

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 9 (1929)

Heft: 1

Artikel: Die chemisch-mineralogische Charakteristik der metamorphen
Paragesteinsprovinz am Südrande des Gotthardmassivs

Autor: Niggli, P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-10744>

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: 29.12.2025

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

Die chemisch-mineralogische Charakteristik der metamorphen Paragesteinsprovinz am Südrande des Gotthardmassivs

Von *P. Niggli*¹⁾

A. Einleitung

Wer die Gesteinsbeschreibungen von L. BOSSARD (siehe vorangehende Arbeiten) liest, wird erkennen, wie gross die Mannigfaltigkeit der metamorphen Gesteine am Südrande des Gotthardmassives (insbesondere in der jungen Muldenzone) ist. Wer das Gebiet kennt, weiss, wie auf Schritt und Tritt der Gesteinscharakter wechselt. Und doch prägt sich ihm bei der Fülle der Einzelheiten etwas ein, das wir als die Einheit in der Variation bezeichnen können. Die Gesteine gehören einer petrographischen Provinz an. Es schien daher erwünscht, das geologisch-petrographisch gut durchforschte Gebiet auch analytisch-chemisch gründlich zu studieren. Nur auf diese Weise war zu erwarten, Aufschluss zu bekommen über die Abhängigkeit des Mineralbestandes der höchstmetamorphen Gesteine vom Chemismus.

Zu diesem Zwecke wurden 44 neue Analysen ausgeführt. Der Verfasser verdankt sie Prof. Dr. J. JAKOB, Frau Dr. S. PARKER, Dr. P. ESENWEIN.

Es stammen von:

J. Jakob die 21 Analysen: Nr. 3, 5, 6, 12, 15, 19, 28, 30, 31, 35, 37, 43, 44, 46, 47, 59, 61, 62, 65, 66, 67.

S. Parker die 10 Analysen: Nr. 8, 13, 26, 27, 54, 55, 56, 57, 68, 85.

P. Esenwein die 13 Analysen: Nr. 4, 9, 10, 17, 23, 25, 32, 33, 39, 41, 42, 45, 58.

21 Analysen konnten der Arbeit von:

L. J. KRIGE: Petrographische Untersuchungen im Val Piora und Umgebung. Eclogae Geol. Helv., vol. XIV, 1918, 517,

¹⁾ Neue Analysen von J. Jakob, S. Parker, P. Esenwein.

11 der Arbeit von:

L. HEZNER: Petrographische Untersuchungen der krist. Schiefer u. s. w. (Tremolaserie). N. J. f. Min., B. B. 27, 1908, 157,

7 der Arbeit von:

W. van HOLST PELLEKAAN: Geologie der Gebirgsgruppe des Piz Scopi. Diss. Zürich. Amsterdam 1913,

8 der Arbeit von:

P. NIGGLI: Die Chloritoidschiefer des nordöstlichen Gotthardmassives. Diss. 1912. Siehe Beiträge geol. Karte der Schweiz, Lief. 36, 1912,

entnommen werden.

Die letztern Analysen dienen, da sie vom Nordrande des Gotthardmassives stammen, als Vergleichsanalysen.

Sehen wir von ihnen ab, so sind immer noch 60 Analysen postkarbonischen Sedimenten zugeordnet, die keine andere als die alpine Dislokationsmetamorphose erlitten haben. Das Hauptinteresse konzentriert sich auf diese triasisch-mesozoischen Paragesteine. Nur zur Demonstration, dass benachbarte ältere Paragesteine (Lucomagnodecke, Tremolaserie) ganz entsprechend umgewandelt wurden, werden ca. 20 hiehergehörige Gesteinsanalysen mitverwertet. Bei der Diskussion der chemischen Verhältnisse konnte hinsichtlich des Alters kein Unterschied gemacht werden. In zwei Tabellen sind die Analysen und ihre Molekularwerte zusammengestellt. Die einzelnen Analysen tragen die Nummern, die ihnen in der Erläuterung zukommen.

Von allen analysierten Gesteinen wurden die Dünnschliffe eingehend untersucht und z. T. ausgemessen. Um die Arbeit nicht zu umfangreich zu gestalten, ist eine Dünnschliffbeschreibung unterblieben. Die Namen der Gesteine wurden jedoch sorgfältig ausgewählt, so dass sie in sich eine Beschreibung und Rangordnung des Mineralbestandes enthalten.¹⁾

B. Analysentabellen und Erläuterungen

siehe Seiten 162—174.

¹⁾ Es wurden besonders auch Quartenschiefer aus dem Val di Campo analysiert. Dieses vom Verfasser geologisch aufgenommene Gebiet wird zusammen mit dem Gebiet von BOSSARD und KRIGE auf einer im Druck befindlichen Karte (Geologische Kommission der S. N. G.) dargestellt werden. Hinsichtlich aller geologischen Einzelheiten sei daraufhin verwiesen.

Analysen-Tabelle I. Gewichtsprozente.¹⁾

Nr.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	CO ₃	C	S	ZrO ₂	F	Total
1	38.92	26.95	4.08	4.75	11.43	.59	.62	.734	.04	1.43	.31	3.92	.21	100.59						
2	79.30	10.72	2.46	2.78	1.39	.39	.05	.62	.45	.52	.14	1.52	.05	101.16						
3	56.80	20.58	5.41	5.54	2.21	.71	.57	4.02	.01	1.41	.14	2.39	.02	99.81						
4	57.04	21.73	5.94	1.55	3.56	.91	1.01	5.14	.01	1.18	.14	1.90	.06	100.17						
5	74.40	16.29	2.76	.16	.45	.45	.48	2.00	.45	.01	.34	.02	.84	.00	99.85					
6	61.07	20.36	3.39	4.66	4.48	.94	.57	2.46	.02	1.03	.02	.02	.21	.00	100.21					
7	31.33	43.05	13.06	3.88	1.06	1.45	.50	2.70	.19	.76	.02	.21	.54	.00	99.52					
8	55.15	18.30	8.73	4.88	1.44	1.11	1.24	3.95	.04	1.52	.61	3.43	.08	100.48						
9	50.94	29.29	6.26	1.58	1.38	1.18	2.22	2.49	—	1.96	.02	2.33	.16	99.79						
10	40.73	28.30	3.14	3.33	7.75	1.83	1.77	7.86	.05	1.92	.09	2.93	.04	99.84						
11	67.43	21.35	1.70	1.25	1.71	1.04	.35	3.05	—	1.12	.24	2.07	.10	100.35						
12	66.95	13.59	3.41	3.73	2.54	1.08	.70	4.56	.09	1.94	.93	1.85	.00	100.03						
13	36.29	21.27	12.83	9.52	8.47	2.61	1.97	2.56	.09	.55	.09	.90	.15	100.33						
14	63.42	25.45	2.09	.57	2.07	1.34	.63	3.92	.02	1.10	.14	2.18	.00	101.18						
15	65.40	16.11	2.19	3.80	3.11	1.27	.76	3.72	.02	1.82	.18	3.79	.31	99.80						
16	42.02	33.36	4.26	2.92	2.67	2.29	1.59	5.47	.03	1.16	.18	4.27	.04	100.53						
17	51.55	19.37	5.02	3.36	7.96	2.46	2.40	2.46	.00	1.83	.14	1.85	.06	100.23						
18	62.19	15.31	10.84	2.03	.13	1.44	1.14	1.57	.00	.39	.09	.75	.21	99.83						
19	55.97	22.55	2.90	7.57	1.42	1.88	1.59	2.40	.20	2.47	.18	1.49	.04	100.36						
20	84.99	6.40	1.38	1.45	.93	.75	.53	2.10	.04	.86	.06	2.59	.11	99.97						
21	58.05	19.07	3.67	3.39	4.14	2.14	.91	5.12	.04	.86	.06	2.00	.12	100.15						
22	67.96	18.80	1.28	2.32	1.26	1.91	.67	4.23	.00	1.96	.20	.52	.52	100.68						
23	37.83	31.07	1.90	6.89	7.30	4.21	1.76	4.15	.03	3.40	.00	(2.04)	.00	99.94						
24	52.91	18.68	9.10	2.42	.70	3.02	2.34	2.07	.03	1.27	.08	1.18	.08	99.93						
25	52.88	20.52	2.49	6.04	6.16	3.85	1.31	3.59	.03	2.44	.05	4.09	.03	99.93						
26	55.10	14.98	7.29	3.29	5.80	3.55	1.38	2.26	.02	1.53	.52	4.78	.21	100.49						
27	47.89	11.26	6.67	5.18	10.44	5.58	2.55	1.80	.04	1.04	.04	.94	.05	100.34						
28	52.86	21.61	2.77	6.86	5.44	4.68	1.26	2.33	.30	1.04	.05	1.27	.13	100.18						
29	66.13	15.48	2.59	3.94	1.47	3.35	1.28	2.51	.69	1.11	.11	1.39	.67	100.72						
30	44.40	22.00	6.93	2.52	2.53	4.99	1.17	5.32	.06	1.07	.15	2.00	.00	100.99						
31	49.80	22.26	1.36	9.31	4.52	5.32	.89	2.60	.10	1.42	.06	1.41	.06	100.11						
32	46.08	21.76	2.53	6.28	9.46	6.52	1.11	3.00	.05	1.27	.13	.92	.10	100.04						
33	54.07	23.36	1.71	6.28	3.27	5.27	2.43	1.41	.08	1.07	.15	.86	.05	100.07						
34	42.61	22.47	5.17	4.20	8.13	7.08	.74	5.17	.05	.92	.19	2.93	.14	99.80						
35	46.40	18.59	6.63	3.94	8.82	6.95	.84	1.48	.04	1.72	.18	4.49	.07	100.15						
36	67.21	12.84	5.11	.75	1.73	3.65	.05	3.30	.05	1.01	.11	1.70	.15	1.59	.51	1.06				
37	37.29	28.48	.32	19.02	1.47	7.20	.52	1.29	.15	2.69	.02	1.33	.00	100.82						
38	69.14	12.18	4.33	3.41	1.19	3.61	.44	2.59	.03	1.40	.31	.97	.32	99.78						
39	47.32	14.82	4.16	9.43	7.12	8.22	2.57	1.03	.27	3.13	.19	1.04	.19	100.49						
40	52.83	12.15	4.76	3.62	3.46	6.08	.41	5.52	.338	1.74	.31	1.23	.27	100.22						
41	53.38	17.53	4.61	2.87	7.69	7.80	1.98	1.50	.05	1.15	.15	1.02	.08	100.34						
42	55.92	16.30	1.56	5.73	6.01	6.97	.95	1.66	.04	.88	.08	1.96	.10	100.12						
43	44.40	25.63	1.19	3.74	2.13	8.27	2.49	3.42	.03	.84	.07	2.88	.00	99.83						
44	41.33	15.76	1.71	5.86	9.87	9.80	.62	2.42	.07	.81	.03	2.13	.00	99.74						

¹⁾ Zahlen in Klammern bei H₂O+ bedeuten Glühverlust. ²⁾ inkl. ZrO₂

Analysen-Tabelle II. Molekularwerte.

Nr.	si	al	fm	c	alk	al - alk	k	mg	ti	p	h+	h-	CO ₂	c/fm
1.	85	34	53	1.5	11.5	22.5	89	.71	2.35	.26	.28	.28.5	.02	
2.	572	45.5	48.5	3	3	4.5	.86	.31	2.8	.43	.22	.22	.06	
3.	204	43.5	42.5	3	11	33.5	.83	.28	3.9	.2	.42	.42	.07	
4.	196	44	38	3.5	14.5	29.5	.78	.48	6.8	.03	.14	.11.5	.09	
5.	508	66	10	3.5	14.5	51.5	.11	.08	1.30	.40	.84	.40	.21	
6.	216	42.5	46.5	3.5	7.5	53	.74	.51	2.7	.5	.26	.26	.08	
7.	72	58	33.5	5	5	25	.68	.11	1.30	.40	.26	.26	.11	
8.	194	38	45	4	13	44.5	.42	.25	5	.1	.23	.23	.09	
9.	168	57	26.5	4	12.5	16	.74	.70	3.5	.46	.31	.31	.13	
10.	97	39.5	40	4.5	6	23.5	.84	.52	4.0	.37	.73	.12.5	.11	
11.	323	60	24	5	11	49	.82	.40	2.9	.42	.15	.12.5	.22	
12.	303	36	42.5	5	16	20	.47	.42	2.9	.46	.31	.31	.13	
13.	74	25.5	61.5	5.5	7.5	18	.80	.60	1.7	.73	.15	.12.5	.09	
14.	258	61	21	6	12	49	.77	.52	4.0	.42	.25	.30	.28	
15.	278	40.5	40.5	6	13	27.5	.77	.47	3.5	.25	.30	.30	.15	
16.	115	53.5	26	6.5	14	39.5	.69	.42	3.8	.25	.34.5	.34.5	.26	
17.	139	31	51.5	7	10.5	20.5	.62	.25	2.5	.2	.38.5	.38.5	.26	
18.	274	39.5	44	7	9.5	30	.49	.62	8.2	.20	.20	.22	.14	
19.	191	45.5	37	7	10.5	35	.50	.20	4.7	.20	.21.5	.21.5	.16	
20.	848	37.5	36.5	8	8	19.5	.73	.38	3.0	.36	.25	.25	.19	
21.	197	38	40	8	14	24	.78	.52	2.3	.36	.29.5	.29.5	.21	
22.	320	52	22.5	9.5	16	36	.81	.39	.39	.3	.14.5	.14.5	.19	
23.	83	41	39.5	10	9.5	31.5	.61	.60	.60	.3	.11	.11	.19	
24.	191	40	35.5	11.5	13	27	.37	.11	.9.3	.07	.42.5	.42.5	.25	
25.	147	33.5	45	11.5	10	23.5	.64	.57	.25	.5.6	.58	.39.5	.33	
26.	171	27.5	52	12	8.5	19	.51	.51	.51	.2.1	.05	.8.5	.26	
27.	116	16	61	14.5	7	28	.32	.63	.2.1	.2.1	.05	.39.5	.23	
28.	144	35	44	14	15.5	12	.55	.50	.28	.3.6	.25	.19.5	.32	
29.	280	38.5	34	15.5	15.5	26.5	.75	.34	.2.4	.1.9	.1.9	.1.9	.45	
30.	129	38	33	15.5	13.5	24.5	.67	.43	.2.9	.0.7	.1.2.5	.1.2.5	.47	
31.	135	35.5	42	15.5	7	28.5	.64	.66	.2.0	.1	.7	.7	.37	
32.	105	29.5	48.5	15.5	6.5	23	.28	.43	.2.5	.1	.8.5	.8.5	.33	
33.	159	40.5	33.5	16.5	9.5	31	.28	.62	.1.6	.1.7	.22	.22	.39	
34.	96	30	44	17	9	21	.82	.62	.62	.1.6	.2.5	.2.5	.55	
35.	112	26.5	51.5	8	4	22.5	.97	.36	.3.8	.23	.9.5	.9.5	.41	
36.	326	36.5	34	9	10.5	26	.61	.12	.4.6	.02	.57	.57	.49	
37.	84	38	42	17	3	35	.80	.23	.5.1	.5.5	.2	.8	.40	
38.	329	34	37.5	18.5	10	24	.21	.49	.5.5	.36	.4.1	.4.1	.45	
39.	111	20.5	51.5	20.5	7.5	13.5	.89	.36	.7.0	.37	.13	.13	.50	
40.	165	22.5	45	20.5	12	10.5	.33	.70	.2.2	.1.5	.2.5	.2.5	.50	
41.	140	27	43.5	22	7.5	19.5	.53	.60	.2.2	.1.9	.1.9	.1.9	.44	
42.	165	28	44	22	6	22	.53	.47	.2.2	.1.8	.2	.2	.50	
43.	125	42				29							.17	

Erläuterungen zu den Analysentabellen

I. Junge Gesteine von Piora-Lukmanier und Val di Campo

1. *Zweiglimmerschiefer*, quarzarm, etwas Disthen und Epidot führend. $\text{SiO}_2 = 38.92$ si = 85. Quartenschiefer, Alpe Tom, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 602.
2. Biotitführender *Chloritoidquarzit* mit Staurolith, Granat als Übergemengteilen. $\text{SiO}_2 = 79.30$ si = 572. Untere Bündnerschiefer, Murinasciaschlucht, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 630.
3. *Chloritoid-Zweiglimmerschiefer* mit Porphyroblasten von Chloritoid und Biotit. $\text{SiO}_2 = 56.80$ si = 204. Quarzreich. Sehr schön kristalloblastisch. Quartenschiefer, an Dolomit grenzend. Rechte Talseite Val di Campo.
4. *Disthen-Zweiglimmerschiefer bis Disthenphyllit*, stark gefältelt, ziemlich reich an Magnetit. $\text{SiO}_2 = 57.04$ si = 196. Quartenschiefer, Frodalera, Lukmaniergebiet.
5. Weisser *staurolithführender Paragonit-Albitschiefer*. Quarzreich. Paragonit-Sericit. $\text{SiO}_2 = 74.40$ si = 508. Mit Magnetit, Rutil, Turmalin. Quartenschiefer, Brücke östlich Campra, Lukmaniergebiet.
6. Etwas hornfelsartiger *Disthen- und Zoisit-führender Biotit- bis Zweiglimmerschiefer*. $\text{SiO}_2 = 61.07$ si = 216. Quartenschiefer, Hügel westlich Camperio, Val Sta. Maria, Lukmaniergebiet.
7. *Staurolith-Biotitjels*, quarzarm, etwas Disthen und Magnetit führend. $\text{SiO}_2 = 31.33$ si = 72. Quartenschiefer, SE der Alpe Campo, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 622.
8. *Chloritoidschiefer*, sehr chloritoidreich, jedoch kleinporphyroblastisch. Mit quarzitisch-sericitischem Grundgewebe. $\text{SiO}_2 = 55.15$ si = 194. Quartenschiefer. Val di Campo, rechte Talseite. Oben.
9. Schwarzer *Staurolith-Sericitschiefer*, etwas Erz und Disthen enthaltend. $\text{SiO}_2 = 50.94$ si = 168. Bündnerschiefer. Oberhalb der Brücke von Pian di Segno, östlich Acquacalda, Lukmaniergebiet.
10. *Disthen-Zweiglimmerschiefer*, mit quergestellten Biotitporphyroblasten. $\text{SiO}_2 = 40.73$ si = 97. Quartenschiefer. Oberhalb der Brücke von Pian di Segno, östlich Acquacalda, Lukmaniergebiet.

11. *Disthen-Zweiglimmerschiefer*. $\text{SiO}_2 = 67.43$ si = 323. Quartenschiefer. SE Pian Murinascio, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 621.
12. Epidotführender *Biotitschiefer* (mit Biotit und Epidotporphyroblasten). Quarzreiches Grundgewebe. $\text{SiO}_2 = 66.95$ si = 303. Nordöstlich ob Hospiz Santa Maria, Scopimulde.
13. Staurolith und Disthen führender *Granatbiotitschiefer bis Plagioklasgneis* mit Biotit, Plagioklas, Staurolith, Disthen, Chlorit. Sehr grobkristallin. Verworren gefältelt. $\text{SiO}_2 = 36.29$ si = 74. Quartenschiefer. Frodalera, Lukmaniergebiet.
14. *Disthenreicher Biotit-Sericitschiefer mit Epidot und Zoisit*. $\text{SiO}_2 = 63.42$ si = 258. Quartenschiefer. Oberhalb Casaccia, Lukmanier-Scopi-Gebiet. Siehe van Holst, loc. cit., Seite 25.
15. *Granat- und Epidot-führender Biotit-Sericitalbitgneis*. Porphyroblastisch (Granat, Epidot), sonst feinschieferig. $\text{SiO}_2 = 65.40$ si = 278. Quartenschiefer. P. 1830. Nördlich ob Mti. Anvedua, Costagrat, Lukmaniergebiet.
16. *Granat - Disthen-führender Staurolith - Zweiglimmerplagioklasgneis*, quarzarm. Granat, Disthen und Staurolith in gleichen Mengen porphyroblastisch. Muscovit über Biotit und Plagioklas überwiegend. $\text{SiO}_2 = 42.02$ si = 115. Quartenschiefer bis unterer Bündnerschiefer. Südhang von La Motta, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 619.
17. *Zoisitführender Chlorit - Muscovit - Albitgneis*. Grün, weissfleckig. Weisse Flecken = Albit mit Zoisitstengeln. Grundgewebe lepidoblastisch, quergefältelt, bestehend aus Chlorit, Muscovit, Zoisit. $\text{SiO}_2 = 51.55$ si = 139. Quartenschiefer. Südlich Pordellia, unteres Val di Campo.
18. *Schwarzer Granatbiotitphyllit*. $\text{SiO}_2 = 62.19$ si = 274. Bündnerschiefer, Piora. Siehe Krige, loc. cit., Seite 613.
19. *Schwarzer Staurolith führender Granatsericitplagioklasgneis*. Porphyroblasten sehr einschlussreich. Sonst feinschieferig mit vorwiegend sericitisch-quarzitischem Grundgewebe. $\text{SiO}_2 = 55.97$ si = 191. Bündnerschiefer, Campra, Lukmaniergebiet.
20. *Chloritoid-, Staurolith- und Epidot-führender Sericitquarzit*. $\text{SiO}_2 = 84.99$ si = 848. La Negra, N. W. Pz. Corvo. Siehe van Holst, loc. cit., Seite 28.
21. *Hornblende - Biotitphyllit*. Porphyroblasten von Hornblende und Biotit in sericitreichem Grundgewebe. $\text{SiO}_2 = 58.05$ si = 197. Quartenschiefer, Südhang des Fongio, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 633.

22. *Granat-Zweiglimmerschiefer*, quarzreich. $\text{SiO}_2 = 67.96$ si = 320. Bündnerschiefer. Piora. Siehe Krige, loc. cit., Seite 611.
23. *Granat und Disthen führender Biotit-Chloritplagioklasschiefer*. Granatporphyroblasten mit Plagioklas (Epidot, Zoisit, Albit), Disthen, Biotit, Chlorit. Fast quarzfrei. $\text{SiO}_2 = 37.83$ si = 83. Quartenschiefer, Frodalera, Lukmaniergebiet.
24. *Granat-Glimmerplagioklasgneis*. $\text{SiO}_2 = 52.91$ si = 191. Bündnerschiefer, Piora. Siehe Krige, loc. cit., Seite 613.
25. *Granat- und Disthen - führender Hornblende - Biotitplagioklasgneis*. Porphyroblasten von Granat im Grundgewebe von Biotit, Hornblende, Quarz, Plagioklas und Disthen. $\text{SiO}_2 = 52.88$ si = 147. Quartenschiefer, Frodalera, Lukmaniergebiet.
26. *Epidotführender Chloritalbitgneis* mit etwas Quarz und Sericit. $\text{SiO}_2 = 55.10$ si = 171. Grün, weissgefleckt. Quartenschiefer. Südlich Pordellia. Gegen das Val di Campo.
27. *Zoisit - Epidotführender Biotit - Sericitchloritalbitgneis*. Etwas Karbonat führend. Grün, weiss gefleckt. $\text{SiO}_2 = 47.89$ si = 116. Quartenschiefer. Val di Campo.
28. *Granat - Hornblendegarbenschiefer* mit Granat- und Hornblendeporphyroblasten im Grundgewebe von Sericit, Biotit, Quarz. $\text{SiO}_2 = 52.86$ si = 144. Quartenschiefer. Frodalera, Lukmaniergebiet.
29. *Epidotführender Granatglimmerschiefer* mit Biotit, Sericit und Akzessorien. $\text{SiO}_2 = 66.13$ si = 280. Quartenschiefer, nördlich ob Casaccia, Lukmanier - Scopigebiet. Siehe van Holst, loc. cit., Seite 30.
30. *Epidot-Zweiglimmerschiefer* mit Magnetit. Fast quarzfrei, etwas Karbonat. Pyritreich. $\text{SiO}_2 = 44.40$ si = 129. Quartenschiefer. Costagrat, Lukmaniergebiet.
31. *Granatbiotitschiefer*, Disthen führend mit Muscovit, etwas Zoisit und Chlorit. Stark verworren gefältelt. Grosse Granatporphyroblasten. Teilweise Plagioklas führend. $\text{SiO}_2 = 49.80$ si = 135. Quartenschiefer, Ostende von Campra, Lukmaniergebiet.
32. *Disthenführender Hornblende - Biotitschiefer*. Gut kristallisationsschieferig. $\text{SiO}_2 = 46.08$ si = 104.5. Quartenschiefer, zwischen Bronico und Frodalera, Lukmaniergebiet.
33. *Granatführender Hornblende-Biotitplagioklasgneis*. Porphyroblasten von Granat, Hornblende im Grundgewebe von Plagio-

klas + Zoisit, Epidot und Biotit (Chlorit) und Quarz. Etwas Disthen und Magnetit. $\text{SiO}_2 = 54.07$ si = 159. Quartenschiefer, Frodalera, Lukmaniergebiet.

34. *Epidot-Zweiglimmerschiefer*, quarzarm. Etwas Plagioklas führend. Biotit kleinporphyroblastisch. $\text{SiO}_2 = 42.61$ si = 96. Quartenschiefer. Alpe Carroreccio, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 627.
35. *Zoisit-Epidotreicher Chloritsericitbitgneis* mit etwas Biotit. Feinschiefrig. Grün, weiss gefleckt. $\text{SiO}_2 = 46.40$ si = 112. Quartenschiefer. Südlich Mti. Chalcherida. Val di Campo.
36. Schwarzer *Granatphyllit*, quarzreich. Nur wenig Biotit, Karbonat, Zoisit führend. $\text{SiO}_2 = 67.21$ si = 326. Südufer der Murinasciaschlucht, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 608.
37. Grobporphyroblastischer schwarzer *Granatsericitphyllit* mit Chloritoideinschlüssen. Sehr grosse Granate. Gefältelt. $\text{SiO}_2 = 37.29$ si = 84. Bündnerschiefer. Gipfel des Pizzo Corvo zwischen Lukmaniergebiet und Scopi.
38. Schwarzer *Granatphyllit*. Vielleicht etwas Stauolith enthaltend. $\text{SiO}_2 = 69.14$ si = 329. La Negra, Scopimulde. Siehe van Holst, loc. cit., Seite 52.
39. *Hornblende-Biotitschiefer*, noch ziemlich quarzreich, etwas Erz und Granat führend. Nematoblastisch. $\text{SiO}_2 = 47.32$ si = 111. Quartenschiefer zwischen Bronico und Frodalera, Lukmaniergebiet.
40. Karbonatführender *Epidot (Zoisit) - Biotit - Sericitalschiefer* mit Granat. $\text{SiO}_2 = 52.83$ si = 165. Val Rondadura, Scopimulde. Siehe van Holst, loc. cit., Seite 31.
41. *Hornblendegarbenschiefer* (Hornblende, Quarz, Biotit, etwas Plagioklas) (Spuren von Disthen, Erz, Turmalin). $\text{SiO}_2 = 53.38$ si = 140. Quartenschiefer. In Nähe von Bronico, südlich Pian di Segno, Lukmaniergebiet.
42. *Granat-Hornblende-Biotitschiefer* (untergeordnet etwas Disthen, Chlorit, Erz, Karbonat). Granat und Hornblende als Porphyroblasten. $\text{SiO}_2 = 55.92$ si = 165. Quartenschiefer. Nähe von Frodalera, Lukmaniergebiet.
43. *Epidotführender Karbonat-Biotitplagioklasgneis* mit Sericit. Sehr plagioklasreich mit rotbraunem Biotit. $\text{SiO}_2 = 44.40$ si = 125. Bündnerschiefer. Unterhalb Pijera, Val Sta. Maria, Lukmaniergebiet.

44. Albitführender *Karbonat-Biotitschiefer*. Gneisartig. $\text{SiO}_2 = 41.33$ si = 96. Bündnerschiefer bis Quartenschiefer. Felsen südlich Ospizio di Camperio, Lukmaniergebiet.
45. *Strahlsteinschiefer*. Fast nur aus Strahlstein und etwas (3 %) Quarz bestehend. $\text{SiO}_2 = 53.48$ si = 105. Trias. Mte Pii ob Camperio, Lukmaniergebiet.
46. *Biotit und Epidot führender Strahlsteinschiefer* mit Quarz und Calcit. Oft knauerartig auftretend. Nematoblastisch. $\text{SiO}_2 = 49.76$ si = 107. Grenze Quartenschiefer-Bündnerschiefer. Bei Punkt 1600 m. Lukmanierstrasse, Lukmaniergebiet.
47. *Strahlstein-Dolomit-Phlogopitschiefer* mit etwas Chlorit, Albit und Quarz. Fast massig, diablastisch. $\text{SiO}_2 = 39.55$ si = 81. Quartenschiefer. Hügel westlich Camperio, Lukmaniergebiet.
48. *Karbonat-Epidot-Sericitschiefer*. $\text{SiO}_2 = 53.87$ si = 193. Oberhalb Hospiz Santa Maria, Scopimulde, Lukmaniergebiet. Siehe van Holst, loc. cit., Seite 20.
49. *Dolomit-Biotitschiefer* mit Quarz und etwas Plagioklas. (Sehr untergeordnet Epidot, Muskovit, Turmalin, Rutil.) $\text{SiO}_2 = 28.12$ si = 57. Quartenschiefer. Östlich „La Motta“, Piora-gebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 641.
50. *Disthen- und Epidot-führender Dolomit-Biotitschiefer*. Ziemlich quarzführend. $\text{SiO}_2 = 28.85$ si = 59. Quartenschiefer. Südlich Alpe Piora. Siehe Krige, loc. cit., Seite 646.
51. *Karbonat-Zoisitgestein* mit Biotit, Quarz und Plagioklas. Schwarzgrauer Bündnerschiefer. $\text{SiO}_2 = 44.15$ si = 113. NW. der Alpe Ritom, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 645.
52. *Kalkphyllit*. $\text{SiO}_2 = 43.08$ si = 125. Ältere Analyse aus dem Scopigebiet.
53. *Schwarzer Knotenschiefer (Kalkphyllit)*. $\text{SiO}_2 = 46.06$ si = 128. Val di Campo, Scopimulde. Siehe van Holst, loc. cit., Seite 37.
54. *Kalkglimmerschiefer bis Kalkphyllit* mit Sericit, Biotit, Magnetit, Zoisit und Quarzlagen. $\text{SiO}_2 = 43.90$ si = 109. Penninische Bündnerschiefer. Gola di Sosto. Nördlich Olivone.
55. *Schiefriger Biotit und Sericit führender Kalkmarmor bis Kalkschiefer*. $\text{SiO}_2 = 18.06$ si = 33.5. Gola di Sosto. Nördlich Olivone. Penninische Bündnerschiefer.
56. *Kalkphyllit*. Mit Biotit, Sericit und Quarz. $\text{SiO}_2 = 43.17$ si = 120. Penninische Bündnerschiefer. Olivone.

57. *Phlogopit-Epidot-Dolomit*. $\text{SiO}_2 = 26.78$ si = 54. Trias. Nufenenpass. Westliches Gotthardmassiv.

II. Gesteine der Lucomagnodecke und der Molaremulde

58. Sehr *staurolithreicher Muscovit-Chloritschiefer* mit etwas Albit und Magnetit. $\text{SiO}_2 = 35.91$ si = 91. Lucomagnodecke. Praetriasisch. Punkt 2505, nördlich Pizzo Molare.
59. *Disthenführender Muscovitalbitgneis* (mit Granat, etwas Biotit, Chlorit, Epidot, Magnetit u. s. w.). Sehr schön gefältelt. $\text{SiO}_2 = 53.52$ si = 170. Lucomagnodecke. Praetriasisch. P. 2145. Östlich Predelpweg.
60. *Quarzreicher Magnetit-Muscovitschiefer* mit etwas Epidot, Biotit, Apatit, Zirkon. $\text{SiO}_2 = 47.05$ si = 132. Lucomagnodecke. Praetriasisch. Alpe Campo. Siehe Krige, loc. cit., Seite 584.
61. *Disthenführender Granatzweiglimmerschiefer* mit etwas natronreichem Plagioklas und Akzessorien. $\text{SiO}_2 = 66.33$ si = 300. Lucomagnodecke. Praetriasisch. Punkt 2100, südlich Frodalera.
62. *Granat-Disthen-Staurolith-Glimmerschiefer*. Quarzarm mit etwas Chlorit, Magnetit. Verworren gefältelt. $\text{SiO}_2 = 37.68$ si = 86. Lucomagnodecke. Praetriasisch. Punkt 2505, nördlich Pz. Molare.
63. *Zweiglimmerschiefer*. Quarzreich. Führt etwas Plagioklas, Karbonat, Epidot, Rutil, Apatit, Zirkon, Magnetit, Turmalin. $\text{SiO}_2 = 71.86$ si = 382. Lucomagnodecke. Praetriasisch. SE Lago Ritom. Siehe Krige, loc. cit., Seite 579.
64. *Granatmuscovitschiefer*. Quarzreich mit etwas Biotit und Erz. $\text{SiO}_2 = 64.73$ si = 297. Lucomagnodecke. Praetriasisch. Forca di Pineto. Siehe Krige, loc. cit., Seite 581.
65. *Epidot-Biotit-Amphibolit*. Mit Plagioklas, etwas Quarz, Disthen und Karbonat. $\text{SiO}_2 = 47.21$ si = 107. Lucomagnodecke. Praetriasisch. Passo Beretta.
66. *Granat-Sericitschiefer* mit Staurolith, Disthen, Biotit, Plagioklas, Chlorit, Zoisit. $\text{SiO}_2 = 48.42$ si = 148. Molaremulde. Quartenschiefer. Pz. Molare, Südweststrand.
67. *Disthenführender Epidot-Zweiglimmerschiefer* mit reichlich Albit. $\text{SiO}_2 = 56.50$ si = 175. Molaremulde. Quartenschiefer. NE Pz. Molare.

68. *Phlogopit-führender Dolomit* mit Turmalin. $\text{SiO}_2 = 47.46$ si = 140. Triasmarmor. Oberhalb Pinaderio.

III. Gesteine der Tremolaserie

69. *Granat-Zweiglimmerschiefer* mit Disthen, Staurolith. Porphyroblastisch. Sericitreiches Grundgewebe. $\text{SiO}_2 = 57.55$ si = 205. Bergsturz Sasso Rosso, Airolo. Tremolaserie. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 189.
70. *Granat-Zweiglimmerschiefer* mit Disthen, Staurolith. Porphyroblastisch. Chloritisch-sericitisches Grundgewebe. $\text{SiO}_2 = 41.48$ si = 106. Bergsturz Sasso Rosso, Airolo. Tremolaserie. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 189.
71. *Granat-Hornblendegarbenschiefen* mit Grundgewebe. Porphyroblastisch. $\text{SiO}_2 = 59.62$ si = 215. Bergsturz Sasso Rosso, Airolo. Tremolaserie. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 173.
72. *Hornblendegarbenschiefen* mit Hornblende- und Biotitporphyroblasten in quarz- und sericitreichem Grundgewebe mit etwas Na-reichem Plagioklas. $\text{SiO}_2 = 70.74$ si = 315. Motta Bartola, nördlich Airolo. Tremolaserie. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 172.
73. *Hornblendegarbenschiefen* mit chlorit-albitischem Grundgewebe. Etwas Epidot. $\text{SiO}_2 = 46.43$ si = 111. Bergsturz Sasso Rosso, Airolo. Tremolaserie. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 170.
74. *Granat- und Epidot-führender Biotitsericitschiefer*. Hornfelsartig. $\text{SiO}_2 = 55.68$ si = 182. Nordöstlich Airolo. Tremolaserie. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 190.
75. *Hornblendegarbenschiefen*. Porphyroblastisch. $\text{SiO}_2 = 55.92$ si = 166. Bergsturz Sasso Rosso, Airolo. Tremolaserie. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 171.
76. *Hornblende-Epidot-Biotitschiefer* mit Quarz, etwas Chlorit und Karbonat. $\text{SiO}_2 = 52.80$ si = 124. Val Tremola, Tremolaserie. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 181.
77. *Epidot-Biotitschiefer*. Mittlerer Quarzgehalt. Etwas Calcit, Erz. $\text{SiO}_2 = 45.44$ si = 116. Gotthardtunnel, 2889 m vom Südportal. Tremolaserie. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 191.
78. *Quarzführender Epidot-Oligoklasamphibolit*, mit etwas Biotit und Sericit. $\text{SiO}_2 = 48.69$ si = 120. Loser Block bei San Carlo, Pioragebiet. Tremolaserie. Siehe Krige, loc. cit., Seite 561.

79. *Amphibolit* mit Hornblende, Albit, Quarz, Biotit, etwas Chlorit, Epidot, Karbonat und Akzessorien. $\text{SiO}_2 = 45.72$ si = 111. Gotthardtunnel, 2750 m vom Südportal. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 180.
80. Etwas Epidot- und Plagioklas-führender *Quarz-Hornblende-schiefer*. $\text{SiO}_2 = 49.87$ si = 122. Poncioni Negri, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 565.
81. *Hornblendefels* mit geringen Mengen von Quarz, Biotit, Chlorit, Plagioklas, Karbonat, Epidot, Apatit, Rutil, Magnetit. $\text{SiO}_2 = 44.14$ si = 89. 2080 m S des ersten o von Corandoni, Pioragebiet. Siehe Krige, loc. cit., Seite 566.
82. *Zoisit-Amphibolit* mit etwas Plagioklas, Biotit u. s. w. $\text{SiO}_2 = 48.81$ si = 96. Val Tremola, Tremolaserie. Siehe Hezner, loc. cit., Seite 182.

IV. Gesteine der Tavetschermulde

83. *Schwarzer Chloritoidphyllit* mit Quarz, Chlorit, Sericit, kohlinger Substanz, Akzessorien. Typus Garvera 1. $\text{SiO}_2 = 73.54$ si = 496. Westlich Garvera. Tavetschermulde. Niggli, loc. cit., Seite 31/50.
84. *Tiefgrüner Chloritoidphyllit* mit chloritreichem sericitischem Grundgewebe. Chloritoid als Porphyroblast. Typus Val Naustgel. $\text{SiO}_2 = 56.89$ si = 207. Val Naustgel, Somvixertal. Tavetschermulde. Niggli, loc. cit., Seite 28/50.
85. Weisslichgrüner *Chloritoidphyllit* mit sericitischem Grundgewebe. Typus Nadèls. $\text{SiO}_2 = 49.91$ si = 169. Brücke Curaglia. Tavetschermulde. Niggli, loc. cit., Seite 23/50.
86. *Chlorit-Sericitphyllit*, Karbonat führend. Grauer Knötchenschiefer. Typus Solivabach. $\text{SiO}_2 = 65,19$ si = 300. Garvera W. Tavetschermulde. Niggli, loc. cit., Seite 32/50.
87. *Rotvioletter, hämatitreicher Sericit-Chloritschiefer*. Typus Runcahetz. $\text{SiO}_2 = 55.86$ si = 212. Garvera W. Tavetschermulde. Niggli, loc. cit., Seite 33/50.
88. Weisslichgrüner, grobporphyroblastischer *Chloritoidschiefer* mit sericitisch-quarzitischem Grundgewebe. Gröbster Typus Nadèls. $\text{SiO}_2 = 71.45$ si = 388. Östlich Tenigerbad, Val Somvix. Tavetschermulde.

89. Grüner *Chlorit-Sericitphyllit*. Knötcenschiefer. Typus Solivabach. $\text{SiO}_2 = 51.85$ si = 162. Brücke Curaglia. Tavetschermulde. Niggli, loc. cit., Seite 32/50.
90. Fleckig violettgrüner *Chloritoidphyllit*. Chlorit und Hämatit führend. $\text{SiO}_2 = 73.86$ si = 438. Typus Val Naustgel. Val Naustgel, Somvixertal. Tavetschermulde. Niggli, loc. cit., Seite 28/50.
91. Grober *Chloritoidphyllit* mit sericitisch-chloritischem, quarzreichem Grundgewebe. $\text{SiO}_2 = 71.45$ si = 372. Östlich Tenigerbad. Somvixertal. Tavetschermulde. Niggli, loc. cit., Seite 23/50.

C. Chemismus und Mineralbestand

Alle analysierten Gesteine sind ursprünglich Sedimente gewesen. Sie gehören den Reihen Ton-Sandstein, Ton-Dolomitmergel-Dolomit, Ton-Kalkmergel-Kalkstein, Kalkstein-Kalksandstein-Sandstein an.

Dadurch ist bereits die chemische Variabilität des Ausgangsmaterials eingeschränkt. Da Quarz ein Durchläufer ist, und die Grosszahl der neugebildeten Silikate SiO_2 -arm ist, spielt für die mineralogische Charakterisierung der SiO_2 -Gehalt eine nur sehr untergeordnete Rolle. Alle im Folgenden zu erwähnenden und leicht beweisbaren Gesetzmässigkeiten wären nicht ohne weiteres ersichtlich gewesen, wenn die si-Zahl gegenüber al, fm, c, alk nicht die durch die Berechnungsmethode gegebene Selbständigkeit besitzen würde. Die metamorphe Provinz ist ein Schulbeispiel dafür, wie notwendig eine molekulare Berechnungsweise ist, die SiO_2 einer festen Summe der übrigen Hauptoxyde gegenüberstellt. Die zur Berechnung der Eruptivgesteinsanalysen brauchbare Methode des Verfassers ist zur Deutung der chemischen Verhältnisse metamorpher und sedimentärer Gesteine vorzüglich geeignet.

Wenn wir zunächst von der si-Zahl absehen dürfen, sind es, da die Alkalien stets relativ niedrig bleiben, drei Zahlenwerte, die den Chemismus dieser Sedimentserie weitgehend bedingen. Das sind:

al—alk (Tonerdeüberschuss über Alkalien), fm und c.

Man könnte diese drei Zahlen auf die Summe 100 umrechnen und einem gleichseitigen Dreieck zuordnen. Dieses etwas umständliche Verfahren ist jedoch nicht notwendig. Alle notwendigen Beziehungen können überblickt werden, wenn man auf der Abszissenachse eines rechtwinkligen Koordinatensystems c selbst, auf der

Ordinatenachse $al - alk$ abträgt. Da die Summe $c + al - alk$ höchstens 100 sein kann (und das nur, wenn $fm = 0$, $alk = 0$), ist in Wirklichkeit gleichfalls nur ein Dreieck zu berücksichtigen. Es ist rechtwinklig; die Hypotenuse geht von $al = 100$ zu $c = 100$. Die Entfernung eines Punktes von der Hypotenuse gibt über die Grösse $fm + 2 alk$ Auskunft. Dieses Dreieck wird durch die Höhenlinie (45° -Linie) in zwei Teile geteilt. Der Teil gegen $al - alk = 100$ (d. h. $al = 100$) enthält Punkte mit $al > alk + c$. Es ist somit gegenüber $alk + c$ ein Tonerdeüberschuss vorhanden. Punkte auf der 45° -Linie entsprechen Analysen mit $al = alk + c$, Punkte des untern Teildreieckes weisen $c > al - alk$ auf, das heisst, es ist Kalküberschuss vorhanden.

Da neben Quarz tonige und limonitische Substanz, Dolomit und Calcit Ausgangsmaterialien sind, bleibt die Gegend in der Nähe der Hypotenuse vollständig frei von Projektionspunkten. Der Serie Ton - Dolomit, Ton - Kalkstein entsprechen Bänder, die von der Mitte der Ordinate zu $c = 50$ und $c = 100$ der Abszisse hin sich erstrecken. In gleicher Richtung müssen Tonerdemineralien durch Ca-Mg-Mineralien, beziehungsweise Ca-Mineralien, ersetzt werden. Diese Darstellung gestattet somit, die Sedimente und ihre metamorphen Produkte zweckmässig zu sondern.

Neben $al - alk$ und c sind noch zwei Grössen für die Klassifikation sehr wichtig, nämlich die Verhältniszahlen k und mg .

k ist von Bedeutung, weil in der zu betrachtenden Provinz in metamorphen Sedimenten nie Kalifeldspat beobachtet wurde, wohl aber Albit und Plagioklas bis gegen Labradorit hin. Die Kalimineralien sind Muscovit, Phlogopit und Biotit.

Als Natron führende Mineralien sind jedoch ausser den Plagioklasen vereinzelt Paragonitglimmer und in geringem Betrage blau-grüne Hornblende zu erwähnen.

mg ist wichtig, weil drei typische Aluminiumsilikate $Fe - Al$ -Silikate sind, nämlich Chloritoid, Staurolith und Granat. Die Hornblende indessen ist relativ eisenarm und magnesiumreich, und das fm der Klinozoisite bis Epidote ist zu klein, um einen wesentlichen Einfluss ausüben zu können. Die Glimmer enthalten stets mehr MgO als $Fe_2O_3 + FeO$. Eine Reihe von Mineralien dieses Gebietes wurden analysiert. Beistehende Tabelle zeigt die Resultate. Von weniger variablen Silikaten genügen Vergleichsanalysen aus anderen Gebieten. Entsprechende Molekularwerte sind anhangsweise erwähnt.

Gesteinsbildende Mineralien der metamorphen
Serie

	Biotit aus Granathit-schiefer Frodalera	Muscovit aus Glimmerschiefer Campra	Hornblendegarben- schiefer Tremola	Staurolith aus Staurolith-Disthen- schiefer Pizzo Forno	Granat aus Hornblendegarben- schiefer Pio: a	Granat aus Granatitgarben- schiefer Frodalera	Chloritoide	
SiO ₂	37.70	45.64	42.73	28.08	38.01	37.00	32.27	26.62
TiO ₂	1.99	1.81	1.37	.73	1.47	1.41	.89	.21
Al ₂ O ₃	19.97	33.59	22.73	51.90	19.15	19.47	33.87	37.56
Fe ₂ O ₃	.00	1.96	3.17	1.80	15.40	33.69	5.14	11.91
FeO	13.52	.38	7.62	13.39	16.90		19.82	13.70
MnO	Spur	.10	n. b.	n. b.	2.00	.14	n. b.	.04
MgO	14.98	2.33	8.59	2.08	2.99	3.41	1.16	2.67
CaO	.00	.00	9.64	—	5.07	6.89	.28	.00
Na ₂ O	1.18	1.59	2.18	—	—	—	.60	1.21
K ₂ O	7.82	8.81	.98	—	—	—	—	0.46
H ₂ O ⁺	2.83	3.89	.97	1.62	—	—	6.36	5.59
H ₂ O ⁻	.00	.00	.06	.11	.23	—	.18	.00
Analytiker si	99.99 73	100.10 141	100.04 89	99.91 57	101.22 78	102.01 75	100.57 75	99.97 55
al	22.5	61	28	66	23	23	46.5	46
fm	65.5	16.5	45	34	65.5	62	52	50.5
c	0	0	21.5	—	11.5	15	.5	—
alk	12	22.5	5.5	—	—	—	1	3.5
k	.82	.79	.22	—	—	—	—	.19
mg	.66	.66	.60	.20	.14	.17	.08	.16
ti	2.9	4.2	2.1	—	2.3	—	—	—
h	18.5	40	6.5	12	—	—	49.5	39
al — alk	10.5	38.5	22.5	66	23	23	45.5	42.5

Disthen (Staurolith-Disthenschiefer, Pizzo Forno)

si = 99 al = 99 fm = 1 al — alk = 99

Strahlstein (Strahlstein-Talkschiefer, Greina)

si = 109 al = 15 fm = 73 c = 25 alk = .5 k = .50 mg = .85
h = 12 al — alk = 1

Klinozoisit (Granatfels, Maigelstal)

si = 81 al = 36.5 fm = 10 c = 53.5 mg = .06 | h = 16 | al — alk = 36.5

Epidot (Granatfels, Maigelstal)

si = 80 al = 35 fm = 12.5 c = 52.5 | mg = .06 h = 14.5 | al — alk = 35

Aus der Zusammenstellung geht deutlich hervor, dass die Granate vorwiegend Almandinmolekül und nur untergeordnet Andradit-, Pyrop- und Grossularmolekül enthalten. Sowohl im

Biotit wie im Muscovit ist $\frac{2}{3}$ von fm MgO. In der Hornblende und dem Strahlstein überwiegt gleichfalls MgO über FeO.

Neben dem (al—alk)/c-Diagramm wird daher das k/mg-Diagramm von Bedeutung sein. In der Tat gelingt es, mit Hilfe beider Darstellungsmethoden die Abhängigkeit des neugebildeten Mineralbestandes vom Chemismus eindeutig darzutun.

Wir wollen die Gesteine, deren Analysen durch die Tabellen I und II gegeben sind, in vier Gruppen einteilen:

1. Hochmetamorphe Gruppe, relativ magnesiumreich
2. Hochmetamorphe Gruppe, relativ eisenreich
3. Hochmetamorphe Gruppe, Fe—Mg-reich
4. Gruppe etwas schwächerer Metamorphose.

1. Hochmetamorphe Gruppe, relativ magnesiumreich

a) Bei grossem Tonerdeüberschuss entsteht der Typus der *Disthen-Biotitschiefer* und *Disthen-Zweiglimmerschiefer*. Aus den Analysen 11 und 14 ergibt sich:

Typus *Disthen-Glimmerschiefer*

si	al	fm	c	alk	k	mg	al—alk
250—350	60	23	6	11	.8	.6	49

b) Bei niedrig bleibendem c, aber geringerem Tonerdeüberschuss entstehen die *Disthen-führenden Zweiglimmerschiefer* oder *Phyllite*, die zumeist auch etwas Klinozoisit-Epidot enthalten. Bei höherem Alkaligehalt ist auch Albit bemerkbar. Aus den Analysen 4, 6, 10, 59 ergibt sich:

Typus *Disthen-führende Glimmerschiefer*

si	al	fm	c	alk	k	mg	al—alk
90—220	43	40	3.5	13.5	.8	.5—.7	29.5

Etwas c-reicher ist Nr. 67.

Disthen-Epidot-führender Glimmerschiefer

si	al	fm	c	alk	k	mg	al—alk
175	41.5	37	10	11.5	.6	.7	30

c) Normale *Zweiglimmerschiefer*, meist mit etwas Epidot, jedoch ohne Disthen in erheblichen Mengen, bei stark wechselndem si-Gehalt finden sich in den Nummern 1, 12 und 63.

Typus *Zweiglimmerschiefer*

si	al	fm	c	alk	k	mg	al—alk
85—390	34—42	31—53	1.5—6.5	11—21	.8—.9	.4—.7	um 21

d) Bereits kalkreicher sind die typischen *Epidot-Zweiglimmer-* und *Epidot-Biotitschiefer* (Nr. 30, 34, 77). Bei Nr. 30 mit mg .34

ist zu bedenken, dass relativer hoher S-Gehalt vorhanden ist. Nach Abzug von FeS_2 wird auch hier mg höher.

Typus *Epidot-Glimmerschiefer*

si	al	fm	c	alk	k	mg	al — alk
um 100	33	38	18	11	.8	.5—.6	22

Die Hornblende führenden Gesteine zerfallen in mehrere Gruppen. Ist k relativ hoch, so entstehen Hornblende-Biotitschiefer, hie und da mit Disthen oder Epidot. Ist k relativ niedrig, so tritt Biotit zurück, oft tritt etwas Chlorit und Plagioklas auf; es entstehen die typischen Hornblendegarbenschäfer, Hornblende-Plagioklasgneise, Hornblendefelse und schliesslich die Amphibolite. Da in der Tremolaserie teilweise Natronzufuhr nachzuweisen ist, kann eine alkalireiche von einer alkaliarmen Gruppe unterschieden werden.

e) *Hornblende-Biotitschiefer*

Nr.	si	al	fm	c	alk	k	mg	al — alk
21.	197	38	40	8	14	.8	.5	24
32.	105	29.5	48.5	15.5	6.5	.6	.7	23

f) *Alkaliarme Hornblendegarbenschäfer*

Nr.	si	al	fm	c	alk	k	mg	al — alk
73.	111	33.5	44	10.5	12	.1	.7	21.5
41.	140	27	43.5	22	7.5	.3	.7	19.5

g) *Natronreiche Hornblendegarbenschäfer* (Nr. 72 und 75)

	si	al	fm	c	alk	k	mg	al — alk
Typus	160—320	33	33	13	21	.1—.2	.5	12

h) Sehr hornblendereiche *Hornblendeschäfer* bis *Hornblendefelse* (Nr. 76, 80, 81)

	si	al	fm	c	alk	k	mg	al — alk
Typus	80—125	16	57	21.5	5.5	.2—.3	.4—.6	um 10

i) mg-reiche *Amphibolite*

Nr.	si	al	fm	c	alk	k	mg	al — alk
65.	107	26	42.5	22	9.5	.4	.65	16.5

Epidot-Biotitamphibolit siehe Nr. 41

Zoisit-Amphibolit

82.	96	17	47.5	34	1.5	.3	.9	15.5
-----	----	----	------	----	-----	----	----	------

Bei niedrigem al- und hohem c-Gehalt wie bei Analyse Nr. 82 stellt sich in der jungsedimentären metamorphen Zone gerne Strahlstein ein. Karbonat bleibt gewöhnlich teilweise zurück. Phlogopite sind für hohen, Epidot und gewöhnlicher Biotit für mittleren k-Gehalt charakteristisch (Nr. 46, 47).

k) *Strahlsteinführende Gesteine* mit Mg-Glimmer + Karbonat, Epidot u. s. w.

	si	al	fm	c	alk	k	mg	al—alk
Typus	um 100	17.5	46.5	33	3	.4—.7	.75	14.5

l) Reiner *Strahlsteinschiefer* (Nr. 45) ergibt:

si	al	fm	c	alk	k	mg	al—alk
105	5.5	67	25	2.5	.25	.8	3

m) Bereits bei einem c-Gehalt um 20 ist oft der Umsatz der Karbonate mit Al_2O_3 , RO und SiO_2 zu Silikaten kein vollständiger.

Nr. 44 und 54 sind solche *Biotit-führende Kalkglimmerschiefer* mit CO_2 um 25.

Biotit-Kalkglimmerschiefer

	si	al	fm	e	alk	k	mg	al—alk
um 100	19	49	24	8		.7—.9	.5—.7	5—16.5

Phlogopit-Dolomit Nr. 68

140	26	41.5	19.5	13	.96	.64	13
-----	----	------	------	----	-----	-----	----

Die eigentlichen Karbonatschiefer zerfallen in eine dolomitreiche und eine kalksteinmergelige Gruppe.

n) Die dolomitische Gruppe weist ähnliche al-, fm-, c-, alk-Zahlen auf wie die strahlsteinführenden Gesteine. Ein niedriger SiO_2 -Gehalt verhindert die Grammatit- oder Strahlsteinbildung. Phlogopitischer Biotit, Epidot, Sericit, eventuell Disthen sind neben Karbonat wichtige Gemengteile.

Dolomit-Biotitschiefer \pm Epidot, Disthen.

	si	al	fm	c	alk	k	mg	al—alk
Typus	50—60	10	47.5	39	3.5	.6—.8	.9	6.5

Ein Karbonat-Epidotsericitschiefer (Nr. 48) ergab:

	si	al	fm	c	alk	k	mg	al—alk
193	15	39	39.5	6.5		.68	.66	8.5

o) Ein *Karbonat-Zoisitgestein* mit Biotit, Quarz, Plagioklas ist ein metamorpher Kalkmergel:

	si	al	fm	c	alk	k	mg	al—alk
Gestein 51	113	24	29	41.5	5.5	.67	.59	18.5

Bereits den Kalksteinen nähert sich ein schwarzer *Knotenschiefer* (Kalkphyllit). ($CO_2 = 54$.)

	si	al	fm	c	alk	k	mg	al—alk
Gestein 53	128	11	19.5	65.5	4	.64	.65	7

In Figur 1 sind im (al—alk)/c-Diagramm die Verhältnisse dargestellt. Die Reihe Glimmerschiefer-Disthenglimmerschiefer ist bei niedrigem c durch zunehmenden Tonerdeüberschuss bedingt. Zu-

nehmender c-Gehalt lässt Epidot (Klinozoisit bis Epidot) auftreten. Bei relativ hohem fm oder niedrigem al-alk beginnt schon bei c um 8 herum Hornblende als Neubildung zu erscheinen.

Das Gebiet der hornblendereichen Gesteine, insbesondere der Garbenschiefer und Hornblendeschiefer (Mergel), reicht bis etwa c = 25.

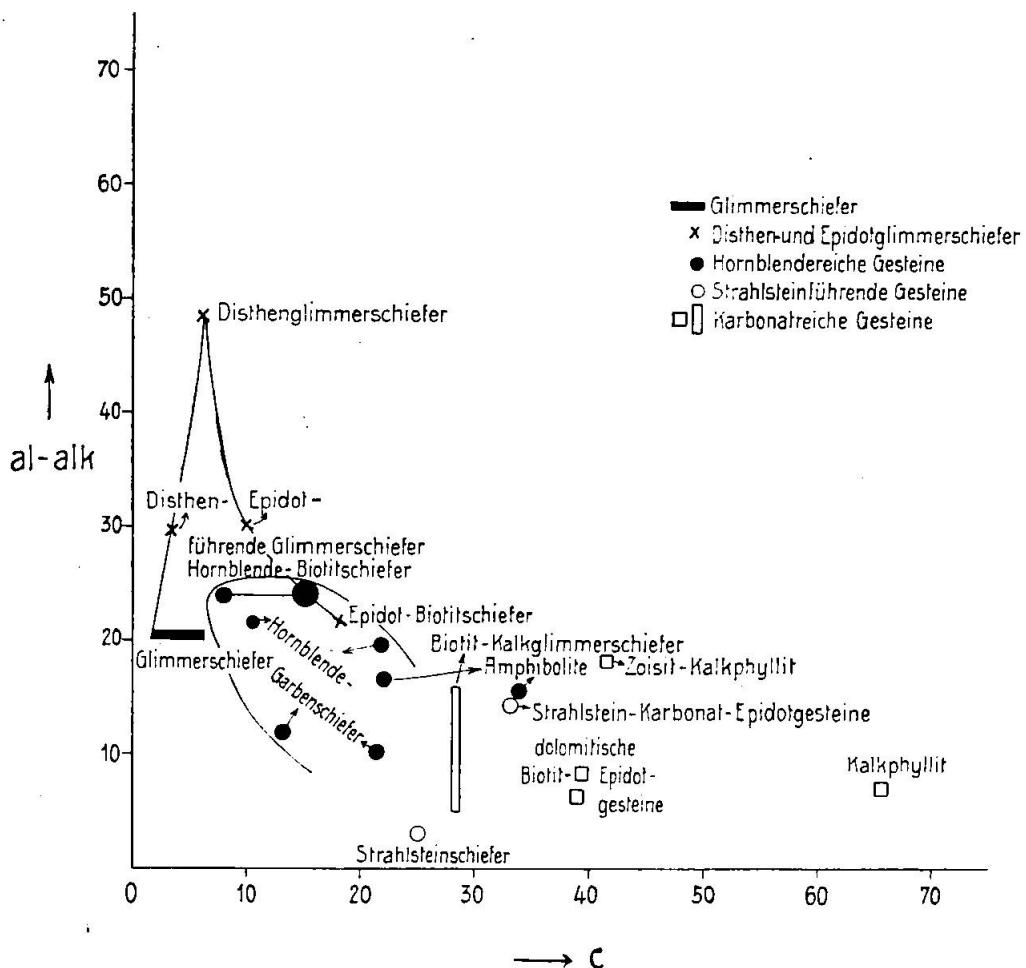


Fig. 1. Hochmetamorphe Gruppe, relativ magnesiumreich.
(al-alk)—c-Diagramm.

Abgesehen von den Al-armen Strahlsteinschiefern und dem intensiver metamorphen Zoisitamphibolit der Tremola, findet man bei Gesteinen mit $c > 25$ im allgemeinen (neben Glimmermineralien, Zoisit-Epidot, eventuell Disthen und Plagioklas) noch reichlich Karbonat.

Es sind somit die Tonschiefer völlig ummineralisiert zu Glimmerschiefern \pm Disthen, Epidot. Die tonigen Mergel und insbesondere die Dolomitmergel weisen als Neubildungen Epidot, Hornblende, Biotit, Muscovit, Strahlstein, eventuell Plagioklas und Chlorit auf. Bei nicht zu hohem, ursprünglichem Karbonatgehalt

ist die Silikatbildung eine vollständige, bei hohem Karbonatgehalt und relativ niedrigem SiO_2 -Gehalt ist Karbonat (Entdolomitisierung oft deutlich!) noch wesentlicher Bestandteil. Die Beziehung zum Chemismus der neugebildeten Mineralien ist durch die Figur 2 veranschaulicht. Sie enthält die Projektionspunkte der in Frage stehenden Mineralzusammensetzungen.

Ein Vergleich von Figur 1 mit Figur 2 spricht für sich selbst.

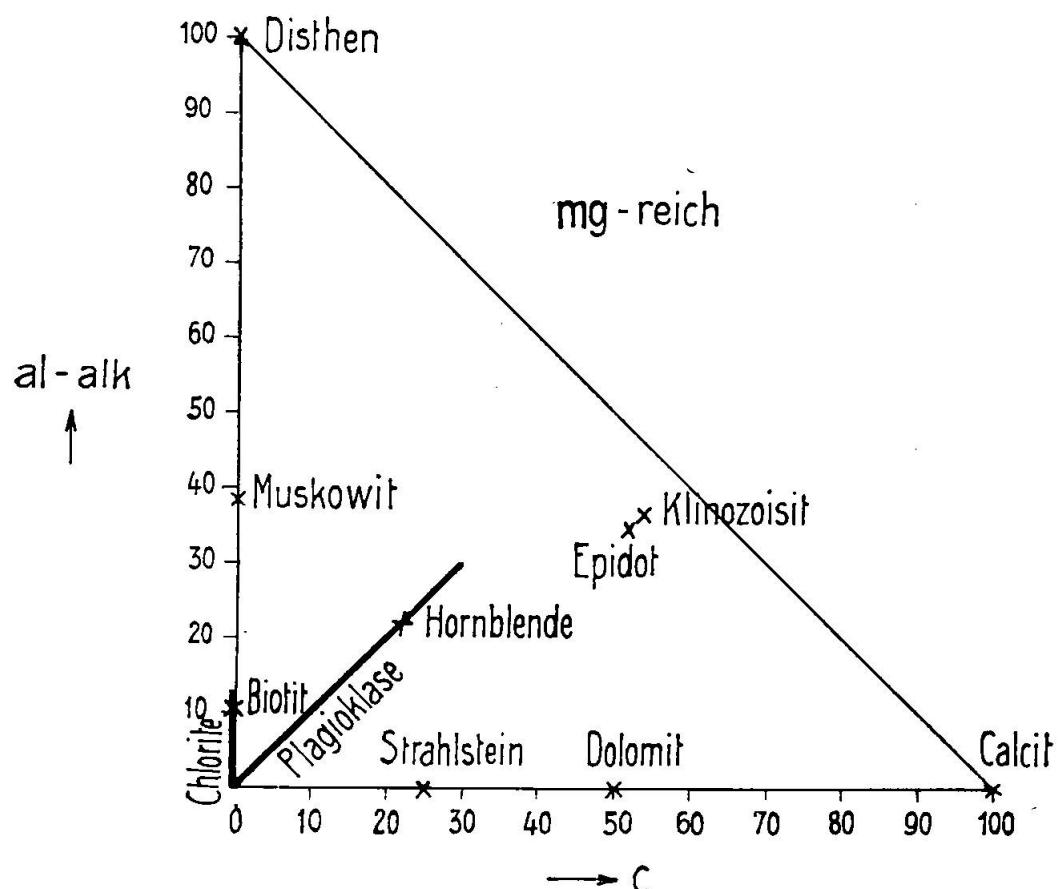


Fig. 2. Wie Fig. 1. Projektionspunkte der Hauptmineralien eingezeichnet.

2. Hochmetamorphe Gruppe, relativ eisenreich

Da Staurolith hohes al-alk besitzt, findet man bei hohem Tonerdeüberschuss Staurolith (neben Disthen) als Leitmineral. An Stelle der Hornblende tritt Granat (eisenreich) auf.

a) Typus der *Staurolith*- und *Staurolith-Disthenschiefer* und -*Felse* (Nr. 7, 9, 59).

	si	al	fm	c	alk	k	mg	al-alk
Typus	70—170	58	29	3	10	.4—.8	.2	48

Einzelne steht der *Staurolith-Paragonitschiefer* Nr. 5 da mit:

si	al	fm	c	alk	k	mg	al-alk
508	66	10	3.5	14.5	.11	.08	51.5

b) Es folgt nun die durch sehr viele Analysen belegte, grosse Gruppe der *Staurolith-Granatglimmerschiefer*, *Granatglimmerschiefer*, *Granat-Epidotglimmerschiefer* \pm Disthen, Chlorit, sowie der analogen *Albit-* oder *Plagioklasgneise*.

Unter den etwa 20 hiehergehörigen Gesteinen seien erwähnt die Nr. 13, 16, 18, 19, 22, 24, 29, 31, 36, 37, 38, 61, 62, 64, 66, 69, 70, 74.

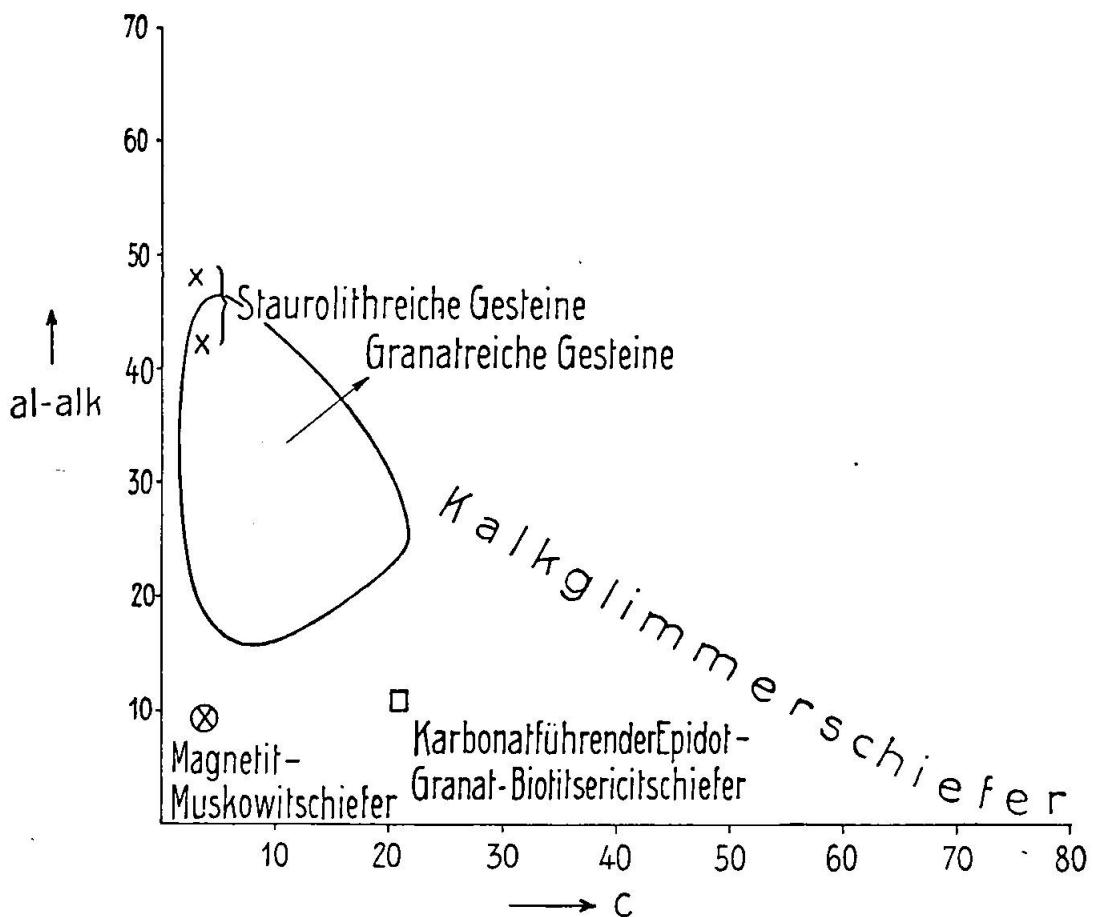


Fig. 3. Eisenreiche, hochmetamorphe Gruppe im (al-alk)-c-Diagramm.

Es variieren bei diesen Gesteinen:

si	von	74	bis	329	k	von	.27	bis	.97
al	"	34	"	53.5	mg	"	.02	"	.43
fm	"	22.5	"	61.5	al-alk	"	18	"	45
c	"	4	"	19					

In Figur 3 ist das Feld, das die Projektionspunkte umfasst, eingezeichnet.

c) Bei niedrigem al-alk stellt sich statt Staurolith und Granat reichlich Magnetit ein.

Magnetitmuscovitschiefer Nr. 60.

si	al	fm	c	alk	k	mg	al — alk
132	19	67	4	10	.88	.14	9

d) Nicht sehr mg-reiche Amphibolite gehören nur der Tremolaserie an (78, 79).

Typus Amphibolit	si	al	fm	c	alk	k	mg	al — alk
	116	20	50	21	9	.3	.45	11

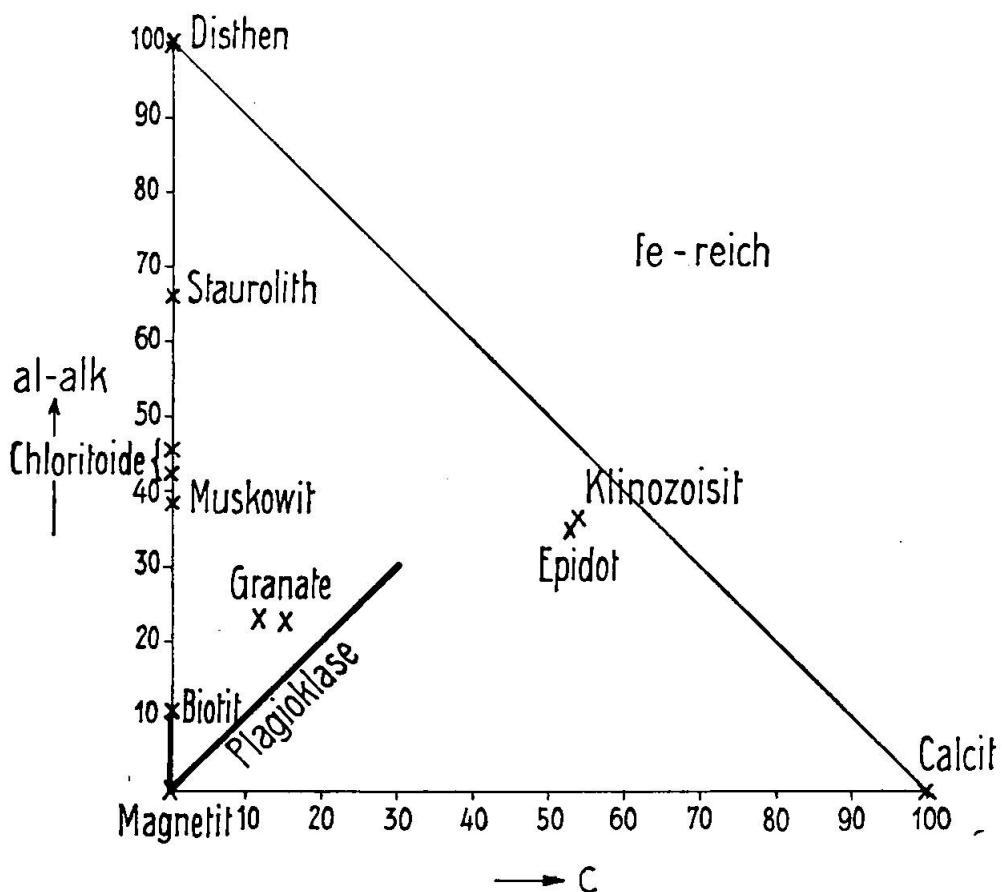


Fig. 4. Mineralien der eisenreichen Gruppe im (al-alk)—c-Diagramm.

e) Ein chemisch ähnliches Gestein der Scopimulde (Nr. 40) ist noch als Karbonat führender Epidot-Biotitsericitschiefer mit Granat entwickelt, da k viel grösser ist.

si	al	fm	c	alk	k	mg	al — alk
165	22.5	45	20.5	12	.89	.36	10.5

f) Die Kalkglimmerschiefer sind durch die Analysen Nr. 43, 52, 55 und 56 vertreten.

Unter Weglassung der etwas höher metamorphen Amphibolite der Tremolaserie zeigt die Figur 3 die einfachen, leicht überblickbaren Verhältnisse. Der Zusammenhang mit dem Mineralchemismus geht aus Figur 4 hervor.

3. Hochmetamorphe Gruppe, Mg-Fe-reich

Die mannigfältigsten Gesteine stellen sich an der Grenze zwischen Gruppe 1 und 2 ein bei mittlerem mg.

Besonders typisch sind die *Granat-Hornblendegarbenschiefen*, die oft noch etwas Staurolith und Disthen enthalten.

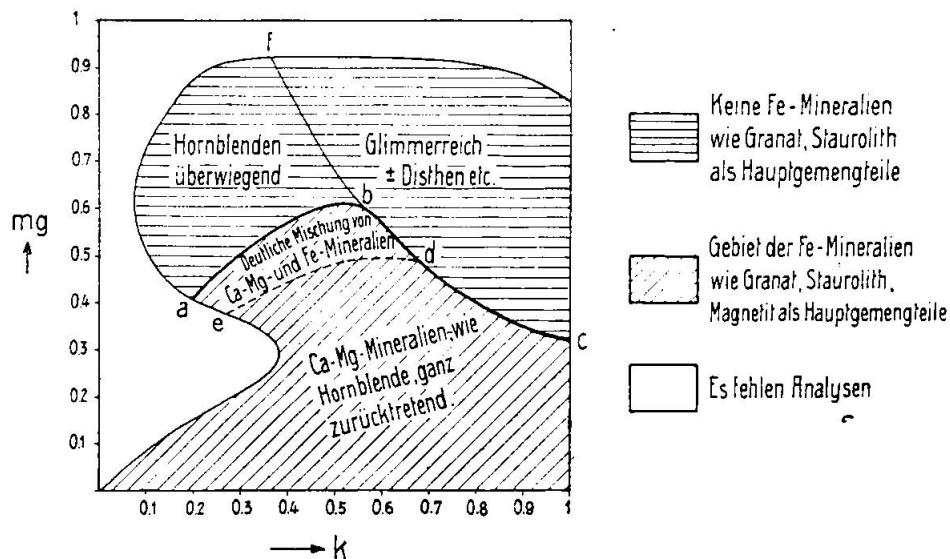


Fig. 5. k-mg-Diagramm, Gesteinstrennung.

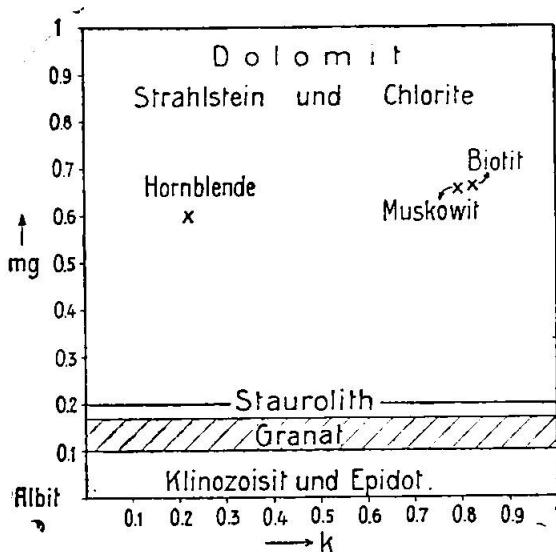


Fig. 6. k-m-Diagramm. Mineralörter.

Es mögen z. B. die Analysen 28, 33, 42, 71 in Betracht gezogen werden. Meistens ist auch al-alk etwas höher als bei den einfachen Hornblendegarbenschiefen. Im (al-alk)/c-Diagramm fallen sie fast ausnahmslos in das Feld der Granatgesteine.

Wie sich Gruppe 1 und 2 im k-mg-Diagramm abgrenzen, zeigt Figur 5. a b d c ist die obere, e d c die untere Grenzlinie. Die

wichtigsten Gesteine der dritten Gruppe (Mischgruppe) gehören dem Streifen a b d e an.

Die Beziehungen der k-mg-Verhältnisse der Hauptmineralien gehen aus Figur 6 hervor, die somit zugleich Figur 5 erläutert.

4. Gruppe etwas schwächerer Metamorphose

Am Nordrande des Gotthardmassives, in der Tavetschermuldenzone, treten Staurolith, Granat, Biotit, Hornblende nicht auf.

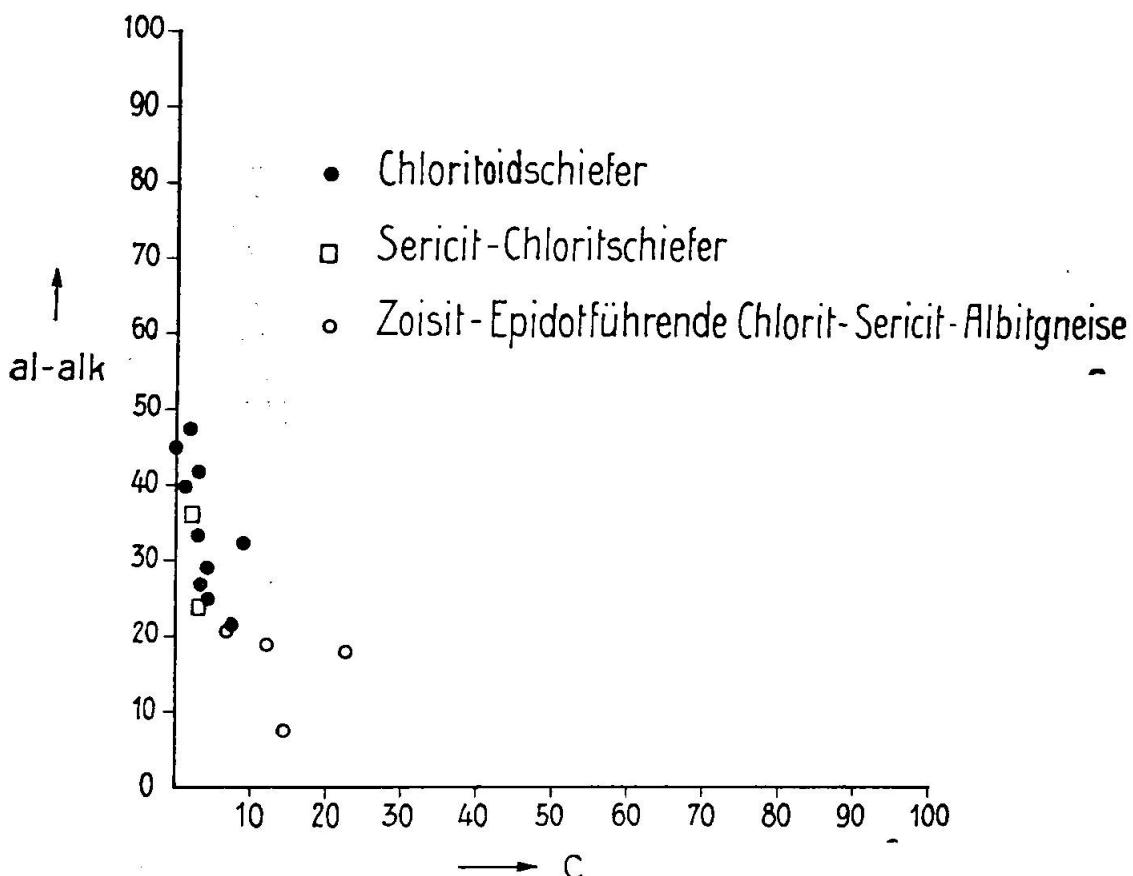


Fig. 7. (al-alk)-c-Diagramm der weniger metamorphen Gruppe.

Als Mg-Mineral ist Chlorit, als Fe-Mineralien sind Chloritoid, Hämatit, Magnetit vorhanden. Diese früher beschriebenen Gesteine gehören den gleichen stratigraphischen Horizonten an wie die postpermischen Gesteine der südlichen Muldenzone. Nun gibt es auch im Gebiet der südlichen inneren Mulden (Scopi, Val di Campo u. s. w.) ähnliche Gesteine mit Chloritoid. Anderorts ist Chloritoid relikтив erhalten. Allerdings ist hier die Metamorphose meistens als Ganzes stärker. So ist Nr. 3 ein prachtvoller *Chloritoid-Zweiglimmerschiefer*, während, wie bereits betont, im nördlichen Gebiet Biotit nicht als Neubildung auftritt.

Im Val di Campo reihen sich bei höherem c-Gehalt weiss-gefleckte Grüngesteine an, die im wesentlichen *Zoisit-Epidot-führende Chlorit-Muscovitalbitgneise* sind (Analysen 17, 26, 27, 35).

Bei mittlerem k und einem mg von .5 bis .65 ist fm hoch (51—61); al—alk = 7.5—22.5; c = 7—18.

Hornblende hat sich hier nicht gebildet.

Figur 7 zeigt den Zusammenhang zwischen Chloritoidschiefern, Sericit-Chloritphylliten und diesen Albitgneisen.

Chlorit-Albit, Chloritoid ersetzen somit hier teilweise Biotit, Hornblende und Staurolith-Granat.

Während die Gesteine der Gruppen 1, 2, 3 als mesozonal (mit geringen Anklängen gegen die Epizone hin) zu bezeichnen sind, müssen die Gesteine der Gruppe 4 als epizonal mit Übergängen zur Mesozone charakterisiert werden.

D. Zusammenfassung

Ein genaues Studium der Analysentabelle mit Hilfe der vorangehenden Bemerkungen und der graphischen Darstellungen wird überzeugen, dass in grossen Zügen die ausserordentliche Mannigfaltigkeit des metamorphen sedimentären Komplexes am Südrande des Gotthardmassives als Folge der chemischen und physikalischen Verhältnisse verstanden werden kann. Die Mehrzahl der Gesteine gehört einer im Grossen isophysikalischen Gesteinsserie an. Sie ist in seltener Vollständigkeit analytisch-chemisch und mineralogisch durchforscht. Wir würden sie, abgesehen von Struktur und Textur, kurz wie folgt charakterisieren:

1. Ausgangsmaterial. Karbonische bis jurassische Sedimente, besonders mannigfaltig die an die Trias anschliessenden. Kalkstein, Dolomit, Sandstein, Mergel der verschiedensten Art, Tone lagen vor.

2. Metamorphose. Hauptmetamorphose = alpine Dislokationsmetamorphose höchsten Grades zwischen Zentralmassiven und penninischen Decken. Die karbonischen Gesteine hatten bereits eine leichte Metamorphose, z. T. mit Natronzufuhr, hinter sich. Der jetzige Mineralbestand ist jedoch in der Hauptsache der gleiche, wie ihn die Gesteine aufweisen (Perm—Jura), die nur die Dislokationsmetamorphose der alpinen Faltung erlitten haben. Die Metamorphose ist weit überwiegend konstruktiv. Neubildungen beherrschen das Gesteinsbild.

3. Die physikalisch-geologischen Umstände waren derart, dass folgender typomorpher Mineralbestand als Ganzes sich ergab:

- a) Kalihaltige Mineralien: *Biotite*, meist mg-reich; *Muscovit* bis *Sericit*; kein Kalifeldspat.
- b) Natronhaltige Mineralien: *Albit* bis mittelbasischer *Plagioklas*, untergeordnet *paragonitischer Glimmer*. Natronhaltige, blaugrün-pleochroitische *Hornblende*.
- c) *Disthen* als Aluminiumsilikat.
- d) Fe-Al-Silikate: *Staurolith*, *Granat*, unter Umständen *Chloritoid*.
- e) Mg- und Mg-Ca-Silikate: *Hornblende*, *Grammatit* bis *Strahlstein*, ferner *Biotit*, *Phlogopit* und unter Umständen *Chlorit*.
- f) Als Durchläufer bei Anwesenheit von CaO , Al_2O_3 , SiO_2 tritt *Zoisit*, *Klinozoisit* bis *Epidot* auf. Fraglich ist das Auftreten *margaritischer Glimmer* (Grubenmann) und *Kalksprödglimmer* (van Holst). *Plagioklas* als Neubildung ist bereits erwähnt worden.
- g) *Quarz*, *Eisenoxyde*, *Rutil*, neugebildeter umkristallisierter *Turmalin* sind Durchläufer.
- h) Entdolomitisierung der Karbonate ist häufig. Bei Mangel an übrigen Bestandteilen oder bei etwas geringerer Beanspruchung treten jedoch *Calcit* und *Dolomit* in den Mineralbestand ein.

4. Chemismus und Gesteinstypen. Die Zusammenstellung der Analysen sowie die graphischen Darstellungen zeigen, dass innerhalb dieser Gesteinsserie der resultierende Mineralbestand durch den Ausgangschemismus bedingt ist. (al—alk), c, fm, k, mg sind die weitaus wichtigsten Größen. Es ist gelungen, die Gesetzmäßigkeiten zu finden, die den Hauptmineralbestand bedingen. Genau so, wie eine Eruptivgesteinsprovinz durch analytisch-chemische Daten charakterisiert werden kann, gilt dies für metamorphe Provinzen, sofern die alle Einzelmineralien bedingenden, physikalischen Umstände bekannt sind. In diesem Sinne mögen die vorangehenden Darlegungen als Beispiel der chemischen Durchforschung einer metamorphen Grossprovinz angesehen werden.

Mineralogisch-petrographisches Institut der E. T. H.

Manuskript am 8. März 1929 eingegangen.