Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =

Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 50 (1970)

Heft: 1: Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse in Mineralien

Artikel: Kryometrische Bestimmungen der Salz- und Gasgehalte

eingeschlossener Lösungen in Quartzkristallen aus Zerrklüften der

Schweizer Alpen

Autor: Poty, B. / Stalder, H.A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-39247

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: 10.12.2025

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

Kryometrische Bestimmungen der Salz- und Gasgehalte eingeschlossener Lösungen in Quarzkristallen aus Zerrklüften der Schweizer Alpen

Vorläufige Mitteilung

Von B. Poty (Nancy)*) und H. A. Stalder (Bern)**)

Mit 1 Textfigur und 1 Tabelle

Zusammenfassung

Die kryometrischen Daten gliedern sich in zwei Serien von Ergebnissen. – Die Bildung von durchsichtigen Kristallen verschiedener Hydrate mit unterschiedlichen Schmelztemperaturen lassen den qualitativen Nachweis verschiedener Gase in den Mineraleinschlüssen zu. Am häufigsten ist das CO₂-Hydrat (Gotthardmassiv und Penninikum). In den nördlichen Kalkalpen ist ein Hydrat verbreitet, das bei +16° C bis +18° C schmilzt. Es muss sich um das CH₄-Hydrat handeln. Die chemische Natur eines dritten, seltenen Hydrates kann noch nicht angegeben werden.

Die Messungen der Schmelztemperaturen des Eises in den Quarzeinschlüssen geben einen Hinweis auf den Salzgehalt der Lösungen. Dieser wird in Äquivalenten [NaCl] angegeben. Die erhaltenen Daten lassen sich nach Regionen recht gut gliedern, zudem können folgende Gesetzmässigkeiten abgeleitet werden:

- Der Salzgehalt hängt vom Nebengestein ab. Ganz auffällig ist die Erhöhung des Salzgehaltes in der Umgebung von Evaporiten.
- 2. Das Vorhandensein von CO₂ vermindert den Salzgehalt.
- 3. Die Salzkonzentration scheint mit steigendem Druck und steigender Temperatur anzuwachsen (Zeolithfacies nach Grünschieferfacies; die generellen Unterschiede zwischen dem zentralen Aarmassiv und dem Gotthardmassiv/Tessin scheinen dieser Regel allerdings zu widersprechen).

Abstract

The freezing data can be divided into two categories. – Transparent crystals of different hydrates detect different gases in the mineral inclusions. Most frequently the CO₂ hydrate occurs (Gotthardmassiv and Penninikum). In the northern Kalkalpen a hydrate can be found which melts at 16° to 18° centigrade; it must be the CH₄ hydrate. The chemical

^{*)} Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, 54, Vandœuvre-lès-Nancy.

^{**)} Naturhistorisches Museum, Bernastrasse 15, 3005 Bern.

composition of a third rare hydrate melting between 2° and 6° centigrade has not yet been determined.

The measurements of the melting-points of the ice in the quartz-inclusions give an idea of the salt concentration of the solution. It is indicated in equivalents of [NaCl]. The data obtained can easily be classified according to its geographical origin. Additionally, the following relationships were detected:

- 1. The salt concentrations depend on the surrounding rocks. It is striking how the salt concentration increases in the neighbourhood of evaporites.
- 2. The presence of CO₂ reduces the salt concentration.
- 3. It seems that the salt concentration increases with the temperature and the pressure (from the zeolitic facies to the greenschist facies). But the general differences between the central part of the Aarmassiv and the Gotthardmassiv (and Tessin) are in conflict with this principle.

EINLEITUNG

Die indirekten, kryometrischen Messungen des Salzgehaltes der Flüssigkeitseinschlüsse in Mineralien sind seit der Arbeit von Roedder (1962 und 1963) zwar vervielfacht worden. Trotzdem finden sich in der Literatur noch sehr wenig genaue Angaben über die Zusammensetzung der Lösungen, die mit einer Metamorphose gekoppelt waren. Dabei standen diese Flüssigkeiten im Gleichgewicht mit den metamorph entstehenden Mineralassoziationen, und die genaue Kenntnis ihrer Zusammensetzung, vor allem die Kenntnis des Faktors Σ aller Kationen/H⁺ (Hemley, 1959), würde wichtige Erkenntnisse über die Stabilität bestimmter Silikate liefern.

Für das Studium entsprechender Zusammenhänge bieten die alpinen Zerrklüfte gutes Untersuchungsmaterial an. Sie enthalten Kristalle mit Flüssigkeitseinschlüssen, die leicht studiert werden können. Zudem kann häufig festgestellt werden, mit welchen Mineralien diese Lösungen im Gleichgewicht standen. Allerdings muss betont werden, dass damit nicht Zustände aufgezeigt werden, die während der alpidischen Metamorphose, sondern während einer gewissen Zeit nachher im Alpenkörper geherrscht haben. Das studierte Material stammt aus 36 Zerrklüften der Schweizeralpen: Aus den helvetischen Decken im Norden, aus den Zentralmassiven und aus dem Penninikum im Süden, zudem aus möglichst verschiedenartigem Nebengestein. Einige der Zerrklüfte sind vor kurzem eingehender beschrieben worden (Stalder, 1964a und b, 1967). In allen Klüften ist der Quarz das vorherrschende Mineral; die Messungen sind deshalb ausschliesslich an dieser Mineralart gemacht worden. Bei den Einschlüssen handelt es sich durchwegs um solche sekundärer und pseudosekundärer Art.

UNTERSUCHUNGSTECHNIK

Der verwendete Kühltisch (Modell Leitz, 350, leicht abgeändert) erlaubt das Erreichen von ziemlich tiefen Temperaturen. Die Abkühlung geschieht

durch einen Gasstrom von Stickstoff, der seinerseits zuvor in flüssigem Stickstoff abgekühlt worden ist. Ein Präzisions-Hahn erlaubt die Regulation des Gasstromes, um nach erfolgter Gefrierung des Einschlusses ein langsames Wiederansteigen der Temperatur zu erhalten. Diese Temperatur wird mit einem Platin-Widerstands-Thermometer gemessen, welches neben die Probe gehalten wird. Die Genauigkeit, geprüft an Hand synthetischer Einschlüsse von destilliertem Wasser und n-Dodecan ($T_s = -9.6^{\circ}$ C), ist im Bereich, der für unsere Messungen wichtig ist, das heisst von -10° C bis 0° C, $\pm 0.2^{\circ}$ C. Unter Berücksichtigung dieser Genauigkeit kann das Wiederansteigen der Temperatur trotzdem relativ rasch erfolgen, das heisst 1° bis 2° C pro Minute. Das Untersuchungsverfahren wurde von Roedder (1962) im Detail beschrieben: Zuerst bringt man die wässerigen Lösungen der Einschlüsse bei tiefer Temperatur zum Gefrieren. Dieses Gefrieren erfolgt sehr häufig bei ungefähr -40° C und zwar in einem Akt, vorausgesetzt, dass die Lösung im wesentlichen eine wässerige ist. Das Gefrieren geschieht in zwei Akten, wenn CO₂ (oder ein anderes Gas) in den Einschlüssen vorhanden ist; dann entsteht zuerst ein durchsichtiges Hydrat und erst nachher mehr oder weniger undurchsichtiges Eis. Beim Wiederansteigen der Temperatur beobachtet man zuerst das partielle Erscheinen von durchsichtiger Flüssigkeit (Temperatur des ersten Schmelzens = T_{S1}), später das Verschwinden der letzten Eiskristalle (Schmelztemperatur = $T_{S,2}$) und schliesslich, wenn überhaupt vorhanden, das Verschwinden der Hydrat-Kristalle. T_{S1} ist oft recht schwer zu beobachten, T_{S2} kann dagegen genau festgestellt werden.

ERGEBNISSE

Die Ergebnisse (Tabelle 1) gliedern sich in zwei Serien. Die erste Serie umfasst Nachweise bestimmter Gase in den Quarzeinschlüssen, gleichgültig ob diese Gase bei Zimmertemperatur in verflüssigter Phase oder gelöst in der wässerigen Lösung vorhanden waren. Die zweite Serie gibt Hinweise über den Salzgehalt der eingeschlossenen wässerigen Lösungen.

1. Die verschiedenen Hydrate

Nach ihrer Schmelztemperatur kann man drei verschiedene Hydrate (resp. Hydratgruppen) unterscheiden.

a) CO_2 -Hydrat: $CO_2 \cdot 5^3/_4$ H_2O . Dieses Hydrat konnte in den 17 Proben, die flüssiges CO_2 enthalten, aber auch in zwei weiteren (17, Gischihorn und 19, Piz Garviel) beobachtet werden, in welchen das CO_2 beim Abkühlen nicht in Erscheinung trat. Das Hydrat verschwindet zwischen $+7,2^{\circ}$ C und $+11,4^{\circ}$ C, was in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen von ROEDDER (1963) und auch mit den experimentellen Daten von TAKENOUCHI und KENNEDY

Tabelle 1: Verzeichnis der untersuchten Proben

Nr. = Nummer der Fundortgruppe nach R. L. Parker: Die Mineralfunde der Schweizer Alpen. 3. Auflage (in Vorbereitung). Anzahl Phasen: Festgestellt bei Zimmertemperatur. Bei allen dreiphasigen, CO₂-haltigen Einschlüssen ist die Homogenisierungstemperatur des CO₂ angegeben. G bedeutet, dass dabei alles CO₂ in die gasförmige (F entsprechend in die flüssige) Phase übergeht.

	$\begin{array}{ccc} Anzahl & & T_{BHydr.} \\ Phasen & & T_{Ph3\rightarrow2} & Hydrate & ^{\circ}C \end{array}$		6/	61		2 wenig 16 bis 18	2 wenig 18	2 sehr viel 16 bis 18		s 2 sehr wenig 3	s 2 sehr wenig 3,5
	[NaCl] Gew. %		7	0 bis 1,5		$\frac{1}{2}$	67	2,5		4,4 bis 4,8	$\frac{4}{5}$ bis
	${\rm Ts_2} \\ {\rm ^{\circ}C}$		$\begin{array}{l} -4.5 \text{ und} \\ -9.5 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0,0 \text{ bis} \\ -0,8 \end{array}$		-3.4 bis -0.6 bis -4 -1.2	$-1,1 \text{ bis} \\ -1,2$	$\begin{array}{c} -1.3 \text{ bis} \\ -1.4 \end{array}$	er	-2.5 bis -2.7	-2,5 bis
	$\Gamma_{ m S1}^{ m S1}$	CH_4 -frei	$\begin{array}{c} -25 \text{ bis} \\ -30 \end{array}$	6 bis — 7	H4-haltig	- 3,4 bi - 4	- 3,5	- 4	chen Schief	-14	-13 bis
	Nr. nach Parker	alkalpen,	15b	15b	ılkalpen, C	15c	15e	15c	der Nördli	2a	2a
	Paragenese	Ia) Nördliche Kalkalpen, C H_{4} -frei	Qz, Ce n	Qz, Chl, Ce, Brookit	1b) Nördliche Kalkalpen, CH4-haltig	Qz, Ce	Qz, Cc	Qz	2. Aarmassiv, Zone der Nördlichen Schiefer	Qz, Ad, Chl, Am, Ep, Scheelit	Qz, Ad, Chl,
	Nebengestein Paragenese	Ia	Flysch, Niesensandstein	Taveyannaz- sandstein	16)	Flyschsand- stein	Flyschsand- stein	Quarzsand- stein	2. Aar	Amphibolit	Amphibolit
	Koordinaten		611,35/153,25	655,7/170,5		559, 2/118, 4	567,8/121,2	625/152,1		667,1/168	668,05/168,65
,	Nr. Fundort		Sackgraben, Frutigen, BE	Rosenlaui, BE		Torrent de la Tille, Val d'Illiez, VS	Tour de Duin, Bex, VD	Wermutfluh, Hohtürli, BE		Kammegg bei Guttannen, BE (Kammegg I)	Kammegg bei
	Z.		ಣ	τĊ		1	6 1	4		9	7

					8,5 bis 9,5		8,5 bis 9			9,5	9,5
1	i		Ĺ	Ī	viel	1	viel		Ĩ	viel	viel
c 7	67		61	c 1	3 31 G	¢1	3 27,5 bis 31 G		61	3 31 G	3 24,5 F
5,8 bis 6,5	, 7		11,2 bis	7,2 bis 9,3 (8,5)	6	11 bis 11,5	9,6		6,3 bis 7,6	6,2 bis 7	5,4
-3.5 bis -4.0	-2,5		-7.8 bis -8.0	$egin{array}{c} -4.5 \ ext{bis} \\ -6.2 \\ (-5.6) \end{array}$	-6,0	-7.5 bis -8.0	-6,5	dliche Zone	-3,8 bis -4,8	-3,8 bis	-3,2
- 25	$ \begin{array}{r} -20 \text{ bis} \\ -30 \\ (-25) \end{array} $	alen Granite	$\begin{array}{c} -25 \text{ bis} \\ -28 \end{array}$	-25 bis	-14	-25	-10 bis	dmassiv, nör	-15 bis -18	-7 bis	∞
2a	Ia	der zentr	4a	4a	4c	48	4b	l Gotthar	5 d	5d	5b
Qz, Ad, Chl, Tit	Qz, Ad, Chl, An, Br	3. Aarmassiv, Zone der zentralen Granite	Qz, Fl, Chl, Ap, Milarit	Qz, Fl, Chl, Cc, Py	Qz, Karb, Musk, Erze	Qz, Ad, Py, Chl	Qz, Amethyst, Chl, Il-Rut	4. Aarmassiv, südliche Zone und Gotthardmassiv, nördliche Zone	Qz, Ad, Chl, Tit	Qz, Chl	Qz, Musk, Karb, Rut
Chlorit-Seri- cit-Schiefer/ Gneis	Chlorit-Seri- cit-Schiefer/ Gneis	3. A	Grimsel. Granodiorit	Grimsel- Granodiorit	Grimsel- Granodiorit	Grimsel. Granodiorit	Zentraler Aaregranit	l. Aarmassiv, si	Amphibolit- Hornblende- fels, Aarm.	Sericit-Gneis der GSZ, Aarm.	Phyllit, Gotthardm.
	707,5/180,7		668,65/158,90 (unter Tag)		668,22/157,45 (unter Tag)	670,60/160,60	654,8/149,7		670,7/157	672,37/158,6	654,65/139,7
Stollen Mittagfluh – Trift, BE	Alp Cavrein, Val Gronda, GR		Sommerloch, Grimsel, BE	Juchli, Grimsel, BE	Druckschacht, Grimsel, BE	Gerstengletscher, Oberhasli, BE	Hinter Wasen, Fieschergletscher, VS		Sondierstollen, Gletsch, VS	Rhonegletscher, VS	Mooshubel, Mühlebach, VS
∞	25		6	10	11	12	15		13	14	16

$^{\mathrm{T_{8Hydr.}}}_{\circ\mathrm{C}}$	9,5	-3 bis -1		9,5 bis $11,5$	7,5 bis 8,2	9,1 bis 10,5	9 bis		10,6 bis 11,5	$^{9,5}_{10,0}$	
Hydrate	viel	sehr wenig		wenig	sehr viel	viel	viel		viel	vorhanden	1
Anzahl Phasen $T_{Ph} \stackrel{3}{{}_{\sim}} \stackrel{2}{{}_{\sim}}$	3 29,5 F	ា		3 29,5 G	છ	3 28,5 F	3 27,5 F		3 25 F	3 24 bis 27 G	67
[NaCl] Gew.%	5,8 bis 7,2	8,5 bis		5,5 bis 5,8	7,2 bis 8,5	6,2 bis 7	5,8 bis 6,5		3,7	5,7	6,1 bis 7
$^{\mathrm{Ls_2}}_{\mathrm{C}}$	-3,5 bis -4,5	5,6 bis 5,9	ne	-3,3 bis -3,5	-4,5 bis -5,5	-3,8 bis	$\begin{array}{c} -3.5 \text{ bis} \\ -4.0 \end{array}$		-2.0	-3,4	-3.7 bis -4.3
$^{\mathrm{Ts_{1}}}_{\circ \mathrm{C}}$	-6 bis	-17	südliche Zo	7,5	-15	∞			1	- LG	_ 9 bis _11
Nr. nach Parker	бb	9	trale und	7d	7c	7b	7i	6. Tessin	10d		10g
Paragenesc	Gurschengneis Qz, Ab, Musk, nördl. Gott- Chl hardmassiv	Qz, Chl	5. Gotthardmassiv, zentrale und südliche Zone	Fibbia-Granit- Qz, Rut, Ad, gneis Chl, Des	t Qz, Chl	Qz, Ab, Musk, Chl, Rut, An	Qz, Rut, Chl, Musk, Akt	6. T	Bündnerschio- Qz, Musk, Rut, 10d fer Magnetkies	Qz, Musk, Ab, 10f Chl, Rut, Tur	Qz, Ad, Tit, Chl, Musk
Nebengestein	Gurschengneis nördl. Gott- hardmassiv	Permokarbon Qz, Chl	5. Gott	Fibbia-Granit gneis	Medelsorgranit Qz, Chl od. Cristallina- Granodiorit	Paragneis des Gotthard- massivs	Tremola-Serie Amphibolit		Büncherschie fer	Granitgneis	Pegmatit
Koordinaten	675/155,8	689,3/165,7		686,37/156,1	706,9/161	691,0/159,2	685, 5/153, 5		685, 6/149, 3	714,72/146,17	717,8/131,1
Nr. Fundort	Muttgletscher bei Gletsch, VS	Mettlen bei Andermatt, UR		Ri della Fibbia, TI	Piz Garviel, Medel, GR	Piz Prevat, Gotthard, UR	Alpe di Fieud, Gotthard, TI		Piz Madone, Val Torta, TI	Prugiasco, Val Blenio, TI	Iragna, Steinbruch, TI
Nr.	27	28		18	19	23	24		59	47	46

		v ,	Kryor	netrische	Dest.	mmun	igen	uer k	oaiz-	unc	ı Gasge	mane			171
4 bis 6	7,2 bis 8,5	10,5 bis 11	$\begin{array}{c} 9.4 \text{ bis} \\ 10.5 \end{array}$	9,8 bis 11,3 12 bis 13		e ∞			i.	3,5 2 bis 4					9.2 bis
vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	2 Hydrate vorhanden		sehr wenig			[3]	sehr wenig	I		Ī		viel bis F
3 31 F	\sim 31 F	3 29 G	3 31 F	3 31 G		67			20 Z	14,0G v	67		61		3 v 30,5 bis 31 F
5,1	10,3	5,1 bis 5,8	5,1 bis 5,8	5,2 bis 6,8		4,5			111	8,4	4,8 bis 5,8		7.6		6.1 bis 7.2
-3,0	1	-3,0 bis	-3.0 bis -3.5	-3,1 bis $-4,2$		-2,5		iisch	-7,5	-5,4	$\begin{array}{c} -2.5 \text{ bis} \\ -3.5 \end{array}$	В	-4.8		-3,7 bis
					ninikum	L -		iefer, pennir	-111		-10 bis	sentbedeckun	-25		- 7 bis - 8
10d	, 10d	10e, f	? 10c	10h	plon, Penı	11g		$\ddot{u}ndnersch$	8h		8h	und Sedim	152	0	15h
Qz, Alb, Chl, Musk, Erze	Qz, Musk, Chl, 10d Rut, Tit	$Q_{\mathbf{z}}$	Qz	Qz, Ad, Tit	7. Binntal–Simplon, Penninikum	Q_z , Fl, Chl, Tur		8. Adula-Domleschg, Bündnerschiefer, penninisch	Qz, Cc		. Qz, Ce	9. Calanda, Spilite und Sedimentbedeckung	Oz. Tur. Ab.	Čhl	Qz, Dol
Bündnerschie- Qz, Alb, Chl, fer Musk, Erze	Quartenschie- fer	Gneis, verschiefert	Biotit-Gneis	Gneis		Zweiglimmer- gneis		8. Adula	Bündnerschie- Qz, Cc	ier	Bündnerschie- Qz, Ce fer	9. Co	Spilit	<u>.</u>	Rötidolomit
714,8/156,8	712,4/153,7	682, 3/145, 3				659,65/130,05			721,54/165,8		725,98/169,58		752.6/189.95		751,27/190,2
Campo Blenio, TI	Camperio bei Olivone, TI	Lago Bianco, Val Bavona, TI	Piz Barone, TI	Val di Chironico, TI		Gischihorn, Binntal, VS			Piz Stgir, GR		Val Largia, Lumnezia, GR		Plattenzijø.	Calanda, GR	Tschengels, Calanda, GR
54	61	50	99	67		17			20		21		70	(52

(1965a) steht. Diese fanden eine Zersetzungstemperatur des CO₂-Hydrates von 10°C, in Anwesenheit von Wasser und CO₂-Gas. Einmal mehr stellen wir fest, dass dieses Hydrat den qualitativen Nachweis des CO₂ erlaubt, auch wenn das flüssige CO₂ in den Einschlüssen nicht erscheint. Der Nachweis ist sehr empfindlich.

- b) Zwischen + 16°C und + 18°C schmelzende Hydrate. Die Proben aus drei Klüften (1, Torrent de la Tille; 2, Tour de Duin und 4, Wermutfluh) zeigen die Bildung eines Hydrates, das zwischen + 16°C und + 18°C verschwindet. Dies kann nicht mehr das Hydrat des CO₂ sein, das bei dieser Temperatur nur unter sehr hohem Druck stabil ist. Es handelt sich höchst wahrscheinlich um das Hydrat des Methans, das nach experimentellen Daten (Deaton und Frost, 1946) bei dieser Temperatur und einem Druck von ungefähr 150 Atm. stabil ist. Der Druck kann aber sehr viel niedriger sein, wenn Spuren von CO₂ oder andere Kohlenwasserstoffe vorhanden sind. Stalder und Touray (1970) haben gezeigt, dass in den betreffenden Einschlüssen neben H₂O wirklich CH₄ vorhanden ist, zusammen mit Spuren von CO₂ und andern Kohlenwasserstoffen. Ein bis + 18°C stabiles Hydrat hat Roedder (1963) in den Quarz-Kristallen von Magnet Cove, Arkansas, beobachtet.
- c) Zwischen $+2^{\circ}$ C und $+6^{\circ}$ C schmelzende Hydrate. Die Proben aus drei Klüften (6 und 7, Kammegg und 20, Piz Stgir) weisen ein Hydrat auf, das stabil ist bis $+4^{\circ}$ C, und aus der Kluft 54 (Campo Blenio) stammt eines, das bei $+6^{\circ}$ C zerfällt. Für diesen Temperaturbereich sind die Diagramme von Deaton und Frost (1946) kaum zu gebrauchen, da man die Drucke nicht kennt. Wir können einzig sagen, dass diese Hydrate sich verhalten wie Hydrate von Kohlenwasserstoffen bei mittleren Drucken: einige bis einige Dutzend Atmosphären.

2. Die Konzentration der gelösten Salze

Um die Interpretation zu vereinfachen, sind die Resultate (Tabelle 1) auf ein Diagramm (Fig. 1) übertragen worden, wobei auf der Abszisse die Schmelztemperatur ($T_{S\,2}$) und die Salzkonzentration in Äquivalenten [NaCl], auf der Ordinate die Temperatur des ersten Schmelzens ($T_{S\,1}$) abgetragen sind, die eine Idee über die Komplexität der Salzgehalte, insbesondere über den relativen Gehalt an Ca vermittelt.

Trotz der kleinen Anzahl studierter Klüfte, erscheinen gewisse Gruppierungen recht klar.

Die Kristalle aus dem Helvetikum (1, 2, 4, 5) gruppieren sich über einer Schmelztemperatur von -1.5° C. Dies entspricht den schwächsten Salzkonzentrationen, die im Laufe dieser Arbeit ermittelt worden sind. Eine einzige Kluft bildet eine Ausnahme (3, Sackgraben) mit einer Temperatur T_{S2} von -4.5° C. Die Mineralkluft 3 liegt ganz nahe einer Rauhwackeschicht und nur 150 m von

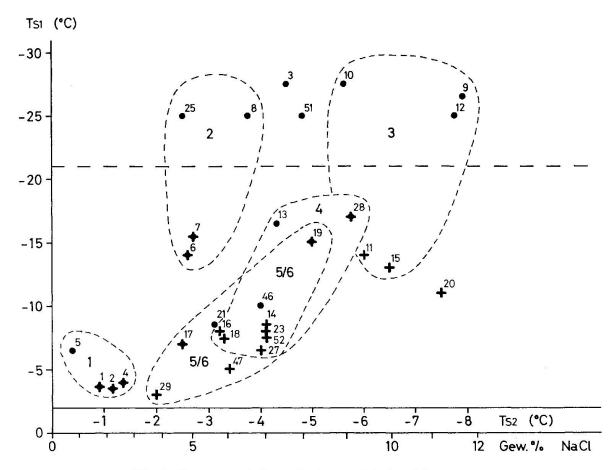


Fig. 1. Zusammenstellung der kryometrischen Messungen.

Abszisse: Temperatur des vollständigen Schmelzens, das heisst des Schmelzens der letzten Eiskristalle (T_{82}), schematisch umgerechnet in Äquivalente NaCl.

Ordinate: Beginn des ersten Schmelzens (T_{81}) . Die Temperatur des Eutektikums von H_2O und $NaCl \cdot 2H_2O$ bei $-21,1^{\circ}$ C ist besonders hervorgehoben. Einschlussfüllungen, die schon vor dieser Temperatur zu schmelzen beginnen, müssen neben NaCl noch andere Salzkomponenten enthalten.

Kleine Zahlen = Probenummern entsprechend Tabelle 1. Grosse Zahlen = Fundortgebiete entsprechend Tabelle 1.

Punkte = Zweiphasige Einschlüsse (bei Zimmertemperatur) ohne Hydratbildung. Punkt-Kreuze = Zweiphasige Einschlüsse (bei Zimmertemperatur) mit Hydratbildung. Kreuze = Dreiphasige Einschlüsse (bei Zimmertemperatur) mit Hydratbildung.

einer Gipsbank entfernt. Dieser Sachverhalt soll weiter unten diskutiert werden.

Im Aarmassiv können zwei Gruppierungen unterschieden werden: Die Kristalle aus der Zone der nördlichen Gneise und Schiefer (inkl. Amphibolite) weisen eine Schmelztemperatur ($T_{S\,2}$) von -2.6° bis -3.7° C auf, wobei die erste Schmelztemperatur ($T_{S\,1}$) zum Teil ausgesprochen tief liegt (-14° C bis -30° C). Die Kristalle aus der zentralen Granitzone geben eine $T_{S\,2}$, die deutlich tiefer liegt (-5.6° bis -7.9° C) als diejenige aus der Zone der nördlichen Gneise, und die $T_{S\,1}$ ist ebenfalls sehr tief. Hier kann an die zwei chemischen Analysen von Flüssigkeitseinschlüssen aus einem Quarzkristall vom Bächi-

stock von Koenigsberger und Müller (1906a und b) erinnert werden. Diese Analysen, sie gehören zu den ersten überhaupt durchgeführten, entstammen ebenfalls einer Fundstelle der zentralen Granitzone. Die mitgeteilten Salzgehalte von 7,8% und 10,5% NaCl stimmen gut mit unsern kryometrischen Daten von 7,2% bis 11,5% [NaCl] überein. Diese Werte lassen sich zudem auch mit denjenigen aus Einschlüssen in Mineralien aus Klüften des Mont-Blanc-Massivs (7% bis 11% [NaCl]; Poty, 1967) vergleichen, dessen tektonische Stellung im alpinen Gebirgsbau weitgehend demjenigen des Aarmassivs entspricht.

Die Daten aus dem Südteil des Aarmassivs und dem Gotthardmassiv zeigen eine Gruppierung bei $T_{S\,2} = 3.1^\circ$ bis -5.7° C. Dies entspricht einem etwas geringern Salzgehalt als demjenigen aus der zentralen Granitzone des Aarmassivs. Vor allem ist aber die erste Schmelztemperatur ($T_{S\,1}$) im Gotthardmassiv niedriger als im Aarmassiv.

DISKUSSION

Aufgrund der gegebenen Tatsachen ist es möglich herauszufinden, wovon die Salzkonzentration in der flüssigen Phase vor allem abhängt:

- 1. Von der Intensität der Metamorphose (?).
- 2. Vom Gehalt des gelösten Gases.
- 3. Von der Natur des umgebenden Gesteins.

1. Einfluss der Intensität der Metamorphose

In den Kalkalpen nördlich der Massive ist die Schmelztemperatur (T_{S 2}) relativ hoch, das heisst höher als -1.4° C, während südöstlich davon die entsprechende Temperatur zwischen -2° C und -8° C liegt. Der Unterschied ist sehr deutlich. Vermutlich hängt er mit den Temperatur- und Druckbedingungen zusammen, die während der Bildungszeit in den Klüften geherrscht haben. In den nördlichen Kalkalpen haben die Temperatur- und Druckbedingungen nie diejenigen der Zeolith-Facies überschritten (MARTINI und VUAGNAT, 1965). während im Aarmassiv im Bereich der Stilpnomelan-Zone überall die Grünschiefer-Facies erreicht worden ist (E. Niggli und C. Niggli, 1965). Zudem weiss man, dass die alpinen Zerrklüfte des Aarmassivs die meisten typischen Mineralien der Grünschiefer-Facies enthalten (Parker, 1954). Es ist deshalb anzunehmen, dass sich diese Mineralien nur kurze Zeit nach der intensivsten Metamorphose dieses Gebietes gebildet haben. Im Tessin war die geologische Situation anders. Während die Bedingungen der intensivsten alpinen Metamorphose die Grünschiefer-Facies weit überschritten und sogar zur Bildung von Sillimanit führten, enthalten die alpinen Zerrklüfte dieses Gebietes im wesentlichen typische Mineralien der Grünschiefer-Facies.

Der Reihenfolge steigender Salzgehalte: Nördliche Kalkalpen, Tessin, Gotthard-Massiv, zentrales Aarmassiv, kann nun allerdings trotzdem kein allgemeines Wachstum der Parameter T und P entsprechen. Dies würde allen qualitativen Abschätzungen dieser Werte, die wir heute besitzen, widersprechen. So führen zum Beispiel Bambauer, Brunner und Laves (1962) den hohen Wasserstoffgehalt in den Quarzen des südlichen Gotthardmassivs und im Penninikum (zwischen Moësa und Toce) auf höhere Bildungstemperaturen zurück. Auch die Feststellung von Günthert (1953), wonach die Kluftplagioklase im gleichen Gebiet zum Teil beträchtliche An-Gehalte aufweisen, und die Untersuchungen von NISSEN (1967) über den Adularhabitus untermauern die Ansicht von Bambauer et al.

Es erscheint uns deshalb vorläufig recht schwierig zu erklären, warum die Einschlüsse in Quarzkristallen des zentralen Aarmassivs den höchsten Salzgehalt aufweisen, einen höhern als entsprechende Einschlüsse im Gotthardmassiv und im südlich anschliessenden Penninikum. Es bleibt deshalb nur die Feststellung, dass der Salzgehalt von der "Zeolith"- zur Grünschiefer-Facies eindeutig zunimmt.

2. Der Einfluss des Gehaltes gelösten Gases

Die vorliegenden Messungen sind viel zu wenig zahlreich, um eine Abhängigkeit zwischen Methan- und Salzgehalt festzustellen; dagegen kann eine solche zwischen CO_2 - und Salzgehalt beobachtet werden. Als Beispiel soll das zentrale Aarmassiv dienen. Hier haben sich die Kluftmineralien vermutlich bei ähnlichen Temperatur- und Druckbedingungen gebildet. Dort, wo nun flüssiges CO_2 vorhanden ist (Sättigung der wässerigen Phase an CO_2), sind höhere Schmelztemperaturen ($\mathrm{T}_{\mathrm{S}\,1}$ und $\mathrm{T}_{\mathrm{S}\,2}$) festzustellen als in Einschlüssen ohne CO_2 .

Vorkommen von flü (oder von CO ₂ -1)2	Kein CO ₂					
11 Druckschacht Oberaar 15 Fieschergletscher	$egin{array}{c} T_{81} \\ -14 \\ -13 \end{array}$	$egin{array}{cccc} T_{82} & & & \\ -6,0 & & & \\ -6,5 & & & \end{array}$	9 Sommerloch 10 Juchli 12 Gerstengletscher	$egin{array}{c} T_{81} \\ -27 \\ -27 \\ -25 \end{array}$	$egin{array}{c} { m T_{82}} \\ -7.9 \\ -5.6 \\ -7.7 \\ \end{array}$			

Dieser Einfluss beschränkt sich nicht auf die Klüfte des zentralen Aarmassivs; man stellt ihn beim Studium der Tabelle 1 auch an andern Orten fest. Der Effekt kann nicht überraschen, denn die experimentellen Daten haben schon mehrfach gezeigt, dass beim Hinzufügen einer Komponente (CO₂ oder NaCl) zur wässerigen Lösung, die Löslichkeit der andern stark herabgesetzt wird (Takenouchi und Kennedy, 1965b).

3. Einfluss des Nebengesteins

Die Zusammensetzung des Nebengesteins ist ein wichtiger Faktor der Beeinflussung des Salzgehaltes in den wässerigen Einschlüssen. Aus den gleichen Gründen wie oben führen wir Beispiele aus dem Aarmassiv (Grimselgebiet) an.

Grimsel-Gran	odiorit		Amphibolite						
9 Sommerloch 10 Juchli 11 Druckschacht 12 Gerstengletscher	$egin{array}{c} T_{81} \\ -27 \\ -27 \\ -14 \\ -25 \\ \end{array}$	$egin{array}{c} T_{82} \\ -7,9 \\ -5,6 \\ -6,0 \\ -7,7 \end{array}$	6 Kammegg I 7 Kammegg II 13 Gletsch	$egin{array}{c} T_{81} \\ -14 \\ -16 \\ -16 \end{array}$	$egin{array}{c} T_{82} \\ -2,6 \\ -2,7 \\ -4,2 \end{array}$				

Die Lösungen, die im Gleichgewicht mit den Granodioriten standen, weisen eine erste Schmelztemperatur ($T_{\rm S\,1}$), vor allem aber eine zweite (das heisst eigentliche) Schmelztemperatur ($T_{\rm S\,2}$) auf, die viel tiefer liegt als die entsprechenden Temperaturen aus den Amphiboliten. In den Granodioriten treten demnach etwa doppelt so hohe Salzgehalte auf wie in den Amphiboliten. Vorläufig bleibt diese Gegenüberstellung für die kristallinen Gebiete leider die einzige mit einem bestimmten Aussagewert.

Während die Löslichkeit silikatischer (und karbonatischer) Gesteine allgemein sehr klein ist, ist diejenige der Evaporite recht gross. Es ist deshalb verständlich, dass Kluftlösungen, die mit Evaporiten in Berührung kamen, viel salzreicher sind. – Wir haben zum Beispiel gesehen, dass in den nördlichen Kalkalpen die Salzgehalte der Kluftlösungen gering und um einen bestimmten Wert gruppiert sind. Davon ausgenommen ist eine Kluft aus der Niesendecke (3, Sackgraben), die etwa 150 m über einer mächtigen Gipsbank liegt. Ähnlich ist der hohe Salzgehalt aus einer Kluft im Tessin (61, Camperio) zu erklären, die in den Quartenschiefern des Keupers liegt, der in der nähern Umgebung einen mächtigen Gipskörper einschliesst. Der Salzgehalt in der Kluft am Piz Stgir (20), im Diagramm ganz isoliert vorkommend, kann vermutlich mit nahe gelegenen Trias-Aufschlüssen in Zusammenhang gebracht werden (allerdings sind dort bis heute keine Gipslager bekannt geworden).

Bis heute kennt man aus den Schweizeralpen nur von zwei Fundstellen ausgeschiedene Steinsalzkristalle (resp. kubische Salzkristalle) in den Quarzeinschlüssen:

- 1. Mineralfundstelle Lengenbach im Binntal, im zuckerkörnigen Trias-Dolomit (STALDER, 1967).
- 2. Grosse Quarzkluft im Druckschacht der Electra-Massa bei Bitsch (VS), in den südlichen Gneisen des Aarmassivs. Im gleichen Stollen sind mächtige, gangartige Gipslagen entdeckt worden (Labhart, 1969).

Leider konnten beide Funde nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen sein (Mangel an Untersuchungsmaterial und Neuentdeckung während der Niederschrift dieser Arbeit). Obige Beobachtungen bestätigen frühere von Yajima, Touray und Iiyama (1967), die Steinsalzwürfelchen in Albitund Quarzkristallen aus dem Trias-Dolomit der Region von Modane beschrieben haben. Im Mont-Blanc-Massiv ist der Salzgehalt der Lösungen, die mit dem Granit im Gleichgewicht stehen, klein (Poty, 1967), das heisst sehr ähnlich wie im Aarmassiv. Im Süden des Mont-Blanc-Massivs, nahe der Trias, hat aber Deicha (1955) ebenfalls Steinsalzwürfel in den Mineraleinschlüssen beobachtet.

LITERATUR

SMPM = Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen

- Bambauer, H. U., Brunner, G. O. und Laves, F. (1962): Wasserstoff-Gehalte in Quarzen aus Zerrklüften der Schweizer Alpen und die Deutung ihrer regionalen Abhängigkeit. SMPM 42, S. 221–236.
- DEATON, W. N. und Frost, E. M. (1946): Gas hydrates and their relation to the operation of Natural-Gas Pipe-Lines. U.S. Bureau of Mines, Monograph 8.
- Deicha, G. (1955): Les lacunes des cristaux et leurs inclusions fluides. Signification dans la genèse des gites minéraux et des roches. Masson, Paris.
- GÜNTHERT, A. (1953): Plagioklase aus Klüften der Tessiner Alpen. SMPM 33, S. 161–166. HEMLEY, J. J. (1959): Some mineralogical equilibria in the system K₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O. Amer. J. Sci. 266, S. 129–166.
- Koenigsberger, J. und Müller, W. J. (1906a): Über die Flüssigkeitseinschlüsse im Quarz alpiner Mineralklüfte. Zbl. Mineral. Geol. Paläont., S. 72–77.
- Koenigsberger, J. und Müller, W. J. (1906b): Versuche über die Bildung von Quarz und Silikaten. Zbl. Mineral. Geol. Paläont., S. 339–348.
- LABHART, T. P. (1969): Die petrologischen, tektonischen und radiometrischen Verhältnisse der Stollen der Electra-Massa. SMPM 49/3.
- Martini, J. und Vuagnat, M. (1965): Présence du facies à zéolites dans la formation des "grès" de Taveyanne (Alpes franco-suisses). SMPM 45, S. 281–293.
- Niggli, E. und Niggli, C. R. (1965): Karten der Verbreitung einiger Mineralien der alpidischen Metamorphose in den Schweizer Alpen. Eclogae geol. Helv. 58, S. 335–368.
- NISSEN, H. U. (1967): Domänengefüge, Natriumgehalt, Natriumentmischung und Gitterkonstanten von Alkalifeldspäten der Schweizeralpen. SMPM 47, S. 1140–1145.
- PARKER, R. L. (1954): Die Mineralfunde der Schweizer Alpen. Wepf & Co., Basel.
- Poty, B. (1967): La croissance des cristaux de quartz dans les filons sur l'exemple du filon de la Gardette (Bourg d'Oisans) et des filons du massif du Mont Blanc. Thèse, Nancy, und Mem. 17, Sciences de la Terre, Nancy (1969).
- ROEDDER, E. (1962): Studies of fluid inclusions I: Low temperature application of a dual purpose freezing and heating stage. Econ. Geol. 57, S. 1045–1061.
- (1963): Studies of fluid inclusions II: Freezing data and their interpratation. Econ. Geol. 58, S. 167–211.
- STALDER, H. A. (1964a): Petrographische und mineralogische Untersuchungen im Grimselgebiet. SMPM 44, S. 187–398.

- (1964b): Quarzfund vom Taminser Calanda. Mitt. Naturf. Ges. Bern, NF 20, S. XLIII–XLVI.
- (1967): Blauquarz vom Taminser Calanda. Urner Mineralien-Freund, H. 1, Jhg. 5, S. 1-6.
- STALDER, H. A. und Touray, J. C. (1970): Fensterquarz mit Methaneinschlüssen aus dem westlichen Teil der schweizerischen Kalkalpen, SMPM 50/1, S. 109–130.
- Takenouchi, S. und Kennedy, G. C. (1965a): Dissociation pressures of the phase $CO_2 \cdot 5^3/_4H_2O$. J. Geol. 73, S. 383–390.
- (1965b): The solubility of carbon dioxide in NaCl solution at high temperatures and pressures. Amer. J. Sci. 263, S. 445–454.
- Yajima, J., Touray, J. C. und Iiyama, J. T. (1967): Les inclusions fluides d'albites de la région de Modane. Bull. Soc. franç. Minéral. Cristallogr. XC, S. 394–398.