaltigen Lösungen vom mittleren in den oberen Muschelkalk an. Dabei handelt es sich möglicherweise um Diffusionsvorgänge. In vielen Proben war die Mineralisierung der Wässer so groß, daß sich Löslichkeitsgleichgewichte mit den gesteinsaufbauenden Mineralien Calcit und Dolomit einstellten (HOEHN, 1976).

Das Sickerwasser löst im Untergrund Gestein und bewirkt dadurch einen geochemischen Abtrag. Dieser Abtrag wurde zu 0,05 bis 0,06 mm/Jahr Karbonatgesteine errechnet (HOEHN, 1979). Die geochemische Erosionsrate lag damit ca. fünfmal höher als jene im Hauptrogenstein des untersuchten Gebiets. Die hier gefundenen Werte sind mit jenen aus anderen Einzugsgebieten vergleichbar (BURGER, 1959; JÄCKLI, 1957; LI und ERNI, 1974). Neben der Lösung von Gestein spielt auch die mechanische Erosion eine Rolle. Eine Sedimentprobe trüben Quellwassers enthielt Calcit, Dolomit, Quarz und Tonminerale. Beim Tonmineralanteil der Trübe dürfte es sich zum größten Teil um Illit gehandelt haben (PETERS, 1964; HOEHN, 1976).

6.2. Qualitative Beeinträchtigungen der Quellen und des Felsgrundwassers

In Felsgrundwasserleitern mit Kluft- und Karstzirkulation treten bei Niederschlägen meist hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Wasser auf. Da die Klüfte und Karstgänge vielerorts verlehmt sind, trübt sich das Wasser oft. Bei einem Dauerpumpversuch in der Felsbohrung von Wegenstetten floß das Felsgrundwasser die ersten zwei Monate lang trübe. Später wurde eine erneute Trübung des Wassers

4 ½ Stunden nach dem Einsetzen von Niederschlägen festgestellt (SCHMASSMANN, 1968). Beim Pumpen aus einer Felsbohrung bei Schupfart nahm hingegen die lehmige Trübung bereits innert Stunden bis Tagen ab (SCHMASSMANN, 1978).

In Felsgrundwasserleitern mit Kluft- und Karstzirkulation ist die Verdünnung von Schmutzstoffen meist gering. Vor und während der Probenahme im Winter 1975/76 wurden hohe Quellschüttungen und Felsgrundwasserspiegel gemessen. Damals enthielten fünf von zwanzig untersuchten Wasserproben mehr als 40 mg Nitrat/l. Die hohen Nitratkonzentrationen rührten wahrscheinlich von unsachgemäßer Düngung in den Einzugsgebieten kurz vor der Probenahme her. Der Stickstoff wird bei stark durchnäßtem Boden außerhalb der Vegetationszeit kaum von den Pflanzen aufgenommen, und Nitrat kann in Grund- und Quellwässer durchbrechen (HOEHN und BUNDI, 1982).

7. Zur Bewirtschaftung des Felsgrundwassers und der Quellen

Im untersuchten Gebiet werden Quellen des oberen Muschelkalks schon seit mehr als 300 Jahren genutzt. Vorher dienten wahrscheinlich die Quellbäche zur Wasserversorgung. Früher wurden auch Sodbrunnen im oberen Muschelkalk genutzt. Heute sind solche nur noch vereinzelt in Betrieb. Einige Wasserversorgungen nutzen Karstquellen aus dem oberen Muschelkalk, z. B. Obermumpf und Hellikon. In den letzten fünf bis zwanzig Jahren wurden aber viele ertragreiche Quellen abgeleitet. Einige hochgelegene Einzelhöfe besitzen eigene Quellen. In Wegenstetten und in Kaiseraugst wird Felsgrundwasser genutzt. Für Trinkwasser geeignete Quellen sind heute kaum noch vorhanden. Einige Dörfer und Siedlungen litten z. B. 1976 unter einem Wassermangel. Dieser könnte z. T. behoben werden, wenn es gelänge, gewisse Quellen, die heute abgeleitet werden, besser vor Verunreinigung zu schützen. Solche Quellen könnten dann wieder z. B. als Notwasserversorgung, Löschreserve oder Brauchwasser genutzt werden. An gewissen Orten, z. B. vom Wabrig gegen Schupfart, sickert nach den Resultaten aus Tab. 3 Wasser unterirdisch von den Tafelbergen ins Felsgrundwasser. Es ist denkbar, daß das Felsgrundwasser an Orten wie z. B. beim natürlichen Quellaufstoß von Schupfart besser erschlossen werden kann, als dies bis heute der Fall ist.

Infolge der hohen Strömungsgeschwindigkeiten und der schlechten Verdünnung von Schmutzstoffen im Felsgrundwasser und bei unverdeckten Quellen, ist zu befürchten, daß vielerorts Schutzzonen nicht dauernd wirksam sind. Dies gilt insbesondere in Zeiten hoher Quellschüttung bzw. hohen Grundwasserspiegeln, oder wenn das Wasser trübe fließt. Mittels technischer Anlagen wie Trübungsmeßgeräten oder Durchflußmeßgeräten könnte beim Überschreiten der tolerierbaren Trübung oder Quellschüttung sicherheitshalber eine Entkeimungsanlage für das Wasser eingeschaltet werden. Außerhalb von Niederschlagsperioden ist das Wasser im oberen Muschelkalk häufig unaufbereitet nutzbar, vorausgesetzt, daß Schutzzonen ausgeschieden sind und daß die Anforderungen, die an sie gestellt werden, erfüllt sind.

Verdankungen

Herr H. Rey, Abteilung Gewässerschutz, Baudepartement des Kantons Aargau, half beim Zusammentragen von Unterlagen mit. Die Herren Dr. E. Kunz, Liestal, und Dr. H. J. Schmassmann, Liestal, sichteten das Manuskript kritisch. Ihnen allen gebührt mein bester Dank.

Literatur

Blösch, E. (1910): Zur Tektonik des schweizerischen Tafeljura; Diss. Univ. Zürich.

Braun, L. (1920): Geologische Beschreibung von Blatt Frick 1:25000 im Aargauer Tafeljura (mit Profilen und Karte); Verh. natf. Ges. Basel *31*.

Burger, A. (1956): Interprétation mathématique de la courbe de décroissance du débit de l'Areuse, Jura Neuchâtelois (Suisse); Bull. Soc. neuchât. Sci. nat. *79*, 49.

– (1959): Hydrogéologie du Bassin de l'Areuse; Bull. Soc. neuchât. de Géogr. *52* (1).

Buxtorf, A. (1916): Prognosen und Befunde beim Hauensteinbasis- und Grenchenbergtunnel und die Bedeutung der letzteren für die Geologie des Juragebirges; Verh. natf. Ges. Basel *27*.

Hoehn, E. (1976): Zur Geochemie des Grundwassers im oberen Muschelkalk des Aargauer Tafeljuras westlich von Frick; unpubliziertes Manuskript.

– (1978): Hydrogeologische Untersuchung im Gebiet westlich von Frick AG; Diss. ETHZ 6101.

– (1979): Hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet westlich von Frick (Aargauer Tafeljura); Beitr. Geol. Schweiz – Hydrol. *26*.

Hoehn, E., und U. Bundi (1982): Merkmale und Probleme des Grundwasserschutzes in der Schweiz; Schweiz. Ing. u. Arch., Dezember 1982.

Herzog, P. (1956): Die Tektonik des Tafeljura und der Rheintalflexur SE von Basel; Eclogae geol. helv. *49* (2), 319.

Heusser, H. (1926): Beiträge zur Geologie des Rheintals zwischen Waldshut und Basel (mit besonderer Berücksichtigung der Rheintalrinne); Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 57 (2).

Jäckli, H. (1957): Gegenwartsgeologie des Bündnerischen Rheingebiets; Beitr. Geol. Schweiz. geotechn. Ser. *36*.

Li, Y.-H., und P. E. Erni (1974): Erosionsgeschwindigkeit im Einzugsgebiet des Rheins; Vom Wasser *43*, 15.

Merki, P. (1951): Der obere Muschelkalk im östlichen Schweizer Jura; Eclogae geol. helv. *54* (1), 138.

Mühlberg, F. (1896): Quellenkarte des Kantons Aargau 1:25000, und Quellenhefte der Gemeinden; unveröffentlichtes Manuskript.

– (1905): Bericht über die Angelegenheit der Erstellung einer Quellenkarte des Kantons Aargau; Mitt. aarg. natf. Ges. 10.

Peters, T. (1964): Tonmineralogische Untersuchungen an einem Keuper-Lias-Profil im Schweizer Jura (Frick); Schweiz. miner. petrogr. Mitt. 44 (2), 268.

Richter, W., und W. Lillich (1975): Abriß der Hydrogeologie; Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Schmassmann, H. J. (1968): Bericht über die Felsbohrung bei der Mühleweiherquelle Wegenstetten AG; unveröffentlichter Bericht vom 25. 1. 1968.

– (1970): Die Grundwasservorkommen im oberen Muschelkalk des Kantons Basel-Landschaft; Gas, Wasser, Abwasser *50* (4), 98.

– (1972): Baselbieter und westlicher Aargauer Tafeljura; in: Jäckli, H., und Th. Kempf (1972): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte der Schweiz, 1:100000, Blatt Bözberg–Beromünster.

– (1978): Abklärung der Grundwasservorkommen im Aargauer Jura, Felsbohrung «Thal», Gemeinde Schupfart; unveröffentlichter Bericht vom 10. 8. 1978.

Schmassmann, H.J., und O. Bayramgil (1946): Stratigraphie, Petrographie und Paläogeographie der Performation im Schweizerischen Tafeljura, und die Steinkohlenfrage der Nordschweiz, mit besonderer Berücksichtigung der Bohrung Wintersingen, Kanton Basel-Landschaft; Tätigkeitsber. natf. Ges. Basel-Landsch. *15*, 12.

Suter, R. (1915): Geologie der Umgebung von Maisprach; Diss. Univ. Basel.

Tripet, J.P. (1973): Etude hydrogéologique du bassin de la source de l'Areuse; Beitr. Geol. Schweiz – Hydrol. 21.

Udluft, P. (1972): Bestimmung des entwässerbaren Kluftraumes mit Hilfe des Austrocknungskoeffizienten nach Maillet, dargestellt im Einzugsgebiet der Lohr (Nordost-Spessart): Z. dtsch. geol. Ges. *173* (1), 53.

Uttinger, H. (1965): Niederschlagskarte 1:500000; Beiheft zu den Annalen Schweiz. Meteor. Zentralanst.

Wildi, W. (1975): Die Mettauer Überschiebung im aargauischen Tafeljura (Nordschweiz); Eclogae geol. helv. *68* (3), 483.

Dr. Eduard Hoehn
Geologe
Rheingasse 8
8434 Kaiserstuhl