

Hydrochemie der Quellen der Oberen Süßwassermolasse im Einzugsgebiet des Aubaches (Schweiz)

*Hydrochemistry of Springs of the Upper Freshwater Molasse in the Catchment Area Aubach
(Switzerland)*

W. BALDERER¹⁾

Inhalt

	Seite
1. Einführung	49
2. Ziel der hydrochemischen Untersuchungen der Quellen	50
3. Ergebnisse der chemischen Untersuchungen des Wassers der Quellen der Oberen Süßwassermolasse	50
3.1. Zeitliche Variabilität	56
3.1.1. Zeitliche Variation der Quellergiebigkeit (Schüttung)	57
3.1.2. Zeitliche Variation der elektrischen Leitfähigkeit	57
3.1.3. Zeitliche Variation der Natriumkonzentration	61
3.2. Zur Abhängigkeit des beobachteten Chemismus des Wassers der ein- zelnen Quellen zur Höhenlage der Austrittsstelle	64
3.3. Abhängigkeit des beobachteten Chemismus von der Lithologie (Gesteinstyp) des Quellgrundwasserleiters	65
4. Schlußfolgerungen der dargestellten hydrochemischen Untersuchungs- ergebnisse bezüglich der Hydrologie der Oberen Süßwassermolasse	68
4.1. Abschätzung der Größenordnung der Lösungsprozesse innerhalb der Oberen Süßwassermolasse als Konsequenz der beobachteten Sättigung der Quellwässer gegenüber den Karbonatmineralien Calcit und Dolomit	69
Zusammenfassung	71
Literatur	72
Abstract	73
Résumé	73

1. Einführung

Im Rahmen der hydrogeologischen Untersuchung der Oberen Süßwassermolasse (OSM) im Einzugsgebiet des Aubaches (Schweiz), deren Ergebnisse in der Arbeit W. BALDERER (1983) dargestellt wurden, sind auch hydrochemische Untersuchungen

¹⁾ Dr. Werner BALDERER, Ingenieurgeologie, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich.

durchgeführt worden, über deren Ergebnisse in der nun vorliegenden Arbeit berichtet wird. Parallel zur Feldaufnahme und Messungen der Ergiebigkeit der beobachteten Quellen wurden während der Zeitspanne von Februar 1973 bis Mai 1974 vierteljährlich Wasserproben für hydrochemische Bestimmungen entnommen. Dabei wurden Wassertemperatur, pH und Leitfähigkeit direkt in situ, d. h. am Quellaustritt, gemessen, die Bestimmungen der Anionen und des Sauerstoffgehaltes wurden durch das Labor des Amtes für Umweltschutz des Kantons Thurgau in Frauenfeld durchgeführt. Die Bestimmung der Kationen wurde durch den Autor mit AAS (Atom-Adsorptions-Spektrometrie) im Labor der mineralogisch-petrographischen Abteilung des Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel ausgeführt.

2. Ziel der hydrochemischen Untersuchungen der Quellen

Die hydrochemischen Untersuchungen dienen einerseits dazu, die chemische Zusammensetzung des Wassers der Quellen der Oberen Süßwassermolasse darzustellen, andererseits kann anschließend der Chemismus des Wassers der Quellen dazu benutzt werden, um gewisse hydrologische Beziehungen darzustellen. Theoretisch können die folgenden hydrologischen und hydrogeologischen Faktoren den Chemismus des Quellwassers, gemäß des vom Wasser durchflossenen Weges, beeinflussen:

- Oberflächliche Verschmutzungen am Beginn des Infiltrationsweges (an der Erdoberfläche, in der obersten Bodenschicht).

- Einfluß der chemischen Zusammensetzung des Gesteins, welches das Quellwasser durchquert.

- Einfluß der chemischen Zusammensetzung des Gesteins, aus welchem die Quelle entspringt.

- Verweilzeit bzw. Aufenthaltsdauer des Wassers im Reservoirgestein (lange Verweilzeit resp. kleine Flußgeschwindigkeit bedeutet stärkere Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung des Wassers durch das Gestein).

Außer diesen direkt beeinflussenden Faktoren gibt es noch viele weitere, erst durch eine genauere Analyse der Ergebnisse feststellbarer Zusammenhänge, so ist zum Beispiel oft ein Zusammenhang zwischen Ergiebigkeit (Wasserführung) und Konzentration der chemischen Parameter festzustellen.

Wie im hydrogeologischen Teil beschrieben wurde, bildet der ganze Schichtkomplex der Oberen Süßwassermolasse im Aubachgebiet ein zusammenhängendes hydrogeologisches Gesamtsystem. Aus diesem Grunde könnte man erwarten, daß die Quellen im Talgrunde eher stärker mineralisiert wären als in der Nähe der Wasserscheide und eine konstantere Temperatur und Wasserführung aufweisen würden.

3. Ergebnisse der chemischen Untersuchungen des Wassers der Quellen der Oberen Süßwassermolasse

In den Tab. 1 und 2 sind sämtliche Analysenresultate sowie die Ergebnisse der Wassertemperatur-, Ergiebigkeits- und pH-Wert-Bestimmungen aller Wasserproben der Quellen der Oberen Süßwassermolasse und des Aubaches als Gesamtabfluß bei der Pegelmeßstelle Fischingen dargestellt. Entsprechend den Resultaten der chemischen Analysen sind die Wässer sämtlicher untersuchten Quellen vom Ca-Mg-

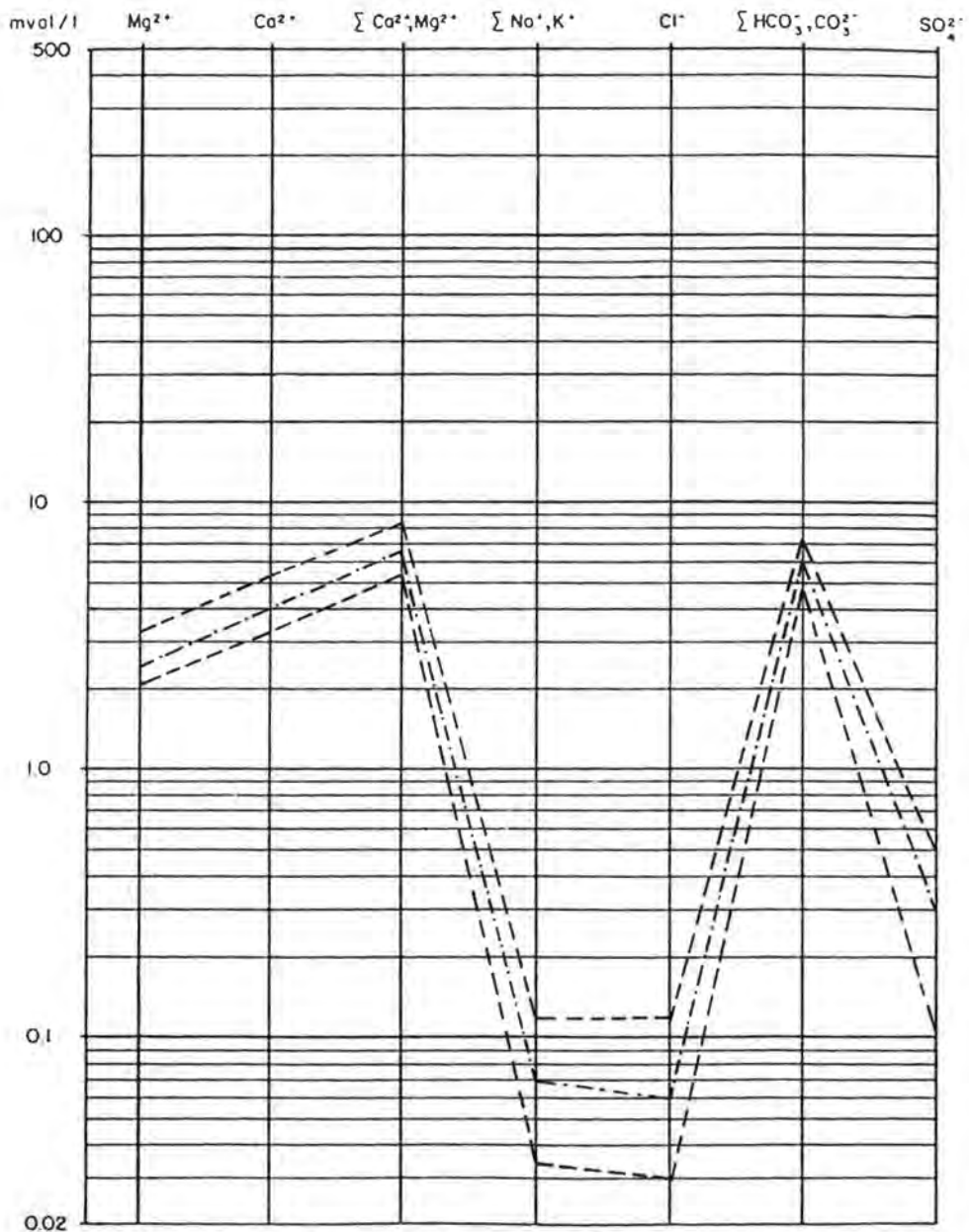


Fig. 1: Schoeller-Diagramme der Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Konzentrationen des Wassers der einzelnen Quellen der Oberen Süßwassermolasse (OSM) des Einzugsgebietes des Anbaches (Probenahmeserie vom August 1973).

HCO₃-Typ (Nomenklatur nach H. JÄCKLI, 1970, in H. SCHMASSMANN et al., 1984, S. 78): Dieser Typ ist nach H. SCHMASSMANN et al. (1984) für Tertiärwässer charakteristisch und z. B. direkt mit dem Chemismus der Quelle 42, Schwarzenberg (Mg/Ca = 0,36 val/val), welche ebenfalls der OSM entstammt, vergleichbar. Dabei sind die

Tab. 1: Ergebnisse der Untersuchungen an Wasserproben der Quellen der Oberen Süßwassermolasse im Einzugsgebiet des Aubaches (Quellen 1–10).

Quelle Nr.	Entnahme-serie	Wasser-temperatur °C	pH	Leit-fähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	Q l/min	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	p-Wert mval/l	m-Wert mval/l	G.-Härte mval/l	O ₂ -Sät-tigung %	Cl ⁻ mg/l	Fe _{tot} mg/l	NO ₃ ⁻ mgN/l	PO ₄ ³⁻ mgP/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
01	08.73	8,2	7,4	510,0	1,35	1,3	0,4	26,7	86,3	-0,23	5,89	6,18	92,0	2,2	0,12	0,84		16,0
01	11.73	8,4	7,4	470,0	48,00	0,8	0,3	23,6	71,2	-0,41	4,93	5,32	97,0		0,05	1,50		13,0
01	02.74	6,3	7,4	340,0	8,40	0,9	0,4	24,2	80,7	-0,38	5,36	5,81	93,0	2,3	0,01			13,0
01	05.74	6,4	7,4		4,00	0,8	0,4	22,3	61,0	-0,43	5,58	5,98	88,0	1,2	0,01			16,0
02	08.73	10,4	7,6	527,0	0,50	0,9	0,2	30,1	89,5	-0,18	5,80	6,24	85,0	1,4	0,01	0,63		14,0
02	11.73	8,0	7,2	550,0	3,25	0,7	0,3	27,3	68,7	-0,77	6,26	6,67	86,0		0,24	1,28		13,0
02	02.74	5,5	7,4	300,0	1,00	0,8	0,2	25,3	86,6	-0,34	5,54	5,91	89,0	1,7	0,03			13,0
02	05.74	6,2	7,5		0,80	0,7	0,2	22,1	68,0	-0,43	5,64	6,20	91,0	1,7	0,02			14,0
03	08.73	9,0	7,1	537,0	5,00	1,0	0,2	32,7	92,7	-0,60	6,06	6,56	72,0	1,6		1,96		18,0
03	11.73	9,0	7,2	548,0	60,00	0,8	0,2	29,7	66,8	-0,65	5,72	6,29	89,0		0,06	2,84		16,0
03	02.74	7,5	7,4	500,0	18,00	0,8	0,2	29,1	90,6	-0,36	5,90	6,36	84,0	2,0	0,01			14,0
03	08.74	7,0	7,4		7,00	0,7	0,2	25,2	61,6	-0,57	6,17	6,64	81,0	2,0				13,0
04	02.73	2,6	7,3	453,0	0,55	1,9	0,3	26,6	48,4	-0,16	5,21	5,68	96,0	2,2	0,02	2,52	0,006	18,0
04	05.73	8,1	7,3	450,0	0,30	1,1	0,2	32,8	58,0	-0,44	5,33	6,22	95,0	2,2	0,44	2,76	0,006	18,0
04	08.73	11,3	7,8	535,0	0,30	1,2	0,2	31,2	86,9	-0,15	5,79	6,42	98,0	2,0	0,01	1,66	0,012	18,0
04	11.73	6,5	7,5	472,0	2,00	0,6	0,2	22,9	65,0	-0,28	4,75	5,46	96,0		0,03	3,04		15,0
04	02.74	4,4	7,6	500,0	0,50	1,5	0,2	26,3	81,2	-0,52	5,26	5,83	98,0	2,1	0,09			16,0
04	05.74	6,8	7,6	500,0	0,40	2,0	0,3	22,5	54,9	-0,24	5,48	6,16	97,0	1,9	0,01			14,0
05	02.73	4,0	6,8	500,0	0,80					-0,41	6,07	6,69	78,0	2,2	0,01	5,60	0,002	20,0
05	05.73	6,0	7,2	505,0	1,00	1,4	0,3	40,4	35,5	-0,66	6,23	6,82	85,0	2,3	0,03	2,56	0,010	18,0
05	08.73	10,1	7,4	578,0	1,20	1,4	0,4	38,6	95,8	-0,42	6,43	6,93	85,0	2,1		1,72		18,0

05	11.73	7,4	7,3	525,0	8,50	1,0	0,3	31,2	60,6	-0,43	5,29	6,11	95,0		0,04	3,32		22,0
05	02.74	5,3	7,4	560,0	2,40	1,3	0,3	32,4	93,1	-0,50	6,20	6,80	81,0	2,3	0,03			17,0
05	05.74	6,5	7,4	560,0	1,20	1,0	0,3	27,4	46,3	-0,99	6,41	6,98	83,0	2,2	0,06			14,0
06	08.73	9,2	7,2	621,0	0,60	1,5	0,6	34,3	105,5	-0,65	7,21	7,64	74,0	2,8	0,11	1,66	0,009	14,0
06	11.73	8,2	7,3	590,0	2,50	1,0	0,4	32,8	69,3	-0,56	6,82	7,29	89,0		0,04	1,50	0,001	13,0
06	02.74	6,6	7,3	580,0	2,50	1,1	0,5	35,5	104,4	-0,72	6,91	7,40	82,0	2,5	0,02			11,0
06	05.74	6,3	7,2	510,0	1,00	1,8	0,5	28,6	40,8	-0,78	7,07	7,61	84,0	2,4	0,01			7,0
07	08.73	8,0	7,3	547,0	8,00	1,8	0,3	36,3	93,4	-0,74	6,34	6,78	64,0	1,4	0,01	1,20	0,062	19,0
07	11.73	8,4	7,1	570,0	60,00	1,4	0,3	33,7	63,8	-0,92	6,54	6,91	61,0		0,07	1,18		12,0
07	02.74	7,7	8,1	540,0	32,00	1,3	0,2	32,1	92,1	-0,08	6,20	6,68		2,0	0,01			13,0
07	05.74	6,9	7,3		14,00	1,3	0,3	27,3	69,3	-0,79	6,35	6,89	69,0	1,4	0,01			15,0
08	02.73	4,5	7,8	425,0	0,35	0,6	0,2	22,1	66,0	-0,04	4,37	4,77	96,0	1,8	0,02	2,06	0,113	11,0
08	05.73	6,0	7,6	370,0	0,50	0,5	0,2	26,8	66,2	-0,22	4,39	4,76	112,0	1,9	0,03	1,24	0,004	9,0
08	08.73	8,8	7,6	425,0	0,40	0,6	0,2	25,3	70,8	-0,17	4,64	5,03	101,0	1,4	0,06	1,31	0,013	14,0
08	11.73	6,6	7,7	400,0	24,00	0,5	0,2	21,6	59,4	-0,19	4,20	4,54	104,0		0,17	1,06		10,0
08	02.74	6,5	7,7	420,0	2,50	0,6	0,1	21,7	67,2	-0,20	4,38	4,69	101,0	1,7	0,05			11,0
08	05.74	6,2	7,8	420,0	1,80	0,4	0,1	19,2	66,4	-0,14	4,47	4,95	102,0	1,6	0,03			9,0
09	02.73	4,2	7,1	521,0	2,00	1,0	0,3	28,4	73,2	-0,15	5,64	6,03	97,0	1,5	0,22	1,50	0,084	10,0
09	05.73	5,2	7,2	430,0	2,50	0,8	0,3	29,5	80,0	-0,47	5,21	5,67	98,0	1,7	0,02	1,40		2,0
09	08.73	9,0	7,3	497,0	4,00	0,8	0,3	31,2	83,7	-0,41	5,55	5,99	93,0	1,4	0,01	1,34	0,042	15,0
09	11.73	7,4	7,3	502,0	12,00	0,7	0,3	27,1	61,3	-0,68	5,43	5,90	92,0	2,9	0,04	1,42	0,009	11,0
09	02.74	5,5	7,2	470,0	7,50	0,8	0,3	26,3	81,2	-0,54	5,20	5,59	95,0	1,7	0,06			12,0
09	05.74	6,0	7,5	480,0	12,00	0,6	0,3	22,8	62,1	-0,33	5,37	5,86	98,0	1,6	0,03			1,0
10	02.73	2,1	7,1	551,0	0,20	2,4	0,3	29,5	90,2	-0,31	6,02	6,48	76,0	2,7	0,02	1,20	0,115	13,0
10	05.73	6,0	7,1	445,0	1,20	1,0	0,3	30,2	63,1	-0,61	5,46	6,27	82,0	2,2	0,02	1,20	0,003	5,0

Tab. 2: Ergebnisse der Untersuchungen an Wasserproben der Quellen der Oberen Süßwassermolasse im Einzugsgebiet des Ansbaches (Quellen 10–18).

Quelle Nr.	Entnahme- serie	Wasser- tempera- tur °C	pH	Leit- fähigkeit µS/cm	Q l/min	Na- mg/l	K+ mg/l	Mg ²⁺ - mg/l	Ca ²⁺ - mg/l	p-Wert mval/l	m-Wert mval/l	G.-Härte mval/l	O ₂ -Sät- tigung %	Cl- mg/l	Fe _{tot.} mg/l	NO ₃ ⁻ - mgN/l	PO ₄ ³⁻ - mgP/l	SO ₄ ²⁻ - mg/l
10	08.73	11,5	7,1	560,0	0,95	1,3	0,3	31,7	97,9	-0,52	6,20	6,70	59,0	1,6	0,01	1,76		13,0
10	11.73	7,7	7,2	440,0	5,00	0,8	0,3	22,4	71,5	-0,57	4,26	4,93	78,0		0,08	4,50		12,0
10	02.74	4,4	7,5	500,0	2,00	0,9	0,2	25,0	85,8	-0,42	5,55	5,92	75,0	1,8	0,05			11,0
10	05.74	6,5	7,3	520,0	1,20	0,8	0,3	23,2	62,8	-0,55	5,98	6,42	80,0	1,6	0,05			8,0
11	08.73	10,9	7,1	500,0	0,50	2,1	0,4	33,8	76,6	-0,27	5,56	6,07	97,0	1,9	0,09	0,72	0,012	24,0
11	11.73	7,0	7,6	480,0	5,00	1,3	0,2	28,1	62,5	-0,46	5,24	5,84	100,0	2,2	0,06	0,92	0,010	10,0
11	02.74	6,4	7,6	420,0	4,00	1,3	0,2	26,9	70,3	-0,28	5,04	5,45	97,0	2,1	0,02			13,0
11	05.74	6,7	7,8		2,25	1,2	0,3	24,2	60,3	-0,15	5,26	5,66	101,0	2,4	0,02			8,0
12	05.73	5,4	7,3	432,0	6,00	0,6	0,3	25,0	69,3	-0,33	4,67	5,10	97,0	3,0	0,02	1,08	0,015	10,0
12	08.73	11,5	7,6	525,0	3,00	0,7	0,3	26,5	90,7	-0,73	5,57	6,03	98,0	11,9	0,06	0,88	0,021	11,0
12	11.73	8,0	7,4	546,0	21,00	0,8	0,6	23,8	94,9	-0,49	5,37	6,14	101,0	19,2	0,09	2,36	0,029	22,0
12	02.74	4,9	7,8	470,0	15,00	0,6	0,3	22,4	78,3	-0,22	4,96	5,51	101,0	7,6	0,02			13,0
12	05.74	6,2	7,6		9,00	0,5	0,3	20,1	66,5	-0,32	4,89	5,50	90,0	6,7	0,02			11,0
13	08.73	8,9	7,2	540,0		1,2	0,4	30,3	67,0	-0,54	6,32	6,73	93,0	1,9	0,03	1,08	0,016	13,0
13	11.73	7,8	7,4	510,0	10,00	0,7	0,4	27,3	72,4	-0,53	5,58	6,04	88,0	1,6	0,02	1,36	0,004	23,0
13	02.74	7,2	7,3	380,0	12,00	0,8	0,3	29,7	95,1	-0,44	6,15	6,29	88,0	2,0	0,03			13,0
13	05.74	7,1	7,4		15,00	0,7	0,3	25,4	59,9	-0,62	6,37	6,87	87,0	2,4	0,01			13,0
14	05.73	8,1	7,1	529,0	5,00	1,9	0,3	33,6	41,0	-0,59	6,18	6,47	99,0	2,5	0,03	0,80	0,017	9,0
14	08.73	13,2	7,3	540,0	4,00	2,6	0,3	30,2	82,0	-0,67	6,22	6,53	98,0	4,8	0,03	0,76	0,092	9,0
14	11.73	8,8	7,2	477,0	15,00	1,1	0,2	24,1	78,7	-0,77	5,43	5,75	95,0		0,03	0,42	0,017	13,0
14	02.74	5,8	7,4	440,0	12,00	1,4	0,2	27,4	88,1	-0,40	6,11	6,41	98,0	2,8	0,02			10,0

14	05.74	8,1	7,5		8,40	1,4	0,2	25,2	56,9	-0,45	6,63	6,79	99,0	3,8	0,02			9,0
15	02.73	6,2	7,6	541,0	8,00	1,8	0,8	33,9	83,3	-0,59	6,75	7,09	86,0	2,6	0,05	1,28	0,001	10,0
15	05.73	6,9	7,0	550,0	15,00	1,7	0,5	37,1	31,9	-0,83	6,51	6,91	86,0	6,9	0,03	3,00	0,013	9,0
15	08.73	10,1	7,2	560,0	6,00	1,8	0,6	32,7	38,9	-0,70	6,62	6,90	84,0	2,1	0,05	1,10	0,001	14,0
15	11.73	8,8	7,2	542,0	49,00	1,5	0,4	30,8	71,2	-0,77	6,31	6,55	80,0	1,8	0,04	1,00	0,003	16,0
15	02.74	7,0	7,4	380,0	36,00	1,6	0,5	32,7	91,2	-0,39	6,41	6,69	90,0	3,1	0,01			8,0
15	05.74	7,3	7,4		16,00	1,3	0,6	27,6	78,0	-0,54	6,61	6,89	89,0	3,4	0,01			8,0
16	02.73	4,4	7,5	523,0	3,70	1,4	1,1	28,9	69,9	-0,75	6,83	7,25	86,0	2,5	0,06	2,06	0,005	8,0
16	05.73	7,5	6,9	572,0	6,00	1,3	1,1	36,6	71,5	-1,02	6,83	7,17	73,0	2,9	0,02	2,08	0,011	3,0
16	08.73	11,3	7,2	575,0	5,50	1,4	1,1	28,3	39,5	-0,77	6,80	7,11	74,0	2,9	0,03	1,72	0,052	9,0
16	11.73	8,4	7,3	583,0	10,00	1,4	0,9	28,6	78,7	-0,55	6,89	7,33	77,0	3,1	0,02	1,52	0,024	12,0
16	02.74	6,3	7,3	420,0	12,00	1,3	1,0	28,6	105,4	-0,49	6,80	7,14	76,0	4,1	0,01			4,0
16	05.74	7,5	7,3		7,80	1,1	1,0	24,1	58,6	-0,76	6,86	7,11	76,0	4,0	0,01			6,0
17	02.73	3,4	7,8	452,0	12,00	7,6	2,7	22,3	83,2	-0,06	5,70	6,29	100,0	4,0	0,09	2,04	0,525	6,0
17	05.73	8,0	7,0	537,0	30,00	1,1	1,1	30,8	73,7	-0,76	6,22	6,76	86,0	2,8	0,03	2,00	0,037	9,0
17	08.73	8,9	7,1	550,0	15,00	1,3	1,2	27,5	80,7	-0,69	6,20	6,52	81,0	2,6	0,02	2,16	0,021	11,0
17	11.73	8,8	7,4	527,0	40,00	1,2	0,9	25,8	93,6	-0,65	5,94	6,39	84,0	2,4	0,05	1,88	0,031	14,0
17	02.74	8,2	7,4	542,0	35,00	1,2	1,0	27,7	70,0	-0,62	5,98	6,25	87,0	3,0	0,05			8,0
17	05.74	8,1	7,3		17,50	0,9	1,2	23,8	56,8	-0,66	6,43	7,04	82,0	3,5	0,01			7,0
18	02.73	0,0	8,2	485,0	2,40						5,10	5,45	99,0	6,6	0,07	1,28	0,122	11,0
18	05.73	10,3	8,1	395,0	3,00	1,8	0,7	29,7	45,7	-0,02	4,95	5,47	89,0	4,6	0,03	0,80	0,016	4,0
18	08.73	14,6	8,4	450,0	1,20	2,3	1,0	24,5	67,0		4,87	5,13	106,0	4,8	0,12	0,55	0,013	6,0
18	11.73	7,4	8,2	445,0	34,80	1,2	0,8	23,7	74,9		4,83	5,18	105,0		0,13	2,88	0,039	10,0
18	02.74	3,4	8,2	453,0	6,60	1,6	0,7	23,4	78,9		5,08	5,40	107,0	3,9	0,09			9,0
18	05.74	13,4	8,5	410,0	4,20	1,4	0,8	20,5	62,1		4,58	5,02	113,0	3,8	0,01			9,0

Mg/Ca-Verhältnisse der Wässer des Aubachgebietes jedoch höher, um 0,48 bis 0,74 val/val für die Probenahmeserie vom August 1973. Für dieselbe Probenahmeserie sind in Fig. 1 die Schoellerdiagramme der Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Konzentrationen der einzelnen Quellen dargestellt. Für die Quellen des Aubachgebietes ist dabei auch der große Anteil an Hydrogenkarbonat (HCO_3) resp. die hohe Karbonathärte (21,0 bis 36,1 franz. Härtegrade) charakteristisch.

In Tab. 3 sind die Bezeichnungen der einzelnen Quellen und die Numerierung, welche mit jener in W. BALDERER (1983) übereinstimmt, sowie die Koordinaten und Höhe der Austrittsstelle dargestellt. Somit ist es möglich den Chemismus des Quellwassers direkt mit der lithologischen hydrogeologischen Situation der einzelnen Quellen zu vergleichen. Im folgenden wird nun versucht, mit Hilfe der Resultate der hydrochemischen Analysen die einzelnen Quellen und damit auch das hydrogeologische Gesamtsystem unter verschiedenen Gesichtspunkten zu charakterisieren.

Tab. 3: Verzeichnis der untersuchten und dargestellten Quellen der Oberen Süßwassermolasse im Einzugsgebiet des Aubaches (für Beschreibung der Hydrogeologie und Lithologie siehe W. BALDERER, 1983).

Nr. (Abk.)	Bezeichnung der Quelle	Koordinaten		Höhe m ü. M.
1.	Quelle an der Straße Au-Fischingen	714780	251620	662
2.	Quelle bei größter Tanne des Kantons Thurgau	714720	251630	695
3.	Quelle, ungefaßt, südlich vom Klosterblick	714525	251360	720
4.	Quelle, ungefaßt, am Bach nördlich Bleiken	714950	251400	690
5.	Quelle, ungefaßt, am Bach nördlich Bleiken	715020	251350	710
6.	Quelle, ungefaßt, am Bach nach Bleiken	714730	250900	712
7.	Quelle beim Klosterblick	714580	251770	752
8.	Quelle bei Spitzegg, ungefaßt	714340	249540	810
9.	Quelle, gefaßt, für Hof Böhi (Vorder-Kappegg)	714820	249800	825
10.	Quelle bei Neuschür, ungefaßt	715250	251500	700
11.	Quelle, gefaßt, oberhalb Straße nach Allenwinden	714210	250000	805
12.	Quelle, gefaßt, etwas unterhalb Straße nach Allenwinden	714280	250000	790
13.	Quelle, gefaßt, für Schulhaus Au	714370	251070	735
14.	Quelle, gefaßt, für Hof Baumgartner, Hinter-Anderwil	714430	249960	768
15.	1. Quelle oberhalb Au, gefaßt	714250	250420	720
16.	2. Quelle oberhalb Au, gefaßt	714280	250420	720
17.	3. Quelle Au, gefaßt	714350	250320	725
18.	Aubach bei Pegelmeßstelle Fischingen	715250	252170	625

3.1. Zeitliche Variabilität

Die zeitliche Variation der hydrochemischen Parameter wird allgemein auf eine Abhängigkeit vom hydrologischen Regime einer Quelle, d. h. insbesondere auf die Variabilität der Quellergiebigkeit (resp. -schüttung) zurückgeführt. Diese Abhängigkeit sollte nun so ausgeprägt in Erscheinung treten, je kürzer die Fließwege vom Infiltrationsgebiet bis zur Austrittsstelle resp. je kleiner das Speichervolumen der entsprechenden Quelle ist.

Um diese Beziehungen für den Fall des Einzugsgebietes des Aubaches diskutieren zu können, sind für einige Quellen mit maximal eineinhalb- bis minimal einjähriger Beobachtungsdauer die zeitliche Variation der Ergiebigkeit in Fig. 2, die der Leitfähigkeit in Fig. 3 sowie jene der Natriumkonzentration in Fig. 4 dargestellt.

3.1.1. Zeitliche Variation der Quellergiebigkeit (Schüttung)

In Fig. 2 ist neben den Ergiebigkeiten der einzelnen Quellen auch der Abfluß des Aubaches am Ausgang des Einzugsgebietes (Nr. 18) für die einzelnen Probenahme- resp. Meßzeitpunkte dargestellt. Aus der Darstellung in Fig. 2 ergeben sich nun folgende Beobachtungen:

– Von den Quellen mit eineinhalbjähriger Beobachtungsperiode zeigen nur die Quellen der Nummern 8, 10, 15 einen relativ ähnlichen Verlauf mit dem Gesamtabfluß des totalen Einzugsgebietes (Nr. 18), während die Quellen der Nummern 4, 5 und 9 einen (soweit aus diesen vierteljährlichen Messungen überhaupt geschlossen werden kann) gegenüber dem Gesamtabfluß teilweise entgegengesetzten Verlauf aufweisen.

Dieses gegenüber dem allgemeinen Abflußvorgang unterschiedliche Verhalten kann entweder durch eine verzögerte hydraulische Reaktion (wahrscheinlich bei Quelle Nr. 4) oder durch eine Dämpfung infolge großen Reservoirvolumens (bei Quellen Nr. 5 und 9) erklärt werden.

3.1.2. Zeitliche Variation der elektrischen Leitfähigkeit

Die Variation der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers, welche nach A. BURGER (1961) annähernd in proportionaler Beziehung zur Gesamtionenkonzentration (totale Mineralisation, resp. Salinität) steht (K. ROMMEL, 1980), ist in Fig. 3 für die einzelnen Quellen dargestellt. Ein Vergleich mit der in Fig. 2 dargestellten Variation der Quellergiebigkeiten zeigt, daß wohl genereller Trend einer Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von der Quellergiebigkeit vermutet werden kann, daß sich aber im einzelnen wahrscheinlich verschiedene weitere Prozesse überlagern. Anhand der beobachteten Variationen dieser Parameter an den einzelnen Probenahmezeitpunkten sowie in Berücksichtigung der Variation der hydrologischen Parameter: des Gebietsniederschlags N , der Evapotranspiration V , des Gebietsabflusses A sowie des Nettoniederschlags $(N-V)$, der Reserve R_t und der Reserveänderung ΔR (siehe Tab. 4 und 5 sowie Fig. 5 gemäß W. BALDERER 1981 und 1982) können für die einzelnen Quellen folgende hydrologische Zusammenhänge vermutet werden:

Tab. 4: Totale Abflußreserve R_t (in mm am Ende jedes Monats) für das Einzugsgebiet des Aubaches.

Jahr	Jänner	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1972									3	13	154	118
1973	133	172	98	26	10	12	20	7	4	84	116	79
1974	68	86	28	8	11	12	12	5	8	89	114	75
1975	74	34	32	18	8	35	18	17	31			

Tab. 5: Monatliche Änderung der Abflußreserve ΔR für das Einzugsgebiet des Aubaches.

Jahr	Jänner	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1972										10	141	-36
1973	-15	39	-74	-72	-16	2	8	-13	-3	80	32	-37
1974	-11	18	-58	-20	3	1	0	-7	3	81	25	-39
1975	-1	-40	-2	-14	-10	27	-17	-1	14			

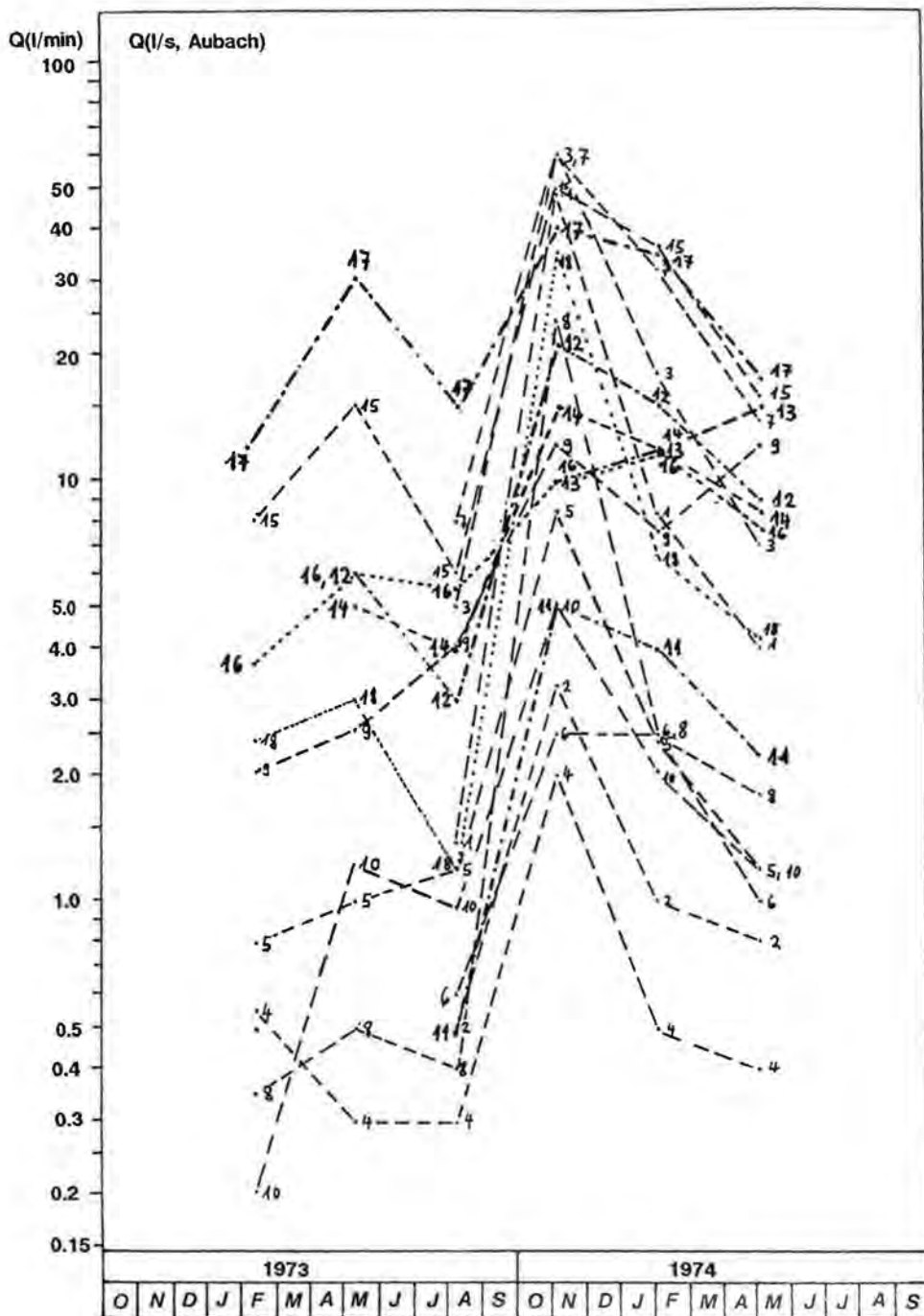


Fig. 2: Variation der Ergiebigkeit einiger beobachteter Quellen der OSM innerhalb des Aubachgebietes.

1. Probenahme im Februar 1973:

Hydrologische Charakterisierung: Relativ geringe Evapotranspiration und geringer Gebietsabfluß bei relativ größerem Niederschlag, was zu einer positiven Reserveänderung führt (Gesamtreserve R_t mit 172 mm groß).

Die elektrische Leitfähigkeit im Abfluß des Aubaches sowie der Wässer der einzelnen Quellen ist hoch, und somit ebenfalls die Gesamtmineralisation, was in Übereinstimmung mit der hydrologischen Charakterisierung darauf hindeutet, daß der Abfluß zu diesem Zeitpunkt noch praktisch unbeeinflusst vom Niederschlag bleibt.

2. Probenahme im Mai 1973:

Hydrologische Charakterisierung: Hohe Evapotranspiration bei größerem Niederschlag, größerem Abfluß sowie negativer Änderung der hydrologischen Reserve (Gesamtreserve R_t mit 10 mm = Jahresminimum).

Die elektrische Leitfähigkeit der Quellwässer und des Aubaches ist zu diesem Zeitpunkt deutlich geringer und zeigt damit auch die größere Verdünnung an, welche durch Speisung mit den frischen Niederschlägen bei praktisch aufgebrauchter Reserve erklärt werden kann.

3. Probenahme vom August 1973:

Hydrologische Charakterisierung: Geringe Gesamtreserve R_t bei hoher Evapotranspiration. Der Abfluß wird bei geringer Niederschlagsmenge zur Hauptsache aus der noch vorhandenen hydrologischen Reserve gewährleistet.

Die elektrische Leitfähigkeit der einzelnen Quellwässer wie auch des Gesamtabflusses des Aubaches ist relativ hoch und somit auch die Gesamtmineralisation. Dies läßt sich nun gut mit dem beobachteten hydrologischen Regime des Trockenwetterabflusses (*régime de tarissement*), d. h. geringer Abflußreserve mit relativ hoher Mineralisation (da Verdünnung durch Neubildung minimal), erklären.

4. Probenahme vom November 1973:

Hydrologische Charakterisierung: Eigentlicher Hochwasserabfluß, da gespiesen von der während des Monats Oktober gebildeten hydrologischen Reserve sowie dem relativ hohen Gebietsniederschlag bei geringer Evapotranspiration.

Es ist daher allgemein eine Verdünnung der chemischen Parameter im Abfluß des Monats November 1973 gegenüber jenem vom August 1973 zu erwarten. Diese erwartete Reaktion, gekennzeichnet durch eine geringe elektrische Leitfähigkeit im Vergleich zum August 1973, ist nun besonders ausgeprägt bei den Quellen Nr. 10 und 14 sowie mit weniger ausgeprägtem Rückgang bei den Quellen Nr. 1, 4, 5, 6, 8, 11, 13, 15 und 17 (Tab. 1, 2 und Fig. 1) zu beobachten. Hingegen ist bei den Quellen Nr. 2, 3, 7, 9 und 16 eine gegenteilige Reaktion zu beobachten, da bei diesen Quellen trotz wesentlich höherer Quellergiebigkeit (Fig. 2 und Tab. 1, 2) die elektrische Leitfähigkeit sogar gegenüber jener vom August 1973, d. h. einer ausgeprägten Trockenperiode, noch weiter angestiegen ist. Diese gegensätzliche hydraulisch-geochemische Reaktion ist nun aber erklärbar, insbesondere falls das Speichergestein im Einflußbereich einer Quelle hauptsächlich aus einem geklüfteten Medium besteht. In diesem Fall ist entsprechend der theoretischen Arbeit von L. KIRALY & G. MOREL (1976), L. KIRALY (1978) und den karsthydrologischen Untersuchungen im Areuse-Gebiet (I. MÜLLER et al., 1980) zwischen einer Grundwasserkomponente mit größerer Verweilzeit, welche der Speicherung hauptsächlich innerhalb der primären Porosität des Gesteins entspricht, und einer Grundwasserkomponente mit sehr kurzer Verweilzeit, welche innerhalb der Klüfte gespeichert wird, zu unterscheiden. Nach L. KIRALY (1978) ist nun der beobachtete Vorgang des Abflusses von hochmineralisiertem Grund-(resp. Quell-)wasser während eines Hochwasserereignisses dadurch zu erklä-

ren, daß das hochmineralisierte Grundwasser, welches der Speicherung in den porösen, nicht geklüfteten Partien des Speichergesteins entspricht, welches während den normalen Niedrigwasserperioden den Hauptanteil des Quellabflusses ausmacht und somit auch das Kluftspeichervolumen erfüllt, während (und vor allem zu Beginn) des Hochwasserereignisses durch das rasch nachfließende Grundwasser in den Klüften, welches hauptsächlich dem neu infiltrierten Niederschlagswasser entspricht, durch hydraulische Reaktion aus dem gesamten Kluftsystem verdrängt wird. Dadurch fließt vor allem zu Beginn und auch während einer gewissen Zeit innerhalb des Hochwasserereignisses, selbst bei stark erhöhtem Volumenstrom (resp. Quellergiebigkeit) stärker mineralisiertes Grundwasser aus, das, wie Isotopenbestimmungen zeigen, oft eine wesentlich höhere Verweilzeit als das gegen Ende eines Hochwassers ausfließende Grundwasser aufweist, resp. als für frisch infiltriertes Grundwasser zu erwarten wäre.

Aus der Beschreibung der hydrogeologischen und lithologischen Bildungsbedingungen der einzelnen Quellen in W. BALDERER (1983, auf Tab. 2) geht nun hervor, daß die Quellen Nr. 7 und 9 aus Klüften in einem Nagelfluhhorizont (Konglomerat) und Nr. 2 aus einem geklüfteten Sandsteinhorizont entspringen. Für die Quellen Nr. 3 und Nr. 7, welche auch die größten maximalen Quellergiebigkeiten aller beobachteten Quellen innerhalb des Einzugsgebietes des Aubaches aufweisen, ist eine kombinierte Grundwasserspeicherung innerhalb des primär porösen, aber auch geklüfteten Gesteins zumindest als wahrscheinlich anzunehmen.

Der Gesamtgebietsabfluß des Aubaches selbst zeigt ein Mischbild der beiden Typen von Quellreaktionen, mit nur einem leichten Rückgang der elektrischen Leitfähigkeit im Abfluß bei einer gegenüber der Probenahme im August 1973 um einen Faktor von 3,8 gesteigerten Abflußmenge.

5. Probenahme vom Februar 1974:

Hydrologische Charakterisierung: Kleiner Gebietsabfluß des Aubaches, mit vorwiegend Speisung aus Niederschlag, jedoch auch Speisung zu einem gewissen Anteil aus hydrologischer Abflußreserve möglich ($R_t = 86$ mm).

Wiederum sind bezüglich der elektrischen Leitfähigkeit des ausfließenden Grundwassers der einzelnen Quellen zwei Typen von Reaktionen zu unterscheiden: Quellen mit geringerer Leitfähigkeit, was auf einen größeren Anteil von geringer mineralisiertem frisch infiltriertem Niederschlagswasser hindeutet, sowie von Quellen mit ausfließendem Wasser höherer Leitfähigkeit, was bei eher mittlerem Abfluß auf einen höheren Anteil von gespeichertem Vorrat schließen läßt. Dieses Verhalten zeigen die Quellen Nr. 8, 10, 5, 4 sowie der Gesamteinzugsgebietsabfluß des Aubaches bei Fischeningen (Nr. 18).

Für die Quellen Nr. 4 und Nr. 5 wurde bereits in Kapitel 3.1.1. bei der zeitlichen Variation der Quellergiebigkeiten ein teilweise entgegengesetzter Gang gegenüber dem Gesamtgebietsabfluß des Aubaches (Nr. 18) festgestellt, was als verzögerte hydraulische Reaktion (Nr. 4) resp. durch Ausgleich durch größeres Speichervolumen erklärt wurde. Bei Quelle Nr. 8, welche in W. BALDERER (1983) als eindeutige Kluftquelle charakterisiert wird, könnte es sich eventuell wiederum um eine hydraulische Reaktion innerhalb des Speichergesteins, durch Auspressen von Grundwasser höherer elektrischer Leitfähigkeit durch frisches infiltriertes Niederschlagswasser mit niedrigerer Leitfähigkeit handeln. Bei Quelle Nr. 10 sind beide Erklärungsmöglichkeiten, sowohl der Ausgleich (Pufferwirkung) durch größeres Speichervolumen als auch eine Reaktion durch Klufthydraulik innerhalb des Speichergesteins möglich.

6. Probenahme vom Mai 1974:

Hydrologische Charakterisierung: Bei geringer hydrologischer Abflußreserve ($R_1 = 11$ mm) sowie hohem Niederschlag, aber auch höherer Evapotranspirationsrate und mittlerer durchschnittlicher Abflußmenge des Aubaches ist praktisch keine Vergrößerung der Abflußreserve möglich.

Obwohl in diesem praktisch erreichten dynamischen Gleichgewichtszustand zwischen Niederschlag und Abfluß eher geringere elektrische Leitfähigkeiten im Abfluß der einzelnen Quellen erwartet würden, trifft ein solches Verhalten nur gerade auf die Quelle Nr. 6 und den Gesamtabfluß des Aubaches (Nr. 18) zu (dabei ist allerdings zu beachten, daß infolge analytischer Schwierigkeiten die elektrischen Leitfähigkeitsmessungen einiger Quellen ausgefallen sind). Von den übrigen Quellen zeigen Nr. 4, 5 und 8 gegenüber der Probenahme vom Februar 1974 gleichbleibende sowie die Quellen Nr. 9 und 10 höhere elektrische Leitfähigkeiten als im Februar 1974. Dieses beobachtete Verhalten kann praktisch nur durch die Möglichkeit eines Ausgleiches durch die Pufferwirkung mit relativ großem Speichervolumen resp. gegenüber der Infiltration doch ziemlich verzögertem Abfluß erklärt werden.

Der Aubach selbst hingegen scheint als Gebietsabfluß in diesem Monat einen ziemlich großen Anteil an direktem, wahrscheinlich oberflächlich abfließendem Niederschlagswasser geringer elektrischer Leitfähigkeit zu erhalten.

Es muß nun als Konsequenz der nun dargestellten Schilderung und Deutung der zeitlichen Variationen im Vergleich zur hydrologischen Charakterisierung vor allem festgehalten werden, daß der Gesamtabfluß eines Einzugsgebietes, wie ihn der Aubach darstellt, in hydrochemischer Hinsicht kein spezifisches Verhalten der einzelnen Quellen reflektiert, sondern das Resultat der Mischungen der Wässer aller vorhandenen Quellen sowie des eventuellen oberflächennahen Direktabflusses reflektiert.

3.1.3. Zeitliche Variation der Natriumkonzentration

Nach L. KIRALY & I. MÜLLER (1979), I. MÜLLER et al. (1980), I. MÜLLER (1982) stellt die Natriumkonzentration im Grundwasserabfluß einen günstigen chemischen Parameter zum Studium des Abflußregimes dar. In Fig. 4 ist nun ebenfalls die Natriumkonzentration einiger Quellen im Einzugsgebiet des Aubaches sowie des Aubaches selbst (als Gesamtabfluß) dargestellt. Im Vergleich zu Fig. 2 und Fig. 3 ergeben sich folgende Beobachtungen in Bezug zur Variabilität der Ergiebigkeit bzw. der elektrischen Leitfähigkeit dieser Quellen:

- Die Variation der Natriumkonzentration ist bei allen Quellen relativ klein.
- Für verschiedene Quellen verläuft die Variation der Natriumkonzentration relativ ähnlich zu der Variation der elektrischen Leitfähigkeit, z. B. für Quellen Nr. 4, 15 sowie 10 und 8 (außer der Probe vom Mai 1974).
- Bei Quelle Nr. 9 ist nun der Verlauf der Natriumkonzentration zum Teil entgegengesetzt zur elektrischen Leitfähigkeit. Im Gegensatz zu allen anderen Quellen widerspiegelt die Natriumkonzentration der Quelle Nr. 9 praktisch durchgehend einen entgegengesetzten Verlauf zu der Variation der Ergiebigkeit, d. h. in dem Sinne, daß einer höheren Ergiebigkeit eine kleinere Natriumkonzentration und umgekehrt entspricht. Dies würde nun der Erwartung eines eher hydraulisch reagierenden Parameters entsprechen, wobei jedoch gerade diese Quelle einen atypischen zeitlichen Verlauf der Ergiebigkeit zeigt, was wie in Kapitel 3.1.1. bereits beschrieben, am ehesten durch einen Ausgleich resp. durch homogene Mischung innerhalb eines größeren Speichervolumens erklärt werden kann. Dagegen scheint der hydraulische

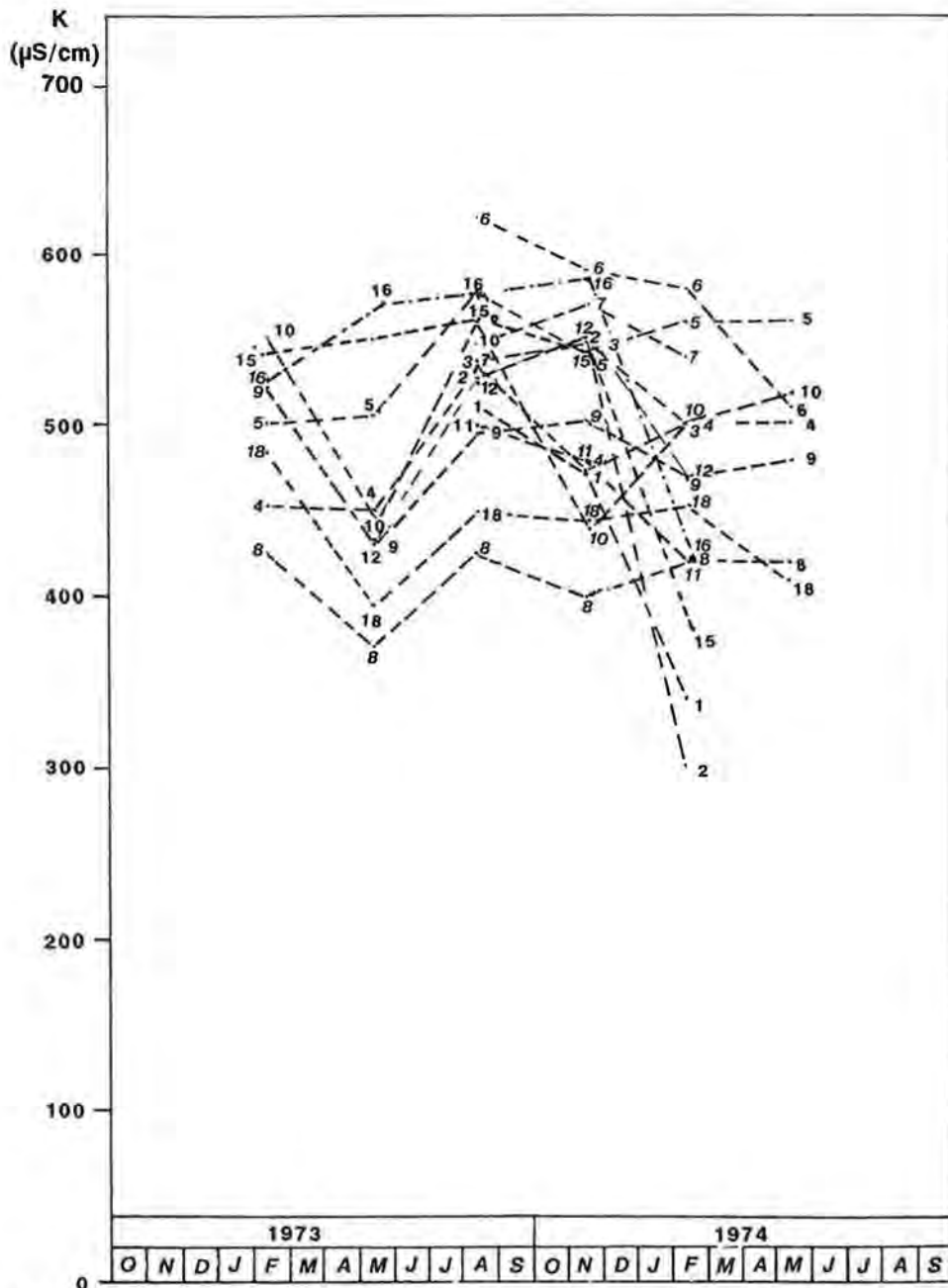


Fig. 3: Variation der elektrischen Leitfähigkeit einiger beobachteter Quellen der OSM innerhalb des Aubachgebietes.

Effekt eines geklüfteten Mediums, wie er für die elektrische Leitfähigkeit in Kap. 3.1.2, insbesondere für die Proben vom Februar 1973 vermutet wurde, sich im Natriumgehalt nicht widerzuspiegeln.

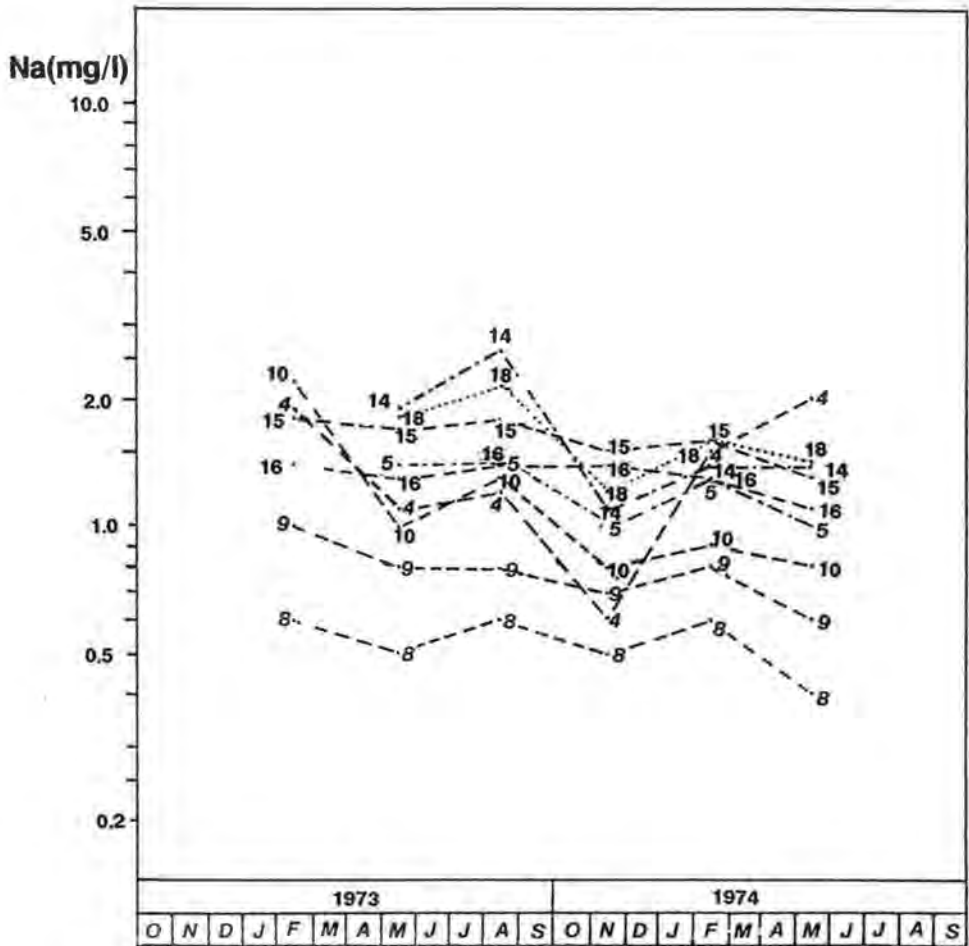


Fig. 4: Variation der Natriumkonzentration einiger beobachteter Quellen der OSM innerhalb des Aubachgebietes.

Dieser Gegensatz der Variation der elektrischen Leitfähigkeit zu jener der Natriumkonzentration läßt sich nun folgendermaßen erklären:

- Das Natrium scheint innerhalb des Gesteins homogen verteilt zu sein und ist bezüglich des Lösungsprozesses durch zirkulierendes Grundwasser einzig von der mittleren Verweilzeit abhängig und reflektiert als Funktion des Speichervolumens einzig das Verhältnis von Zufluß zu Abfluß. Dieses Verhalten läßt sich dadurch erklären, daß Natrium vorwiegend als Verwitterungsprodukt des in der Molasse enthaltenen Feinmineralanteils (Glimmer, Tonminerale etc.) vorhanden ist und daher überall gleichmäßig gelöst werden kann (sofern Umweltverschmutzungen, insbesondere durch Streusalz, ausgeschlossen werden können).

- Der weitaus größte Anteil der Mineralisation des Wassers der beobachteten Molassequellen besteht aus Ca^{2+} , Mg^{2+} und HCO_3^- . Wie nun aus den für die Analysen der Probenahme vom August 1973 berechneten Sättigungsindexwerte für Calcit, Dolomit und Aragonit, welche für 11 resp. 6 und 4 Proben >0 sind, geschlossen

werden kann, erfolgt die Sättigung an diesen Spezies relativ rasch, wahrscheinlich zum größten Teil schon während des Infiltrationsprozesses.

Dies führt nun aber zu der wichtigen Schlußfolgerung, daß die Gesamtmineralisation eines Quellgrundwassers und die damit im allgemeinen in proportionaler Beziehung stehende elektrische Leitfähigkeit nicht direkt vom Fließweg und damit der Verweilzeit abhängig ist, sondern nur eine minimale Aufenthaltszeit im Bereich der Infiltrationszone, wahrscheinlich im Übergangsbereich zwischen gesättigter und ungesättigter Zone reflektiert. Somit eignet sich aber die elektrische Leitfähigkeit (resp. die Gesamtmineralisation) der Quellwässer nur zum Erkennen des hydraulischen Signals innerhalb eines Quellsystems bei Niederschlags-/Hochwasserereignissen: Indem entweder eine Verdünnung durch rasch infiltriertes Niederschlagswasser (welches noch nicht mit dem Gestein in chemisches Gleichgewicht gelangt ist) oder aber ein Maximalwert der Gesamtmineralisation (resp. der elektrischen Leitfähigkeit) durch den sogenannten Piston-Effekt (effet de chasse) erreicht wird, indem zu Beginn des Hochwasserereignisses fast sämtliches bereits in den Klüften enthaltene Wasser durch das neu infiltrierte Grundwasser durch hydraulische Reaktion ausgestoßen wird.

3.2. Zur Abhängigkeit des beobachteten Chemismus des Wassers der einzelnen Quellen zur Höhenlage der Austrittsstelle

Um zu prüfen, ob eine Abhängigkeit von der Höhenlage besteht, d. h., ob sich ein Einfluß eines eventuell längeren Fließweges für die tiefer näher bei der Talsohle liegenden Quellen ergibt, wie dies nach der Konzeption des Hydrogeologischen Gesamtsystems mit zusammenhängenden Aquifers zu vermuten wäre, wurden ebenfalls für die Parameter der Leitfähigkeit (als empirische Größe für die Gesamtmineralisation) sowie die Natriumkonzentration mit der Höhenlage der Quellaustrittsstelle korreliert. Diese Beziehungen wurden anhand der Probenahmeserie vom August 1973 geprüft, weil hier ein praktisch von den Niederschlägen unbeeinflusstes hydrologisches Regime vorliegt, wie dies auch anhand des Wasserbilanzdiagramms (Fig. 5) sowie der Werte der absoluten monatlichen hydrologischen Reserve R_t (Tab. 4 und 5) ersichtlich ist (dabei beträgt die hydrologische Reserve R_t des Monats August 1973 nur 7 mm, was praktisch fast dem Minimalstand entspricht). Zusätzlich wurde auch eine Korrelation für die Quellergiebigkeit als hydraulischer Parameter in Funktion der Höhenlage der Quellaustrittsstelle durchgeführt.

Sämtliche linearen Regressionen dieser Parameter gegenüber der Höhe der Austrittsstelle zeigen nun Regressionskoeffizienten r^2 von $< 0,03$, d. h. es ist wirklich überhaupt keine Korrelation vorhanden! Dies bedeutet nun, daß für alle diese untersuchten Parameter keine Abhängigkeit von der Höhenlage besteht. Dies bedeutet nun, daß die Höhenlage der Austrittsstelle der einzelnen Quellen für den Chemismus des Quellwassers und die Quellergiebigkeit keinen maßgebenden Faktor darstellt. Für diese Beobachtung gibt es folgende Erklärung:

- Die Quellergiebigkeit und die Konzentration der chemischen Parameter im Wasser der einzelnen Quellen ist stärker von der lokalen hydrologischen, lithologischen und hydrogeologischen Situation (d. h. der vorhandenen Durchlässigkeit des Gesteins, sowie der Mineralzusammensetzung, der Existenz von nur primärer oder auch sekundärer, d. h. durch Klüftung entstandener Porosität) sowie den hydraulischen Beziehungen abhängig.

- Daß dabei trotz der praktisch horizontalen Lagerung der einzelnen Schichten

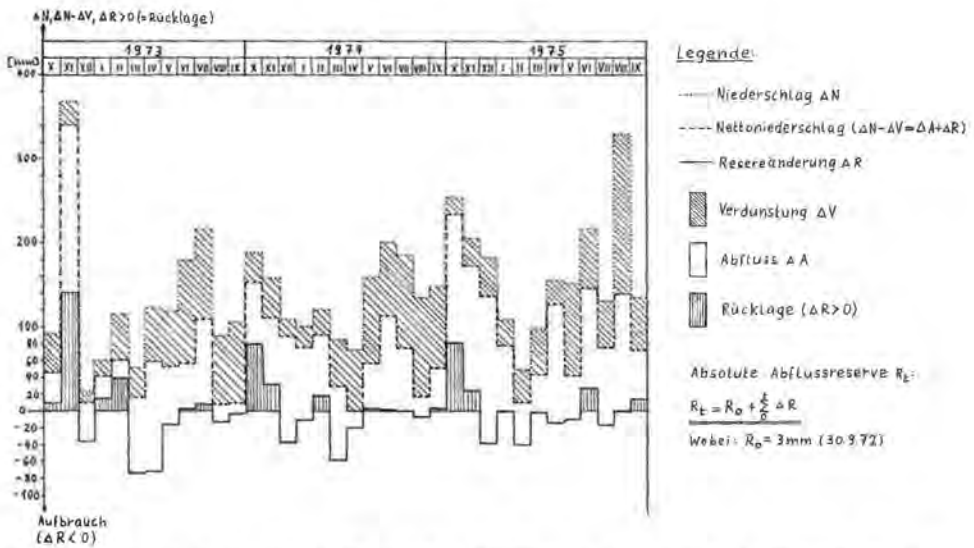


Fig. 5: Diagramm der monatlichen Wasserbilanz des Einzugsgebietes des Aubaches bis Fischingen ($\Delta N = \Delta V + \Delta A + \Delta R$).

weder eine Korrelation mit der Quellaustrittshöhe noch eine Korrelation mit der Lithologie des Quell-Aquifer-Speichergesteins existiert, läßt sich auch dadurch erklären, daß in allen diesen Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse dieselben chemischen Reaktionen bei der Interaktion des infiltrierenden Wassers mit dem Gestein ablaufen. Dabei ist wahrscheinlich in erster Linie entscheidend, daß alle lithologischen Einheiten, d. h. sowohl Nagelfluh, Sandsteine und Mergel einen ähnlichen karbonatischen Zement aufweisen (Calcit und Dolomit) und sich somit das zirkulierende Grundwasser durch Interaktion mit dem Gestein in so ähnlicher Weise entwickelt, daß das ausfließende Quellwasser keine spezifischen chemischen Unterschiede zeigt.

Somit stellt aber die Tatsache, daß keine Korrelation mit der Quellaustrittshöhe existiert, auch kein Indiz für oder gegen das in W. BALDERER 1970 postulierte Konzept eines hydrogeologischen Gesamtsystems innerhalb der Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse dar.

3.3. Abhängigkeit des beobachteten Chemismus von der Lithologie (Gesteinstyp) des Quellgrundwasserleiters

Um zu prüfen, ob eine Abhängigkeit vom Gesteinstyp (d.h. durch unterschiedliche Wechselwirkungen) besteht, werden, um die komplexen Abhängigkeiten (Zusammenhänge) vom hydrologischen Regime, welche in den zeitlichen Variationen zum Ausdruck kommen, auszuschalten, ebenfalls die Analysendaten der Proben vom August 1973, welche unter praktisch unbeeinflusstem Regime entnommen wurden, betrachtet.

Da nun zwischen den Konzentrationen der einzelnen chemischen Parameter im Wasser der einzelnen Quellen und der Lithologie der Quellhorizonte keine statistisch gesicherte Abhängigkeit feststellbar ist, wurde versucht, eine Charakterisierung mit Hilfe von thermodynamischen Gleichgewichtsberechnungen, d. h. durch die Bestim-

mung der Sättigungsindexwerte der einzelnen, für die zu erwartende Wechselwirkung charakteristischen Spezies zu erreichen. Mit Hilfe des WATEQF-Modells von A. H. TRUESDELL et al. (1974) wurden dabei ausgehend von den Analysenwerten die Aktivitäten der einzelnen möglichen Mineralspezies und die Sättigungsindexwerte SI, welche als

$$\log \frac{IAP}{K(T)} = SI$$

definiert sind, berechnet (W. OHSE, 1983, H. SCHMASSMANN et al., 1984, J. J. MISEREZ, 1973).

Über diese Sättigungsindexwerte SI ist es nun möglich, Aussagen über die thermodynamischen Vorgänge, welche zwischen Gestein und Grundwasser ablaufen, resp. über die hydrochemische Entwicklung (Evolution) des an den einzelnen Quellen ausfließenden Grundwassers zu gewinnen.

Da die Gesteine der Oberen Süßwassermolasse im allgemeinen zu rund 20–47% aus Calcit und zu 17–45% aus Dolomit bestehen (Erläuterungen zu Geol. Atlas der Schweiz, Blatt 1093, Hörnli, L. HOTTINGER et al., 1970, für die Schichtstufen der Tösswald- und der Oehninger Schichten), sind vorwiegend die Gleichgewichte dieser Spezies von Bedeutung. Die für die einzelnen Quellen, je nach lithologischer Situation der Quellaustrittshorizonte sich ergebenden SI-Werte für Calcit schwanken von leicht untersättigt bis übersättigt:

Sandstein: – 0,13 (Quelle Nr. 17) bis + 0,40 (Quelle Nr. 2)
Nagelfluh: – 0,29 (Quelle Nr. 15) bis + 0,59 (Quelle Nr. 4)

ebenso die SI-Werte für Dolomit:

Sandstein: – 0,65 (Quelle Nr. 17) bis + 0,42 (Quelle Nr. 2)
Nagelfluh: – 0,60 (Quelle Nr. 11) bis + 0,86 (Quelle Nr. 4)

und Aragonit:

Sandstein: – 0,44 (Quelle Nr. 17) bis + 0,09 (Quelle Nr. 2)
Nagelfluh: – 0,60 (Quelle Nr. 15) bis + 0,29 (Quelle Nr. 4)

(Siehe Histogramm in Fig. 6 sowie Diagramm der Variabilitäten der einzelnen Sättigungsindexwerte SI in Fig. 7).

Die oft zu beobachtenden Sättigungsindexwerte SI, welche theoretisch einer Übersättigung an Calcit entsprechen, sind jedoch im allgemeinen auf eine Störung der thermodynamischen Gleichgewichte zwischen den gelösten Kohlenstoffspezies HCO_3^- und CO_3^{2-} und H_2CO_3 resp. $\text{CO}_2(\text{aq})$ durch das Entweichen von gasförmigem CO_2 aus dem Grundwasser beim Quellaustritt zurückzuführen. Die aus diesem Prozeß resultierende Übersättigung des Quellwassers an Calcit (und Dolomit) führt zu Ausfällung und damit zu den oft auch an einzelnen Quellaustrittsstellen im Aubachgebiet zu beobachtenden Quelltuffbildungen (F. J. PEARSON, 1985, W. BALDERER, 1983).

Eine besondere Rolle spielt dabei auch der Aubach selbst, welcher aufgrund der berechneten Sättigungsindexwerte an Calcit, Dolomit und Aragonit übersättigt ist. Da zu dem Zeitpunkt der Entnahme dieser betreffenden Probe im August 1973 ein hydrologisches Regime mit vorwiegend Basisabfluß vorliegt und damit der Aubach zu diesem Zeitpunkt hauptsächlich durch abfließendes Quellwasser (d. h. praktisch

ohne Verdünnung durch oberflächlich abfließendes Niederschlagswasser) gespeist wird, ist diese Übersättigung ebenfalls auf den CO₂-Entgasungseffekt zurückzuführen. Diese Übersättigung führt nun ebenfalls zu Karbonatablagerungen, welche auch an den Geröllen im Flußbett direkt beobachtet werden können.

Wie in der Darstellung des Histogramms der Sättigungsindexwerte SI in Abhängigkeit der Lithologie des Quellaustrittshorizontes in Fig. 6 beobachtet werden kann, liegen sämtliche Werte der Proben aus Sandstein und Nagelfluh für alle beobachteten Mineralspezies nahe zusammen. Es ist somit kein signifikanter Unterschied bezüglich des Chemismus des Quellgrundwassers in Abhängigkeit von der Lithologie der Quellhorizonte erkennbar. Eine etwas feinere Beurteilung ist anhand der Variabilitätsdiagramme der Sättigungsindexwerte der einzelnen Mineralspezies (Fig. 7) möglich.

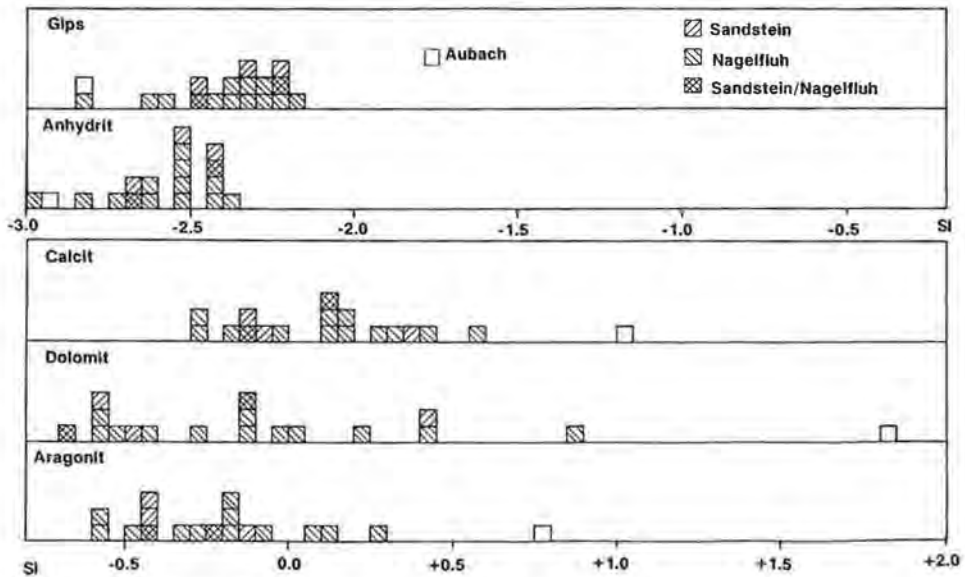


Fig. 6: Histogramm der Sättigungsindexwerte der Quellwässer aus der OSM des Einzugsgebietes des Aubaches.

Bezüglich der Sättigungsindexwerte von Calcit, Dolomit und Aragonit ergeben sich folgende Beobachtungen:

- Weder bei Quellen mit Sandstein noch mit Nagelfluh als Quellaustrittshorizont ist ein eindeutiger Zusammenhang mit der Lithologie zu beobachten. Ebenso ist auch gegenüber der Lithologie des Stauhizontes, ob als Mergel oder Süßwasserkalk ausgebildet, keine eindeutige Abhängigkeit zu den betreffenden Sättigungsindexwerten zu erkennen.

- In Bezug zur Quellergiebigkeit (Schüttung) ist gegenüber den Sättigungsindexwerten der betreffenden Mineralspezies ebenfalls kein eindeutiger Trend erkennbar, sowohl bei Nagelfluh als auch bei Sandstein als Quellaustrittshorizont.

Es kann insgesamt daraus geschlossen werden, daß eher die lokale mineralogische Beschaffenheit und der lithologische Aufbau innerhalb der grundwasserführenden Schichten, eventuell in Kombination mit der Quellergiebigkeit (soweit diese ein

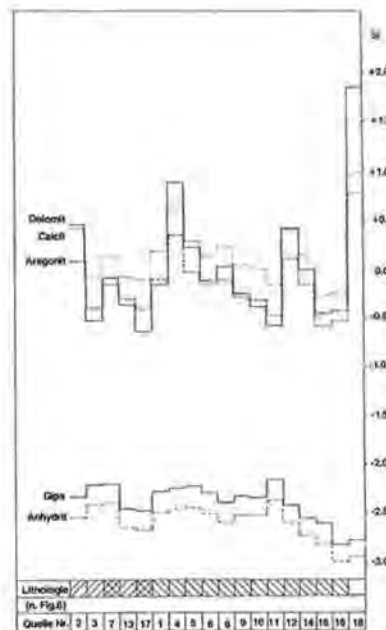


Fig. 7: Variabilitätsdiagramme der Sättigungsindexwerte der Mineralspezies Calcit, Dolomit, Aragonit, Gips und Anhydrit für die untersuchten Quellwässer aus der OSM des Aubachgebietes.

relatives Maß für die Verweilzeit darstellt), diese beobachteten Variationen der Sättigungsindexwerte bewirken.

Bezüglich der Sättigungsindexwerte von **Gips** und **Anhydrit** zeigen sich im allgemeinen zwischen den einzelnen Quellen nur geringe Variationen.

– Im einzelnen kann jedoch für die Sättigungsindexwerte für Gips und Anhydrit teilweise eine inverse Beziehung gegenüber der Quellergiebigkeit vermutet werden (d. h. mit geringerer Sättigung bei größerer Ergiebigkeit und umgekehrt). Dieses Verhalten läßt nun darauf schließen, daß die erreichte Sättigung des ausfließenden Wassers der einzelnen Quellen vermutlich hauptsächlich auf unterschiedliche Verweilzeiten (soweit dies aus der Abhängigkeit von der Quellergiebigkeit im unbeeinflussten Regime geschlossen werden kann) sowie in geringerem Maße auf unterschiedliche mineralogische und lithologische Beschaffenheit der einzelnen wasserführenden Schichten zurückgeführt werden kann.

4. **Schlußfolgerungen der dargestellten hydrochemischen Untersuchungsergebnisse bezüglich der Hydrologie der Oberen Süßwassermolasse**

– Wie in Kapitel 3.1. dargestellt, ergibt sich aus dem Vergleich der zeitlichen Variation der hydrochemischen Parameter wie z. B. Gesamtmineralisation (resp. der damit zusammenhängenden elektrischen Leitfähigkeit) sowie einzelne Kationen, wie insbesondere der Natriumkonzentration mit der zeitlichen Variation der hydrologischen Parameter, wie der Quellergiebigkeit, sowie der momentanen hydrologischen

Abflußreserve des Gesamteinzugsgebietes die Möglichkeit, die verschiedenen Quellen bezüglich ihrer charakteristischen hydrologischen Regime zu unterscheiden.

- Da sich weder bezüglich der Höhenlage der Quellaustrittsstelle, noch bezüglich der lithologischen Beschaffenheit der Quellaustrittshorizonte signifikante Beziehungen zur Gesamtmineralisation (bzw. Leitfähigkeit) und zu den Sättigungsindexwerten für Calcit, Dolomit und Aragonit ergeben, muß angenommen werden, daß a) diese Mineralspezies etwa in allen lithologischen Einheiten etwa in gleichem Maße für das zirkulierende Grundwasser verfügbar sind und b) der Hauptvorgang der Kalk- und Dolomitlösung einen raschen Prozeß darstellt. Damit aber ist dieser Prozeß auch nicht von der Verweilzeit abhängig, was sich auch dadurch zeigt, daß in einzelnen Quellen die Mineralisation bei Hochwasser gegenüber dem unbeeinflussten Trockenwetterabfluß nur wenig variiert (an Quellen, wo größere Variationen beobachtet werden, ist anzunehmen, daß infolge des Vorliegens von ausgeprägten Kluftsystemen sich ein hydraulischer Effekt mit dem Ausfließen von höher mineralisiertem Wasser in der ersten Phase des Hochwasserereignisses und anschließend schwächer mineralisiertem, direkt durch frisch infiltriertes Niederschlagswasser verdünntem Grundwasser im Quellabfluß abspielt).

Im Gegensatz dazu sind alle untersuchten Quellwässer gegenüber den Mineralspezies Gips und Anhydrit (da diese in den einzelnen lithologischen Formationen nur in geringem Anteil vorhanden, aber etwa gleich gut für das zirkulierende Grundwasser verfügbar sind) stark untersättigt. Der Sättigungswert selbst scheint von der Verweilzeit abhängig zu sein (soweit diese Schlußfolgerung aus der inversen Beziehung zur Quellergiebigkeit der Proben vom August 1973, d. h. einer Periode mit weitgehend unbeeinflusstem hydrologischen Regime gezogen werden kann).

4.1. Abschätzung der Größenordnung der Lösungsprozesse innerhalb der Oberen Süßwassermolasse als Konsequenz der beobachteten Sättigung der Quellwässer gegenüber den Karbonatmineralien Calcit und Dolomit

In Übereinstimmung mit dem WATEQF-Modell für die Proben vom August 1973 berechneten Sättigungsindexwerte für Calcit, Dolomit und Aragonit (welche wahrscheinlich auch in den Proben der übrigen Entnahmeserien innerhalb der Beobachtungsperiode, bedingt durch den relativ geringen Schwankungsbereich der HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} -Konzentrationen, auch nur innerhalb eines relativ engen Bereiches um den Wert der erreichten Sättigung variieren), sowie den beobachteten Quelltuffablagerungen an verschiedenen Quellaustrittsstellen, muß angenommen werden, daß einerseits innerhalb des untersuchten Bereichs der Ablagerungen der OSM ständig Auflösungsprozesse ablaufen, andererseits durch Ausfällungsprozesse an den Quellaustrittsstellen auch ständig Karbonatablagerungen stattfinden.

Als grobe Abschätzung kann nun versucht werden, den Anteil des gelösten Karbonats, welcher mit dem Aubach als gelöste chemische Stofffracht dem Einzugsgebiet bis Fischingen entzogen wird, für Mittelwerte stöchiometrisch zu bestimmen.

Entsprechend den Mittelwerten der chemischen Analysen und der mittleren Abflußmenge des Aubaches von $0,15 \text{ m}^3/\text{sec}$ ergibt sich für das hydrologische Jahr 1973/1974 eine Stofffracht des Aubaches bei Fischingen von $1,07 \times 10^3 \text{ t}$ Karbonat (gerechnet als $175 \text{ mg/l MgCaCO}_3$ und 53 mg/l CaCO_3), welche dem oberhalb der Limnigraphenstation gelegenen Einzugsgebiet entzogen wurde.

Im Gegensatz zu den Karrenfeldern in den schweizerischen Kalkalpen und im Jura, wo eine Kalklösung bereits an der Felsoberfläche stattfindet, wurden im Fall der Schichten der Oberen Süßwassermolasse intergranulare Karbonatmatrix oder Zement sowie teilweise auch einzelne karbonatische Komponenten von sekundären Ablagerungen durch das zirkulierende Grundwasser gelöst. Somit sollte sich langfristig die Durchlässigkeit innerhalb dieser oberhalb der Talsohle gelegenen Ablagerungen eher etwas erhöhen. In Übereinstimmung mit dieser eher theoretischen Vermutung stehen Beobachtungen von eigentlichen Karsterscheinungen, wie sie aus den konglomeratischen Ablagerungen der Nagelfluh bekannt sind.

Im Aubachgebiet wurden Andeutungen einer runden Erosion um eine Quelle herum beobachtet sowie ein großes rundes Loch an einer steil stehenden Nagelfluhwand, eventuell den Überrest einer früher funktionierenden Quelle darstellend, welche nun auf einem tieferen Niveau entspringt (Fig. 8). Die Entstehung dieser



Fig. 8: Karstartige Erosionserscheinungen in der Nagelfluh am Hohgrat im Aubachgebiet (koord. 715275/249675, ca. 900 m ü. M.).

runden Öffnungen läßt sich wie folgt erklären: Das aus der Quelle ausfließende Wasser hat im Gesteinsinnern in einem gewissen Umkreis den Zement zwischen den Geröllen und die feineren Gemengteile herauszulösen und herauszuschwemmen vermocht, so daß die größeren Gerölle herausfallen und eine runde Öffnung entsteht (W. BALDERER, 1979).

Eine weitere Anwendung beobachteter Auflösungsprozesse innerhalb eines hydrologischen Einzugsgebietes zur Überprüfung der thermodynamischen Lösungskonstanten sind in T. PACES (1983) dargestellt.

Da innerhalb des Einzugsgebietes des Aubaches zusätzlich Quelltuffbildungen sowie Kalkablagerungen an den Geröllen in den Bachläufen beobachtet werden können, stellt die vorangehend dargestellte Berechnung praktisch nur die Nettostofffracht aus dem hydrologischen Einzugsgebiet dar, wobei der Umfang der tatsächlichen, innerhalb der Ablagerungen durch zirkulierendes Grundwasser bewirkten Auflösungsprozesse noch um ca. 20–50% höher liegen dürfte.

Aus den dargestellten Beobachtungen der erreichten Sättigung auch des Wassers des Aubaches gegenüber den Karbonatmineralien läßt sich nun noch folgende Schlußfolgerung bezüglich der Infiltration in tiefer gelegene fluvioglaziale Schotter ableiten:

Infiltriert an Karbonat gesättigtes oder infolge von CO_2 -Verlust sogar übersättigtes Wasser durch die Bachsohle in einen tiefer gelegenen Schottergrundwasserleiter, so können im oberen Teil (insbesondere wenn eine gewisse Distanz bis zur darunterliegenden gesättigten Zone des Grundwasserleiters besteht) ebenfalls Karbonatausfällungen vorkommen, welche lokal zur Verkittung der Gerölle des Schotters und damit zu einer lokalen Verminderung der Durchlässigkeit und damit aber auch der Infiltrationskapazität führen können. Es ist jedoch auch denkbar, daß bei Hochwasser mit einem größeren Anteil von weicherem Niederschlagswasser aus dem oberflächennahen Abfluß (sowie der Lösung von CO_2 aus dem Schwankungsbereich im Übergang von der ungesättigten zur gesättigten Zone) im Bereich der Infiltrationszone des Schottergrundwasserleiters Auflösungsprozesse stattfinden, so daß als reversibler Prozeß ein Teil der in vorangehenden Perioden mit Trockenwetterabfluß verkitteten Partien wieder aufgelöst werden kann. Daraus resultiert aber eine Pufferwirkung des Schotterkörpers hinsichtlich der Karbonathärte, indem die Schwankungen in der HCO_3^- -Konzentration ausgeglichen werden. Außerdem bewirkt dieser reversible Vorgang eine etwas geringere HCO_3^- -Konzentration in dem fluvioglazialen Schotter-Talgrundwasserleiter gegenüber dem direkt aus Quellen innerhalb der Ablagerungen der OSM entspringenden Quellgrundwasser. Dieser Unterschied in der HCO_3^- -Konzentration kann im Vergleich zu dem Grundwasser aus dem Talgrundwasserleiter im Murgtal oberhalb Wängi auch direkt anhand der Analysenresultate beobachtet werden (W. BALDERER in Vorbereitung).

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie werden die Ergebnisse von hydrochemischen Untersuchungen an Quellen der Oberen Süßwassermolasse innerhalb des Untersuchungsgebietes des Aubaches (Schweiz) dargestellt, welche im Rahmen der hydrogeologischen Untersuchungen durchgeführt worden sind (W. BALDERER, 1983).

Das Wasser der untersuchten Quellen zeigt einen einheitlichen Chemismus vom Ca-Mg- HCO_3^- -Typus, mit einer Gesamtmineralisation um 350 bis 600 mg/l. Durch

den Vergleich der Parameter Abfluß (Quellschüttung bzw. Abfluß des Aubaches), Abflußreserve (absolut und als monatliche rel. Variation), elektrische Leitfähigkeit und Natriumkonzentration ergeben sich folgende Schlußfolgerungen: Die Variation der elektrischen Leitfähigkeit des Quellwassers ist ähnlich dem Verhalten von Karstquellen auf eine unterschiedliche hydraulische Reaktion der einzelnen Quellen zurückzuführen, bedingt durch die Größe des Speichervolumens sowie die in den Ablagerungen der OSM vorhandene Kluft und interstitielle Porosität. Die Variation der Natriumkonzentration im Quellwasser scheint dagegen hauptsächlich von der mittleren Verweilzeit abhängig zu sein und reflektiert somit in Funktion des Speichervolumens das Verhältnis von Zufluß zu Abfluß. Dieses Verhalten kann durch die gleichmäßige Verteilung dieses Elementes innerhalb des Gesteins und damit durch die stetige Lösung durch das zirkulierende Grundwasser entlang des Fließweges erklärt werden.

Entsprechend den berechneten Werten des Sättigungsindexwertes SI ist das an den einzelnen Quellen austretende Wasser gegenüber Calcit leicht untersättigt bis sogar etwas übersättigt, was auf das Entweichen von gasförmigem CO₂ beim Quellaustritt zurückzuführen ist. Diese Störung des thermodynamischen Gleichgewichts führt zu Ausfällung von Calcit und damit zu den häufig zu beobachtenden Quelltuffbildungen bzw. zu Calcitausfällungen an den Geröllen im Bett des Aubaches. Aus diesen Beobachtungen muß nun aber auch geschlossen werden, daß innerhalb der von Grundwasser durchströmten Gesteinspartien der OSM Lösungsprozesse stattfinden, welche durch Auflösung der karbonatischen Matrix zu einer Vergrößerung der interstitiellen Porosität führen. Diese Lösungsprozesse können allmählich zu einer Instabilität des Gesteinskörpers und teilweise zu eigentlichen Hohlraumbildungen, hauptsächlich innerhalb der konglomeratischen Ablagerungen der Nagelfluh, führen, welche innerhalb des Aubachgebiets auch an zwei Stellen beobachtet werden konnten (Abbildung Fig. 8).

Literatur

- BALDERER, W. (1979): Die Obere Süßwassermolasse als Hydrogeologisches Gesamtsystem. - Bull. Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel, 3, 27-39, Neuchâtel.
- BALDERER, W. (1979): Hydrogeologie des Murgtales (Kt. Thurgau). - Manuscript de thèse, Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, 1, 2, Neuchâtel.
- BALDERER, W. (1981): Hydrogeologie des Murgtales (Kt. Thurgau). - Gas - Wasser - Abwasser, 1981/3, Schweiz, Verein des Gas- und Wasserfaches, Zürich.
- BALDERER, W. (1982): Comparison of the Hydrology of two Neighbouring Catchments with Different Geological and Hydrogeological Features in the Northeastern Part of Switzerland. - Proc. Symp. Research Basin, Sonderheft der Landeshydrologie.
- BALDERER, W. (1983): Hydrogeologie der Oberen Süßwassermolasse im Einzugsgebiet des Aubaches (Schweiz). - Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 34/35, 15-54, Graz.
- BURGER, A. (1961): Propositions pour la normalisation de la mesure de la conductibilité électrique de l'eau. - Extrait des Mémoires, Tome IV de l'AIH, Réunion de Rome.
- HÖTTINGER, L., A. MATTER, W. NABHOLZ & C. SCHINDLER (1970): Erläuterungen zu Blatt 1093 Hörli. Geol. Atlas der Schweiz, Schweiz. Geol. Kommission.
- JÄCKLI, H. (1970): Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen. - Eclogae geol. Helv. 63/2, 389-434.
- KIRALY, L. & G. MOREL (1976): Etude de la régularisation de l'Areuse par modèle mathématique. - Bull. Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel 1, 19-35.
- KIRALY, L. & G. MOREL (1976): Remarques sur l'hydrogramme des sources karstiques simulées par modèles mathématiques. - Bull. Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel, 1, 37-60.

- KIRALY, L. (1978): La notion d'unité hydrogéologique, essai de définition. - Bull. Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel, 2, 83-216.
- KIRALY, L. & I. MÜLLER (1979): Hétérogénéité de la perméabilité de l'alimentation dans le Karst: Effet sur la variation du chimisme des sources karstiques. - Bull. Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel, 3, 237-285.
- MISEREZ, J. J. (1971): Premier bilan des indices de saturation en carbonates dans le bassin supérieur de l'Areuse (NE). - Extrait des Actes du 4e Congrès Suisse de Spéléologie, Neuchâtel.
- MÜLLER, I., L. KIRALY, U. SCHOTTERER & U. SIEGENTHALER (1980): Untersuchung des Neuenburger Juras, Kap. 2 in I. MÜLLER et al. (1980): Karsthydrologische Untersuchungen mit nat. und künstlichen Tracern im Neuenburger Jura (Schweiz). - Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 32, 5-100, Graz.
- MÜLLER, I. (1982): Multi-Traçage des eaux souterraines karstiques dans le bassin de la source de l'Areuse (Jura Neuchâtelois/Suisse). - Bull. Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel, 4, 7-41.
- OHSE, W. (1983): Lösungs- und Fällungserscheinungen in Systemen oberflächennaher unterirdischer Wässer/gesteinsbildende Minerale - eine Untersuchung auf der Grundlage der chemischen Gleichgewichts-Thermodynamik. - Diss. Nat. wiss. Fak. Univ. Kiel, 249 S., Kiel.
- PACES, T. (1983): Rate constants of dissolution derived from the measurements of mass balance in hydrological catchments. - Geochimica et Cosmochimica Acta, 47, 1855-1863.
- PEARSON, F. J. (1985): Sondierbohrung Böttstein - Results of Hydrochemical Investigations: Analysis and Interpretation. - Nagra Technischer Bericht, NTB 85-05, Nagra, Baden.
- PLUMMER, L. N., B. F. JOHNS & A. H. TRUESDELL (1976): WATEQF - a fortran IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. - U.S. Geol. Surv. Water Res. Invest., 76-13, 61 S., Washington D.C.
- ROMMEL, K. (1980): Die kleine Leitfähigkeitsfibel, WTW, Weilheim.
- SCHMASSMANN, H., W. BALDERER, W. KANZ & A. PEKDEGER (1984): Beschaffenheit der Tiefengrundwässer in der Zentralen Nordschweiz und angrenzenden Gebieten. - Nagra Technischer Bericht, NTB 84-21, Nagra, Baden.
- TRUESDELL, A. H. & B. F. JOHNS (1974): WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters. - J. Res. U.S. Geol. Surv., 2, 233-248, Washington D.C.

Abstract

In this paper results of hydrochemical investigations of the water of springs within the deposits of the Upper Freshwater Molasse are discussed. The sampling was carried out as a part of the hydrogeological investigations within the catchment area of the Aubach/Switzerland (W. BALDERER, 1982, 1983).

The water of the observed springs is of Ca-Mg-HCO₃-Type with a total mineralisation of 350 mg/l to 600 mg/l. The comparison of the variation of spring outflow, electrical conductivity, sodium concentration, run-off and run-off-reserve of the Aubach lead to the following conclusions: The variation of the electrical conductivity seems to reflect the hydrodynamic behaviour of the individual spring (aquifer) system (depending on reservoir volume, proportion of fracture to interstitial porosity), whereas the sodium-concentration probably is mainly influenced by the residence time. The fact that the outflowing spring water is or is nearly saturated with respect to calcite can be explained by the escape of CO₂-gas at the outflow. This leads to the precipitation of carbonate what is also indicated by the travertine deposits at several springs. The mineralisation of the outflowing spring water indicates also that inside the aquifer rock (which consists mainly of conglomerates and sandstones) a dissolution process is going on. As observed at two places within the Aubach catchment, this dissolution process (which attacks mainly the carbonate matrix) can lead to the formation of circular cavities.

Résumé

Cette publication présente les résultats des investigations hydrochimiques des sources dans la molasse d'eau douce supérieure affleurant dans la région du bassin versant de l'Aubach (Suisse). Cette région était l'objet d'un levé hydrogéologique décrit par W. BALDERER (1979, 1983).

L'eau de ces sources est du type Ca-Mg-HCO₃ et contient une minéralisation totale de 350 à 600 mg/l. Les variations observées des paramètres hydrologiques et hydrochimiques amènent aux conclusions suivantes: La variation de la conductibilité électrique de l'eau est liée à la réaction hydraulique de ces différentes sources (en fonction probablement de la proportion de la porosité de fissure à la porosité d'interstice). Les variations de la concentration du sodium semblent d'autre part être liées au temps de résidence dans le système souterrain. Les eaux des sources examinées sont légèrement sous-saturées jusqu'à sursaturées en respect du calcite. Cette sursaturation peut être expliquée par l'échappement du CO₂ au moment de sortie de l'eau à la source. Ce processus amène à la précipitation de calcite et explique les dépôts de travertins observés à plusieurs sites de sources. Mais la minéralisation de l'eau indique aussi que des processus de dissolution ont lieu à l'intérieur des couches rocheuses conductibles pour l'eau (conglomérats et grès). Par ce processus de dissolution surtout la matrice carbonatée est attaquée, ce qui peut provoquer dans certains cas la formation de trous de dissolution dans les conglomérats comme observé à deux endroits dans le bassin de l'Aubach.