

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band: 30 (1950)
Heft: 2

Vereinsnachrichten: 25ème Assemblée générale et Jubilé de la Société suisse de
Minéralogie et de Pétrographie à Davos du 25 août au 28 août 1950

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: 27.01.2026

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

25ème Assemblée générale et Jubilé de la Société suisse de Minéralogie et de Pétrographie à Davos

du 25 août au 28 août 1950

A. Rapport du comité (année 1949)

L'année 1949 n'a pas apporté à notre Société d'événements marquants, si ce n'est la préparation du Jubilé de 1950.

La 24ème assemblée générale, réunie à Lausanne, avait voté l'adhésion de notre Société à l'Union internationale de Cristallographie. En acceptant notre adhésion, l'Union créée sous les auspices de l'UNESCO nous donnait à entendre que notre Société, représentant officiellement la Suisse, devait jouir de l'appui de notre Gouvernement. C'est dans ce dessein que, par l'intermédiaire du Comité central de la Société helvétique des Sciences naturelles, nous avons demandé au Département fédéral de l'Intérieur de joindre l'Union internationale de Cristallographie au nombre des Unions dans lesquelles la Suisse est officiellement représentée.

Au cours de l'année écoulée nous avons accepté les membres suivants:

1. Emmons R. C., Science Hall, Madison, Wisconsin, U.S.A.
2. Kaitaro Simo, Runebergink 48, Helsinki, Finlande.
3. Kutina Jan, Dr, Université Charles, Albertov 6, Prague II.
4. Mercier Pierre, Tolochenaz, Morges, Vaud.
5. Möschlin Felix, Dr. h. c., Brissago, Tessin.
6. Pearl R. M., Prof., Dept. of Geology, Colorado Springs, U.S.A.
7. Resch A., Dr., Zollikon, Zürich.
8. Stroehle Max, Hohlstrasse 281, Zürich.
9. Vallet Jean-Marc, Dr., Rue de la Martinière 6, Chêne-Bourg, Genève.
10. Woodtli R., c/o Soc. des Mines d'Or de Kilo-Moto, Kilo, Congo belge.
11. Néhézipari Miniszterium, Budapest.
12. Dept. of Mineralogy, Harvard University, Oxford Street, Cambridge, Mass., U.S.A.
13. Service géologique du Congo belge, Bureau de Costermansville, Congo belge
14. Polskie Towarzystwo Geologiczne, SW. Anny 6, Krakow, Pologne.
15. Institut de Géologie de l'Université, Neuchâtel.

Le nombre des membres démissionnaires ou radiés en vertu de l'article 11 des statuts s'élève à 14.

Nous avons eu le regret de perdre 4 de nos membres, certains parmi les plus éminents:

SOLL

Rückstellungen lt. Betriebsrechnung 1948 . . .	7 124.85
Leistungen der Mitglieder:	
Ausstehende Beiträge	Fr. 1 056.20
Beiträge 1949	„ 5 000.30
Beiträge für 1950 u. ff.	„ 121.80
Beiträge der Autoren	4 985.83
Guthaben bei Autoren	1 262.10
Beitrag Fa. Lonz AG. an Druckkosten	1 500.—
Zinserträge: Obligationen	Fr. 523.25
Sparheft	„ 92.50
Rückvergütung der Verrechnungssteuer	130.20
Rückzahlung von Obligationen	100.—
Verkauf von „Mitteilungen“	10 258.25
Verkauf der Festschrift (1948 u. 1949)	698.75
Inserat in den „Mitteilungen“	150.—
	<u>33 004.03</u>

Betriebsrechnung

Fr.

Vorausbezahlte Mitgliederbeiträge	121.80
Ausstehende Beitr. d. Autoren lt. Rechgl. 1948	1 055.78
Kosten f. SMPM, Hefte 1948/2 und 1949/1:	
Druck	Fr. 9 050.40
Separata	„ 1 709.80
Zeichner und Clichés	„ 540.95
	11 301.15
Spesen: Postcheck	Fr. 15.80
Bank	20.90
Verwaltung	473.54
Vorbereitung Jubiläum	44.50
Verlag	589.60
	1 144.34
Gutschrift auf Wertschriften-Konto	100.—
Rückstellung für Heft 1949/2	8 000.—
Rückstellung für Register	2 000.—
Kapitalisierung v. Beiträgen lebensl. Mitglieder	300.—
Aktiv-Saldo	8 980.96
	<u>33 004.03</u>

Bilanz per 31. Dezember 1949

	SOLL	HABEN
	Fr.	Fr.
Postcheck	4 351.13	
Kassa	102.85	
Bank	2 200.—	
Wertschriften	30 768.80	
Debitoren	1 262.10	
Kreditoren (Guthaben Druckerei)	5 451.30	
Transitorische Passiven	8 121.80	
Kapitalkonto p. 1.1.49	24 733.42	
Rückstellg. f. Register	2 000.—	
Kapitalisg.-Beiträge		
lebensl. Mitglieder	300.—	
Betriebsgewinn per		
31. 12. 49	8 980.96	
	<u>44 136.18</u>	<u>44 136.18</u>

Wertschriftenverzeichnis

	Fr.
3 % Eidg. Anleihe 1903	1 000.—
3½ % Eidg. Anleihe 1932	2 000.—
3½ % Eidg. Anleihe 1942	10 000.—
3 % SBB 1903 diff.	1 000.—
3½ % Kanton Basel-Stadt 1943	2 000.—
3½ % Kanton Genf 1943	5 000.—
3 % Kantonalbank Schwyz	500.—
Zinstragende Ersparniskasse Basel	9 268.80
	<u>30 768.80</u>

*) davon: Fonds Fr. J. Th. Erb 15 000.—
 Unantastbares Kapital 4 000.—
 Rückstellung für Register 4 000.—

Dr. Frédéric-Noël Ashcroft de Londres, dont la notice nécrologique a paru dans le 2ème fascicule de notre Bulletin de 1949.

Prof. Max Berek de Wetzlar, dont la notice nécrologique paraîtra dans le 2ème fascicule de notre Bulletin de 1950.

Dr. Paul Kelterborn de Bâle, membre de notre Société dès sa fondation.

Dr. F. Liebl de Bâle.

L'état nominatif de nos membres (comparé à celui de 1948) s'établit comme suit:

Membres	suisses	étrangers	Total
personnels	135 (137)	56 (58)	191 (195)
impersonnels	25 (24)	57 (57)	82 (81)
Total	160 (161)	113 (115)	273 (276)

Bericht des Redaktors. Im Jahre 1949 erschien Band 29 der Schweizerischen Mineralogischen und Petrographischen Mitteilungen. Der Band umfasst 569 Seiten (gegenüber 778 bei Band 28), ferner 161 Textfiguren, 6 Tafeln mit Karten und Profilen, wovon 3 mehrfarbig, 5 Tafeln mit 16 Photos. Von den 16 Abhandlungen betreffen 2 allgemeine Mineralogie, 4 spezielle und regionale Mineralogie, 6 regionale Petrographie, 2 Geophysik und 2 Nachrufe. Eine der Abhandlungen ist französisch, die übrigen deutsch abgefasst. Drei Arbeiten sind zugleich Dissertationen. Referate der Jahresversammlung in Lausanne gelangten 9 zum Abdruck (2 deutsch, 7 französisch).

Herrn Prof. Déverin sei für die Redaktion der französischen Texte, Herrn Prof. Parker für die Durchsicht der englischen Zusammenfassungen der beste Dank des Redaktors ausgesprochen.

B. Procès-Verbal de la partie administrative

Dimanche 27 août 1950, à 8 h. 30, à l'Hôtel Bristol (Davos-Dorf)

Président: Dr. R. Galopin, Président.

Présents: 12 membres et 1 hôte.

Les membres présents adoptent sans observation le procès-verbal de la précédente Assemblée générale.

Le rapport du Comité pour l'année 1949, lu par le Secrétaire, est adopté; puis le Rédacteur du Bulletin présente son rapport annuel. Ce rapport est accepté par l'assemblée qui exprime sa reconnaissance au Rédacteur pour son activité.

Après lecture du rapport financier de l'exercice 1949 et du budget pour 1950, suivie de celle du rapport des vérificateurs des comptes, décharge est votée à notre trésorier avec remerciements pour sa consciencieuse gestion.

L'assemblée procède à la réélection, pour une période de 2 ans, du Comité dont le mandat échoit le 31 décembre 1950.

Elle procède ensuite à l'élection d'un nouveau vérificateur des comptes, Dr. O. Grütter (Bâle), en remplacement de M. P. Graeter (Bâle) dont le mandat est échu.

L'assemblée décide de maintenir à frs. 28.— la cotisation annuelle, quitte à envisager dans la suite, selon une proposition du Dr. A. von Moos, une réduction si la situation financière de la Société le permet.

Le président informe l'assemblée que, sur la suggestion de l'UNESCO, les articles du Bulletin seront suivis d'un résumé rédigé dans une langue autre que celle dans laquelle l'article est écrit. Sur la demande du Comité, le Prof. R. L. Parker a bien voulu accepter d'entrer à la Commission de rédaction du Bulletin en remplacement du Prof. L. Weber et de se charger des résumés en anglais.

C. Compte-rendu de la 25ème assemblée générale et des diverses manifestations jubilaires

A l'occasion du 25ème anniversaire de sa fondation, notre Société avait prévu un programme plus important que de coutume comportant 4 excursions dans les Alpes et le Jura et diverses manifestations scientifiques placées dans le cadre de la 130ème session annuelle de la Société helvétique des Sciences naturelles qui se tenait à Davos du 26 au 28 août 1950.

Les Services géologiques et miniers, les Sociétés géologiques et minéralogiques, les Instituts universitaires de Géologie et de Minéralogie des divers pays avaient été conviés à participer à ces manifestations jubilaires.

Cette invitation a reçu un accueil favorable puisque près d'une centaine de géologues et de minéralogistes, représentant 23 pays¹⁾, l'ont acceptée.

Notre Comité a trouvé auprès du Comité annuel de la S.H.S.N., et particulièrement auprès de son Président, Dr. W. Mörikofer et Madame, un appui précieux pour la préparation et la réalisation du programme de la section de Minéralogie grossie de ses nombreux hôtes étrangers.

On trouvera ci-dessous un compte-rendu succinct de cette 25ème session.

Vendredi 25 août 1950

C'est en fin d'après-midi que les participants aux excursions A1 et A2 (voir D) arrivèrent à l'Hôtel Bristol avant de gagner leurs hôtels respectifs. C'est dans ce même hôtel, à 20 h. 15, que M. le Dr. h. c. R. Streiff-Becker (Zürich) présentait une intéressante conférence, avec projections, intitulée „Plauderei über Gletscher“, suivie d'une réception des participants par le Comité.

¹⁾ Soit: Algérie, Allemagne, Angleterre, Belgique, Danemark, Egypte, Espagne, Etats-Unis, Finlande, France, Grèce, Hollande, Inde, Italie, Maroc, Norvège, Nyasaland, Pérou, Portugal, Rhodésie du Sud, Suède, Tunisie, Yougoslavie.

Samedi 26 août 1950

A 9 h., au cinéma Select, une première séance scientifique est ouverte par le Président, Dr. R. Galopin, qui souhaite la bienvenue aux délégués et transmet la présidence au Prof. Dr. K. H. Scheumann (Bonn) pour la conférence du Prof. Dr. P. Niggli (Zürich) sur: „Probleme der alpinen Gesteinsmetamorphose“ (voir page 500).

La 2ème partie de cette séance placée sous la présidence du Prof. P. Michot (Liège) comportait la conférence du Dr. M. Vuagnat (Genève) sur: „Le rôle des roches éruptives basiques dans les Alpes“.

A 12 h. 30, les participants se réunissaient à l'Hôtel Central pour un repas en commun.

L'après-midi à 17 h., dans le même local que le matin, sous la présidence du Prof. H. A. Brouwer (Amsterdam), s'ouvrirait la 1ère séance scientifique consacrée aux brèves communications présentées par MM. W. Nowacki (Berne), R. L. Parker (Zürich), E. Niggli (Leiden), et G. Deicha (Paris) (voir plus bas).

Le soir à 20 h., la section de Minéralogie se retrouvait réunie, à une table réservée, au banquet d'ouverture de la Société helvétique des Sciences naturelles.

Dimanche 27 août 1950

A 8 h. 30 se tenait dans le hall de l'Hôtel Bristol la 25ème assemblée générale annuelle (partie administrative) dont on trouvera le procès-verbal plus haut.

Dès 9 h. 30, les participants prenaient le funiculaire de la Parsenn pour se rendre au Weissfluhjoch où, dès leur arrivée, ils purent visiter l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches, sous l'aimable conduite de son Directeur Dr. M. de Quervain et de ses collaborateurs.

Après cette visite, le Prof. Dr. A. Streckeisen (Berne) expliquait la géologie du cirque de montagnes visibles depuis la pointe dominant à l'est le Weissfluhjoch. Un panorama géologique de la Weissfluh établi par MM. J. Cadisch, A. Streckeisen et R. Gees à l'occasion de la session de Davos de la S.H.S.N., et offert à chaque participant permettait à ceux-ci de suivre plus facilement ces commentaires géologiques.

A 12 h., 95 membres et hôtes de la Société suisse de Minéralogie et Pétrographie prenaient place à la table du banquet jubilaire au restaurant du Weissfluhjoch. Au début du banquet, le Président salue la présence de quelques personnalités invitées, en particulier M. Dr. K. Laely, maire de Davos, M. Prof. A. von Muralt, président central de la S.H.S.N., M. Prof. A. Buxtorf, président de la Commission géologique suisse, M. Prof. F. de Quervain, président de la Commission géotechnique suisse, M. Prof. L. Vonderschmitt, président de la Société géologique suisse et M. Dr. M. de Quervain, directeur de l'Institut du Weissfluhjoch et représentant du Comité annuel de la S.H.S.N. Puis lecture est donnée des messages de félicitations et de voeux envoyés par des Instituts, Sociétés et savants de nombreux pays.

Durant ce repas, M. Prof. A. von Muralt, au nom du Comité central de la S.H.S.N., s'adressa en 3 langues à nos hôtes, puis le Président, en remerciant

nos collègues étrangers d'avoir bien voulu accepter d'assister à notre fête jubilaire, retraça brièvement à leur intention le passé de notre Société.

Puis ce fut le tour des délégués d'apporter félicitations et voeux à notre Société. Prirent la parole: M. Dr. M. I. Attia, délégué du Gouvernement égyptien et directeur du Service géologique d'Egypte; M. Prof. L. Royer, délégué du Gouvernement général de l'Algérie et de la Société française de Minéralogie; M. Prof. C. Andreatta, délégué de la Société italienne de Minéralogie; M. Prof. K. H. Scheumann, délégué de la Société allemande de Minéralogie; M. Prof. E. W. Heinrich, délégué de la Société américaine de Minéralogie; M. Prof. L. Vonderschmitt, président de la Société géologique suisse; M. Prof. A. Laitakari, directeur du Service géologique de Finlande.

Dans l'après-midi, la descente sur Davos se fit à volonté suivant divers itinéraires dont l'un passait par la Totalp sous la conduite experte de l'infatigable Prof. Streckeisen.

Lundi 28 août 1950

A 10 h. au cinéma Select a lieu, sous la présidence du Prof. J. Wyart (Paris), la seconde séance scientifique consacrée aux brèves communications présentées par MM. G. Deicha (Paris), R. Weil (Strasbourg) (lue par M. Prof. Hocart), A. von Moos (Zürich), C. Burri (Zürich), W. Uytenbogaardt (Stockholm).

Au Palace-Hôtel à 12 h., le dîner de clôture de la S.H.S.N. réunissait une dernière fois tous les participants dont une bonne partie s'apprêtait à partir pour les excursions B1 et B2.

Citons pour terminer quelques-unes des conférences organisées par le Comité annuel de la S.H.S.N. et qui intéressèrent particulièrement les membres de notre Section:

Dr. W. Mörikofer (Davos): „Zur Meteorologie und Meteorobiologie des Alpenföhns“.

Dr. M. de Quervain (Davos): „Die Metamorphose des Schneekristalls“.

Prof. H. Onde (Lausanne): „Modèle glaciaire et relief alpin“.

En outre, la conférence donnée à la section de Géologie par le Prof. J. Cadisch (Berne): „Das Prätigauer Halbfenster und das Unterengadiner Fenster, ein Vergleich“ fut un complément précieux au thème de notre excursion A2.

D. Excursions

A l'occasion de son Jubilé, la Société a organisé 4 excursions minéralogiques, pétrographiques et géologiques, en diverses régions de la Suisse. Des invitations ont été adressées, en premier lieu, aux confrères de l'étranger.

Ces 4 excursions, d'une durée d'environ 8 jours chacune, eurent lieu (2 avant la session de Davos et 2 après) selon le programme établi et avec une forte participation de confrères venus de nombreux pays. Les programmes de ces excursions sont brièvement exposés ci-dessous, un rapport plus détaillé devant paraître pour chacune dans le fascicule 1 du tome 31 du Bulletin.

Excursions précédant la session de Davos

A 1. *Excursion pétrographique, pratique et technique à travers le Jura, le Plateau et les Alpes.*

Direction: A. von Moos et F. de Quervain avec la collaboration de R. Blanc, E. Eugster, H. Fehlmann, G. Gysel, H. Huttenlocher, E. Kuhn, B. Peyer, H. Schuppli, W. Zingg.

Itinéraire: Zürich–Herznach–Schinznach–Soleure–Travers–Orbe–Montreux–Sierre–Goppenstein–Brigue–Grimsel–Furka–Hospental–Saint Gothard–Lugano–Serpiano–Lac de Côme–Julier–Marmorera–Parpan–Sargans–Ragaz–Davos.

A 2. *Excursion pétrographique et géologique dans l'Est des Grisons (Basse-Engadine–Silvretta–Prättigau).*

Direction: J. Cadisch, A. Streckeisen, E. Wenk.

Itinéraire: Schuls–Ardez–Piz Cotschen–Cabane du Tuoi–Col de la Silvretta–Berghaus Vereina–Pischahorn–Davos–Weißfluh–Davos.

Excursions succédant à la session de Davos

B 1. *Excursion minéralogique et pétrographique à travers les Alpes.*

Direction: P. Niggli avec la collaboration de C. Burri, Th. Geiger, E. Niggli, R. L. Parker, M. Vuagnat et E. Wenk.

Itinéraire: Davos–Tiefencastel–Savognin–Falotta–Andeer–San Bernardino–Castione–Bellinzona–Val Verzasca–Locarno–Val Blenio–Lukmanier–Sedrun–Val Maighels–Oberalp–Hospental–Furka–Fiesch–Binnental–Brigue.

B 2. *Excursion pétrographique et géologique dans les Alpes occidentales. (Profil transversal du massif de l'Aar au Lac Majeur).*

Direction: P. Bearth, L. Déverin et H. Huttenlocher.

Itinéraire: Brigue–Belalp–Unterbäch–Brigue–Zermatt–Brigue–Simplon–Domodossola–Baveno–Brigue.

E. Brèves communications

W. NOWACKI (Bern): *Beziehungen zwischen der Symmetrie des Kristall-, Fourier- und Patterson-Raumes.* Siehe diese Zeitschrift, 30 (1950) 147–160.

ROBERT L. PARKER (Zürich): *Eine kristallographische Hilfsprojektion.*

Unter den zahlreichen Projektionsmethoden, die zur Abbildung der Kugeloberfläche in der Ebene dienen, lässt sich keine so leicht konstruieren wie die Zylinderprojektion mit abstandsgleichen Gross- und Kleinkreisen. In der Tat kann man dieselbe auf Millimeterpapier so entwerfen, dass für jeden darzustellenden Flächenpol der φ -Wert parallel der Abszissenachse, der ρ -Wert parallel der Ordinatenachse linear und im gleichen Maßstab abgetragen wird.

Trotz dieser fast schematisch zu nennenden Konstruktionsweise sind die resultierenden Diagramme voll auswertbar. Für den Kristallographen bedeutet das u. a., dass sämtliche Zonenverbände und Winkelbeziehungen ihnen entnommen werden können. Für die Auswertung genügt die auf dem Millimeterpapier vorhandene Teilung jedoch nicht. Allerdings sind die dort vorhandenen vertikalen Teilstriche Grosskreise und die horizontalen Kleinkreise der Projektion; es fehlen jedoch allgemein gesagt die schief verlaufenden Grosskreise. Um diese zu erhalten, muss das äquatoriale Netz des Millimeterpapiers durch ein polares Netz ergänzt werden. Der Schreibende hat deshalb ein solches im Maßstab 10 mm = 10° berechnet und konstruiert (reduziert in Figur 1). Mit diesem kann nun jeder beliebige Gross-

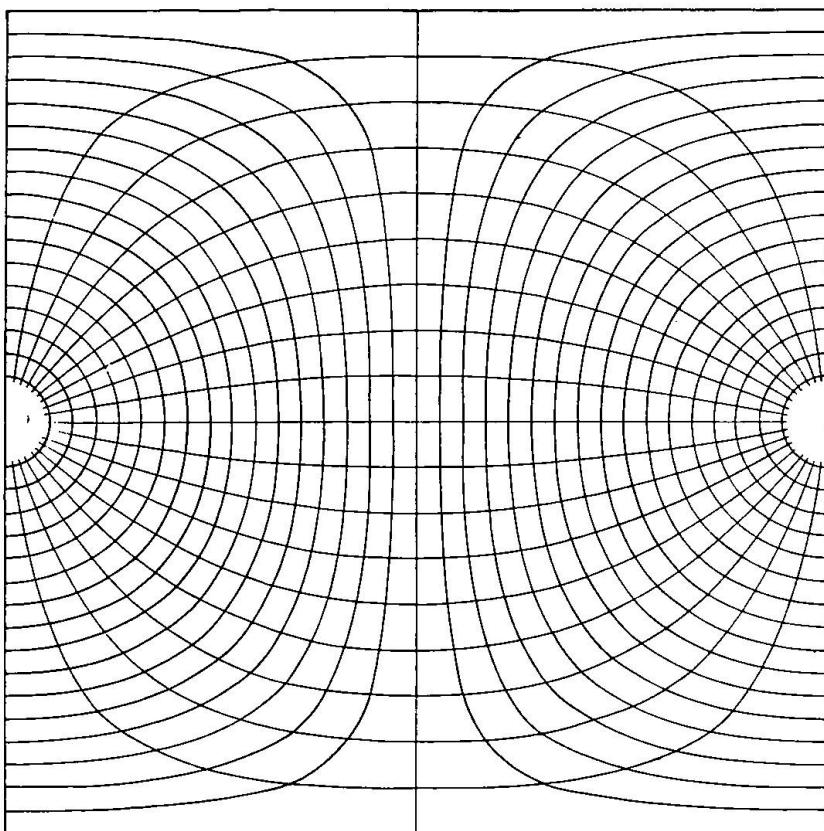


Fig. 1

kreis und jeder beliebige Winkel ermittelt werden. Ein Kommentar des Netzes ist hier überflüssig, da sein Gebrauch sich völlig analog demjenigen des stereographischen Netzes gestaltet, eine Einzelheit ausgenommen: diese besteht darin, dass statt der üblichen Drehungen des stereographischen Netzes jetzt Translationen des Netzes vorzunehmen sind, wobei die zwei Hauptpole sich auf der Äquatorlinie bewegen.

Frägt man nun, bei welchen Gelegenheiten diese Projektion zweckmäßig verwendet werden kann, so lassen sich zwei Aufgaben nennen, bei denen sie sinnvoll und vorteilhaft an Stelle der Hauptprojektionsmethoden treten kann.¹⁾

¹⁾ Anmerkung bei der Korrektur: Herr Professor W. Nieuwenkamp (Utrecht) hatte die Freundlichkeit, dem Schreibenden mitzuteilen, dass er diese Zylinder-

Die eine bietet sich schon beim Ausmessen der Kristalle, wenn gewünscht wird, im Notizbuch fortlaufend eine Projektionsskizze zu entwerfen. Besitzt das Buch auch nur karrierte Blätter, so kann die Einteilung schon als Grundlage des Entwurfes dienen. Eine auf durchsichtiger Folie im entsprechenden Maßstab hergestellte Reproduktion des Netzes dient dann für die Auswertung.

Wichtiger als diese ist die Verwendung der Projektion im grossen Maßstabe, z. B. $10 \text{ mm} = 1^\circ$, wenn die Herstellung sehr exakter Wiedergaben der Mess-Resultate für einzelne Teilgebiete des Kristalls verlangt wird. Sie ist in dieser Ausführung und besonders im Zusammenhang mit dem Studium von Vizinalflächen und den aus gerundeten Flächen hervorgehenden Lichtzügen mit bestem Erfolg benutzt worden. Der Einwand, dass bei diesen grossen Maßstäben eine Auswertung in Ermangelung des entsprechenden Netzes nicht vorgenommen werden kann, ist an sich zutreffend. Dagegen ist festzustellen, dass bei starker Vergrösserung des Netzes und gleichzeitiger Einschränkung des benutzten Gebietes auf kleine Ausschnitte, viele Zonenverbände als fast geradlinige Punktabfolgen erscheinen, also auch ohne Netz aufgefunden werden können. Der direkte Vergleich solcher grossmassstäblicher Detailprojektionen mit im gleichen Maßstabe hergestellten gnomonischen Teilprojektionen (bei denen alle Zonenverbände natürlich streng geradlinig erscheinen), zeigte, dass letztere nicht nur sehr viel zeitraubender herzustellen sind, sondern auch keine wesentlichen Einzelheiten in Erscheinung zu bringen vermochten, die nicht auch in der anderen Darstellung hervortraten.

E. NIGGLI (Leiden): *Zur Entstehung der Aplit- und Pegmatitgänge im Belledonne-Massiv.* Kein Referat eingegangen.

G. DEICHA* (Paris): *Contribution à l'étude de quelques veines de quartz dans les Grisons.*

Manifestations humbles de la circulation des fluides géochimiques à travers l'écorce terrestre, les veines de quartz sont une banalité minéralogique qui ne retient guère l'attention du pétrographe. Aux environs même de Davos, il ne manque guère de ces filons où l'on chercherait en vain le moindre indice de métallisation; stériles, ces veines sont pourtant riches en inclusions liquides. Les quelques échantillons que j'ai recueillis récemment aux environs immédiats de Davos-Dorf ne m'ont permis d'observer que de simples inclusions aqueuses. L'application de différentes méthodes d'étude¹⁾ des inclusions purement hydrothermales²⁾ peut permettre d'obtenir des précisions sur les conditions physiques du remplissage de ces filons, mais il semble qu'il ne s'agit, bien souvent, que de simples exsudations de silice mobilisée par des eaux d'origine purement météorique. Dans d'autres régions des Grisons j'en ai aussi observé de nombreux cas; de telles exsudations, formées

projektion auch für die Auswertung gewisser optischer Messungen erfolgreich benutzt und zu diesem Zweck ein aequatoriales Netz konstruiert hat. Auf demselben sind im Gegensatz zur vorliegenden Figur die Abbildungen der Hemisphären nicht über- sondern nebeneinander gestellt. Sein Netz hat also das Aussehen eines langgezogenen Streifens, auf welchem die Translation des Entwurfes besonders leicht vorgenommen werden kann.

¹⁾ E. INGERSON. Liquid inclusions in geologic thermometry. American Mineralogist. 32 (1947), p. 378.

²⁾ H. SCOTT. The decrepitation method applied to minerals with fluid inclusions. Econ. Geology. 42 (1948), p. 637.

*) Délégué de la Société géologique de France et du Conseil de la Société française de Minéralogie au Jubilé.

à basse température, peuvent, par exemple, être étudiées dans les Bündnerschiefer aux environs mêmes de Chur (Coire). L'existence de tels dépôts ne doit cependant pas décourager la recherche de témoins de montées de fluides d'origine profonde: C'est ainsi que non loin de la même ville j'ai pu étudier un réseau de minces veines de quartz qui présentent nettement les marques d'une telle origine.

Il existe sur la route de Reichenau à Flims, entre les villages de Tamins et de Trin, une série de veines de quartz qui remplissent des fissures de décollement le long de minces passées argileuses interstratifiées dans les lits de dolomie massive, entaillée par les travaux en cours. La nature siliceuse du dépôt exclut l'hypothèse de simples exsudations; d'autre part, on constate que les passées argileuses ont été fortement séricitisées, ce qui fait penser à l'intervention de solutions silico-alcalines passablement actives. Les essais par écrasement donnent un très net dégagement de gaz sous pression. L'examen microscopique a confirmé l'origine pneumatolytique du dépôt³⁾; j'ai, en effet, pu observer toute une gamme d'inclusions à gaz liquéfié: mono-, di-, et triphasées. — Ces dernières présentent une phase aqueuse souvent importante, suggérant une évolution du fluide pneumatolytique vers une circulation hydrothermale résiduaire; d'ailleurs les fissures qui avaient ouvert la voie à la montée des fluides géochimiques profonds semblent avoir joué plusieurs fois.

L'intérêt des pénétrations télémétriques peut dépasser singulièrement l'étroitesse des cassures qui leur ont livré passage; leur étude peut contribuer à la solution de problèmes de pétrogenèse et de tectonique. Dans l'exemple que je viens de faire connaître, ce dernier point de vue semble particulièrement important: on pourrait y voir un jalon du prolongement de la ligne tectonique majeure qui constitue la limite méridionale du massif de l'Aar. Il est d'ailleurs possible de rapprocher le résultat de mes observations faites dans la région de Reichenau de celles qui peuvent être faites à la sortie même du val Tavetsch, dans la région de Disentis. J'ai pu constater là la présence d'inclusions liquides à gaz comprimés dans des veines de quartz métallisé qui existent près du pont sur le Vorderrhein sur la route de Curaglia⁴⁾, en un point que connaissent bien tous les minéralogistes et géologues étrangers ayant fait l'excursion classique du Lukmanier. Cette excursion les mène d'ailleurs, par delà le Massif du St. Gothard dans une région où l'imprégnation pneumatolytique semble se manifester avec une particulière vigueur⁵⁾.

G. DEICHA (Paris): *Resultate einer neuen Forschungs-Methode an flüssigen Einschlüssen.*

Grosse Fortschritte¹⁾ sind heutzutage²⁾ beim Studium der wässrigen Einschlüsse der Mineralien erzielt worden, besonders auf dem Gebiete der Geothermometrie. Es besteht dabei aber die Gefahr, dass dadurch anderen flüssigen Ein-

³⁾ G. DEICHA. Essai de manométrie minéralogique. Bull. Soc. fr. de Minéralogie et Cristallographie. 73 (1950), p. 56.

⁴⁾ C. BURRI, J. CADISCH, P. NIGGLI, R. RUTSCH, H. GÜNZLER-SEIFERT, H. HUTTENLOCHER, E. WENK with contributions by M. K. WELLS. An account of the long field meeting held in Switzerland. Proc. of the Geologists association. 59, part 4 (1948), p. 181.

⁵⁾ G. DEICHA. Exemple de recherches de venues pneumatolytiques dans le Val Leventina (Tessin). C. R. somm. Soc. géologique de France (1950), p. 187.

¹⁾ P. A. PEACH. A decrepitation geothermometer. Am. Mineralogist 34 (1949), p. 413.

²⁾ F. GORDON SMITH. A method for determining the direction of flow of hydro-thermal solutions. Econ. Geology 45 (1950), p. 62.

schlüssen weniger Beachtung geschenkt wird³⁾). Das Vorhandensein von unter hohem Drucke liegenden verflüssigten Gasen in solchen Einschlüssen scheint jedoch vom geochemischen Standpunkte aus, nicht gleichgültig zu sein. Messungen an denselben berechtigen dabei auch zu geomanometrischen Folgerungen. Es ist zu bemerken, dass die Einschlüsse mit Gasen manchmal unbeachtet bleiben, nicht nur, weil sie öfters schwer unter dem Mikroskop aufzufinden sind, sondern auch, weil diese flüchtigen Bestandteile den mineralogischen und petrographischen Objekten leicht entweichen. Dieses Entweichen ist auf einfache Weise festzustellen, indem man ein kleines Bruchstück des Minerals, bzw. des Gesteins, in einer Flüssigkeit zerdrückt, wobei man mit Hilfe einer starken Lupe die Bildung von Gasblasen beobachten kann. Solche Versuche, rationell ausgearbeitet, eignen sich zur Prüfung von mineralogischem und petrographischem Material. Diese Methode hat sich besonders bewährt beim Studium von so verschiedenartigen alpinen Gegenden wie des Mont-Blanc Massifs und des Tessiner Gebietes. Teilverfolgerungen meiner Beobachtungen in Graubünden habe ich bereits mitgeteilt.

Das Hauptresultat dieser Forschungen ist, dass die Einschlüsse pneumatolytischen Ursprungs durch systematische Prüfungen zu eben so sicheren Folgerungen führen wie die Betrachtung der Mineralquellen. Zum Schluss sei noch daran erinnert, dass die Gegenwart von Kohlendioxyd (dem Hauptbestandteil mancher pneumatolytischer Einschlüsse) in den Mineralquellen Graubündens⁵⁾ Herrn Prof. J. CADISCH zur Ansicht brachte, dass hier der Kohlensäure Wege zur Verfügung stehen, die in regelmässiger gebauten Gebirgsteilen fehlen. Die oben erwähnte Prüfungsmethode zeigt, dass das Netz dieser Wege im Laufe der geologischen Zeiten viel ausgedehnter war als in der Gegenwart.

P. MICHOT (Liège): *La géologie de la catazone*. Pas de manuserit reçu.

R. WEIL (Strasbourg): *Méthode simple de détection de traces de matières organiques dans les espèces minérales et les roches*. (Lu par le Professeur Hocart.)

Les études en cours sur la pétrographie de la „potasse“ d’Alsace¹⁾ nous ont montré la difficulté qu’il y a à localiser la matière organique dans les divers composants de ce minéral. Il en est de même dans d’autres gisements salifères que nous avons étudiés avec E. WENDLING. C’est pourquoi nous avons recherché un procédé permettant de telles localisations.

Le „tube fermé“ — 3 mm de diamètre intérieur, 100 mm de longueur —, tel qu’il sert pour les „Essais au chalumeau“ convient parfaitement pour cette

³⁾ F. GORDON SMITH. Laboratory testing of „pneumatolytic“ deposits. *Ibid.* 44 (1949), p. 624.

⁴⁾ G. DEICHA. Observations préliminaires sur une recherche pétrographique systématique des inclusions carboniques. *C. R. somm. Soc. géologique de France* (1950), p. 57.

⁵⁾ J. CADISCH. Ein Beitrag zur Geologie der Mineralquellen von Schuls-Tarasp. *Eclogae. Geol. Helvetiae*. 39 (1946), S. 235.

¹⁾ R. WEIL et E. WENDLING. Les fluorescences présentées en lumière de WOOD par le minéral de potasse d’Alsace. Congrès de Clermont-Ferrand (68ème) de l’Association Française pour l’Avancement des Sciences, 1949 (tirage ronéotypé par les Mines Domaniales de Potasse d’Alsace, Mulhouse).

R. WEIL et E. WENDLING. La fluorescence en lumière ultra-violette de la sylvinite d’Alsace. *Bull. suisse Min.* XXIX, 2, 1949, p. 557. (La composition de l’ankérite, p. 558, est à rectifier: 55% CaCO_3 — 35% MgCO_3 — 10% FeCO_3 .)

méthode: on peut opérer sur de faibles quantités de substance prélevée aux points intéressants. Le chauffage se fait progressivement jusqu'au rouge, avec examen concomitant en lumière de Wood.

Nous avons ainsi examiné: diverses argiles et marnes liasiques et oligocènes — du gypse en cristaux et du gypse compact (keuper et tertiaire) — des échantillons de sel gemme et de sylvine tertiaires — de l'anhydrite de la potasse d'Alsace — des cristaux de calcite des calcaires du lias et de l'oligocène — les faciès ankéritiques dans la sylvinité d'Alsace.

Selon les espèces minérales ou suivant le gisement pour une même espèce, on constate un ou deux dépôts dans le tube. Le premier dépôt se forme entre 200—300°; il est liquide et fluorescent en bleu. Le deuxième dépôt est un sublimé (solide très adhérent au verre à froid). Il se forme entre 400—500°; il est de couleur jaune à brun et donne une fluorescence jaune.

Le dépôt liquide, légèrement coloré en jaune, ne semble pas modifier la limpidité de l'eau versée après refroidissement dans le tube, mais lui communique cependant une fluorescence bleue intense (il doit s'agir vraisemblablement d'une émulsion très fine). Par contre, le deuxième dépôt ne paraît pas miscible à l'eau; parfois, au bout de quelques jours de contact avec l'eau, la fluorescence de ce sublimé vire au bleu, mais elle ne se communique que très faiblement à l'eau.

La formation du sublimé tout seul est moins fréquente que celle du dépôt liquide ou que celle des deux dépôts. C'est évidemment la fluorescence transmise à l'eau, visible sur toute la longueur du tube, qui est la caractéristique la plus manifeste de la présence de matières organiques, même en très faibles quantités.

Cette méthode permet de constater aisément la présence de composés hydrocarburés dans des substances opaques comme les argiles ou les marnes. Il en est de même avec les espèces minérales ou les roches qui possèdent une fluorescence d'origine minérale susceptible de masquer une fluorescence d'origine organique, ce qui est fréquent pour la calcite ou la dolomite, ainsi dans les calcaires ou dolomies et la sylvinité.

Exemple. Les calcites oligocènes de Luemschwiller (Haut-Rhin) et les calcites du lias d'Algrange et de Knutange (Moselle) présentent une même (autant qu'on puisse l'affirmer sans mesures spectroscopiques) fluorescence bleue et une même phosphorescence verdâtre d'environ une seconde. On pouvait supposer que ces luminescences sont d'origine organique: il n'en est rien ou, tout au moins, la matière organique n'est pas seule en cause, car ces luminescences subsistent après le dépôt liquide en tube fermé, le seul qui se forme avec ces cristaux. Ces gisements sont légèrement pyriteux; on peut croire que le fer ou le soufre sont à l'origine de ces luminescences. (Après un chauffage d'une centaine d'heures sur verre de montre à 700°, la fluorescence devient blanchâtre, tandis que la phosphorescence persiste inchangée.)

En revanche, si l'on porte très rapidement ces calcites pulvérisées à la température de formation du dépôt liquide (environ 300°), il se produit une pyroluminescence jaune verdâtre de brève durée et qui ne reparait pas à un deuxième chauffage. Il s'agit probablement d'une chimiluminescence due à l'oxydation des carbures mis en liberté à cette température (cette expérience est faite à l'air libre et non en tube fermé).

Si le soufre libre ou combiné peut être envisagé comme luminogène, il n'en est pas de même du soufre sublimé, comme l'ont montré des essais de contrôle à partir de soufre ou de polysulfures: ce sublimé n'est pas fluorescent (ni phosphorescent). La présence de soufre ou de sulfures n'est donc pas une cause d'erreurs dans la méthode que nous présentons.

Les principaux résultats obtenus sont les suivants:

1. Les gypses que nous avons examinés présentent la même (avec les réserves

faites ci-dessus) fluorescence jaune pâle que l'anhydrite de la potasse d'Alsace et les mêmes réactions en tube fermé. Il s'agit de l'anhydrite que nous considérons, E. WENDLING et moi, comme secondaire, formée à partir de gypse ou de polyhalite; l'anhydrite primaire est en trop petite quantité pour servir à ces expériences.

2. La présence de matières organiques semble caractéristique du gypse de formation lagunaire, à la différence du gypse d'origine purement terrestre (chapeaux de filons, galeries de mine). Nous n'avons pas eu l'occasion d'examiner du gypse formé par oxydation de calcaires (ou marnes) à la fois bitumineux et pyriteux et de voir s'il peut renfermer des hydrocarbures. Bien entendu, il n'est pas question ici des dépôts artificiels de gypse, qui contiennent souvent des produits organiques.

3. Nous pouvons compléter ce que nous avions publié antérieurement sur la potasse d'Alsace: il y a des hydrocarbures dans tous les constituants de ce minéral mais inégalement répartis. Le sel gemme et la sylvine n'en renferment que peu dans le cas général et ces hydrocarbures appartiennent essentiellement aux inclusions liquides et gazeuses de ces sels. Les impuretés du minéral: argile (illite et kaolinite), ankérite et anhydrite en contiennent davantage. La fluorescence d'origine minérale (Fe ou Mn?) de l'ankérite éclipse toujours celle d'origine organique, car la première est jaune orangé et assez vive, tandis que l'autre est jaune pâle, d'après la fluorescence que donnent les chlorures alcalins et l'anhydrite. Celle-ci disparaît par chauffage vers 500°, ce qui n'est pas le cas pour celle que montre l'ankérite. Aucun des constituants de la potasse d'Alsace ne donne un dépôt solide important en tube fermé. (La dissolution de l'ankérite et de l'anhydrite dans l'acide chlorhydrique ne nous avait pas permis d'affirmer la présence de matières d'origine organique dans ces espèces minérales; on peut se rendre compte ainsi de la supériorité de la nouvelle méthode).

Dans d'autres gisements, au contraire, le sel gemme est riche en hydrocarbures, comme on le sait depuis longtemps. Il est d'ailleurs possible, d'après l'examen en cours d'échantillons provenant de sondages profonds (1200—1300 mètres), que le sel gemme d'Alsace soit plus riche en carbures d'hydrogène en profondeur, sans que nous puissions actuellement déclarer que cette richesse relative est primaire ou si elle est due aux phénomènes tectoniques et thermiques qui paraissent avoir joué un rôle important dans la zone salifère inférieure de certains points du bassin potassique.

4. On peut encore remarquer que le départ à température relativement élevée des hydrocarbures, lorsqu'il est accompagné de décrépitation, ce qui est assez fréquent, peut conduire à des résultats erronés dans l'emploi des méthodes „décrépitométriques“, quant à la température de formation des espèces minérales, car il ne s'agit pas, en général, de la simple volatilisation d'inclusions liquides ou gazeuses, mais d'un phénomène comparable au cracking. Les températures de décrépitation du sel gemme et de l'anhydrite de la potasse d'Alsace sont très différentes entre elles, bien que ces deux espèces minérales se soient formées sensiblement à la même température. On ne peut pas davantage assimiler la décrépitation provenant du départ des inclusions d'hydrocarbures liquides ou gazeux à celle provenant de l'échappement des inclusions d'eaux-mères et de leurs satellites gazeux, car ces hydrocarbures ne sont pas obligatoirement primaires (les hydrocarbures liquides peuvent aussi bien être des gaz liquéfiés sous leur propre pression que des solutions ou des émulsions).

Pour terminer, nous nous permettrons d'ajouter que les résultats intéressants fournis par la méthode du tube fermé nous ont incité à étudier en lumière de Wood les diverses réactions qualifiées d'“essais au chalumeau“. Il s'agit, par l'examen de la fluorescence éventuellement présentée par les produits obtenus dans ces diverses réactions, de faciliter ou de compléter la détermination des composants des espèces

minérales, d'une part; de préciser la nature des réactions et des produits obtenus, d'autre part. Pour le moment, une telle étude ne peut être que qualitative. La fluorescence verte intense de la perle au sel de phosphore de l'uranium permet de reconnaître facilement cet élément, même dans les composés qui ne sont pas fluorescents à l'état naturel, soit parce qu'ils sont opaques, soit qu'ils renferment des éléments optiquement absorbants. Ainsi la chalcolite, qui n'est généralement pas fluorescente (à la différence de l'autunite), donne la même fluorescence au sel de phosphore que les composés d'uranium ne renfermant pas de cuivre; il faut ajouter une quantité considérable de CuO (au moins dix fois celle de chalcolite) pour que la fluorescence disparaîsse (à ce moment la perle ne montre plus que la coloration bleue du cuivre). Cette expérience prouve, de plus, que l'absence de fluorescence dans la chalcolite n'est pas due seulement à la présence du Cu, mais aussi à la répartition de celui-ci dans la maille cristalline.

La perle obtenue en flamme réductrice ne montre pas de fluorescence; celle-ci est donc due, comme la coloration de la perle, à UO_2 . A défaut de compteur d'ions cette méthode permet de caractériser facilement l'uranium. (Ces expériences ont été faites avec le concours d'A. PIFFAUT, professeur à Guebwiller.)

A. VON MOOS (Zürich): *Konsistenzgrenzen schweizerischer bindiger Lockergesteine*. Siehe dieses Heft Seite 311.

C. BURRI (Zürich): *Berechnung der Auslöschungsschiefe und Lichtbrechung für beliebige Schnitte zweiachsiger Kristalle*. Kein Manuscript eingegangen.

W. UYTENBOGAARDT (Stockholm): *On the microscopic identification of ore minerals*.

As the microscopic examination of polished sections will always be essential for studying the genesis, textures and intergrowths of ore minerals, a method to simplify microscopic identification of ore minerals has been worked out. It appeared in practice that hardness was a useful criterion for a tabulation, hardness not in the meaning of the Mohs or Talmage scale rating, but a „polishing hardness“ or „resistance to polish“ (H), recognizable by a light line: when the tube of the microscope is raised, this light line moves from the harder towards the softer minerals; when the tube is lowered, the reverse takes place.

So, all ore minerals that have been described sufficiently to permit microscopic identification (231), were listed in order of increasing H. In order to get a rough division, the H's of galena, chalcopyrite and pyrite were chosen for comparison, since these minerals play a part in many ore mineral associations and are easily recognizable. Thus seven groups of minerals resulted: H < galena; 2. H ~ galena; 3. galena < H < chalcopyrite; H ~ chalcopyrite; 5. chalcopyrite < H < pyrite; 6. H ~ pyrite; 7. H > pyrite. Of course these groups are not sharply divided but this was shown to be of no importance.

However, ore minerals do not always occur in juxtaposition, and no light lines will be seen in such cases when the tube of the microscope is moved. Further, some minerals may show a varying hardness, depending on section or chemical composition. Therefore, another tabulation method was applied in combination with, but subordinate to, the first one, according to which those ore minerals are grouped together which are closely related, which resemble each other to a high degree, or which commonly occur together. Thus, for example, most of the tellurides are grouped together as are the selenides, the Ag-sulphosalts, the Pb-sulphosalts, the Ni-Co-minerals and the Mn-minerals.

The properties of the ore minerals, as far as required for microscopic identification, are divided over eight columns: 1. Name; 2. Chemical composition; 3. Crystal system; 4. Talmage hardness; 5. Reflectivity values; 6. Colour, reflection pleochroism and tint of colour in comparison with associated ore minerals; 7. Etch tests; 8. Anisotropism, internal reflection, twinning, cleavage, H in comparison with other minerals, texture, intergrowths, paragenesis and all other typical properties that may be of interest for identification.

In order quickly to get a clue as to the possible identity of a certain mineral, the tables are preceded by two lists, the first one giving the mineral names in order of increasing H with composition, reflectivity and anisotropism briefly indicated; the second listing the minerals in order of increasing reflectivity, with short indications about composition, H and anisotropism. With the help of these lists the number of possibilities will be greatly diminished and the definite result can be checked by the descriptions in the tables.

F. Conférences principales

PAUL NIGGLI (Zürich)

Probleme der alpinen Gesteinsmetamorphose

I. Einleitung

Nach Abschluss grösserer geologischer Kartierungsarbeiten im schweizerischen Mittelland (Sedimente vom Eocaen bis Alluvium) und nach petrographischen Studien im Altkristallin des südlichen Schwarzwaldes stellte mir vor rund vierzig Jahren U. GRUBENMANN eine Aufgabe aus dem Gebiet der alpinen Gesteinsmetamorphose. Bei dem Versuch, heute über die Gesteinsmetamorphose in den Alpen einen Überblick zu geben, ist es wohl zweckmässig, kurz von den Problemen zu sprechen, die damals im Vordergrund standen.

Einerseits war klar, dass die Bezeichnung „Urgebirge“ für das sogenannte „Kristallin“ der Alpen ausgemerzt werden musste, andererseits aber auch die Rückführung der Bildung der Alpenketten auf junge Intrusionen im Sinne der Theorie von LEOPOLD VON BUCH. Zukünftige Hauptaufgabe schien es, ohne vorgefasste Meinung die Prägung und Umprägung der verschiedenen Gesteine erdgeschichtlich zu fixieren und den Anteil der eigentlichen alpinen Gebirgsbildung am heute beobachtbaren Gesteinsbild herauszuschälen.

Der junge Student, der die Entwicklung der physikalisch-chemischen Betrachtungsweise, der Kristallphysik und Geophysik um die Jahrhundertwende miterlebt und den Ausbau der Deckentheorie verfolgen konnte, glaubte, dass die Zeit der einseitigen Hypothesenbildung — man denke an den Streit Plutonismus und Neptunismus oder an die VOLGERSCHE Metamorphosenlehre (die auf Gesetze der Chemie keine Rücksicht nahm) — endgültig vorbei sei. Die verschiedenen Anschauungen über die bruchlose Deformation von ALB. HEIM einerseits, von U. GRUBENMANN andererseits, mussten bei kombinierter chemischer und physikalischer Betrachtungsweise ihre Gegensätzlichkeit verlieren und das soeben begonnene intensive Studium der Injektions- und Assimilationsmetamorphose vor einer Überschätzung der Rolle der einfachen Dislokationsmetamorphose schützen.

Ein Rückblick zeigt, dass diese Ansicht über die Weiterentwicklung unserer Wissenschaft unberücksichtigt liess, dass dem subjektiven Ermessen bei einer Deutung der Produkte nicht mehr vollständig rekonstruierbarer Vorgänge ein grosser Spielraum bleibt. So treten auch heute nicht nur in Einzelfragen (was ja selbstverständlich wäre) Divergenzen auf, nach wie vor äussert sich eine verschiedene Grundeinstellung der Forscher in Schulmeinungen, die als letztes Argument nur ein Glaubensbekenntnis ins Feld führen können. Dabei spielen oft sehr merkwürdige Überbleibsel einer früheren Schematisierung eine grosse Rolle. Damit wir uns mit ihnen später nicht mehr befassen müssen, seien einige von ihnen angeführt. Im Grunde genommen beruhen sie alle auf Verallgemeinerungen oder Deutung einer Einzelerscheinung, auf Verneinung der in Betracht zu ziehenden Mannigfaltigkeit mit ihren Konvergenzen und auf einer fehlerhaften Übertragung von Laboratoriumsversuchen auf natürliche Vorgänge. Das Studium von Arbeiten von R. PERRIN und M. ROUBAULT ist in dieser Beziehung besonders aufschlussreich, doch müssen auch andere Relikte einseitiger Schlussfolgerungen angeführt werden.

1. Trotz vieler gegensätzlicher Beobachtungen, mannigfacher Synthesen und entgegen der Kenntnis der physikalisch-chemischen Grundgesetze wird immer wieder behauptet, dass bestimmte Mineralien nur unter ganz speziellen geologischen Bedingungen entstehen können. Bekannt ist etwa die Einteilung in Stress- und Nichtstressmineralien. Ausgehend von einer Regel über häufigeres Auftreten bestimmter Mineralien in dislokationsmetamorphen Gesteinen wird die Gebundenheit von deren Bildungsweise an Stress zum Dogma erhoben. Weder Chloriten noch Glimmern, Sprödglimmern, Disthen, Staurolith oder Granaten kommt, wie mannigfache Vorkommen zeigen, diese Ausschliesslichkeit der Entstehung zu. Ihr Bildungsbereich ist durch ganz andere Umstände gegeben, die lediglich bei bestimmten Faltungsvorgängen sowohl im Gestein (mit Übertragung ungleichen Druckes durch Festkörper) wie in den darin zirkulierenden Lösungen besonders häufig realisiert sind. Die Bildung von Alkalifeldspäten kann während der Diagenese von Sedimenten aber auch bei hohen Temperaturen vor sich gehen, wobei allerdings die Art der Mischkristallbildung stark temperaturabhängig ist. Aber zu schliessen, dass gleichartige Feldspäte nur magmatisch oder nur pneumatolytisch oder nur durch Umkristallisation im Festkörperaggregat entstehen können, ist so absurd wie die Behauptung, ein aus einer Metallschmelze entstandener Metallkristall müsse unbedingt verschieden sein von einem durch Temperung und Rekristallisation entstandenen Metallkristall eines zunächst kalt bearbeiteten Werkstoffes. Der Umstand, dass sich gewisse Metallkristalle durch Rekristallisationsvorgänge im Festkörper bilden können, hat übrigens nie zur Behauptung geführt, analoge Kristalle, die experimentell aus der Metallschmelze gewonnen wurden, seien Phantome. Die Abhängigkeit der Mineralbildung und des Chemismus neugebildeter Mineralien von Temperatur, Druck und Milieuchemismus (oder Pauschalchemismus) lässt sich heute schon in vielen Fällen einigermassen scharf umreissen. Für die Statik der Paragenesen spielt die Konsistenzbeschaffenheit des Milieus (nur Festkörper oder Schmelze usw.) eine geringe Rolle, sie wird erst für die Kinetik der Bildungsprozesse von Bedeutung. Die Metallurgie bietet übrigens für die Gesteinsbildung sehr wertvolle Vergleichsmöglichkeiten, aber zur Vermeidung von Einseitigkeiten müssen Resultate der

Lehre von der Bildung und Umbildung von Salzlagerstätten und neue Ergebnisse der Schneemetamorphose und Eis-, Firn- und Gletscherbildung gleichrangig mitberücksichtigt werden.

Die Kenntnis der chemischen und physikalisch-chemischen Regeln sollte auch davor schützen, metamorphe Gesteine mit gleichartiger Paragenesis einander stratigraphisch oder tektonisch gleichzusetzen, wie das bei Beginn der Deckenparallelisierung in den Schweizeralpen nicht selten der Fall war. Immer gilt es, die Mindestbedingungen aufzusuchen, die für die Entstehung einer bekannten Mineralassoziation aufgestellt werden können. Alles was darüber hinaus an Analogie für die Einordnung benutzt wird, bedarf einer besonderen Begründung.

2. Besonders schwierig scheint es, die Vorurteile zu überwinden, die infolge der voneinander unabhängigen Begriffsentwicklung auf dem Gebiete der Struktur und Textur bei magmatischen und metamorphen Gesteinen entstanden sind. Wer mikroskopische Gefügestudien an verschiedenen experimentell erhaltenen Schmelzprodukten, Sinterprodukten, Lösungsabsätzen, umgewandelten Festkörperaggregaten und an unzähligen Gesteinsarten durchgeführt hat, empfindet das dringende Bedürfnis, die so wichtige und notwendige Terminologie der Gefügeeigenschaften zunächst rein beschreibend zu gestalten. Denn es gibt sehr wenige Gefügebilder, die sich genetisch eindeutig interpretieren lassen; man kann viele von ihnen experimentell auf verschiedenem Wege erzeugen. Was in dieser Beziehung unter Benutzung genetisch definierter Strukturbegriffe in den letzten Jahren missdeutet oder umgedeutet wurde, hat zur gegenwärtigen Verwirrung in der Petrogenesis nicht wenig beigetragen. So unerwünscht es vom historischen Standpunkte aus scheinen mag, zur Klärstellung erweist sich eine Neudefinition dieser Strukturbegriffe absolut notwendig. Fügen die Petrographen zu genetisch nicht eindeutigen Interpretationen der Strukturen noch Hypothesen hinzu, deren Unrichtigkeit sowohl theoretisch wie experimentell jederzeit beweisbar ist, wie die, dass Restlösungen einer in Kristallisation begriffenen flüssigen Masse nicht im Stande seien, infolge der Änderung von Chemismus und Temperatur, frühere Kristallisationsprodukte wieder aufzulösen, so entstehen ganze Serien von scheinbar logisch aufeinanderfolgenden Schlüssen, die alle auf falscher Grundvoraussetzung beruhen.

3. In jedem Zweige der Naturwissenschaft ist es für die weitere Erkenntnis wichtig, Teilphänomene, Abweichungen vom Normalen, Übergangserscheinungen richtig zu interpretieren. Man kann derartige Teilphänomene übersehen und dadurch den Hauptvorgang missverstehen, man kann sie in ihrer Bedeutung überschätzen und dadurch das Wesentliche nicht erfassen. Es bedarf kaum einer Erläuterung, dass das Auffinden der wahrscheinlichsten richtigen Rangordnung der Erscheinungen bei der Deutung der Produkte erdgeschichtlicher Vorgänge ein umfassendes und vergleichendes Studium verlangt.

Nehmen wir an, es lägen aus erdgeschichtlicher Vergangenheit zwei Metallstücke vor, die zusammengeschweisst wurden. Das Schweißgebiet ist ein Übergangsgebiet in doppeltem Sinne. Es wird rechnerisch nicht schwer fallen, durch Diffusion in beiderlei Richtungen das eine Hauptmetallstück aus dem andern entstanden zu denken, scheint doch die Schweißnaht zu beweisen,

dass Übergänge vorhanden sind. Stellen wir die Schweissung selbst her, so erkennen wir, wie absurd diese Interpretation ist. Auf die geologisch-petrographischen Forschungen übertragen, sind Schlussfolgerungen, die auf durchaus analoger Basis beruhen, häufig geworden. Die Kontakthöfe mit ihren kleinräumigen Diffusionserscheinungen, das Vorkommen und randliche Verhalten von Einschlüssen metamorpher Sedimentschollen in Eruptivgesteinen können, wie die Schweissnaht im erwähnten Beispiel, den Hauptmassen gegenüber Sekundärerscheinungen sein; im Mikroskopiersaal, in welchem nur mehr einige Handstücke und Dünnschliffe zur Verfügung stehen, werden sie jedoch zum Beweisstück der Entstehung der Hauptgesteine auseinander durch Diffusion, Granitisation, Migmatisierung usw. Ja manchmal bemüht man sich gar nicht darum, über mehrere hundert Meter systematisch Dünnschliffe zu mikroskopieren und Analysen auszuführen, es genügt die Feldbeobachtung an einer Übergangszone oder das Mikroskopieren der Materialsammlung eines Bereiches von cm bis m Mächtigkeit, um das Entstehen der Hauptmassen auseinander als bewiesen anzunehmen. Die richtige Rangordnung der Phänomene (sei es nun in dem einen oder anderen Sinne) zu finden, ist nicht leicht, insbesondere da nicht, wo infolge mangelnder Erosion oder starker Bewachsung Einblicke nach den verschiedenen Raumdimensionen fehlen. Oft verdrängt die Lust zur Extrapolation die vorsichtige Stellung des Problems, und die eingehende Beschreibung einiger Dünnschliffbilder einer kleinen Grenzregion sucht darüber hinwegzutäuschen, dass man eigentlich wissen möchte, wie die Hauptmassen entstanden sind.

4. Es gibt in der Petrologie eine Reihe von Begriffen, von denen der Laie glaubt, jeder Sachverständige verstehe darunter genau das gleiche. Es ist wohl ein Anzeichen dafür, dass sich die Petrologie heute in einer besonders fruchtbaren Zeit wissenschaftlicher Auseinandersetzung befindet, wenn sich bei näherem Zusehen herausstellt, dass dieser Laienstandpunkt falsch ist. Für denjenigen aber, der in wissenschaftlicher Sprache über ein Teilgebiet orientieren will, ergibt sich, dass er seinem zusammenfassenden Bericht eine Art Vokabularium vorausschicken muss, das angibt, wie er die von ihm verwendeten Begriffe anwendet. Dementsprechend erfolgen vor dem eigentlichen Überblick über die alpine Gesteinsmetamorphose in Form einer Einschaltung Zusammenstellungen, die naturgemäß die subjektiven Erfahrungen und Urteilsbildungen des Autors widerspiegeln.

II. Benutzte Definitionen einiger Begriffe der Petrologie

Metamorphose. Umwandlung (exklusive Verwitterung und Diagenese) bereits vorhandener Gesteinskörper, derart, dass die bei der Veränderung erworbenen Eigenschaften den neuen Aspekt des Gesteins wesentlich bestimmen.

Ultrametamorphose ist Metamorphose unter teilweiser, jedoch örtlich intensiver Verflüssigung (Anatexis) oder Metamorphose bei starker, die Mobilität erhöhender Durchtränkung mit einer molekular-dispersen Phase (zum Teil dia-brochitisch oder metasomatisch mit weitreichender stofflicher Veränderung des Substrates).

Epimetamorphe Bildungen und epimetamorphe Gesteinsfazies. Die Metamorphose erfolgte bei relativ niedrigen Temperaturen. Neubildung der für diesen Bildungsbereich typischen Epimineralien.

Mesometamorphe Bildungen und mesometamorphe Gesteinsfazies. Die Metamorphose erfolgte in mittleren Temperaturbereichen, deren Abgrenzung vom Epi- und Katabereich wesentlich vom Gesamtchemismus abhängig ist.

Katametamorphe Bildungen und katametamorphe Gesteinsfazies. Die Metamorphose erfolgte unter erhöhter Temperatur. Es treten bereits Mineralien als Neubildungen auf, die oft an sich auch aus Schmelzen entstehen können.

Die Nomenklatur der Metamorphosenarten hat zu sehr vielen Missverständnissen Veranlassung gegeben. Keine der heute gebräuchlichen Einteilungen befriedigt völlig. Sehr vielen Streitfragen liegen keine echten Probleme, sondern nur verschiedene Anwendungen von Begriffen zu Grunde. Rein sachlich ist es zweckmäßig, zu unterscheiden zwischen:

1. Metamorphosen, die (ohne eigentliche Faltengebirgsbildung oder grössere Differentialbewegungen der Erdkruste) infolge zunehmender Belastung (z. B. durch Sedimentation) oder Entlastung (z. B. infolge Erosion darüber gelegener Gesteine), das heisst infolge Veränderung der dem Gestein zugeordneten Geoisothermalstufe, zustande kommen. Die Metamorphose unter derartigen Bedingungsänderungen ist oft sehr geringfügig, sie kann sich jedoch z. B. bei Salzgesteinen zu einer Ultrametamorphose mit Eigenbewegung des Salzkörpers steigern.
2. Metamorphose unter dem Einfluss wesentlich differentieller Dislokationsvorgänge, wie sie sich bei Faltengebirgsbildungen oder an grossen Bewegungsflächen mehr epirogenen Dislokationen in der festen Erdkruste abspielen. Einfluss gleichzeitig wandernder selbständiger Magmamassen sei nicht beobachtbar.
3. Metamorphose im näheren und weiteren Kontakthof emporgestiegener Schmelzlösungen. Die Wanderung dieser Magmamassen kann a) der Hauptakt sein, der zur Umwandlung der Nebengesteine führt, ohne dass diese gleichzeitig noch wesentlich differentiell verformt werden. Es kann sich indessen auch b) die Magmenbewegung in den gesamten Bewegungsmechanismus, der zugleich die feste Erdkruste intensiv verfaltet, eingliedern.

Auch in der Geologie werden normalerweise die Hauptvorgänge 1 bis 3 in Einzelkapiteln behandelt, obgleich niemand bezweifelt, dass es schwer ist, die Grenzlinien zu ziehen, weil alles mit regionalen tektonischen Störungen verschiedenen Ausmasses in Verbindung steht.

Die Bezeichnung für 1 als Belastungs- und Entlastungsmetamorphose ist am wenigsten gebräuchlich, indessen auch am wenigsten anfechtbar.

2 nenne ich Dislokationsmetamorphose, weil der Begriff Dislokation in erster Linie für Bewegungen der festen Erdkruste und nicht für Differentialbewegungen zwischen schmelzflüssigem und festem Anteil Verwendung findet. Die Bezeichnung scheint mir besser zu sein als die heute noch gebräuchliche der Dynamometamorphose, da letztere oft nur eine Seite der Gesteinsveränderung, nämlich die mechanische Einwirkung, berücksichtigt, so dass ein Ausspruch wie „le dynamométamorphisme n'existe pas“ eigentlich nur behaupten wollte, dass unter derartigen Umständen keinerlei Umkristallisationen auftreten. Auseinandersetzen muss man sich (ähnlich wie das schon ALBERT HEIM in der „Geologie der Schweiz“ getan hat) mit dem selbständigen Begriff der

Regionalmetamorphose. Jede Metamorphose ist an die Geschichte eines bestimmten Erdrindenteiles gebunden und von dem erdgeschichtlich gegebenen Bezugssystem einer Region abhängig. Der Bewegungsmechanismus der festen Erdkruste umfasst die Gesamtvorgänge der Dislokation, ob sie in etwas geringerer oder etwas grösserer Erdtiefe, bei relativ niedriger oder erhöhter Temperatur (die

auch zum Teil mechanischen Ursprungs sein kann) stattfindet. Es ist daher sinnlos, bei Dislokationsvorgängen nur dann von regionaler Metamorphose zu sprechen, wenn Umkristallisationen eine grössere Rolle spielen. Sicherlich ist eine derartige Umwandlung mit Kristalloblastese häufig der Warmverformung gleichzusetzen, aber bei genau gleichen Temperaturen wird das eine Gestein noch vorwiegend kaltverformt, ein anderes Gestein schon vollständig umkristallisiert, so dass der Begriff „regional“ für Umkristallisation und Ummineralisation im Gegensatz zu destruktiven Prozessen nirgends so fehl am Platze ist wie bei der Dislokationsmetamorphose.

3a ist allgemein unter dem Namen Kontaktmetamorphose bekannt; besser wäre die Bezeichnung exogene (und endogene) magmatische Kontaktmetamorphose, damit Sonderfälle von Umwandlungerscheinungen, die nur an Gesteinsgrenzen gebunden sind (Substanzaustausch, kleinräumige Diffusion), auch der Bezeichnung nach ausgeschlossen werden.

3b wird die nicht seltene Kombination von 2 und 3a, also eine komplexe Metamorphose genannt.

Natürliche Schwierigkeiten entstehen auf Grund dieser Einteilung bei der Dislokations-Ultrametamorphose, wenn die Frage entschieden werden soll, ob stärkere Beteiligung schmelzflüssiger Anteile oder grösserer Stoffumtausch auf eine aus noch grösserer Tiefe stammende magmatische Aktivität rückführbar ist oder auf palingenetisch-entektische Vorgänge. Allgemein begrifflich ist diese Unterscheidung wenig wichtig, da in derartiger Tiefe Kombination beider Vorgänge häufig sein muss, doch soll stets versucht werden, im einzelnen die Prozesse so weit als möglich auseinanderzuhalten.

Es werden somit hier die Einzelbegriffe wie folgt verwendet:

A. Reine Dislokationsmetamorphose. Die Umänderungen gehen während tektonischer, die feste Erdkruste in Mitleidenschaft ziehender Vorgänge von statthen, ohne wesentliche Beeinflussung durch eventuell gleichzeitig wandernde Magmen.

α) Destruktive Dislokationsmetamorphose. Mechanische Verformungen dominieren über Vorgänge der Umkristallisation (oft analog Kaltbearbeitung bei Metallen).

β) Konstruktive Dislokationsmetamorphose. Um- und Rekristallisationsvorgänge beherrschen das Gesteinsbild (oft analog der Warmbearbeitung bei Metallen).

B. Kontaktmetamorphose im engeren Sinne, gebunden an die Nähe emporsteigender (ursprünglicher oder durch Liquifizierung entstandener) Magmen.

α) Gewöhnliche thermische Kontaktmetamorphose. Die Wärmeübertragung von Magmen zum Nebengestein ist Hauptursache der Umwandlung des letztern.

β) Pneumatolytische bis hydrothermale Kontaktmetamorphose. Das Eindringen von gasartigen oder fluiden oder hydrothermalen Abspaltprodukten wirkt bei der Umwandlung mit. Bevorzugte Abgabestellen dieser wanderungsfähigen Stoffe sind durch das tektonische und chemische Verhalten der Hüllgesteine bedingt. Vorwiegend metasomatischer oder imprägnativer Charakter der Stoffzufuhr.

γ) Injektionsmetamorphose, Bildung von Eruptivgesteinsschichten und Migmatiten. Vermischung des Magmas, der magmatischen Restlösungen oder neu entstandener Lösungsmassen mit dem ursprünglich weniger mobilen Substrat unter Bildung typischer Chorismite und Mischgesteine im chemischen Sinne. Übergang zur Ultrametamorphose und Anatexis.

C. Komplexe Metamorphose. Vereinigte Dislokations- und Kontaktmetamorphose oder Ultrametamorphose relativ tiefer gelegener Erdrindenteile.

Orthogesteine. Metamorphe Eruptivgesteine, ohne wesentliche Veränderung des Pauschalchemismus während der Metamorphose.

Paragesteine. Metamorphe Sedimente, ohne wesentliche Veränderung des Pauschalchemismus während der Metamorphose.

Mischgesteine und ausgesprochene metasomatisch-metamorphe Gesteine. Der Gesamtchemismus ist die Folge eines über die ursprünglichen Gesteinsgrenzen hinausgehenden Stoffumtausches.

Monoschematische Gesteine. Das Gefügebild ist relativ einheitlich, die zu benennende Gesteinsmasse zerfällt nicht in deutlich verschiedene Strukturbereiche.

Polyschematische Gesteine, Chorismite oder chorismatische Gesteine. Der Gesteinskörper ist aus verschiedenartigen Gefügebereichen aufgebaut. Bei Chorismiten heisst die Hauptgesteinsmasse das Kyriosom und die Neben- oder Zweitmasse das Akyrosom. Chorismite gibt es in allen Gesteinsklassen. Unter den metamorphen Chorismiten findet man besonders Phlebite (durchaderte Gesteine), Ophthalmite (mit linsen- bis augenförmigen Bestandsmassen abweichender Struktur), Stromatite (Lagen-, Schicht-, Bändergesteine, unverfaltet und in faltenartiger Lagerung), Merismite (eine Zweitmasse, zerteilt andere Massen brekzienartig), Miarolithe (drusenartige Nebenmassen), Nebulite (keine scharfen Übergänge zwischen den verschiedenen Mineral- und Gefügebereichen).

Stereogener und chymogener Anteil eines metamorphen Gesteins. Sofern die verschiedenen Gefügemassen sich ihrer Entstehung nach in einen Anteil gliedern lassen, der während der Metamorphose den Festkörperzustand als Ganzes unzweifelhaft beibehalten hat (Texturrelikte, Palimpsestbilder usw.), und in einen makroskopisch sichtbaren Anteil, der zwischen festen Massen aus molekulardisperser Phase gebildet wurde, heisst der erstere stereogen, der letztere chymogen. Chymogen kann z. B. hydatogen, hydrothermal, pneumato-lytisch, pegmatitisch, liquidmagnetisch sein. Palaesom wird bei chorismatischer Ausbildung das stereogen verformte Substrat, Neosom eine aus ihm (durch Ausblutung entstandene oder eingewanderte) vorwiegend chymogen gebildete Bestandsmasse genannt.

Polymetamorphe Gesteine sind Gesteine, die verschiedene, nicht einem einzigen geologischen Grossakt angehörige Umwandlungen erlitten haben.

Diaphoritische Gesteine. Regressive Metamorphose. Ein bereits unter hoher Temperatur metamorphosiertes Gestein wird rückläufig unter ungünstigeren Bedingungen neu verformt.

Autometamorphose (Gegensatz zu Allometamorphose). Die Umwandlungen oder Mineralneubildungen, Strukturen und Texturen, die sonst für metamorphe Gesteine typisch sind, erfolgten beim Abklingen des Primärbildungsprozesses der Gesteine oder unter besonderen Umständen (z. B. einer unter Stress erfolgten Erstarrung im Sinne von WEINSCHENKS Piezokristallisation).

Konvergenzerscheinungen treten auf bei engerer Verwandtschaft im Mineralbestand oder (und) im Gefüge von Gesteinen, die aus verschiedenen Substraten oder auf verschiedene Weise (unterschiedlicher Ablauf der erdgeschichtlichen Vorgänge) entstanden sind.

Eruptivgesteine oder magmatische Gesteine sind Erstarrungsprodukte schmelzflüssiger (wasserärmer bis relativ wasserreicher) Magmen. Die Existenz von Magmen im Erdmantel ist durch die vulkanischen Erscheinungen der Gegenwart sichergestellt. Wie diese Magmen entstanden sind, spielt für die Benennung keine Rolle. Das anzugebende Alter ist das der Erstarrungsepoke. Werden solche magmatischen Gesteine metamorphosiert, ohne dass zuvor vollständige Verflüssigung stattthat, so sind die Produkte metamorphe Gesteine derjenigen Epoche, in welcher die Umwandlung stattfand. Bleibt hiebei der Chemismus im

wesentlichen unverändert, so entstehen metamorphe Orthogesteine (z. B. alpiner Art, sofern die Umwandlung zur Zeit der Alpenfaltung erfolgte).

Ultrametamorphe Orthogesteine sind metamorphe Eruptivgesteine, bei denen sich bei der Metamorphose zur gleichen Zeit grössere Mengen in flüssigem Zustand befanden, so dass zu bestimmter Zeit ein sogenanntes Magma (im Sinne von M. REINHARD) mit bedeutendem chymogenem Anteil entstanden ist. Im Kontakt mit den Hüllgesteinen oder bei grösseren regionalweisen Stoffab- und -zuwanderungen entstehen

Ultrametamorphe Mischgesteine. Da auch bei der gewöhnlichen Metamorphose Lösungsumsätze und Stoffwanderungen mitwirken, ist naturgemäß die Grenze metamorph-ultrametamorph unscharf.

Völlig unabgeklärt ist die Anwendung der Bezeichnung palingen. Handelt es sich um eine fast vollständige Verflüssigung eines Gesteins, so ist aus dem Festgestein vorübergehend ein Magma geworden. Oft aber wird die Bezeichnung bereits gebraucht, wenn ein Komplex oder Teile eines Komplexes grössere Mobilität besitzen als begleitende Gesteinskomplexe, so dass neuartige Intrusions- und Injektionsbilder entstehen (wobei Injektion nur grössere Mobilität gegenüber einem als Ganzem fest gebliebenen Rahmen bedeutet; dazu gehören auch Salzdome). Bei Verwendung des Begriffes Palingenese ist daher, bis sich ein neuer Usus eingebürgert hat, genau anzugeben, welcher Ansicht der Autor in seinem Spezialfall huldigt. Im Folgenden wird Palingenese mit der Umschmelzung gleichgesetzt.

Drei weitere Umstände komplizieren die Nomenklaturfrage. 1. Ist das Produkt einer Metamorphose durch Struktur und Textur deutlich von normalen Primärgesteinen gleichen Mineralbestandes verschieden, so sollte es einen besonderen Namen erhalten, z. B. Amphibolit statt Hornblendediorit, Alkalifeldspatgneis statt Granit usw., und man würde nichts gewinnen, wenn derartige altbewährte Bezeichnungsunterschiede plötzlich aufgehoben würden. Genaue Untersuchungen sowie Überlegungen theoretischer Art zeigen jedoch, dass trotz unzweifelhaft stattgefunder Metamorphose (z. B. im Kern eines Gesteinskomplexes) Strukturen und Texturen auftreten können (z. B. massig-richtungsloses Verhalten), die zum mindesten bei Felduntersuchungen denen von magmatischen Gesteinen sehr ähnlich sind.

So können für die äussere Charakterisierung Gesteine oder Teile von Gesteinen äusserlich granitähnlich werden. Man muss sich daher entscheiden, was die auf Mineralbestand, Struktur und Textur sich beziehenden Begriffe in Zukunft bedeuten sollen, ob z. B. Granit als Begriff nur verwendet werden darf, wenn die primär magmatische Bildung sehr wahrscheinlich gemacht wurde. Bei dem heutigen Streit um das Granitproblem würden sich bei diesem Standpunkt Kartierungsbilder ergeben, die kaum mehr miteinander vergleichbar wären. Es ist daher wohl zweckmässiger, wenn Gesteine, die bei massiger Textur (und nicht durchgehender klastischer, jedoch körniger Struktur wie Arkosen) durch die Mineralkombination Quarz-Alkalifeldspat \pm Plagioklas + dunkle Gemengteile in den Graniten entsprechenden Mengenverhältnissen ausgezeichnet sind, den Namen „Granit“ als Oberbegriff beibehalten. Granit kurzweg oder Magmagranit bedeutet das Eruptivgestein, Metagranit oder Ultrametagranit (eventuell Migmagranit) soll angeben, dass der Forscher nachweisen kann, das granitähnliche Gestein sei das Produkt einer Metamorphose oder Ultrametamorphose (ohne vollständige voraus gegangene Verflüssigung), also einer Granitisierung. Selbstverständlich muss die Unterscheidung zwischen Gneis und Granit soweit als möglich im weitesten Sinne beibehalten werden, denn die Gneise mit gerichteteter Textur oder mit Verschieferungsscheinungen sind von gewöhnlichen Graniten so gut unterscheidbar, dass selbst wenn natürliche Übergänge erwartet werden müssen, das Aufheben der Abtrennung einen Rückschritt bedeuten würde.

2. Nun ist jedoch auf Grund der Erfahrungen auch der Gneisbegriff, sofern er rein phänomenologisch definiert wird, genetisch verschiedenartig interpretierbar. Viele Gneise sind nachweisbar das Ergebnis einer Metamorphose, unabhängig von der ursprünglichen Gesteinsbildung. Bei Intrusionen von Magmen unter Stress und bei während und nach dem Kristallisationsbeginn fortdauernder mechanischer Beanspruchung entstehen jedoch gleichfalls gneisartige Gesteine, deren Textur zunächst fluidal, aber auch schiefrig bis protoklastisch werden kann (Piezokristallisation im erweiterten Sinne von WEINSCHENK). Nun ist begreiflich, dass der menschliche Geist nur zögernd die natürliche Kombination verschiedener Phänomene in der Natur voll in Rechnung stellt und lieber, wie im Laboratorium, versucht zu trennen, was im Naturgeschehen teils getrennt, teils kombiniert vorkommt. Doch von diesem Schematismus muss er sich zu befreien suchen, selbst wenn dadurch in wirklicher Anpassung an das natürliche Sein und Geschehen der praktische Ausdruck nüancierter wird, als dies für einen populärwissenschaftlichen Leitfaden erwünscht erscheint. Man sollte meiner Meinung nach nicht zögern, feldpetrographisch solche gneisartigen Gesteine Gneise zu nennen, jedoch zum Ausdruck bringen, dass die Gneisifizierung als eine Art Autometamorphose zum Primärakt der magmatischen Gesteinsbildung gehört.

Erscheinungen dieser Art sind gar nicht selten und bei den sogenannten Basiten und Metabasiten im allgemeinen noch weit häufiger als bei syenitisch-granitischen Gesteinen. Schwierigkeiten entstehen eigentlich nur bei der speziellen Namentengebung (z. B. Hornblendediorit bis Gabbro oder Amphibolit, Gneisgranit oder primärer, autometamorph gneisartiger Granit usw.). Wesentlich bleibt die genaue Darstellung der Befunde und die Aufzählung der nach Ansicht des Autors zur Beweisführung dienenden Daten.

3. Normale Eruptivgesteine sind bei relativ hoher Temperatur entstanden (katathermal). Es häufen sich jedoch in letzter Zeit Beobachtungen, dass es unter ganz besonderen Umständen auch epi- bis mesothermale magmatische (hydro-magmatische) Gesteine gibt. Erinnert sei an das Spilit-Keratophyrrproblem, das in der alpinen Petrographie eine nicht unwe sentliche Rolle spielt. Bei den alpinen Ophiolithen wird es daher allgemein zu einer wichtigen Frage, ob die Meso- bis Epifacies primärmagmatischen (hydromagmatischen), magmatisch autometamorphen oder kurzweg metamorphen (allometamorphen) Charakter besitzt. Den bisherigen Beobachtungen nach sind alle drei Fälle verwirklicht und sie sollten es auch sein, wenn die Ansichten über die Beziehung zwischen ophiolithisch-magmatischer Aktivität und Gebirgsbildung richtig sind.

Man hat Erscheinungen, wie sie hier unter 1—3 an Beispielen verdeutlicht wurden, oft unbequeme Hilfsvorstellungen genannt, die sich nur deshalb als notwendig erwiesen hätten, weil die Grundvorstellungen falsch seien. Das ist eine vollkommene Verkennung des Tatbestandes. Es handelt sich um Erscheinungen, die man erwarten muss, wenn die Deutung der einfacheren Fälle richtig ist. Ihr Vorhandensein ist ein Beweis dafür, dass grundsätzlich die Petrogenesis beginnt, der realen Mannigfaltigkeit Rechnung zu tragen und sich von dem Schematismus engstirniger Schulmeinungen zu befreien.

EINIGE STRUKTURBEGRIFFE

Kristalleide: Kristalle relativ guter Wachstumseigengestalt.

Kristalloblasten: Kristalle, deren äussere Form stark behindert ist bis zu amöbenartiger Gestalt (primäre Gestaltsbildung dieser Art oder Effekte von Resorptionen und Verdrängungen).

Kristalloklasten: Gestalt durch Zertrümmerung (Kataklase) bedingt.

Kristalloplasten: Die Gestalt lässt mechanisch plastische Verformung erkennen.

Homöoblastische, homöokristalleide, homöokristalloloklastische Struktur: Die wesentlichen Gemengteile sind von ähnlicher Korngrösse.

Porphyrkörnige, porphyroblastische, porphyroblastische Struktur: Grössere Mineralkörner (Einsprenglinge) treten in feinkörniger Grundmasse oder im Grundgewebe auf.

Übergänge: unregelmässig heterokörnig oder porphykartig.

Mosaikstruktur: Die Kristalle stossen mit relativ einfachen Grenzflächen aneinander. Verzahnungen leiten über zu komplizierten Implikationsgefügen, die oft als Symplektite bezeichnet werden.

Interpositionsgefüge können genetisch oft verschiedenartig gedeutet werden; es kann sich um Einschlüsse, pseudomorphosenartige Füllstrukturen, Entmischungen, Verdrängungen, eutektoide Bildungen usw. handeln.

Hieher gehören auch poikilitische und poikiloblastische Strukturen.

TEXTUREN

Massig, richtungslos, ohne Gefügeregelung.

Geregelte gerichtete Texturen mit Gefügeanisotropie.

Bei metamorphen Gesteinen sind oft Abbildungstexturen von den während der Kristallisation entstandenen Deformationstexturen unterscheidbar.

Lagig - bänderartige Ausbildungen, flatschig - flaserige bis lentikulare Texturen, Kristallisationsschieferung und Verfältelungen, mechanische Verschieferungen und Mylonitisierungen. Ptygmatische Fältelungen von Sekundärmassen sind oft nur das Abbild besonderer Bewegungsformen des mobileren Anteiles.

Verformungen vor, während oder nach der Hauptkristallisationsphase werden *prae-*, *syn-*, *postkristallin* genannt. Nach der Bildungszeit in Beziehung zu tektonischen Vorgängen sind die Begriffe *prae-*, *syn-* und *posttektonisch* im Gebrauch, sollten jedoch präzisiert werden durch Angabe der Phase der Dislokationsvorgänge, auf die sich das *prae-*, *syn-* oder *post-* bezieht.

III. Überblick über die Gesteinsmetamorphose in den Schweizeralpen

Im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts war es noch ungewiss, ob eine Korrelation der tektonischen und petrographischen Forschung in den Schweizeralpen durchführbar sei. In den letzten 40 Jahren hat die intensive Bearbeitung durch viele Geologen und Petrographen nicht nur die Zweifel an dieser Möglichkeit beseitigt, es sind eine Reihe von fundamentalen Gesetzmässigkeiten zwischen Faltungen vom alpinen Typus und gleichzeitiger Metamorphose gefunden worden. Doch ist festzustellen, dass, abgesehen von der Darstellung in A. HEIMS „Geologie der Schweiz“, einer starken Berücksichtigung der Petrographie in J. CADISCH „Geologie der Schweizeralpen“ und den chemisch-mineralogischen Übersichten in „Chemismus der Gesteine der Schweiz“, eine Gesamtdarstellung der petrologischen Ergebnisse noch nicht erfolgt ist. Auch im Nachfolgenden handelt es sich nur um die Erwähnung einiger elementarer Beziehungen, ähnlich wie das vor 20 Jahren R. STAUB für Bünden getan hat. Sehr schematisch gibt Figur 1 über den Einfluss der alpinen Metamorphose auf die Hauptgesteinszonen der Schweiz Auskunft.

1. ZENTRALMASSIVE UND HELVETISCHE KALKALPEN

Für die Zentralmassive gibt es drei besonders charakteristische Erscheinungen:

- a) In prä-oberkarbonische Gesteine sind zur Oberkarbonzeit saure bis intermediäre Magmen eingedrungen. Deren Erstarrungsprodukte bilden mit den noch älteren Gesteinen das sogenannte Altkristallin, das z. B. nach R. STAUB noch sehr alte Gesteinskomplexe enthält.
- b) Im Oberkarbon und zur Permzeit sind Gesteine gebildet worden, die oft zum Permokarbon zusammengefasst werden. Das seltener erhalten gebliebene älteste Karbon bildet Übergänge zum Altkristallin, das jüngere Permokarbon enthält bereits Erosionsschutt des herzynischen Faltengebirges (insbesondere der Verrucano).
- c) Trias und Mesozoikum überlagern das Altkristallin und Permokarbon und sind (zum Teil mit dem Permokarbon) alpin eingeschuppt, eingefaltet oder als Decken nordwärts abgeglitten.

Das prägranitische Altkristallin ist sicher polymetamorph. Nur alpinmetamorph sind anderseits die postpermischen Gesteine. In vielen Regionen scheinen auch die letzten herzynischen Eruptivgesteine und das Permokarbon fast ausschliesslich alpinmetamorph zu sein. Auf Grund zahlreicher Beobachtungen besteht Übereinstimmung darin, dass in den helvetischen Zentralmassiven zur Zeit der alpinen Gebirgsbildung keine eigentliche Wiederbelebung magmenähnlicher Tätigkeit stattgefunden hat. Gegenteilige Behauptungen beruhen auf einwandfrei nachweisbarer Verwechslung älterer Gesteine mit jüngeren.

Die alpine Tektonik der Zentralmassive ist eine eigenartige, sie wird erst in neueren Profilen (seit ARGAND) einigermassen richtig dargestellt. Kennzeichnend für die helvetischen Zentralmassive ist zunächst ein im grossen gesehen asymmetrischer Bau. Im Norden, bzw. bezogen auf den Alpenbogen nach aussen hin, findet man häufig ausgesprochene Diskordanz der jüngeren Sedimente, die relativ flach auf noch steilstehenden (oft südfallenden), streckenweise mit permischem Verwitterungsschutt bedeckten Altkristallin liegen. Südwards folgen mehr oder weniger tiefgreifende Keile jüngerer Sedimentgesteine, die, abgesehen von dann und wann auftretenden Verfältelungen und Schuppenbildung, jetzt zum Altkristallin in \pm konkordanter Lagerung stehen. Wie dieser Übergang von Diskordanz zur Einschuppungskonkordanz zustande kommen kann, zeigen sehr instruktiv Profile durch die Tödigruppe von H. WIDMER, durch das Jungfraugebiet von L. W. COLLET und E. PAREJAS, durch die Einfaltungen zwischen Lonza und Baltschiedertal von M. SCHENKER. Das Entstehen tiefgreifender Sedimentkeile bzw. junger Muldenzonen wird auch bei Betrachtung von Profilen durch die Windgällenregion, die Jungfrauregion und die gut untersuchte Längszone der Urseren-Garveramulde verständlich.

Im südlichen Teil treten sehr verschiedenartige Erscheinungen auf, je nachdem, ob man sich in Gebieten unter den Haupttemporwölbungen oder in Gebieten des axialen Untertauchens der Zentralmassivkomplexe befindet. In den letztgenannten Gebieten ist der Übergang zum nach Norden gerichteten Deckenbau sowohl im Altkristallin wie in der Sedimentbedeckung deutlich. In Sektoren von Querantikinalen kann eine intensive Rückfaltung bemerk-

bar werden, die im Altkristallin zum Nordfallen der Schieferlagen (Fächerbau) führt: Typische Profilserien und Kartenskizzen findet man z. B. im Geologischen Führer der Schweiz 1934, besonders in Faszikel I (von M. LUGEON) und in Faszikel II (von P. ARBENZ, E. HUGI, P. NIGGLI mit R. U. WINTERHALTER, N. OULIANOFF).

Ihrer Anlage nach sind die Zentralmassive herzynische Gebirge mit verschiedenen vortriasischen Faltungs-, Intrusions- und Metamorphosenvorgängen. Während alpintektonisch im Norden, gegenüber den bereits vortriatisch vorhandenen Lagerungsverhältnissen des Altkristallins, geringe Änderungen erfolgten oder lokal Altkristallin oder vortriasisches Material in parautochthonen Teildecken auftritt, hat im mittleren Teil der Querschnitte durch die alpin zusammengepressten und emporgestauten Massivkerne eine Schuppung stattgefunden, die als eine Art saiger stehende Deckenbildung beschrieben werden kann, wobei schliesslich die jüngeren Sedimente ihre Diskordanz zum Altkristallin vollständig verloren haben. Der Emporstau begann als Schwellenbildung relativ früh, sicher vormiozän, doch erfolgte unter Abgleiten und Faltung der Sedimenthülle die eigentliche Massivaufstauung erst später. Eine plastische Verformung oder alpine Verfaltung des Altkristallins ist selten erfolgt, so dass beim letzten Akt der Massivbildung die alten Strukturflächen weitgehend erhalten blieben oder neu belebt wurden. Eine Diskordanz ist in gewissen Regionen indessen noch zwischen den Streichrichtungen herzynischer, nur das Altkristallin betreffender Muldenzonen und jüngeren Einmuldungen bemerkbar; auch sie fehlt bei stärkster Zusammenpressung in den Kulminationszonen der Massive. Das zentrale Altkristallin verhielt sich alpin als relativ starre Masse, in welcher in den nicht schon geschieferten Gesteinen nur Epimetamorphose mit starker Beteiligung destruktiver Prozesse stattfand. Fast vertikal stehende Ruschelzonen zeigen die Schuppung bis Keilbildung auch dort an, wo jüngere Sedimente nicht eingeschleppt sind. Am Südrande der Querantiklinalzonen haben sich (langsam und vielleicht schon vom Oligozän an) die Stirnregionen tieferer penninischer Decken gewissermassen in die Zentralmassive eingebohrt und schliesslich nachmiozän eine Verformung bewirkt, wie sie diesen Stirnregionen selbst zukommt. Im tiefergelegenen Teil dominieren Rekristallisationsvorgänge unter Epi- bis Mesobedingungen, die Verfaltungen der jüngeren Sedimente werden denen der penninischen Deckenstirnen konkordant. Ein Teil der Massivgesteine wichen jedoch nach oben aus.

Der Emporstau von Aar- und Gotthardmassiv klingt nach Osten und Westen ab (axiales Gefälle). Beidseits der Haupttemporpressungen können die penninischen bis ostalpinen Decken über die stufenweise untersinkenden Teile der Massive vorprellen und nicht selten Permokarbon, ja selbst Altkristallin der Massive in überschiebungsartigen Teildecken nordwärts mitreissen oder abgleiten lassen. Schliesslich beginnt am Massivende die Sedimenthülle (oft etwas teildeckenartig nach Norden vorgetrieben) zusammenhängend zu werden und überdeckt, sofern Erosion oder jüngere Abscherung fehlen, den Rest der untertauchenden Massive (P. NIGGLI, W. K. NABHOLZ, P. MEIER).

Infolge dieser tektonischen Variabilität lässt ein Studium des mittleren schweizerischen Zentralmassivkomplexes (trotz möglicher weiterer Unterteilungen meist kurzweg als Aar-Gotthardmassiv bezeichnet) einen Gross-

teil der verschiedenartigen Phänomene der alpinen Gesteinsmetamorphose erkennen. Folgende Ergebnisse ausgedehnter petrographischer Studien verschiedener Forscher sind besonders wichtig²⁾.

α) Die alpine Dislokationsmetamorphose ist eine Funktion der speziellen tektonischen Verhältnisse. Eine grossregionale Betrachtungsweise, die darauf keine Rücksicht nimmt, steht dem ungeheuren Wechsel der Erscheinungen hilflos gegenüber.

β) Sie ist aber auch von der Vorgeschichte und dem in die alpine Gebirgsbildung einbezogenen Gesteinsmaterial abhängig. Oft werden alte Strukturlinien nur wenig überarbeitet, und der Zustand des Materials (z. B. bereits metamorph, massig oder schieferig, jungsedimentär) ist für den Ablauf der jüngeren Gesteinsumwandlung von ausschlaggebender Bedeutung.

γ) In diesem Gebiet ist der pauschale Chemismus der Edukte während der alpinen Metamorphose fast vollständig erhalten geblieben, die alpine Gesteinsmetamorphose hat unter den genannten Bedingungen keine grossregionalen Stoffwanderungen erzeugt, die zu einer Verwischung der Gesteinsgrenzen Veranlassung gegeben hätten. Trotzdem sind im Kleinen metamorphe Differenzierungen über den Weg der Entstehung chymogener Akyrosome erkennbar. Im Kyriosom kann die Abhängigkeit der Metamorphose vom Chemismus prachtvoll studiert werden.

Dieses dreifach selektive Verhalten (siehe darüber auch E. KÜNDIG) der Dislokationsmetamorphose steht in Übereinstimmung mit der Kenntnis über Kinetik und Statik umformender Vorgänge. Im Sinne der hier verwendeten Begriffe führen die Beobachtungen zur Feststellung, die alpine Metamorphose dieser Zentralmassive sei eine reine Dislokationsmetamorphose.

Am eingehendsten untersucht ist das Verhalten der nachpermischen, sicher nur alpinmetamorphen Sedimentgesteine in den parautochthonen Decken der helvetischen Kalkalpen, den zwischenmassivischen Grossmulden, den zwischen Massiven und penninischen Decken eingeklemmten südlichen Sedimenten und den Sedimenthüllen der ost- und westwärts untertauchenden Massive. Die kristalloblastische Verformung dominiert und der Mineralbestand ist, sofern es sich um nicht fast monomineralische Ursprungsgesteine handelt, von der speziellen tektonischen Stellung in übersichtlicher Weise abhängig. Am schönsten zeigt dies die Metamorphose der Trias und des Lias, im besonderen der Quartenschiefer (keuperartige Gesteine) und des noch Fossilienreste führenden unteren Lias. Beide sind z. B. in den helvetischen Decken und im Osten des untertauchenden Gotthardmassives kaum eigentlich metamorph. Sie zeigen typischen Epimineralbestand in der Garvera-Urserenzone, etwas stärkere Metamorphose in der Scopimulde und im Val di Campra und mesozonale Schiefer- bis Gneisausbildung am Südrand des Gotthardmassives. Es gibt meines Wissens kein schöneres Beispiel der konstruktiven Dislokations-

²⁾ Im Aarmassiv haben z. B. W. HUBER, TH. HÜGI, E. HUGI, H. HUTTENLOCHER, H. LEDERMANN, J. NIEDERER, W. STAUB, FR. WEBER, F. SIGRIST gearbeitet, im Gotthardmassiv E. AMBÜHL, R. EICHENBERGER, L. BOSSARD, K. GEBHART, W. VAN HOLST-PELLEKAAN, H. M. HUBER, L. J. KRIGE, H. MÜLLI, E. NIGGLI, P. NIGGLI, R. SONDER, F. WEBER.

metamorphose in ihrer Abhängigkeit von den tektonischen Spezialbedingungen und dem Ausgangschemismus.

Die zur Permzeit noch massigen Gesteine des Altkristallins, besonders die Zentralgranite bis -granodiorite zeigen (mit wenigen Ausnahmen z. B. im südlichsten Teil des Gotthardmassives) ausgesprochene, die alten Strukturen nicht völlig zerstörende Epimetamorphose, wobei, neben destruktiven Prozessen, die konstruktiven der Serizit-, Chlorit-, Epidotbildung fast immer beteiligt sind. Verruschelungs- und Mylonitisierungszonen sind nicht selten. Zum Teil sind sie sicher alpin, doch können einzelne bereits permokarbonisches Alter besitzen. Bemerkenswert ist, dass in den granitischen Gesteinen auftretende Lamprophyrgänge oft deutlichere Umkristallisationsvorgänge erkennen lassen, so dass unter diesen Bedingungen gilt: basischere Gesteine sind leichter umkristallisierbar als saurere alkalifeldspatreiche Gesteine³⁾.

Das vorgranitische Altkristallin bildet als Ganzes um die noch massigen, wenig vergneisten Granite bis Granodiorite eine Gneis-Schieferhülle, die diesen Charakter bereits voralpin besass. ESKOLA hat auch die Zentralmassive der Alpen unter den etwas unklaren Begriff der „mantled gneiss domes“ gestellt; doch ist zu betonen, dass hier keinerlei Spuren einer alpin neu belebten magmatischen Tätigkeit feststellbar sind. Indessen gibt es im Altkristallin prachtvolle Beispiele der Anatexis, Eruptivbrekzienbildung des Schollenkontaktes, der Migmatisierung und der Injektion. Aber sie sind eindeutig von vorpermischem Alter, teilweise mit der Intrusion der zentralgranitischen Magmen verbunden, teilweise noch älter, z. B. in Zusammenhang stehend mit älteren Granitbildungen, die schon herzynisch zu Orthogneisen umgewandelt wurden.

Der Umstand, dass die Gefügebilder solcher älterer Metamorphosen stellenweise noch fast unversehrt vorhanden sind, beweist wiederum, dass der gegenwärtige Zustand des Altkristallins der Zentralmassive durch die alpine Tektonik allein nicht erklärt werden kann. Es haben daher in den letzten 20 Jahren fast alle in diesen Gebieten arbeitenden Petrographen versucht festzustellen, welche Änderungen nun eigentlich im Altkristallin bis Permokarbon zur alpinen Metamorphose gehören. So hat z. B. E. NIGGLI unter Mitberücksichtigung von Arbeiten von E. AMBÜHL, R. U. WINTERHALTER, W. HUBER und H. M. HUBER für das Altkristallin des nordöstlichen Gotthardmassives eine Übersicht über den voralpin und alpin geprägten Mineralbestand der verschiedenen Gesteinsgruppen gegeben. Ausgedehnte Studien an Gefüge-Regelungen sind zur Zeit im Gange, um die Probleme abklären zu helfen. Dabei ist allerdings zu bemerken, dass die voralpine Schieferung fast stets eine eventuelle alpine Umprägung bestimmt hat, so dass, wie schon M. REINHARD betonte, bei der Deutung grosse Vorsicht zu walten hat.

Naturgemäß ist die Frage, ob der derzeitige Hauptmineralbestand im Altkristallin zu nur geringem oder erheblicheren Teil der alpinen Metamor-

³⁾ Sehen wir von den sicher nachgranitischen Lamprophyren ab, so muss allerdings mit in Betracht gezogen werden, dass die vorgranitischen intermediären basischen und ultrabasischen, jetzt meist stark metamorphen herzynischen Eruptivgesteine teilweise bereits herzynisch metamorph sein können, da vor den intermediären bis sauren letzten Magmenintrusionen der Oberkarbonzeit sicher ältere Faltungen stattgefunden haben.

phose zu verdanken ist, örtlich-tektonisch verschieden zu beantworten. Kristalloblastische Umprägungen sind an den Südrändern und in südlichen alten Muldenzonen weit bedeutsamer als im Norden, wo im Altkristallin höchstens schwache Diaphthorese eine Rolle spielt. Besonders interessant sind die Studien in dem zwischen Aar- und Gotthardmassiv gelegenen kleinen Tavetscher Zwischenmassiv, vermutlich einer injizierten, älteres Paramaterial führenden altkristallinen Hauptwurzelzone helvetischer Decken. Hier war die voralpine Metamorphose bei Fehlen eigentlicher herzynischer Grossintrusion, jedoch Vorhandensein von Pegmatitgängen, Einlagerungen von ultrabasischen Gesteinen, Keratophyren und Quarzporphyren weniger intensiv, die alpine Epimetamorphose bestimmt schon weitgehend den jetzigen Gesteinsgesamtcharakter, und in der gleichen Region sind die nachgranitischen, meist permischen Gesteine fast ausschliesslich alpin metamorph. Psephitisch-psammitische bis pelitische Gesteine mit Quarzporphyren, Spiliten und Keratophyren bauten das gotthardmassivische Permokarbon zur Hauptsache auf (E. AMBÜHL, E. NIGGLI, P. NIGGLI, F. WEBER, P. ZBINDEN).

Im Aar-Gotthardmassivkomplex sind die Übergangsglieder zwischen vergneistem Altkristallin und sicher nachgranitischem Permokarbon nur an wenigen Stellen gut entwickelt; sie wurden neuerdings von H. P. EUGSTER und H. WIDMER untersucht. Das Westphalien ist vorgranitisch, enthält basische Lagergänge, die Kontaktmetamorphose erzeugten, und wird von den Graniten stellenweise injiziert und kontaktmetamorphosiert. Unzweifelhaft haben im Karbon bis unteren Perm verschiedene Faltungsphasen und Erosionszyklen stattgefunden, und diese folgten auf noch ältere Faltungen unbestimmten Alters. Eine sehr wichtige herzynische Hauptfaltung ist jedoch vorgranitisch und jünger als Unter- bis Mittelkarbon.

So bilden die Aufschlüsse der Zentralmassive einen Einblick in polymetamorphe Gebiete verschiedenster Art und in Gesteine, die nur alpinmetamorph sind. Deshalb stellen sie für die Gesamtfrage der Lehre von der Gesteinsmetamorphose ein Schulbeispiel dar. Jeder Versuch, die Fülle des Tatsachenmaterials nach einer Universaltheorie zu deuten, versagt hier gründlich.

Durch eine Nebenerscheinung wird der Charakter der alpinen Gesteinsmetamorphose physikalisch-chemisch und mineralparagenetisch näher präzisiert. Es handelt sich um die alpinen chymogenen Akyrosome, die besonders durch die gelegentliche Führung von prachtvoll ausgebildeten Kluftmineralien bekannt geworden sind. Während der alpinen Dislokation, dem Emporstau sowie der gleichzeitig einsetzenden Erosion und Sedimentdeckenabgleitung, entstunden in strenger Abhängigkeit von den spezialtektonischen Verhältnissen Zerrungsrisse und Zerrungshohlräume, die indessen sofort von den in den Gesteinen kapillar vorhandenen und mobilen Lösungen erfüllt wurden.

Nirgends ist wie in den Zentralmassiven, mit den alpin kaum verwischten alten Gesteinsgrenzen und der Erhaltung des Pauschalchemismus der verschiedenen Gesteinsarten, so deutlich, dass die Gesamtmetamorphose in einem Festkörperaggregat erfolgte, d. h. in einer Masse, die gesamt betrachtet in jedem Moment festes Gestein blieb, wobei der Stoffaustausch im wesentlichen ein interner war. Aber dieser innere Stoffumtausch kann auf verschiedenen Wegen zustande kommen, und nichts ist gewonnen, wenn von der Diffusion

als beherrschendem Prinzip gesprochen wird. Das Hauptinteresse richtet sich auf die Beantwortung der Frage: Was wandert und auf was für Wegen geht der Stoffumtausch vor sich? Die Beobachtungen an alpinmetamorphen Gesteinen zeigen unmissverständlich, dass bereits unter diesen Bedingungen einerseits Neubildungen in einem Verband entstanden sind, der während der Metamorphose im wesentlichen als Festkörperaggregat erhalten blieb, während andererseits zugleich andere Neubildungen in einem mikroskopisch kleinen oder grösseren oder ständig sich verändernden, von molekulardisperser Phase erfüllten Raum vor sich gingen. Die Neubildungen in mikroskopischen Zerrungshohlräumen um Porphyroblasten, in Klüften, Knauern, Adern und Bändern, zum Teil aber auch in offen gebliebenen grossen Zerrungshohlräumen, sind so häufig beschrieben und abgebildet worden (zuletzt in dem bald eine Fortsetzung und Zusammenfassung findenden Buch „Die Mineralien der Schweizeralpen“), dass die Behauptung einer Nichtexistenz von Lösungen während der alpinen Gestinsmetamorphose kaum ernstlich diskutiert zu werden braucht. Die hier sehr deutlich erkennbare Zweiteilung der Phänomene ist in Abschnitt II durch die Bezeichnung stereogener und chymogener Anteil schematisiert worden. Hiebei bedeutet stereogen: Umwandlungen im Festkörperaggregat mit seinen kapillaren Phasen und seinen in Platztausch und Diffusionszustand befindlichen Bestandteilen, sagt also noch nichts aus über die Reaktionsart (Einzelteilchenwanderung, Oberflächenreaktionen zwischen verschiedenen Körnern, Umordnungsvorgänge, Mitwirkung von kleinen Lösungssubstanzen usw.). Chymogene Bestandsmassen sind indessen solche, die sich in einem z. B. von Lösungen (auch kolloidaler Art) erfüllten Raum freier entwickeln konnten, ob nun dieser Raum von Anfang an von dieser Phase erfüllt war oder sich mit dem Eindringen ständig und in Abhängigkeit von den tektonischen Verhältnissen deformierte, z. B. sukzessive erweiterte und neu ausgefüllt wurde. Auch wenn die chymogenen Akyrosome als Ganzes untergeordnet sind, werden im Grossen die Gesteinsmassen gesamtbetrachtet polyschematisch, d. h. sie bestehen aus deutlich verschiedenen Strukturbereichen. In dieser Beziehung ist der Gesamtaufbau ähnlich demjenigen anatek-tischer Gesteine, bei denen sich jedoch, wie der Name schon sagt, eigentliche Schmelzvorgänge abgespielt haben müssen. Aber es ist für die richtige Deutung analoger polyschematischer Gesteine wichtig, ihre Repräsentanten unter Epi- bis Mesobedingungen kennen zu lernen, bei denen, trotz der Wanderung des chymogenen Anteiles, Lage für Lage des Kyriosoms praktisch seine Ursprungszusammensetzung bewahrt hat. Die schönsten Bilder über sogenannte „boudinage“, über Ophthalmite, Phlebite, injektionsartige Strukturen liefern in den Alpen die hochmetamorphen Bündnerschiefer, ja bereits manche an sich wenig metamorphe Gesteine der Kalkalpen (siehe z. B. Bilder bei P. HASLER, Min. Petr. Mitt. 29 (1949) nach pag. 154), die sicherlich keine Migmatite im Sinne der neueren Terminologie sind und bei denen auch der Begriff Palinogenese fehl am Platze wäre.

Der Alpenpetrograph sieht somit deutlich, dass Arbeitshypothesen, bei denen nur feste Phasen bei der Umwandlung der Erdkruste in Berücksichtigung gezogen werden oder bei denen jede polyschematische Struktur als Anatexis beschrieben wird, den wirklichen Befunden gegenüber völlig versagen. In den in grosser Masse gefalteten Sedimenten, die sich vor der Faltung noch

im relativ feinkörnigen, z. T. sogar halbplastischen Zustand befanden (Karbonschlamm, Mergel, tonige Pelite, usw.) sind die Akyosome ähnlich wie die Sattelgänge (saddle, reefs) und Kleinphakolithe faltungsabhängig und linsig bis knauerförmig. Sie enthalten fast nur Quarz und Karbonate und beweisen durch diesen bereits lateralsekretionär möglichen Mineralbestand das Fehlen einer fremden Stoffzufuhr. Unter ausgesprochenen Mesobedingungen können (besonders randlich) grosse Disthen-, Staurolith-, Granat- oder Glimmerkristalle auftreten. Bei starrerem gesteinsmässigem Ausgangsmaterial, insbesondere auch im Altkristallin, überwiegen spindelförmige, ader-, gang- bis bandartige Akyosome, die als Zerrungsbildungen oft quer zur Schieferung verlaufen und sich von kristallbesäten Kluftwandungen bis zu eigentlichen Kristallhöhlen (meist in Quarzbändern) ausweiten können. Die Kristallbildung erstreckte sich über



Fig. 4. Zerrkluftausbildung. Quarzknauer in gefalteten Schiefern (Lukmanierstrasse) auf ca. $\frac{2}{3}$ verkleinert.

einen grossen Zeitraum, in welchem tektonische Bewegungen weiter vor sich gingen. Aus der Zersetzung der Nebengesteine und dem Akyrosominhalt lassen sich, wie anderswo dargetan wurde, Höchsttemperatur und Umkristallisationsbedingungen der alpinen Gesteine vollständig rekonstruieren.

Das Verhalten älterer Erzlagerstätten (W. EPPRECHT, L. DEVERIN, C. FRIEDLAENDER und H. HUTTENLOCHER) gibt auch über Sonderparagenesen Auskunft. Bemerkenswert ist in ursprünglich quarzhaltigen Gesteinen die grosse Menge wanderungsfähiger Kieselsubstanz. So liefert das genaue Studium der Neubildungen in den Zentralmassiven mit ihren eingepressten oder umhüllenden bzw. nordwärts in Faltenwurf abgeglittenen jungsedimentären Gesteinen ein an Einzelheiten reiches Bild über den wechselnden Charakter der alpinen Metamorphose, das unter Berücksichtigung der bereits heute durch die tektonische Forschung bekannten Umstände zu einer widerspruchsfreien Gesamtsynthese verarbeitet werden kann. In einer Skizze, die das gesamte Gottardmassiv umfasst, kann naturgemäß nur ein schematisches Bild der Abhängigkeit der Metamorphose vom tektonischen und lithologischen Bau ge-

geben werden. Die Figuren 2 und 3 versuchen, soweit das möglich ist, die Übersicht zu geben. In Wirklichkeit könnte nur in einem viel grösseren Massstab (und kombiniert mit Aufrissen) der Mannigfaltigkeit Rechnung getragen werden. Immerhin wird schon aus der schematisierten Darstellung hervorgehen, wie verschiedenartig gerade im Gotthardmassiv die Phänomene sind. Die Figuren 4 und 5 zeigen Akyrosombildungen. Es ist daher durchaus zweckmässig, das Verhalten der übrigen tektonischen Einheiten mit diesem mineralisch besterforschten Gebiet der Schweizeralpen zu vergleichen.



Fig. 5. Zerrkluft erfüllt mit Chlorit. Senkrecht zum Streichen (Lukmanierstrasse) auf ca. $\frac{2}{3}$ verkleinert.

2. OBER- BIS MITTELOSTALPINES DECKENGEBIET

Grössere mineralogisch-petrographische und erzkundliche zusammenfassende neuere Darstellungen liegen u. a. von P. BEARTH, J. CADISCH, H. P. CORNELIUS, E. ESCHER, F. ESCHER, TH. GEIGER, F. SPAENHAUER, R. STAUB; A. STRECKEISEN, M. VUAGNAT, E. WENK und aus dem Valpellinegebiet von E. A. DIEHL, R. MASSON, A. H. STUTZ vor.

Das Altkristallin der oberostalpinen Decken (Silvretta- und Oetzmasse) zeigt analogen Bau wie das zentralmassivische Altkristallin. Neben Paragneisen und Orthogneisen sind hier besonders reichlich Hornblendegneise, Amphibolite bis Eklogite vorhanden. Assimilations- und Injektionsvorgänge der als Ganzes noch als erstarrte saure Magmenintrusion erkennbaren Teilmassen (z. B. Flüelagranitgneis, Mönchalpgranit) sind wie in den Zentralmassiven gut erkennbar. Präpermische Faltungen haben die gesamte Altkristallinmasse (z. T.

eingeschlossen die jüngsten Intrusionsgesteine⁴⁾ umgeprägt. Die mit allen diesen Vorgängen verbundenen Metamorphosen bestimmen heute noch den Hauptcharakter der Gesteine. Während der Alpenfaltung ist das Altkristallin blockförmig bis gleitbrettartig disloziert worden unter teilweiser Zerscherung und Auswalzung. Epimetamorphose und Mylonitbildung macht sich an Bewegungsflächen (z. B. an der Überschiebungsfläche des Silvrettakristallins) deutlich bemerkbar, doch gilt nach WENK, dass der alte Baustil (z. T. sogenannte Schlingentektonik) und die präpermische Gesteinsausbildung (wie in den Zentralmassiven) weitgehend erhalten blieb. Nach F. SPAENHAUER sind auch die akyrosomen Quarzknauern mit Andalusit und Disthen herzynisch. Diskordant überlagern alpin flachachsigt gefaltete mesozoische Sedimente das vortriassische steilachsigt gefaltete Altkristallin. Entsprechend ihrer höchsten Lage im Alpendeckenbau sind die von der Unterlage oft abgeschereten nachpermischen Sedimente nur schwach metamorphosiert; weitgehend ist, wie in vielen Teilen der Kalkalpen, die Umwandlung nur eine verstärkte Diagenese. Eine besondere Eigentümlichkeit dieser Gebiete sind nachherzynische Schwärme von Diabasgängen, die das Altkristallin durchsetzen und alpin nur wenig epimetamorph verändert wurden. Sie sind aber sicher älter als die alpine Deckenbildung und können spätherzynisch sein oder im weitesten Sinne des Wortes bereits zur alpin ophiolithischen Magmenaktivität gehören. Alpine Mineralklüfte mit chymogenen Neubildungen treten im ganzen Gebiet auf, jedoch entsprechend dem allgemeinen Spannungsdiagramm der Alpentektonik seltener als in den Zentralmassiven.

Das Gesamtbild der alpinen Metamorphose entspricht (in Übereinstimmung mit der tektonischen Analyse) in grossen Zügen dem epimetamorphen Teil der Zentralmassive (in letzteren jedoch mit saigeren Zerscherungen unter relativ geringer Belastung infolge des Abgleitens der jüngeren Hüllgesteine).

3. UNTEROSTALPINE (BIS MITTELOSTALPINE) UND RELATIV HOCHPENNINISCHE DECKENREGION

Das Altkristallin zeigt ursprünglich ähnlichen Bau, jedoch mit weit mächtigeren, heute stellenweise noch relativ massigen, intermediären bis sauren herzynischen Intrusivkörpern. Unter den präpermischen Sedimenten haben teilweise klastische Bildungen eine grössere Rolle als im oberostalpinen Sektor

⁴⁾ So schreibt z. B. A. STRECKEISEN: „Die Flüelagranitgneise schalten sich bald konkordant zwischen die anderen Gesteinsarten ein, bald zeigen sie einen diskordanten Intrusivkontakt. Die Intrusion der an leichtflüchtigen Bestandteilen reichen Magmen erfolgte während der herzynischen Faltung...; dabei wird das Nebengestein weitgehend injiziert, aufgeschmolzen, assimiliert und es kam zur Bildung mannigfacher Injektionsgneise und Mischgesteine.“ Wort für Wort gilt dies für gewisse Intrusionen der Zentralmassive. Die stärkere, immer noch vorpermische, mesozonale Umkristallisation lässt jedoch vermuten, dass in der Abfolge der herzynischen Faltungsvorgänge die Intrusionen im ostalpinen Gebiet eher den älteren und nicht den jüngsten Intrusionen und den Zentralmassiven analog sind. Es ist daher auch vermutet worden, dass der gesamte Gesteinskomplex wesentlich älter ist als die sichtbaren Gesteinskomplexe der Zentralmassive.

gespielt. Die sogenannten Casannaschiefer, die auch reichlich phyllitische Glieder enthalten können, sind besonders im Westen, z. B. im Val de Bagnes von L. DUPARC, U. GRUBENMANN, H. TSCHOPP, E. WEGMANN, T. WOYNO in der sogenannten St. Bernharddecke eingehend untersucht worden. In dieser Serie ist die Intrusion bis Extrusion basischer Magmen vorpermisch, die Metamorphose eine kombiniert jungherzynisch-alpine. In den oberen Decken sind sicher die variablen vorpermischen sauren Intrusivgesteine (gleich wie Aar- und Gotthardgranit) am Ende der herzynischen Faltung gebildet worden. Von R. STAUB wurden im Gebiet der Sella- und Berninagesteine Kontakterscheinungen beschrieben, die zum Teil alpin überarbeitet wurden. Daneben gibt es im Altkristallin genau wie in den Zentralmassiven ältere, schon herzynisch vergneiste Eruptivgesteine mit zum Teil sehr intensiver Kontaktwirkung. Gesteine, die ihren voralpinen Katagesteinscharakter weitgehend bewahrt haben, fehlen nicht. In der westlichen, jedoch ostalpinen Baustil aufweisenden Dent-Blanche-Decke hat im Valpelline R. MASSON die Katagesteinszone der sogenannten Valpellineserie eingehend beschrieben und A. H. STUTZ die alpine Epimetamorphose der grossen herzynischen Intrusionsmasse, die als Arollaserie bekannt geworden ist. In Bünden hatte bereits R. STAUB die alpine Mylonitisierung an Bewegungsflächen beschrieben, wobei eine ältere, der Hauptfaltung zugeordnete Mylonitisierung von einer jungtertiären unterschieden wurde und auch festgestellt werden konnte, dass, wie in den Zentralmassiven, spätherzynisch bereits Mylonitisierungen stattfanden. Dominierende Kristalloblastese fand (wie im Gotthardmassiv) alpin vorwiegend in den mesozoischen Sedimenten (den sogenannten Bündnerschiefern, schistes lustrées, s. 1.) statt, in denen nun sogenannte ophiolithische Gesteine basischer postpermischer Magmentätigkeit eingeschaltet sind. Diese in letzter Zeit besonders von M. VUAGNAT untersuchten alpinen Ophiolithe zeigen variablen Chemismus bis zum Spilitotypus und neben hydromagmatischem Ursprung (bzw. Autometamorphose) deutlich jüngere alpine Umwandlungen. Kontakterscheinungen an diesen dem Alpenzyklus angehörenden basischen Intrusionen (H. P. CORNELIUS, E. A. DIEHL, R. STAUB u. A.) sind noch vielerorts erkennbar. Erzlagerstätten haben, wie Ed. ESCHER, Th. GEIGER, H. HUTTENLOCHER u. A. dargetan haben, ihre charakteristische alpine Umformung erfahren, so dass sich über einen grossen Bereich verschiedener Mineralarten der Effekt der alpinen Metamorphose verfolgen lässt. Geht man von höher zu tiefer gelegenen Decken über, so ergibt sich, abgesehen von jüngeren Störungszonen, eine deutliche Veränderung des alpin neugebildeten Mineralbestandes, überleitend von Epi- zu Mesobedingungen.

Im Grossen gesehen ist auch im oberpenninischen Deckenbereich das Altkristallin trotz zum Teil stärkerer alpiner Epi-Mesometamorphose noch deutlich von nur alpin verformtem Gesteinsmaterial abtrennbar. Nicht nur Lagerungs-, sondern auch Struktur-, Textur- und Mineralbestandrelikte der älteren Metamorphose haben im Altkristallin die alpine Metamorphose überdauert.

Die innige Verschuppung von Altkristallin und nachpermischen Sedimenten und vermutlich längs listrischen Flächen emporgedrungenen alpin-mesozoischen Ophiolithen sind u. a. für die sogenannte Misoxermulde zwischen Adula- und Tambodecke (und teilweise auch für die Splügenermulde zwischen

Tambo- und Surettadecke) kennzeichnend. Die selektive plastische Verformung mit wiederausgeheilten Klufttrissen, sowie die mit einzelnen Ophiolith-intrusionen in Zusammenhang stehenden Na-Zufuhren während der alpinen Faltung hat A. GANSSEER eingehend beschrieben. Sie bestimmen Struktur, Textur und meso- bis tiefepifaziellen Charakter aller dieser Muldengesteine.

Im Westen arbeitet in analogen Deckengebieten P. BEARTH, der, was vielleicht im Ausland noch nicht überall bemerkt wurde, bei genauerem Studium die Möglichkeit einer alpinen Granitintrusion im Monte Rosa-Gebiet verneinen musste. Auf die gleichfalls im Westen besonders untersuchten Cäsannaschiefer (U. GRUBEMANN, H. TSCHOPP, E. WEGMANN, T. WOYNO, R. ZÜRCHER u. A.) ist bereits aufmerksam gemacht worden. Die Untersuchung der Metamorphose der Erzlagerstätten des Wallis stand unter Leitung von H. HUTTENLOCHER und M. GYSIN. Eine für den Petrographen wertvolle Ergänzung stellt das Verhalten der Anthrazitflöze bei der alpinen Faltung dar, das zusammenfassend durch P. CHRIST eine Bearbeitung erfuhr. Es wäre sehr reizvoll, eine genaue Darstellung der alpinen Gesteinsmetamorphose vom mittelostalpinen bis zum mittelpenninischen Gebiet auf Grund der bereits bekannten und z. Z. im Fluss befindlichen Bearbeitungen zu geben, weil dieser Raum genau so wie der des viel kleineren Gotthardmassives, den Übergang von mehr destruktiver zu völlig konstruktiver Dislokationsmetamorphose zeigt, ergänzt durch die mesozoischen basischen Intrusionen und Extrusionen und in der Mannigfaltigkeit vertieft durch die viel kompliziertere Tektonik und die grössere Variabilität des Gesteinsmaterials.

4. MITTEL- BIS TIEFPENNINISCHE DECKENREGION

Hier handelt es sich um die zeitweise tiefstgelegenen Einheiten des alpinen Deckenbaues. Aus bestimmten Gründen ist es zweckmässig, zwei Regionen voneinander zu trennen, die wurzelfernen und die wurzelnahen Abschnitte, wobei nah und fern nicht überall mit gleichen Masseneinheiten zu messen ist (Einfluss der Maggiaquerfalte usw.). Altkristallines Baumaterial ist auch hier neben nachherzynischem erkennbar.

Schon im wurzelfernen Gebiet hat sich alpin mindestens in den unteren Deckenelementen weitgehend eine Konkordanz zwischen beiden eingestellt und zwar nicht nur in der Lagerung, sondern auch in der Art der Umformung und der Zuordnung zu der jetzt massgebenden Mineralfazies. Damit soll nicht verneint werden, dass sich technologisch verschiedene Materialeigenschaften in lokal diskordantem Verhalten und chemisch verschiedenen Gesteinseigenschaften in schmalen Übergangs- oder Umsetzungszonen bemerkbar machen. Aber Metamorphose und Tektonik ergeben im Grossen gesehen ein einheitliches Bild, für das, weil sicher mesozoische Gesteine am Aufbau beteiligt sind, nur die alpine Metamorphose verantwortlich gemacht werden kann. Die Tessinergneise sind, wie auch WENK 1948 formuliert hat, alpine Gneise, während in den Zentralmassiven und in den Ostalpen ein grosser Teil der Gneisifizierung unzweifelhaft voralpinen Charakter besitzt.

Sehr wichtig ist es nun, in den relativ wurzelfernen Gebieten festzustellen, ob bei der vorwiegend mesozonalen, relativ tiefstgelegenen alpinen Disloka-

tionsmetamorphose eine wesentliche allgemein regionale Stoffwanderung und Homogenisierung stattgefunden hat. Das genaue Studium aller neueren Arbeiten von C. E. BURCKHARDT, S. CASASOPRA, G. FRISCHKNECHT, A. GANSER, ED. GÜBELIN, P. HASLER, H. JENNY, J. KOPP, E. KÜNDIG, H. PREISWERK, A. SPICHER u. A. liefert den untrüglichen Beweis, dass dies nicht der Fall ist. Um nicht missverstanden zu werden, ist es wohl notwendig, das Stoffwanderungsproblem an sich noch etwas genauer zu umreissen.

Ohne internen Stoffumtausch ist in heterogenem Gesteinsmaterial eine konstruktive Dislokationsmetamorphose (mit Umkristallisation, also im Sinne einer Warmverformung vor sich gehend) undenkbar. Man kann von einer internen Stoffwanderung oder auch einer internen Metasomatose sprechen, und in den wurzelfernen Tessinerdecken sind in den mesozoischen Bündnerschiefern die schon früher erwähnten chymogenen Exsudate und Gangbildungen mit Quarz, Calcit, lokal auch mit Chlorit, Erz, Epidot, Quarz, Albit, Muskowit, Strahlstein, eventuell auch Skapolith reichlich vorhanden. C. TADDEI hat viele kleinere alpine Mineralklüfte entdeckt, darunter auch viele, die Prehnit führen, der selbst in Adern spätalpin mylonitisierter Gesteine als jüngstes Produkt auftritt. Kleinräumige Stoffwanderungen sowohl im stereogenen wie im chymogenen Anteil fehlen somit ebensowenig wie in den höheren tektonischen Einheiten und in den Zentralmassiven. Wanderungsdifferentiation während der alpinen Metamorphose ist vorhanden. Ob man aber, ohne Missverständnisse zu erwecken, die Bildung von Plagioklasporphyroblasten oder grossen Staurolith-Disthenkristallen im Gestein mit der Bezeichnung „metamorphe Differentiation“ belegen darf, erscheint äusserst fraglich. Eine der Korngrösse entsprechende Gesteinseinheit mit diesen Einsprenglingen zeigt normalen Chemismus (höchstens etwas herzynische Natronzufuhr). Die mit der Umkristallisation verbundenen Wanderungsprozesse haben somit im stereogenen Anteil nicht zu gesteinsmässiger Sonderung des Kyriosoms geführt. Deutlich lassen sich noch im Altkristallin, das nun alpin unter Umkristallisation verformt wurde, alte Orthogesteine, Paragesteine und Mischgesteine voneinander unterscheiden und auf Grund von Pauschalanalysen als alpin chemisch mehr oder weniger unverändert bestimmen. Die prätriasischen Konglomeratgneise des Basodino-Gebietes (Lebendundecke) sind wohl verformt, aber die Gerölle (z. Teil alte Orthogneise!) blieben deutlich vom Zementmaterial verschieden, die primär chorismitische Struktur wurde nicht zerstört. Es lag, wie auch WENK (andere Arbeiten bestätigend) feststellt, ein den Zentralmassiven und höheren Deckenkernen ähnliches prätriasisches Grundgebirge mit Intrusivgesteinen und bereits voralpin vergneisten Sedimentenhüllen vor, wobei lediglich die starke alpine Umprägung kaum mehr gestattet, die voralpine Geschichte in Einzelheiten zu rekonstruieren. In den nördlichen Gebieten dieser tiefpenninischen Decken bleibt nach L. BOS-SARD, P. HASLER u. A. trotz der tektonischen und metamorphfaziellen Gleichförmigkeit die Gliederung in Altkristallin und jungen Muldengesteinsanteil auf Grund der lithologischen Verschiedenheit durchführbar, und niemals ist in den liegenden Falten eine spätalpine Stoffwanderung grossen Ausmasses beobachtet worden, die junge und alte Gesteine durchdrungen hat. Auf eine das Alter der granitähnlichen Gesteine der Cocco-Matorello- und Alpiglia-Masse betreffende Streitfrage haben wir später zurückzukommen.

Es steht somit fest, dass in den wurzelfernen Partien der Tessinerdecken eine alpine Metamorphose mit vorwiegend mesofaziellem Charakter Alt-kristallin und Mesozoikum während der zu den Hauptfaltungen gehörenden alpinen Metamorphose gleichmässig erfasst hat, wobei die vorwiegende Kristalloblastese zu einheitlichen Verformungsbildern führte. Als Ganzes kann kein Zweifel bestehen, dass in diesen Gebieten eine alpine Granitisation oder Migmatisierung, welche die Gesteinsgrenzen völlig verwischt hätte, fehlt. Der isostemporale Lösungsumsatz war jedoch während der Umwandlung ein wesentlich stärkerer als in den Hauptteilen der Zentralmassive. Allgemeine Gesteinskörperplastizität und innere Mobilität wurden dadurch erhöht, ohne dass Widersprüche gegenüber der Auffassung, es handle sich um eine normale Dislokationsmetamorphose höherer Temperatur, auftreten. Die Analogie zur Metamorphosenart am Südrand des Gotthardmassives ist eine vollkommene. Im wurzelnahen Gebiet der Tessinerdecken kommt eine neue Erscheinung hinzu, die aber im Wurzelgebiet in ostalpine Elemente und im Süden in die Zone von Ivrea und das anschliessende Seengebirge übergreift, somit nicht an das eigentliche Penninikum gebunden ist. Es handelt sich um das Phänomen eines Magmenemporstieges während und nach der Hauptphase der alpinen Faltung. Dabei sind, wie dies unter anderen aus den Arbeiten von H. P. CORNELIUS, R. FORSTER, R. KERN, E. KÜNDIG, A. MITTELHOLZER, H. PREISWERK, F. DE QUERVAIN, J. SUZUKI, P. WALTER und H. S. WANG hervorgeht, alpine bis postalpine pegmatitische Gang-Injektionen von regionaler Verbreitung. Dazu kommen (C. BURRI) einige andere Gangbildungen. Die Pegmatite durchsetzen nicht nur die alten Gneise, sondern auch alpine basische bis ultrabasische Intrusionen von ophiolitischem Charakter, mesozoische Marmore, Kalksilikatgesteine und Kalkglimmerschiefer. Selbst da, wo eine Beeinflussung durch die Nebengesteine bemerkbar ist, behalten diese Pegmatitgänge und -adern den Charakter aus der Tiefe aufgestiegener selbständiger magmatischer Bildungen bei und sind keineswegs als Exsudate an Ort und Stelle zu deuten. Ihr Alter in bezug auf die alpine Dislokation ist etwas variabel, letzte posttertiäre Bewegungen haben sie lokal noch mylonitisiert oder verruschelt. Sie dürfen indessen mit auch vorhandenen präpermischen Pegmatiten und Injektionen sowie älteren Aplitgängen nicht verwechselt werden. Die grosse Verbreitung und die Unabhängigkeit ihres Auftretens von der alpin tektonischen Zugehörigkeit der Nebengesteine (wobei immerhin die Aufstiegwege bei bestimmtem tektonischem Bau besonders günstig sind) beweisen, dass in den heute wurzelnäheren Gebieten des Penninikums, aber südlich darüber hinausreichend, gegen Ende der alpinen Faltung in geringer Tiefe saure Magmen anwesend waren.

Schon vor mehr als 20 Jahren hat R. STAUB diese Erscheinung in Verbindung gebracht mit dem im unterostalpinen Wurzelgebiet vermutlich jungalpinen Tonalit von Melirolo, der seinerseits in Verbindung zu stehen scheint mit den Tonaliten und übrigen jungalpinen Tiefengesteinen des Bergells, deren Magmen in prachtvoller Weise höhere penninische und unterostalpine Deckgesteine durchschlagen und kontaktmetamorphosiert haben. Über die hiebei auftretenden mannigfaltigen Kontakterscheinungen, die exogenen und endogenen Gesteinsbeeinflussungen und durch Assimilation begünstigten Magmen-

veränderungen liegen zur Zeit von R. STAUB nur generelle Angaben vor. Eingehend haben A. BIANCHI, G. B. DAL PIAZ und G. SCHIAVINATO über analoge Erscheinungen im Adamellogebiet berichtet.

Es besteht somit kein Zweifel, dass (ausserhalb der eigentlichen Ophiolithbildungen und neben der tuffogenen Taveyannazsandsteinbildung) im südlichen Alpengebiet, in welchem infolge der Nordbewegungen der Decken mit dem Verlauf der Gebirgsbildung zunehmende Entlastung stattfand, während der alpinen Dislokation Magmenemporstieg erfolgte. Wie in anderen Faltengebirgen nahmen also auch in den Alpen Magmenbewegungen an der Grossdislokation teil. Die Intrusionen werden gerade an jenen Stellen, nahe der so genannten insubrischen Linie, beobachtet, wo sie vom tektonischen Standpunkte aus wirklich erfolgen konnten. Noch ist nicht völlig abgeklärt, was für Gesteine mit deutbarer Eruptivgesteinssstruktur im wurzelnahen Abschnitt der Alpen in diesem Sinne als alpinmagmatisch angesehen werden dürfen. E. KÜNDIG hat bereits vor 14 Jahren die sogenannte Cocomasse als alpine Intrusion beschrieben, zusammen mit der noch jüngeren der Ruscadamasse. Ganz neuerdings ist von P. WALTER der Standpunkt vertreten worden, dass die Hauptmassen der basischen bis ultrabasischen Gesteine des Ivreazuges Intrusionen darstellen, die während der alpinen Faltung in verschiedenen aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten stattfanden. Sie benutzten nach ihm eine Diskontinuitätsfläche, die später zur insubrischen Linie wurde. Die Intrusionen erstreckten sich nach ihm über ein grösseres Zeitintervall; die der jetzigen insubrischen Linie nächstgelegenen nördlichen, im Kern kaum veränderten Peridotite und deren Begleitgesteine waren die jüngsten Bildungen, die älteren sind während und nach der Erstarrung noch stärkeren Stresseinwirkungen unterlegen. Jünger als die jüngsten basischen Ivreagesteine sind hier nur noch (nach nicht unerheblichem Hiatus) die Pegmatite.

Diese Ansichten müssen weiter überprüft werden. Bestätigen sie sich und lässt auch das Verhalten der mit Cocco- und Ruscadamasse vielleicht in Beziehung stehenden Matorellokomplexe auf jüngeres Intrusionsalter schliessen, so kann (infolge teilweiser Vergneisung und passiven Verhaltens dieser Erstarrungsgesteine während späterer alpiner Faltungsvorgänge) nicht bestritten werden, dass diese Intrusionen dann, wenn sie z. T. postherzynisch sind, im Tessin zu deutlich verschiedenen Zeiten der Alpenfaltung erfolgten und erstarrten.

Die Frage nach der Entstehung dieser Magmen kann erst durch weitere Forschung abgeklärt werden. Ist ein Hauptteil der eigentlichen Ivreamasse alpin, z. T. bereits frühalpin, so kann, was auch mit geophysikalischen Ergebnissen nicht im Widerspruch stehen würde, der basische Ivreazug ein tiefgreifendes plutonisches Äquivalent der ophiolithischen Gesteine sein. Intrusion und Erstarrung dieser basischen Massen halfen vielleicht mit, den Druck auf die nördlichen Gesteine zu verstärken. Grössere basische Magmenmassen, die schon im Geosynkinalstadium begannen in die Sedimente einzudringen, wären dann in diesen Gebieten relativ erdoberflächennah, jedoch intrakrustal angehäuft worden. Dass in der Tiefe daraus durch Differentiation (vermischt mit Assimilation oder Einschmelzung) im Laufe der Alpenfaltung saurere Magmen entstehen konnten, ist physikalisch-chemisch wahrscheinlich. Die später intrudierenden sauren Magmen dürften unter diesen Umständen weitgehend Ab-

kömmlinge der basischen sein, wie dies in Gebirgen von mehr andinem Charakter nach der Meinung Vieler zutrifft.

Die unzweifelhaft postpenninischen intermediären Eruptivgesteine von Traversella und Biella im inneren Alpenbogen und die Bildung des Taveyannaz-sandsteines beweisen übrigens, dass Übergänge zwischen den basischen und sauren Magmen zur Alpenfaltungszeit nicht fehlten. Einer rein palingenen Entstehung der gewaltigen sauren Magmenmassen im Wurzelgebiet würde demgegenüber eine geringere Wahrscheinlichkeit zukommen. Ein Entlastungsgebiet, das den Magmenaufstieg erleichtert, kann ohne bereits vorhandenen oder dahingewanderten tiefergelegenen wirklichen Magmaherd kaum Region vollkommener Anatexis sein.

M. REINHARD und E. WENK vertreten einen etwas anderen Standpunkt. Manche Gegensätze sind nur scheinbar, da die Begriffe Palingenese verschieden gefasst werden, andere sind fundamentaler Natur und als ebenso wertvolle Arbeitshypothesen in Betracht zu ziehen. M. REINHARD nimmt an, dass die Intrusionskörper der Tessinerdecken auch da, wo es sich um typische Orthogneise handelt, durch Umschmelzen älterer Gesteinsmassen erneut intrusionsfähig wurden und dass die Intrusion zu verschiedenen Zeiten der alpinen Faltung erfolgte. Dagegen lässt sich einwenden, dass auch nach REINHARD in diesem Falle pegmatitische Schmelzen zuerst hätten mobilisiert werden müssen, während sie im Tessinerwurzelgebiet die unzweifelhaft jüngste Erscheinung sind. E. WENK betont, dass auch in den wurzelnahen Tessinerdecken vor dem Zeitraum der Alpenfaltung ein kristalliner Sockel mit Graniten oder Granitgneisen und eine diskordant (siehe Gerölle in der Lebendundecke) aufruhende permokarbonisch mesozoische Schichtfolge vorhanden war, dass aber mindestens lokal das granitische Material im Kristallinsockel des penninischen Raumes (unter fraglicher Alkalizufuhr aus der Tiefe) aufgelöst, reaktiviert und mobilisiert wurde. Der palingene Schmelzfluss oder Kristallbrei stieg nach ihm in die hangenden präpermischen bis penninischen sedimentären Gesteine auf und drang in Form von antiklinalen Bauelementen, Kernkörpern, in die Paragneisserie bald aktiv empor, bald wurde er passiv eingepresst und in den alpinen Deckenbau (Gefügeregelungsmessungen) einbezogen und zusammen mit den umgebenden Paragneisen gefaltet. Der so entstandene alpine Bau dieser Gneiskörper wurde nur durch granitische Nachschübe und durch Schmelzbestände, welche die Hauptfaltung überdauerten, durchstossen.

CASASOPRA hat den tief gelegenen Leventinagneis, der sich im grossen als einheitliche Masse von der Wurzelregion bis gegen den Südrand des Gotthardmassives verfolgen lässt, als einen alpin unter Meso- bis Katabedingungen metamorphen älteren Granitkörper beschrieben, in welchem lokal bei starker Fluidität und unter starker Beteiligung chymogener Partien eine massige, oft pegmatitähnliche Struktur entstehen konnte, ohne dass von einer eigentlichen Umschmelzung im grossen gesprochen werden kann.

Folgende Gesichtspunkte scheinen mir bei der weiteren, nur bei gründlicher vergleichender geologisch-tektonisch-petrographisch-mineralogischer und chemischer Forschung aussichtsreichen Weiterbehandlung in Berücksichtigung gezogen werden zu müssen.

1. Der in bezug auf Gesteinsfolge einheitliche Bau der penninischen Decken von den Wurzeln bis zu den Stirnen.

2. Die alpin weitgehend konvergent verlaufende Umprägung aller Gesteine, unter denen sicher vorherzynische und nachherzynische vorhanden sind, gekoppelt mit Erscheinungen, die auf herzynische Faltung und nachherige Erosion schliessen lassen. Vor der alpinen Hauptfaltung lagen neben Altkristallin jüngere Sedimente mit eingeschalteten basischen Eruptiva vor wie in anderen Decken-Einheiten. Sie sind auch jetzt noch als solche erkennbar.

3. Auftreten zusätzlicher Erscheinungen fast nur in Wurzelnähe und in der sogenannten Maggiaquerzone, gegeben durch alpin-magmatische Aktivität, deren Anzeichen aber weit über das penninische Wurzel- bis Deckengebiet hinausreichen. Es handelt sich somit um keine spezifische Eigentümlichkeit der wurzelnahen penninischen Deckengebiete, sondern um ein Phänomen von regionalem Charakter im Zusammenhang mit dem Gesamtalpenbau.

Notwendig sind daher besonders:

Eingehende Erforschung der sicher alpin-magmatischen Intrusionen, ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge in Korrelation zu den verschiedenen Phasen der alpinen Faltung. Gehören, wie von verschiedener Seite mit guten Gründen vermutet wird, die Ivreamasse, der Coccogranodioritzug, die Ruscadagranite als vorbergellische und vorpegmatitische Phasen dazu und stehen sie in Verbindung mit Melirolotonalit und schliesslich Bergellergranit, auch wenn die Intrusionszeiten unter sich verschieden sind? Wie steht es mit anderen, als junge Intrusivkontakte beschriebenen Erscheinungen und mit den Gneiskernkörpern?

Abklärend wird das genaue Durchdenken folgender Frage wirken:

Wie muss überhaupt bei Meso- bis Katabedingungen und Vorhandensein eines tiefergelegenen Magmatherdes die Dislokationsmetamorphose vor sich gehen? Was für Erscheinungen sind zu erwarten, wenn entsprechend den beobachtbaren Faltenbildern, den Texturregelungen und den Beobachtungen, dass im grossen die ursprünglichen Gesteinsgrenzen erhalten geblieben sind, die Metamorphose sich also nicht zu einer alles umfassenden Granitisierung und Migmatisierung steigerte (d. h. eine gesamtregionale Anatexis nicht in Frage kommt)? Darüber aber, dass diese regional durchgreifende Anatexis auch in der Wurzelzone fehlt, kann nach den Untersuchungen von BURCKHARDT, CASASOPRA, FORSTER, HASLER, KNOBLAUCH, KÜNDIG, WENK gar kein Zweifel bestehen. Theoretische Überlegungen dieser Art und der Versuch, alle beobachteten Erscheinungen im Südpenninikum miteinander in Einklang zu bringen, sind zur Zeit eine der Hauptaufgaben der Lehre von der alpinen Gesteinsmetamorphose. Die Beantwortung wird zusammen mit den Erkenntnissen über die alpine Dislokationsmetamorphose unter niedrigeren Temperaturen und über die Kontaktmetamorphose am spätalpinen diskordanten Intrusionskörper des Bergelles erst eine Gesamtdarstellung der alpinen Metamorphose gestatten. Es kann vorausgesagt werden, dass unter den genannten Bedingungen in der Zeiteinheit der Lösungsumsatz ein weit grösserer sein wird als bei Epidislokationsmetamorphose, wobei Fluidität bzw. Mobilität sich steigern, ohne dass bis zum Abklingen der Faltung gewöhnliche Kluftmineralbildung möglich ist. Mehr unregelmässiges, fast schlierenartiges Auftreten massiger bis pegmatitischer Strukturen (Entstehung interner Exsudate)

und nur lokal vorhandenes, wenig weitreichendes Abquetschen von an molekulardisperser, schmelzartiger Phase angereichertem Material in das Nebengestein darf nicht fehlen, selbst wenn von einer allgemeinen Umschmelzung keine Rede ist und im wesentlichen eine konforme Paralleltextur mit alter, gleichfalls umkristallisierter Parahülle erhalten bleibt. Anderseits werden die ausgesprochen fröhälpinen intrusiven Magmengesteine mindestens randlich in das alpine Gefüge eingegliedert und gneisifiziert werden.

Dem Verfasser sind zur Zeit keine Erscheinungen bekannt geworden, die mit diesen vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus notwendig erscheinenden Folgerungen in Widerspruch stehen würden. Eigene Beobachtungen deutet er dahin, dass im Wurzelgebiet der penninischen Decken eine Nichtberücksichtigung der Dislokationswarmverformung, ohne eigentliche Verflüssigung in den Hauptorthogneismassen, zu ebenso starken Widersprüchen führen würde wie die Verneinung der Möglichkeit alpiner Intrusionen vom Typus der Ivreazone (partienweise), des Melirolotonalites, des Coccogranodiorites, der Ruscadamasse und eventuell einiger verwandter Komplexe. Sollten sich P. WALTERS Anschauungen über die Bildung der Ivreagesteine bewahrheiten, so liesse sich von diesen Intrusionen bis zu den diskordanten jungen Pegmatiten eine die Gesteinsmetamorphose begleitende Geschichte der magmatischen Aktivität Differentiation (mit etwas Assimilation) konstruieren, die mit der Tektonik und Gesamtmetamorphose ein zusammenhängendes Ganzes bildet, in das sich alles, was WENK „unbequeme Feldbeobachtungen“ genannt hat, logisch eingliedern könnte. Das Gesamtgebiet gehört eben nicht mehr der reinen alpinen Dislokationsmetamorphose an, die Metamorphose ist im Sinne des Abschnittes II komplex; Kontaktmetamorphosen verschiedener Art (α , β , γ von B in II) überlagern die Umformungen alpin-dislokationsmetamorphen Charakters.

5. DAS GEBIET VON BELLINZONA-LOCARNO-BRISSAGO UND DEM FLUSSYSTEM DES CENTOVALLI BIS ZUM SEENGEBIRGE

In der Wurzelzone dieses Gebietes südlich des mesozoischen hochmetamorphen Zuges von Castione-Tavesagna liegen von R. FORSTER, L. HEZNER, R. KERN, P. KNOBLAUCH, E. KÜNDIG, A. MITTELHOLZER, P. WALTER, H. S. WANG u. A. besonders viele petrographische Einzeluntersuchungen vor, von der Zone von Castione südwärts zu der Zone der Vogorno-Orthogneise, der Zone der Gaggiogneise, der Zone der Injektionsgneise Arbedo-Mergoscia, der Zone von Cardada, der Zone von Contra-Vallone, der Injektionsgneiszone von Ponte Brolla, der Zone von Orselina, der Zone von Locarno, der Zone von Arcegno, der Zone von Losone-Canavese nordwärts der insubrischen Linie bis zur Zone von Ivrea und dem Seengebirge südwärts dieser Linie. Besonders untersucht wurden bis jetzt die alten und jungen Kalksilikatgesteine mit ihrer spätalpinen pneumatolytischen und injektionsartigen Beeinflussung, die zahlreichen und verschiedenartigen basischen und ultrabasischen Einlagerungen (von Peridotiten und ihren Umwandlungsprodukten, von Eklogiten, Eklogitam, phibolithen, Granatamphibolithen zu gewöhnlichen Amphibolithen bis Hornblendedioriten) und die jungen und alten Pegmatite. Man hat vorwiegend nach-

permische Gesteine studiert. Ihre alpinmetamorphe Veränderung und Umbildung ist, da sie nördlich der insubrischen Linie selten in mächtigen zusammenhängenden Massen auftreten, eine erwartungsgemäss sehr selektive und für die Metamorphosenvorgänge ausserordentlich aufschlussreiche. Auch für das Problem der Geschichte der Gesteinsbildung in den wurzelnahen penninischen Decken dürfen die Resultate dieser zum Teil sehr eingehenden Untersuchungen nicht übergangen werden.

Wie sehr es notwendig ist, die alpine Gebirgsbildung in ihre verschiedenen Teilstadien zu gliedern, zeigt die Bedeutung der spät- bis postalpinen insubrischen Linie westlich Bellinzona, entstanden durch die sogenannte insubrische (ungefähr pliocäne) Phase, in der erst die heute den Wurzelgebieten vom Mittelostalpin bis Penninikum zugeordneten Gesteine infolge Unterschiebungen durch die Südalpenkomplexe steilgestellt und zusammengepresst wurden, bei gleichzeitigem letzten Gesamtemporstau des Alpengebirges. Vertikale Bewegungen und Bruchbildungen herrschten vor. In der Nähe der Hauptbewegungszone entstand in grossem Ausmass diaphthoritische Epimetamorphose bis Kakirit- und Mylonitbildung. Systeme der mit dieser letzten Gebirgsbildungsphase in Zusammenhang stehenden postalpinen, meist steilstehenden Verwerfungen, Kluftbildungen und Scherflächen durchsetzen nun aber nicht nur das weitere Gebiet des Centovalli, sie reichen besonders im Maggiatal nordwärts bis gegen die Zentralmassive. Von W. LEUPOLD und Mitarbeitern sind sie für den Bau der Anlagen der Kraftwerke Maggia sorgfältig kartiert worden. Sie verlaufen im Süden vorwiegend ungefähr N—S und E—W, im Norden neben E—W häufiger NW—SE oder NE—SW. Die für diese jüngsten Bewegungsflächen charakteristische Metamorphose im Onsernone-Centovalliegebiet wird von L. ZAWADYNSKI untersucht, der folgende Bildungen unterscheidet:

1. Primäre Kakirite (Dislokationsbrekzien mit Gesteinsbruchstücken)
 - a) Ohne wesentliche Neubildungen (Gesteinstrümmerbrekzien ohne wesentliche interne Mineralkornkataklase)
 - b) Mit Neubildungen auf den Kluftflächen
2. Kataklasite (Zertrümmerung bis aufs Einzelkorn)
 - a) Kataklasite mit Einzelkornzertrümmerung ohne wesentliche Neubildungen und Rekristallisationen
 - b) Blastokataklasite
 - α) mit einfachen Rekristallisationsvorgängen
 - β) mit zusätzlicher neuer Mineralbildung infolge internem Stoffaustausch
 - b) Gang- bis Aderkataklasite (Phlebite)
 - α) mit blastokataklastischer Füllung, übergehend in solche mit gemischter und schliesslich
 - β) mit rein chymogener Füllung
3. Sekundäre Kakirite. Kataklasite werden neu zu Dislokationsbrekzien verformt.

Von Mylonitisierung wird man nur bei gleichzeitiger starker Bewegung, verbunden mit Verschieferung, sprechen. Blastomylonite, die wieder zu Hartgesteinen führen, sind durch chymogene Vorgänge in sich wieder verfestigte Mylonite. Besonders interessant hat sich bei den auch in diesen postalpinen

Dislokationen noch wirksamen chymogenen Vorgängen das Verhalten dreier Feldspäte und das Entstehen von Zeolithen, Schichtsilikaten und Epidotmineralien erwiesen. Im übrigen muss bemerkt werden, dass junge Brüche und Verwerfungen im ganzen Alpengebiet auftreten.

6. MONTE CENERI-KRISTALLIN UND SÜDSCHWEIZERISCHES SEENGEBIRGE BIS ZUR SÜDALPINEN MOLASSE

Ein neuester Gliederungsversuch stammt von R. STAUB. Der bergamaschisch-karnische Anteil mit der insubrischen Stauungszone greift u. a. im Seengebirge des Sottoceneri, dem Laganerporphyrgebiet und südlichen Kalkalpengebiet in die Schweiz über. Das altkristalline Grundgebirge ist in letzter Zeit besonders von R. BÄCHLIN, P. BEARTH und M. REINHARD petrographisch untersucht worden. Das Grenzgebiet an der nach R. STAUB wichtigsten Trennungslinie, der Iorio-Tonalelinie, behandelte A. SPICHER, der Schlingentektonik und Verfältelung sowie alpine Bruch- und Überschiebungstektonik mit Mylonitisierung feststellte. Das auf Schweizergebiet zu Tage tretende Alt-kristallin entspricht in mancher Hinsicht dem oberostalpinen alten Gneissockel, zu dem es nach R. STAUB auch als Wurzelgebiet gehört.

Hinsichtlich der alpinen Metamorphose im Kristallin des Seengebirges zitieren wir am besten M. REINHARD. Er schreibt: „Das Seengebirge ist während der ganzen Dauer der Alpenfaltung nie in grössere Tiefen verfrachtet worden. Dem alpinen Zusammenschub sind infolgedessen nur schwach epizionale Umwandlungen und Mylonitbildungen zuzuschreiben. Vereinzelte permotriasische Ablagerungen liegen diskordant und kaum gestört auf der permisch verwitterten kristallinen Unterlage. Der kata- bis mesozonal gebildete kristalline Gesteinskomplex verdankt seine Entstehung älteren voralpinen Orogenesen.“ Karbon und Perm sind schon von B. G. ESCHER und P. KELTERBORN untersucht worden, Erzvorkommen von verschiedener Seite (z. B. J. BURFORD). Die Faltung der anschliessenden südlichen Kalkalpen (z. B. A. FRAUENFELDER, L. LAVIZZARI, B. PEYER, A. SENN) ist von einer schwachen Metamorphose begleitet, die ungefähr derjenigen der Kalkalpen entspricht. In den noch weitgehend alpin wenig beeinflussten Porphyrgebieten des Perm haben J. J. DOZY, B. G. ESCHER, CH. E. A. HARLOFF, P. H. KUENEN, K. P. RODE, L. U. DE SITTER und M. DE SITTER-KOOMANS petrographisch wertvolle Arbeiten geliefert. Die unbedingt mit der übrigen Alpentektonik in engem Zusammenhang stehende Tektonik dieser schweizerischen südlichen Kalkalpen ist gleichfalls von R. STAUB versuchsweise neu gedeutet worden. Völlig unklar ist der Verlauf der Iorio-Tonale Linie westwärts, doch könnte die Umdeutung von Teilen der Ivreazone nach P. WALTER neue wertvolle Gesichtspunkte liefern.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Ich glaube, dass man mit Genugtuung auf die geologisch-tektonische und petrographisch-mineralogische Untersuchung der Schweizeralpen in den letzten fünfzig Jahren zurückblicken darf. Wertvoll war, dass die petrographisch-mineralogische Bearbeitung fast durchwegs mit geologischen Feldaufnahmen

in Verbindung stand. Nichts ist für den Fortschritt so hinderlich, wie ein Fehlen des Kontaktes zwischen der Bearbeitung petrographischer und geologischer Probleme ein und derselben Region. Hoffen wir, dass, wenn in kurzem die in den letzten Jahrzehnten für die Ausbildung junger Forscher verantwortlichen Hochschullehrer frischen Kräften Platz machen, die Zusammenarbeit zwischen Geologie und Petrographie noch mehr vertieft wird. Trotz schöner Resultate hat sich, wie das im Bereich der Wissenschaft selbstverständlich ist, die Zahl der ungelösten Probleme nicht verringert. Aber es scheint mir, dass sich ein nicht unwesentlicher Wandel vollzogen hat. Anfänglich war es die Tektonik, die unter besonderer Berücksichtigung stratigraphischer Ergebnisse der Gesteinserforschung vorauselte und dem Petrographen Aufgaben stellte. Heute ist es eher umgekehrt. Das generelle tektonische Bild wird keine grossen Veränderungen mehr erleiden, es befindet sich jedoch noch in einem derartigen Rohzustand, dass bereits heute die petrographische Erforschung gezwungen ist, den Geologen ganz präzise, bis jetzt noch unbeantwortete Fragen zu stellen, um die Korrelation der einzelnen Erscheinungen sicherzustellen. Um die Lehre von der alpinen Metamorphose auszubauen, müssen wir von den Geologen weit genauere Auskunft über die zeitliche Entwicklung der einzelnen Stadien der Alpengebirgsbildung zu erlangen suchen.

Auf Grund der jetzt erkennbaren tektonischen Verhältnisse werden Gesamtprofile konstruiert, in denen das Nacheinander in eine die Zeitkoordinate ausser Betracht lassende und dadurch sicherlich falschen Eindruck erweckende Synthese zusammengepresst wird. Dadurch kann man ohne Berücksichtigung der frühzeitig einsetzenden Erosionen, die im Tertiär zu mächtigen Auffüllungen im Vorland führten, zu Überbelastungen kommen, die sicherlich zur Zeit einer bestimmten Verformung und Metamorphose gar nicht vorhanden waren. Es muss daher im ARGANDSchen Sinne wieder in vermehrtem Masse und unter Berücksichtigung der neuen Erkenntnisse versucht werden, jeden Alpensektor vom Embryonalstadium bis zum Endstadium der Faltung bildlich darzustellen.

Die vorausgegangenen Überlegungen haben, konform den Ansichten, die schon von 1910 an geäussert wurden, bestätigt, dass Struktur-, Textur- und Mineralfazies eines Gesteins der Alpen von der Geschichte abhängig sind, die das Erdrindenstück, in dem es sich befindet, durchlaufen hat. Unterste in Betracht zu ziehende zeitliche Grenze ist die Zeit der Primärbildung des Gesteins. Wir wissen, dass sich im Altkristallin im heutigen Aspekt noch herzynische und vorherzynische Ereignisse zur Geltung bringen können, und wir müssen, um nicht Fehlurteile zu fällen, auch genau die verschiedenen Stadien der im weiteren Sinne alpinen Faltung für diejenigen Gesteine in Betracht ziehen, die postherzynisch gebildet wurden. Wenn in der tertiären Nagelfluh zentralmassivische und helvetische Gesteine fehlen, so kann der eigentliche Emporstau zum zentralen Gebirge nur jünger sein, dann aber stunden die altkristallinen Gesteine auch nicht mehr unter der Belastung, welche eine vollkommen intakt gebliebene ostalpine Decke erzeugt hätte. Nur so und durch ein Abgleiten des Helvetikums ist auch das epimetamorphe Verhalten verständlich und das mesometamorphe am Südrande, wenn gleichzeitig die penninische Deckenbildung, ohne im Zentralsektor die Zentralmassivschwelle

zu überschreiten, intensiv neu belebt wurde. In diese penninische Phase fallen jedoch viele Einwicklungen und Umformungen.

Für die früher gestreifte, das Penninikum betreffende Frage wird die Altersbestimmung der offenbar die heutige Textur weitgehend bestimmenden zweiten penninischen Faltungsphasen und deren zeitliche Beziehung zur Bergellerintrusion wichtig. Ebenso wird über die Möglichkeit früherer Vorgänge, eventuell anatektischer Art, nichts ausgesagt werden können, bevor es möglich geworden ist, die Tiefenlage der Gesteine im heutigen Wurzelgebiet zu verschiedenen Zeiten abzuschätzen, wobei die noch viel jüngere insubrische Phase infolge der Steilstellung der Formationen diese Abschätzung sehr erschwert. Es ist daher an sich unrichtig, aus der Deckenfolge von Süden nach Norden zur Beurteilung der für eine Metamorphose massgebenden Tiefenlage einfach die Decken übereinander geschichtet zu denken, wie das in Sammelprofilen so häufig geschehen muss.

Sehr wesentlich für den Charakter einer Gesteinsumwandlung ist auch die Frage nach den speziellen Verformungsumständen. In einem Sammelgebiet relativ gleichartiger, als Ganzes noch gut verformbarer Gesteine (z. B. den Bündnerschiefern s. l. in Graubünden), muss trotz intensiver Verfältelung und im grossen gesehen plastischem Verhalten (mit teilweiser Umkristallisation) ein ganz anderer Mineralbestand resultieren als bei einer Verformung ähnlicher Gesteine zwischen relativ starren Backen. Frei auslaufende Bewegungsflächen verhalten sich gleichfalls anders als teilweise eingezwängte Gleitflächen usw. Die genauere Parallelisierung der Erscheinungen der Metamorphose mit der Geschichte der Alpenbildung verlangt somit Kenntnisse, die überhaupt nur durch enge Zusammenarbeit zwischen Tektonikern und Petrographen erworben werden können. Zur Zeit erschweren alle genannten Umstände eine übersichtliche, jedoch bereits in Einzelheiten gehende Korrelation zwischen alpiner Gesteinsmetamorphose und Alpentektonik. Auf der einen Seite einer diagrammatischen Veranschaulichung müssten Vorgeschichte, Gesteinsart, Chemismus und Gesteinsbeschaffenheit vor Einbezug in die alpine Gebirgsbildung stehen, auf der anderen Seite die in Frage kommenden alpinen Stadien der Gebirgsbildung mit genauer Milieuschilderung. Obgleich es mancherorts möglich gewesen wäre, einen vorläufigen Versuch in dieser Richtung zu wagen, schien es, den Gesamtzustand der Forschung betrachtend, doch zweckmässiger, unter Erwähnung einiger besonderer Probleme, ein Übersichtsbild zu vermitteln, das wenigstens dartut, dass auch neuere petrographische Arbeiten bestätigten, wie ein fortgesetztes Studium der Dislokationsmetamorphose im gleichzeitig petrographisch und tektonisch geologisch gut untersuchten Alpengebiet wertvolle Einsichten zu vermitteln vermag und immer neue, exaktere Fragestellungen bewirkt.

Einige Literaturangaben zu Teil III.

Allgemeines

- E. ARGAND, *Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux*. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 31 (Bern 1911).
 C. BURRI und P. NIGGLI, *Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens*, Bd. I (1945), Bd. II (1949) (Schweizer-Spiegel-Verlag, Zürich).

- J. CADISCH, Der Bau der Schweizeralpen. (Beer & Co., Zürich 1934).
 L. W. COLLET, The structure of the Alps. (Ed. Arnold & Co., London 1927).
 Geologischer Führer der Schweiz. (B. Wepf & Cie., Basel 1934).
 U. GRUBENMANN und P. NIGGLI, Die Gesteinsmetamorphose. (Gebr. Borntraeger, Berlin 1924).
 ALB. HEIM, Geologie der Schweiz, Bde. I, II, III. (Tauchnitz, Leipzig 1919/21).
 E. KÜNDIG, Selektive Metamorphose. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 6 (1926) 294.
 M. LUGEON, Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. Bull. Soc. Géol. France 4/I (1901) 723.
 P. NIGGLI, Petrographische Provinzen der Schweiz. Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich 64 (1919) 179, Heimfestschrift.
 — Die Gesteinsassoziationen und ihre Entstehung. Verh. Naturf. Ges. Neuenburg 2 (1920) 123.
 — Der Taveyannazsandstein und die Eruptivgesteine der jungmediterranen Kettengebirge. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 2 (1922) 169.
 P. NIGGLI, F. DE QUERVAIN und R. U. WINTERHALTER, Chemismus schweizerischer Gesteine. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, Lfg. 14 (1930). Nachtrag: F. DE QUERVAIN und C. FRIEDLAENDER, Lfg. 20 (1942).
 P. NIGGLI und M. GSCHWIND, Untersuchungen über die Gesteinsverwitterung in der Schweiz. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, Lfg. 17 (1931).
 P. NIGGLI, J. KÖNIGSBERGER und R. L. PARKER, Die Mineralien der Schweizeralpen. (B. Wepf & Cie., Basel 1940).
 P. NIGGLI, Some aspects of the geology, petrology and mineralogy of Switzerland. J. Washingt. Acad. Sci. 38 (1948) 289.
 — Gesteine und Minerallagerstätten, Bd. I. (Birkhäuser, Basel 1948).
 F. DE QUERVAIN, Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. (Geotechn. Kommission der Schweiz. Naturf. Ges. 1949).
 M. REINHARD, Über Gesteinsmetamorphose in den Alpen. Jaarboek Van De Mijnbouwkundige Vereeniging Te Delft (1934/35) 39.
 R. STAUB, Über Wesen, Alter und Ursachen der Gesteinsmetamorphosen in Graubünden. Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich 65 (1920) 323.
 — Der Bau der Alpen. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. Lfg. 52 (Bern 1924).
 — Aktuelle Fragen im alpinen Grundgebirge. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 422.

Zu III₁

- P. ARENZ, Probleme der Sedimentation und ihre Beziehungen zur Gesteinsbildung in den Alpen. Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich 64 (1919) 246.
 E. AMBÜHL, Petrographie und Geologie des zentralen Gotthardmassivs südlich Andermatt. Diss. ETH Zürich. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 9 (1929) 265.
 W. BRUECKNER, Über Carbon und Trias auf der Nordseite des Gasternmassivs usw. Ecl. Geol. Helv. 36 (1943) 35.
 A. BUNTORF, Über die geologischen Verhältnisse des Furkapasses und des im Bau befindlichen Furkatunnels. Ecl. Geol. Helv. 12 (1912) 176.
 L. W. COLLET und E. PAREJAS, Géologie de la Chaîne de la Jungfrau. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. Lfg. 63 (Bern 1931).
 L. DEVERIN, Etude pétrographique des minéraux de fer oolithiques du Dogger des Alpes Suisses. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie Lfg. 13/2 (1945).
 — Oolites ferrugineuses des Alpes et du Jura. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 95.
 L. DUPARC und L. MRAZEC, Recherches géologiques et pétrographiques sur le Massif du Mont Blanc. (Genève 1898).

- R. EICHENBERGER, Geologisch-petrographische Untersuchungen am Südweststrand des Gotthardmassivs (Nufenengebiet). Diss. Univ. Basel, Ecl. Geol. Helv. 18 (1923/24) 451.
- W. EPPRECHT, Das Nummulitenerz von Lowerz (Kt. Schwyz). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 84.
- H. P. EUGSTER, Diss. in Vorbereitung.
- W. FEHR, Injektions- und Intrusionserscheinungen im zentralen Teil der südlichen Gneise des Aarmassivs. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 2 (1922) 331.
- Petrographisch-geologische Untersuchungen im zentralen Teil der südlichen Gneise des Aarmassivs. Diss. Univ. Bern 1923.
- C. FRIEDLAENDER, Erzvorkommnis des Bündner Oberlandes und ihre Begleitgesteine. Diss. Univ. Zürich, Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, Lfg. 16/1 (1930).
- U. GRUBENMANN, Der Granat aus dem Maielstal im Bündneroberland. Festschrift der Dozenten der Univ. Zürich, 1914.
- M. GYSIN, Les granites du Sackhorn (Lötschental). C. R. Séances Soc. Phys. et Hist. nat. Genève 63 (1947).
- Les feldspaths potassiques des granites de Gastern et de quelques granites de l'Aar. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 230.
- L. HEZNER, Petrologische Untersuchung der kristallinen Schiefer auf der Südseite des St. Gotthard (Tremolaserie). N. Jahrb. f. Min. etc. B. B. 27 (1908) 157.
- W. VAN HOLST PELLEKAAN, Geologie der Gebirgsgruppe des Piz Scopi. Diss. Univ. Zürich (1913).
- H. M. HUBER, Physiographie und Genesis der Gesteine im südöstlichen Gotthardmassiv. Diss. Univ. Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 23 (1943) 72.
- W. HUBER, Petrographisch-mineralogische Untersuchungen im südöstlichen Aarmassiv. Diss. ETH Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 557.
- TH. HÜGI, Zur Petrographie des östlichen Aarmassivs (Bifertengletscher, Limmernboden, Vättis) und des Kristallins von Tamins. Diss. Univ. Bern, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 21 (1941) 1.
- Petrographische Beobachtungen zwischen Lonza und Petersgrat (westl. Aarmassiv). Ecl. Geol. Helv. 40 (1947) 282.
- E. HUGI, Das Aarmassiv, ein Beispiel alpiner Granitinvasion. Verh. Schweiz. Naturf. Ges. II. Teil (1922) 86.
- Die petrographisch-geologischen Verhältnisse des Baugebietes der Kraftwerke Oberhasli. Mitt. Naturf. Ges. Bern (1928) 257.
- E. HUGI, H. F. HUTTENLOCHER, F. GASSMANN, H. FEHLMANN u. A., Die Eisen- und Manganerze der Schweiz: Die Magnetitlagerstätten. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie Lfg. 13/4 (1948).
- H. F. HUTTENLOCHER, Blei- und Zinklagerstätten von Goppenstein (Wallis). Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie Lfg. 16/2 (1931).
- Über Verschiedenheiten im Verlaufe magmatischer und metamorpher Prozesse, erläutert an Beispielen aus dem Aarmassiv. Mitt. Naturf. Ges. Bern, N. F. Bd. 1 (1947).
- J. JAKOB, Untersuchungen über magmatische Injektionserscheinungen im Oberwallis. Diss. Univ. Zürich (1919).
- J. KÖNIGSBERGER, Einige Folgerungen aus geologischen Beobachtungen im Aare-, Gotthard- und Tessinermassiv. Ecl. Geol. Helv. 10 (1908/9) 852.
- Die kristallinen Schiefer der zentralschweizerischen Massive und Versuch einer Einteilung der kristallinen Schiefer. Extr. C. R. Congrès géol. int. 11 (1910).
- Zur Abtrennung des Erstfelder- vom Aarmassiv und ergänzende Beobachtungen im Aarmassiv. Ecl. Geol. Helv. 13 (1914) 178.

- Beobachtungen im Gotthardmassiv. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 10 (1930) 140.
- L. J. KRIGE, Petrographische Untersuchungen im Val Piora und Umgebung. Diss. Univ. Zürich, Ecl. Geol. Helv. 14 (1918) 519.
- H. LEDERMANN, Petrographische Untersuchungen in der nördlichen Schieferhülle des zentralen Aaregranites im oberen Lötschental (westl. Aarmassiv). Diss. Univ. Bern, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 25 (1945) 383.
- H. LIECHTI, Recherches pétrographiques et tectoniques dans la vallée de Götschenen. Diss. Univ. Bern, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 13 (1933) 492.
- R. LOTZE, Beitrag zur Geologie des Aarmassivs (Erstfeldergneise, Innertkirchnergranit). Z. Deutsch. Geol. Ges. 66 (1914), Abh. H. 2.
- P. MEIER und W. K. NABHOLZ, Die mesozoische Hülle des westlichen Gotthard-Massivs im Wallis. Ecl. Geol. Helv. 42 (1949) 197.
- W. MINDER, Beiträge zur Petrographie des mittleren Aarmassivs. Diss. Univ. Bern, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12 (1932) 353.
- J. NIEDERER, Beiträge zur Petrographie des östlichen Aarmassivs. Diss. Univ. Bern (1932).
- E. NIGGLI, Das westliche Tavetscher Zwischenmassiv und der angrenzende Nordrand des Gotthardmassivs. Diss. Univ. Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 24 (1944) 58.
- Zur zeitlichen Abfolge der magmatischen und metamorphosierenden Vorgänge im Gotthardmassiv. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 165.
- P. NIGGLI, Die Chloritoidschiefer und die sedimentäre Zone am Nordostrand des Gotthardmassivs. Diss. Univ. Zürich, Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. Lfg. 36 (Bern 1912).
- P. NIGGLI und W. STAUB, Neue Beobachtungen aus dem Grenzgebiet zwischen Gotthard- und Aarmassiv. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 45 (Bern 1914).
- N. OULIANOFF, Quelques résultats de recherches géologiques dans le massif de l'Arpille et de ses abords. Ecl. Geol. Helv. 16 (1920) 79.
- Le massif de l'Arpille et ses abords. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 54/II (Bern 1924).
- Sur l'âge de la mylonite (granite écrasé) dans le massif des Aiguilles Rouges. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. 56 (1927) 411.
- Nouvelles observations sur le Mont Chemin (Extrémité nord-est du Massif du Mont Blanc). Ecl. Geol. Helv. 21 (1928) 7.
- Massifs hercyniens du Mont Blanc et des Aiguilles Rouges. Geolog. Führer der Schweiz, Fasc. II, S. 121 (Basel 1934).
- Les anciens massifs du Mont Blanc et de l'Aar et l'orogenèse alpine. Ecl. Geol. Helv. 37 (1944) 31.
- R. L. PARKER, Die Gesteine der Talklagerstätten von Disentis und Surrhein im Bündner Oberland. Diss. Univ. Zürich (1920).
- P. PFLUGSHAUPT, Beiträge zur Petrographie des östlichen Aarmassives. Diss. Univ. Bern, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 7 (1927) 321.
- M. REINHARD und H. PREISWERK, Über Granitmylonite im Aiguilles-Rouges-Massiv (westl. Wallis). Verh. Naturf. Ges. Basel 38 (1927) 188.
- M. SCHENKER, Geologische Untersuchungen der mesozoischen Sedimentkeile am Südrand des Aarmassivs zwischen Lonza und Baltschiedertal (Wallis). Diss. Univ. Bern, Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. Lfg. 86 (Bern 1946).
- A. SCHNEIDER, Diallag-Peridotit und seine Umwandlungsprodukte auf Gigestaffel südlich Andermatt. Diss. Univ. Zürich (1912).
- F. SIGRIST, Beiträge zur Kenntnis der Petrographie und der alpinen Zerrklüftlagerstätten des östlichen Aarmassives. Diss. ETH Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 27 (1947) 39.

- R. A. SONDER, Untersuchungen über den Differentiationsverlauf der altpaläozoischen Granitintrusionen im zentralen und westlichen Gotthardmassiv. Diss. Univ. Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 1 (1921) 323.
- W. STAUB, Geologische Beschreibung der Gebirge zwischen Schächental und Maderanertal im Kanton Uri. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. Lfg. 32 (Bern 1911).
- F. WEBER, Über den Kali-Syenit des Piz Giuf und Umgebung (östl. Aarmassiv) und seine Ganggefolgschaft. Diss. Univ. Zürich, Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. Lfg. 14 (Bern 1904).
- Tektonische Übersicht des Wurzelgebietes der helvetischen Decken am Ostende von Aar- und Gotthardmassiv, 1:10 000, Geolog. Spezial-Karte Nr. 101.
- L. WEHRLI, Das Dioritgebiet von Schlans bis Disentis im Bündner Oberland. Diss. Univ. Zürich, Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 6 (Bern 1896).
- H. WIDMER, Zur Geologie der Tödigruppe. Diss. Univ. Zürich (1949).
- R. U. WINTERHALTER, Zur Petrographie und Geologie des östlichen Gotthardmassives. Diss. ETH Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 10 (1930) 38.
- P. ZBINDEN, Geologisch-petrographische Untersuchungen im Bereich südlicher Gneise des Aarmassivs. Diss. Univ. Bern, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 29 (1949) 221.

Zu III₂

- P. BEARTH, Die Diabasgänge der Silvretta. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12 (1932) 147.
- Geologie und Petrographie der Keschgruppe. Diss. Univ. Basel, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12 (1932) 156.
- H. P. CORNELIUS, Geologie der Err-Julier-Gruppe. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. Lfg. 70 (Bern 1935).
- ED. ESCHER, Erzlagerstätten und Bergbau im Schams, in Mittelbünden und im Engadin. Diss. Univ. Zürich, Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie Lfg. 18 (1935).
- F. ESCHER, Petrographische Untersuchungen in den Bergen zwischen Davos und Piz Kesch. Diss. Univ. Zürich (1921).
- F. SPAENHAUER, Petrographie und Geologie der Grialetsch-Vadret-Sursura-Gruppe. Diss. Univ. Basel, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12 (1932) 27.
- Die Andalusit- und Disthenvorkommen der Silvretta. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 13 (1933) 323.
- A. STRECKEISEN, Geologie und Petrographie der Flüelagruppe (Graubünden). Diss. Univ. Basel, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 8 (1928) 87.
- Der Gabbrozug Klosters-Davos-Arosa. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 195.
- E. WENK, Beiträge zur Geologie und Petrographie des Silvrettakristallins. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 14 (1934) 196.

Zu III₃

- P. BEARTH, Über Albitisierung im Altkristallin des Monte Rosa. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 140.
- Bemerkungen zur Metamorphose und Granitbildung im Monte Rosa-Gebiet. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 29 (1949) 193.
- P. CHRIST, Das produktive Karbon der Schweizeralpen. II. Teil: Die Walliser Anthrazitlagerstätten und der Walliser Anthrazitbergbau während der Jahre 1917—1924. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie Lfg. 11/2 (1925).

- H. P. CORNELIUS, Petrographische Untersuchungen in den Bergen zwischen Septimer- und Julierpass. Diss. Univ. Zürich, Jahrb. f. Min. etc. 35 (1912) 374.
- Geologie der Err-Juliergruppe, I. Teil, Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 70 (Bern 1935).
- E. A. DIEHL, Geologisch-petrographische Untersuchung der Zone du Grand Combin im Val d'Ollomont (Prov. Aosta, Italien). Diss. ETH Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 18 (1938) 214.
- W. TH. EPPRECHT, Die Eisen- und Manganerze des Gonzen. Diss. ETH Zürich, Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie Lfg. 24 (1946).
- G. FRISCHKNECHT, Geologie der östlichen Adula. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 51 (Bern 1923).
- A. GANSSER, Der Nordrand der Tambodecke. Diss. Univ. Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 17 (1937) 291.
- TH. GEIGER, Manganerze in den Radiolariten Graubündens. Diss. ETH Zürich, Beitr. Geol. Schweiz. Geotechn. Serie Lfg. 27 (1948).
- U. GRUBENMANN, Über einige schweizerische Glaukophangesteine. Festschrift Rosenbusch 1906.
- M. GYSIN, Les mines d'or de Gondo. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie Lfg. 15 (1930).
- H. HUTTENLOCHER, Die Erzlagerstättenzonen der Westalpen. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, Kl. Mitt. 4 (1934).
- H. JENNY, Geologie der westlichen Adula. Diss. Univ. Zürich, Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 51 (Bern 1923).
- J. KOPP, Geologie der nördlichen Adula. Diss. Univ. Zürich, Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 51 (Bern 1923).
- R. MASSON, Geologisch-petrographische Untersuchungen im untern Valpelline, Provinz Aosta (Italien). Diss. ETH Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 18 (1938) 54.
- W. K. NABHOLZ, Geologie der Bündnerschiefer zwischen Rheinwald, Valser- und Safiental. Diss. Univ. Zürich, Ecl. Geol. Helv. 38 (1945) 1.
- E. NIGGLI, Magnetische Messungen an der Mangan-Eisenerzlagerstätte Fianell (Val Ferrera). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 26 (1946) 92.
- P. NIGGLI, Eisen-Manganzlagerstätten der Schweizeralpen. Geologie en Mijnbouw 12 (1950) 1.
- H. PH. ROOTHAAN, Petrographische Untersuchungen in den Bergen der Umgebung von Vals. Jahrb. Naturf. Ges. Graubündens, Chur 1919, S. 250.
- R. STAUB, Über granitische und monzonitische Gesteine im westlichen Berninagebirge. Diss. Univ. Zürich, Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich 60 (1915) 55.
- Über die Verteilung der Serpentine in den alpinen Ophiolithen, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 2 (1922) 78.
- V. STREIFF, Geologische Untersuchungen im Ostschems (Graubünden). Diss. Univ. Zürich (1939).
- A. H. STUTZ, Die Gesteine der Arollaserie im Valpelline, Provinz Aosta (Italien). Diss. ETH Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 20 (1940) 117.
- H. TSCHOPP, Die Casannaschiefer des oberen Val de Bagnes (Wallis). Diss. Univ. Basel, Ecl. Geol. Helv. 18 (1923) 77.
- M. VUAGNAT, Les grès de Taveyannaz du Val d'Illiez et leurs rapports avec les roches éruptives des Gêts. Diss. Univ. Genève, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 23 (1943) 353.
- Sur quelques diabases suisses. — Contribution à l'étude du problème des spilites et des pillow lavas. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 26 (1946) 116.

- Remarques sur trois diabases en coussins de l'Oberhalbstein. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 263.
- C. E. WEGMANN, Zur Geologie der Bernharddecke im Val d'Hérence. Diss. Univ. Neuenburg (1923).
- E. WENK, Die Association von Radiolarienhornstein mit ophiolithischen Erstarrungsgesteinen als petrogenetisches Problem. Experientia V (1949) 226.
- T. J. WOYNO, Petrographische Untersuchung der Casannaschiefer, Bagnetal, Wallis. Diss. Univ. Zürich, N. Jahrb. f. Min. etc. B. B. 33 (1912) 136.

Zu III₄

- H. BADER, Beitrag zur Kenntnis der Gesteine und Minerallagerstätten des Binnentales. Diss. Univ. Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 14 (1934) 319.
- L. BOSSARD, Geologie des Gebietes zwischen Val Leventina und Val Blenio. Diss. Univ. Zürich, Dissauszug Ecl. Geol. Helv. 19 (1925) 504.
- Zur Petrographie der unterpenninischen Decken im Gebiete der Tessiner Kulmination. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 9 (1929) 47.
- Petrographie der mesozoischen Gesteine im Gebiete der Tessiner Kulmination, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 9 (1929) 107.
- C. E. BURCKHARDT, Geologie und Petrographie des Basodino-Gebietes (nordwestl. Tessin). Diss. Univ. Basel, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 22 (1942) 99.
- S. F. CASASOPRA, Studio petrografico dello Gneiss Granitico Leventina (Valle Riviera e Valle Leventina, Ct. Ticino). Diss. ETH Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 19 (1939) 449.
- Brevi cenni sulla genesi del granito gneissico Leventina (Riviera e Leventina, Ct. Ticino). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 127.
- H. P. CORNELIUS, Über Auftreten und Mineralführung der Pegmatite im Veltlin und seinen Nachbartälern. Zbl. f. Min. etc. (1928) 281.
- E. DAL VESCO, Dissertation in Vorbereitung.
- U. GRUBENMANN, Granat-Olivinfels des Gordunotales. Vierteljahrsschrift Naturf. Ges. Zürich 53 (1908) 130.
- O. GRÜTTER, Petrographische und geologische Untersuchungen in der Region von Bosco (Valle Maggia) Tessin. Diss. Univ. Basel, Verh. Naturf. Ges. Basel 15 (1929) 78.
- E. GÜBELIN, Die Mineralien im Dolomit von Campolungo (Tessin). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 19 (1939) 325.
- E. GUTZWILLER, Injektionsgneise aus dem Kanton Tessin. Diss. Univ. Zürich, Ecl. Geol. Helv. 12 (1912) 5.
- P. HASLER, Geologie und Petrographie der Sambuco-Massari-Gebirgsgruppe zwischen dem oberen Valle Leventina und Valle Maggia im nördlichen Tessin. Diss. Univ. Basel, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 29 (1949) 50.
- L. HEZNER, Der Peridotit von Loderio (Kt. Tessin). Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich 54 (1909) 244.
- P. KNOBLAUCH und M. REINHARD, Erläuterungen zum geolog. Atlas der Schweiz 1:25 000, Blatt 11, Iorio (Geol. Kommission der Schweiz. Naturf. Ges. 1939).
- E. KÜNDIG, Beiträge zur Geologie und Petrographie der Gebirgskette zwischen Val Calanca und Misox. Diss. Univ. Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 6 (1926) 1.
- A. E. MITTELHOLZER, Beitrag zur Kenntnis der Metamorphose in der Tessiner Wurzelzone mit besonderer Berücksichtigung des Castionezuges. Diss. ETH Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 16 (1936) 19.
- E. NIGGLI, Über den Zusammenhang zwischen der positiven Schwereanomalie am Südfuss der Westalpen und der Gesteinszone von Ivrea. Ecl. Geol. Helv. 39 (1946) 211.

- P. NIGGLI, H. PREISWERK, O. GRÜTTER, L. BOSSARD und E. KÜNDIG, Geologische Beschreibung der Tessiner Alpen zwischen Maggia- und Bleniotal. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 71 (Bern 1936).
- H. PREISWERK, Die Grünschiefer in Jura und Trias des Simplongebietes. Geologische Beschreibung der Lepontinischen Alpen. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. Lfg. 26/I (Bern 1907).
- Die metamorphen Triasgesteine im Simplontunnel. Verh. Naturf. Ges. Basel 24 (1913).
 - Über neue Skapolithfunde in den Schweizeralpen. Verh. Naturf. Ges. Basel 28 (1917) 165.
 - Der „Tessinergneis“. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 4 (1924) 359.
 - Der Quarzdiorit des Cocomassives (Zentrale Tessineralpen) und seine Beziehungen zum Verzascagneis. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 11 (1931) 27.
- F. DE QUERVAIN, Zur Petrographie und Geologie der Taveyannaz-Gesteine. Diss. ETH Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 8 (1928) 1.
- Pegmatitbildungen von Valle della Madonna bei Brissago. Mitt. Naturwissenschaftl. Ges. Thun, 1932.
- A. SPICHER, Geologie und Petrographie des obern Val d'Isone (südliches Tessin). Diss. Univ. Basel, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 20 (1940) 17.
- C. TADDEI, Dalle alpi lepontine al Ceneri. Bellinzona 1937.
- P. WALTER, Das Ostende des basischen Gesteinszuges Ivrea-Verbano und die angrenzenden Teile der Tessiner Wurzelzone. Diss. Univ. Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 30 (1950) 1.
- E. WENK, Ostalpines und penninisches Kristallin. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28 (1948) 761.
- A. WERENFELS, Geologische und petrographische Untersuchungen des Visperales. Diss. Univ. Basel, Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. Lfg. 26/III (Bern 1923).

Zu III₅

- R. FORSTER, Geologisch-petrographische Untersuchungen im Gebiete nördlich Locarno. Zur Petrographie und Genesis der Amphibolite. Diss. Univ. Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 27 (1947) 249.
- R. KERN, Zur Petrographie des Centovalli (Tessin). Diss. ETH Zürich (1947).
- E. STRASSER, Geologie der Pizzo Claro-Torrone-Alto-Kette sowie der penninischen Wurzelzone zwischen Val Calanca und Tessintal. Diss. Univ. Zürich (1928).
- H. S. WANG, Petrographische Untersuchungen im Gebiet der Zone von Bellinzona. Diss. Univ. Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 19 (1939) 21.
- E. WENK, Ergebnisse und Probleme von Gefügeuntersuchungen im Verzascatal (Tessin). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 23 (1943) 265.
- L. ZAWADYNSKI, Diss. in Vorbereitung.

Zu III₆

- R. BÄCHLIN, Geologie und Petrographie des M. Tamare-Gebietes (südliches Tessin). Diss. Univ. Basel, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 17 (1937) 1.
- J. A. BURFORD, Failles et Minerais du Malcantone (Tessin). Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, Kl. Mitt. 3 (1933).
- C. BURRI und F. DE QUERVAIN, Über basische Ganggesteine aus der Umgebung von Brissago (Tessin). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 14 (1934) 507.
- D. J. DOEGLAS, Die Geologie des Monte San Giorgio und des Val Mara. Leidsche Geol. Med. (1930).
- J. J. DOZY, Über das Perm der Südalpen. Leidsche Geol. Med. (1935).

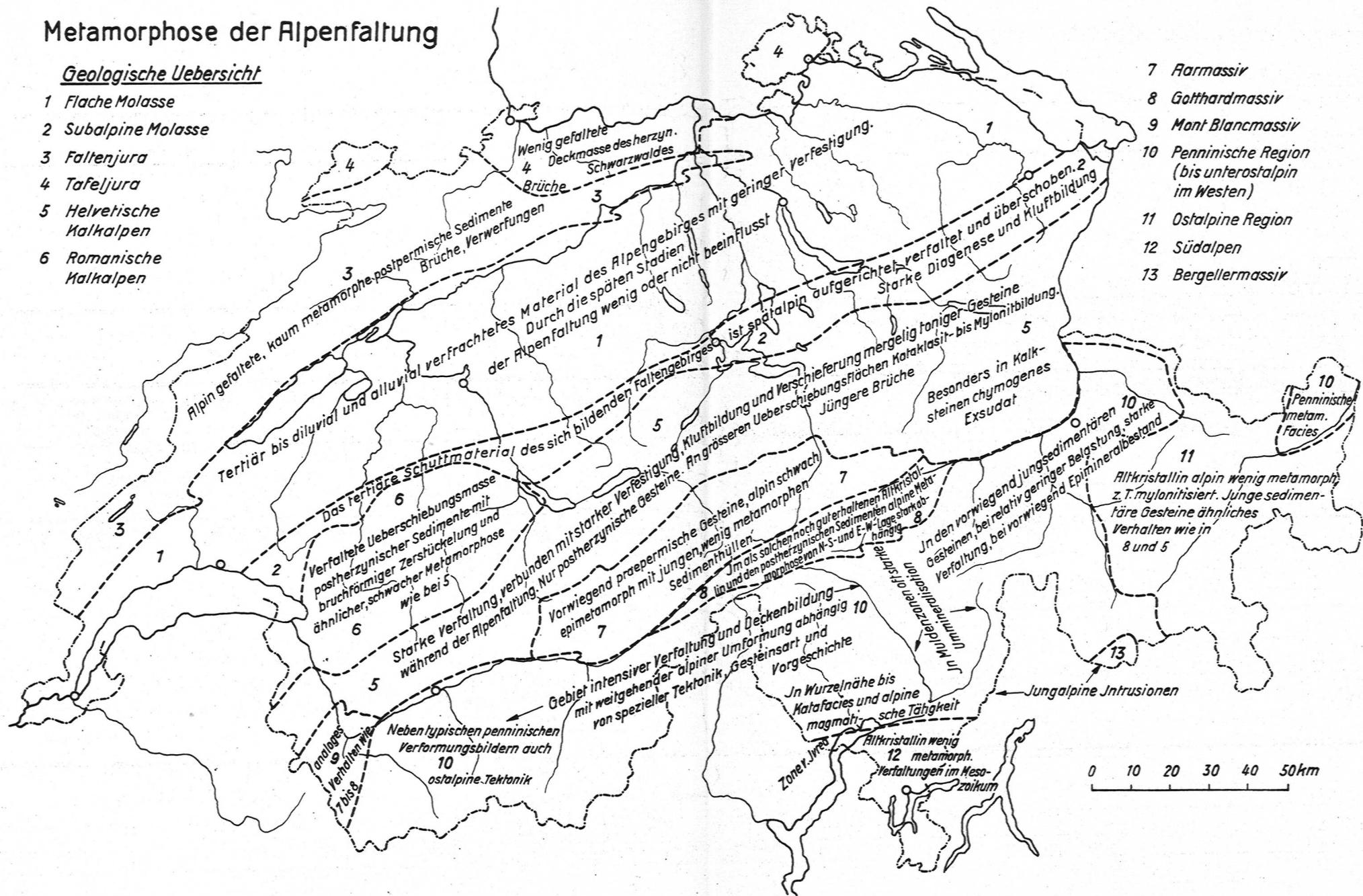
- B. G. ESCHER, Über die prätriasische Faltung in den Westalpen mit besonderer Untersuchung des Carbons an der Nordseite des Tödi (Bifertengrätli). Mit einem Anhang über das Scheidnössli bei Erstfeld im Reusstal und das Carbon von Manno bei Lugano. Diss. ETH Zürich (1911).
- A. FRAUENFELDER, Beiträge zur Geologie der Tessiner Kalkalpen. Diss. Univ. Zürich, Ecl. Geol. Helv. 14 (1916) 247.
- P. KELTERBORN, Geologische und petrographische Untersuchungen im Malcantone. Diss. Univ. Basel, Verh. Naturf. Ges. Basel (1922).
- PH. H. KUENEN, The Porphyry District of Lugano, West of the Valganna. Diss. Univ. Leiden (1925).
- K. P. RODE, The geology of the Morcote peninsula and the petrochemistry of the porphyry magma of Lugano. Diss. Univ. Zürich, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 21 (1941) 194.
- A. SENN, Beiträge zur Geologie des Alpensüdrandes zwischen Varese und Mendrisio. Diss. Univ. Basel, Ecl. Geol. Helv. 18 (1924) 550.
- L. U. DE SITTER und C. M. DE SITTER-KOOMANS, The geology of the Bergamasca Alps, Lombardia, Italy. Leidsche Geol. Med. 14B (1949) 1.
- R. STAUB, Betrachtungen über den Bau der Südalpen. Ecl. Geol. Helv. 42 (1949) 215.
- J. SUZUKI, Über die Staurolith-Andalusit-Paragenesis im Glimmergneis von Piodina bei Brissago (Tessin). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 10 (1930) 117.

La conférence du Dr. M. VUAGNAT: «*Le rôle des roches éruptives basiques dans les Alpes*» paraîtra dans le fascicule 1 du vol. 31.

Metamorphose der Alpenfaltung

Geologische Uebersicht

- 1 *Flache Molasse*
 - 2 *Subalpine Molasse*
 - 3 *Faltenjura*
 - 4 *Tafeljura*
 - 5 *Helvetische Kalkalpen*
 - 6 *Romanische Kalkalpen*

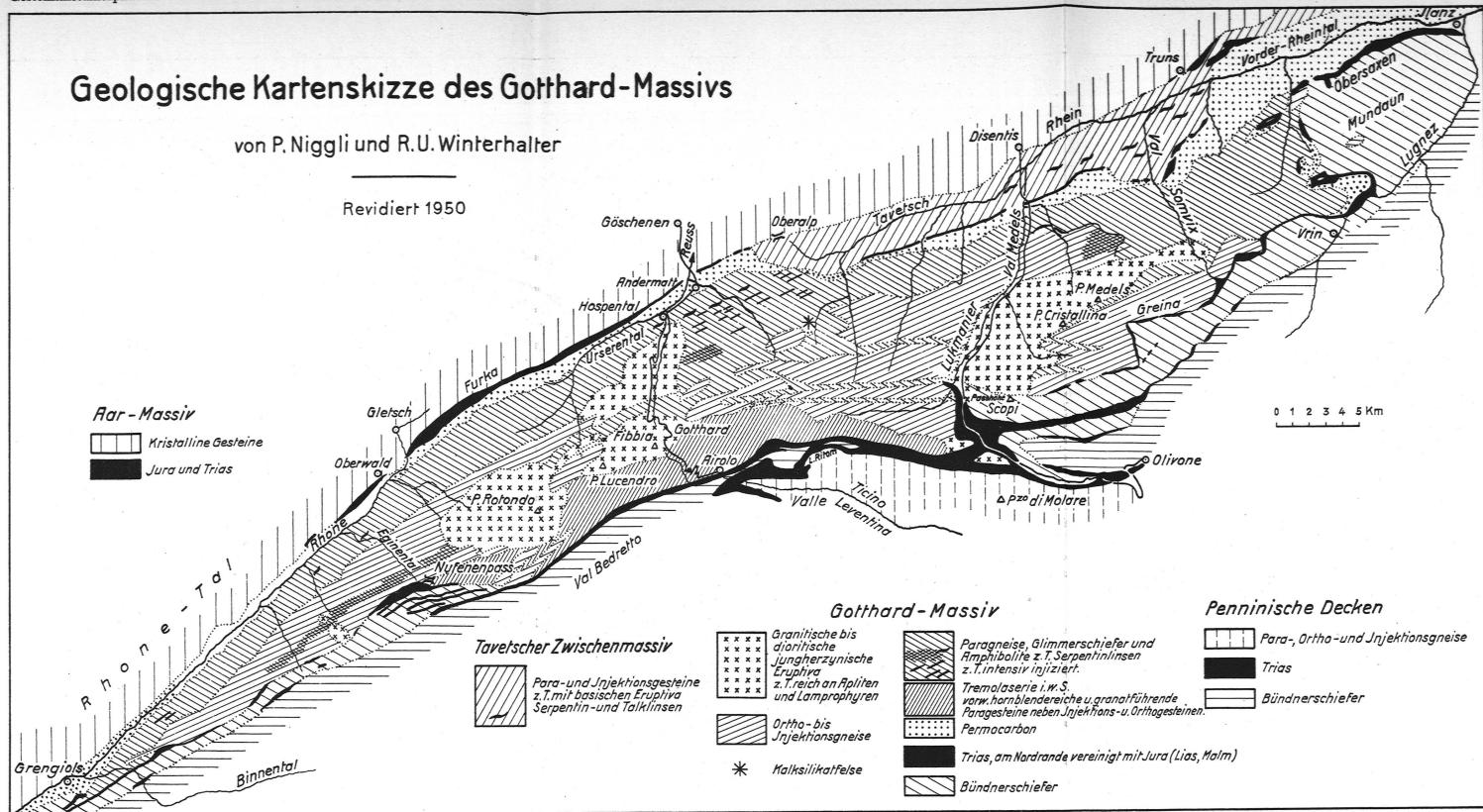


Leere Seite
Blank page
Page vide

Geologische Kartenskizze des Gotthard-Massivs

von P. Niggli und R.U. Winterhalter

Revidiert 1950



Metamorphose im Gotthardmassiv

