

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

Band: 40 (1960)

Heft: 2

Artikel: Zur Kenntnis der Eruptivgesteine in der Cordillera Vilcabamba (Peru)

Autor: Fricker, Peter / Weibel, Max

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-31156>

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>

Zur Kenntnis der Eruptivgesteine in der Cordillera Vilcabamba (Peru)

Von *Peter Fricker* und *Max Weibel* (Zürich)

Mit 2 Figuren im Text und 1 Tafel

Inhaltsverzeichnis

1.	Geologisch-petrographische Übersicht	360
2.	Eruptivgesteine der Vilcabamba-Region	363
a)	Beschreibung der permischen Vulkanite	363
	Quarzporphyr	364
	Quarzporphyrit	364
	Melaphyr	365
	Tuffit	365
b)	Beschreibung der nachpermischen Eruptivgesteine	365
	Granit	366
	Quarzporphyr	366
	Granodiorit	367
	Tonalit	369
	Quarzdiorit	370
	Gabbrodiorit	371
	Ganggesteine	372
c)	Zusammenfassung der chemischen Untersuchungen	374
3.	Kontaktverhältnisse	376
4.	Das Alter der Hauptintrusion	379
	Literaturverzeichnis	381

Abstract

There are two groups of eruptive rocks in the Cordillera Vilcabamba (NW of Cuzco in south-eastern Peru): the Permian volcanic rocks of the Mitu group and the younger intrusive rocks. Samples collected on an expedition by one of the authors (Fricker), are described. 11 rock analyses made by rapide methods are presented.

The Permian group is formed by quartz-latites and tuffs. Among the post-permian rocks, granodiorites are predominant and granites are less frequent contrary to prevailing opinions. The Vilcabamba intrusion is thought to be tertiary or upper cretaceous.

Zusammenfassung

Die Eruptivgesteine der Cordillera Vilcabamba (nordwestlich von Cuzco in SE-Peru) zerfallen in zwei Hauptgruppen, in die Vulkanite der permischen Mitu-Gruppe einerseits und in die nachpermischen Intrusivgesteine anderseits. Die im Verlauf der schweizerischen Andenexpedition des SAC 1959 gesammelten Gesteinsproben wurden mikroskopisch untersucht. Es wurden 11 chemische Analysen durchgeführt.

Unter den permischen Vulkaniten dominieren Quarzporphyrit und Tuffit. Unter den nachpermischen Tiefengesteinen herrscht entgegen der bisher vertretenen Auffassung (u. a. BOWMAN, 1916) Granodiorit und nicht Granit vor. Im Verlaufe der Intrusion wurden die vorpaläozoischen und paläozoischen Ablagerungen stellenweise mechanisch verdrängt. Die nachpermische Vilcabamba-Intrusion erfolgte wahrscheinlich im Tertiär oder bereits in der Oberkreide und stellt einen komplexen, mehrphasigen Vorgang dar.

I. Geologisch-petrographische Übersicht

Das Untersuchungsgebiet, die Cordillera Vilcabamba, liegt im südöstlichen Abschnitt der peruanischen Anden. Die kühnen Gipfelformen dieses Gebirgszuges erheben sich im NW der alten Inkahauptstadt Cuzco bis auf 6000 m Meereshöhe. Wie in SE-Peru allgemein (vgl. u. a. G. STEINMANN, 1929; H. R. KATZ, 1959), so sind auch in der Vilcabamba-Kette paläozoische Ablagerungen massgebend am Aufbau beteiligt. Daneben sind nachpermische Intrusivgesteine, im besonderen Granit und Granodiorit, weit verbreitet.

Eine umfassende geologisch-petrographische Bearbeitung der Cordillera Vilcabamba steht noch aus, was nicht zuletzt auf die schlechten Zugangsmöglichkeiten und die dürftigen topographischen Unterlagen zurückzuführen ist. In der Literatur sind jedoch verschiedene wichtige Angaben über diesen Gebietsabschnitt enthalten.

BOWMAN befasst sich 1916 mit den paläozoischen Sedimenten und den jüngeren Intrusivgesteinen der Vilcabamba-Kette. Die Ergebnisse dieses Autors werden von STEINMANN 1929 für sein grundlegendes Werk über die Geologie von Peru teilweise übernommen. Erstmals nach BOWMAN beschäftigt sich ARNOLD HEIM 1948 wieder mit dem geologischen Aufbau der Vilcabamba-Kette. 1957 veröffentlichten EGELER und DE

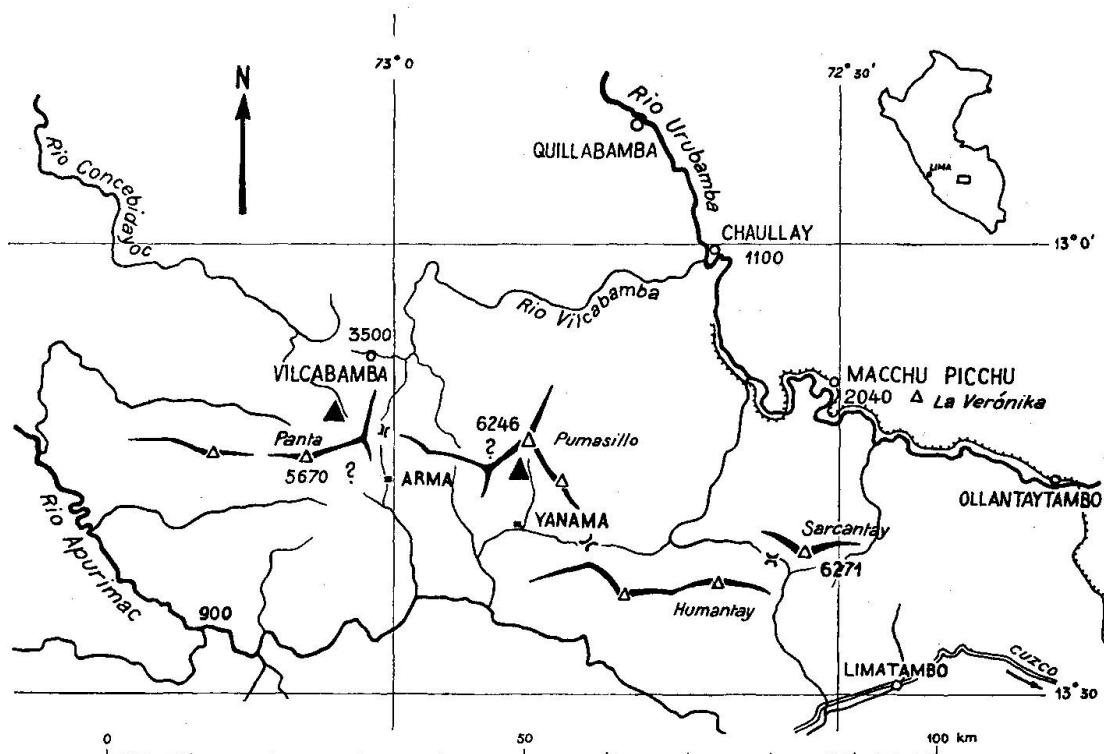


Fig. 1. Lageskizze (▲ Basislager).

Booy eine Arbeit über die vorläufigen Ergebnisse einer geologisch-alpinistischen Expedition in die Cordillera Veronica und in den östlichen Abschnitt der Cordillera Vilcabamba. Diese beiden Autoren gliedern die hauptsächlich vorpaläozoischen und paläozoischen Ablagerungen in verschiedene stratigraphische Einheiten auf. Daneben liegen auch interessante Beobachtungen über den ausgedehnten, nachpermischen Vilcabamba-Batholithen vor, besonders über die Kontaktverhältnisse zwischen der älteren Sedimenthülle und den jüngeren Intrusivgesteinen.

Über die Ergebnisse der Felduntersuchungen im Verlaufe der Andenexpedition des SAC 1959 orientiert eine Arbeit in den „Alpen“ (FRICKER, 1960). Für den folgenden geologisch-petrographischen Überblick sei auf diese Arbeit sowie auf die geologische Übersichtskarte verwiesen.

Im Untersuchungsgebiet lassen sich von unten nach oben folgende Einheiten auseinanderhalten:

1. *Präkambrium*: Die präkambrischen Ablagerungen zerfallen in eine Glimmerschiefer- und eine Gneis-Serie einerseits und in eine Phyllitgruppe anderseits.

Die ältesten Ablagerungen stellen granatführende Glimmerschiefer dar, welche konkordant verlaufende Amphibolitzüge enthalten. Die Glimmerschiefer gehen allmählich in eine Paragneis-Serie über. Im

obersten Teil der meist feinstrukturierten Psammitgneise sind Marmorzüge und helle, massive Quarzite eingeschaltet. Das Auftreten von saurem Plagioklas, Biotit, Hornblende und Granat deutet darauf hin, dass der gesamte, mehrere 1000 m mächtige Komplex der Mesofazies angehört.

Infolge der Steilstellung der Schichten kann eine diskordante Überlagerung dieser mächtigen Paragesteinszone durch die Phyllitgruppe nur vermutet werden. Jedenfalls bekräftigt ein deutlicher Metamorphosensprung diese Annahme; die Phyllitzone wird charakterisiert durch das Vorkommen von Chlorit, Serizit sowie von Albit und dürfte durchwegs dem Epibereich entstammen. Neben grünen bis grauen Phylliten enthält dieser mehrere 1000 m mächtige, epimetamorphe Komplexe im unteren und mittleren Teil graue, feinkörnige Quarzite.

Von ARNOLD HEIM (1948) und auch von EGELER und DE BOOV (1957) wird ein bedeutender Anteil dieser mächtigen Ablagerung dem Devon zugeordnet. Fossilfunde fehlen zwar bis heute, doch konnten 1959 in schwarzen, eisenschüssigen Tonschiefern unmittelbar über den grünen Phylliten mittelordovizische Graptolithen aufgefunden werden (FRICKER, 1960). Somit steht für die gesamte, liegende Paragesteinsmasse ein vormittelordovizisches Alter fest. Die ganze Zone dürfte durchwegs dem Präkambrium angehören, worauf unter anderem auch der Metamorphosensprung zwischen Phyllitgruppe und Graptolithenschiefern hinweist.

2. Ordovizium: Ca. 1000 m schwarze, eisenschüssige Tonschiefer, welche stellenweise Graptolithen führen, ferner helle, tafelige Quarzite.

3. Devon: Graue Tonschiefer und Quarzite, altersmäßig belegt durch Brachiopodenabdrücke.

Ablagerungen des oberen Devon und des Mississippian konnten nicht nachgewiesen werden.

4. Pennsylvanian (?) — Perm: Diese Ablagerungen zerfallen in zwei Serien, in die Copacabana-Gruppe, welche aus massigen Kalken und lokal aus dunklen Schiefern besteht, und in die vorwiegend terrestrische Mitu-Gruppe, die neben roten Mergeln und Schiefern auch durch Vulkanite charakterisiert wird. Beide Serien lieferten permische Brachiopoden (FRICKER, 1960).

Triadische und jurassische Sedimente konnten nicht aufgefunden werden.

5. Kreide (?): Rote Konglomerate und mergelige Sandsteine, welche im SW des Untersuchungsgebietes präkambrische Gneise transgressiv überlagern, wurden unter der Bezeichnung „Konglomerat von Pacaypata“ zusammengefasst. Vermutlich gehören diese Ablagerungen der oberen Kreide, evtl. bereits dem Tertiär an. Unter den Komponenten

der Konglomerate sind besonders permische Echinodermenkalke und Gerölle von Granodiorit hervorzuheben.

6. Tertiär (?): Die mächtigen vorpaläozoischen und paläozoischen Serien werden von gewaltigen Intrusivmassen durchstossen. Das Hauptgestein bilden Granit und vor allem Granodiorit. Daneben sind Tonalit, ferner auch Quarzdiorit und Gabbrodiorit aufgeschlossen.

Tektonik: Trotz der lückenhaften Feldaufnahme lassen sich im Arbeitsgebiet verschiedene tektonische Einheiten erkennen, so unter anderm eine breite Antiklinalanlage im St.-Teresa-Tal, eine isoklinal gebaute Synklinalzone im Yanama-Tal und die Mulde von Choquetira mit Devon als Synklinalkern.

Wie aus der geologischen Übersichtskarte hervorgeht, zeichnen sich die allgemein Ost-West verlaufenden tektonischen Elemente durch Schuppen- und Faltenstrukturen aus, die in ihren Hauptzügen vor der ausgedehnten, nachpermischen Granodiorit- und Granitinvasion entstanden sind.

2. Eruptivgesteine der Vilcabamba-Region

Die Eruptivgesteine des Untersuchungsgebietes zerfallen in zwei Hauptgruppen, in die permischen Vulkanite einerseits und in die weitverbreiteten nachpermischen Intrusivgesteine anderseits.

Möglicherweise spielen lokal auch vorpermische Eruptivgesteine eine Rolle, doch konnte der Nachweis hiefür nicht erbracht werden.

a) Beschreibung der permischen Vulkanite

Die hauptsächlich terrestrische Mitu-Serie umfasst neben Sedimenten auch häufig Vulkanite. Im Arbeitsgebiet sind die Mitu-Schichten im Süden von Vilcabamba typisch entwickelt. In der basalen Partie dieser Serie lässt sich dort ein Zug von Vulkaniten von Tincoc her bis über die Ortschaft Vilcabamba hinaus verfolgen. Im W von Vilcabamba scheint diese Zone unmittelbar vor dem Camballa-Tal auszusetzen.

Unter dem Mikroskop lässt sich erkennen, dass die Vulkanitzone vor allem aus Quarzporphyr, Quarzporphyrit und Melaphyr besteht. Diese Gesteine durchbrechen die Sedimente der Mitu-Serie. In der nächsten Umgebung deuten gefrittete Tonschiefer sowie verhärtete Sandsteine und Brekzien stellenweise auf die Wirkung einer leichten Kontaktmetamorphose hin. Die sauren bis basischen Eruptionen erfolgten gleich-

zeitig mit der Bildung der Sedimente, welche häufig tuffogenes Material enthalten. In einem tuffitischen, kieselreichen Horizont konnten westlich von Vilcabamba bestimmbarer Brachiopoden permischen Alters aufgefunden werden (FRICKER, 1960). Die Vulkanite und Sedimente der Mitu-Serie dürften demnach auch in dieser Region dem mittleren Perm angehören, was mit den Ergebnissen aus anderen, zum Teil benachbarten Gebietsteilen übereinstimmt (NEWELL, CHRONIC und ROBERTS, 1953).

Die hemikristallin-porphyrischen Gesteinstypen können ohne chemische Analysen kaum eindeutig erfasst werden, so dass für die folgende, kurzgefasste Beschreibung einiger permischer Vulkanite, welche mit einer Ausnahme auf mikroskopischen Untersuchungen beruht, etwelche Vorbehalte angebracht sind.

Quarzporphyr

Quarzporphyr ist unmittelbar im S von Vilcabamba aufgeschlossen. Im frischen Bruch erscheint dieses Gestein dunkelrot; es wird durchsetzt von Quarz- und Feldspateinsprenglingen.

Struktur: Hemikristallin-porphyrisch.

In einer dichten Grundmasse sind folgende Einsprenglinge eingebettet:

Quarz (überwiegend): Idiomorph-hypidiomorph, häufig korrodiert.

Kalifeldspat: Optisch Orthoklas, stark zersetzt.

Plagioklas: Oligoklasalbit (10—15% Anorthit), im allgemeinen idiomorph.

Möglicherweise gehört dieses Gestein bereits in die Gruppe der Quarzporphyrite.

Quarzporphyrit

Quarzporphyrit ist im SW von Vilcabamba aufgeschlossen und erscheint auch häufig als Komponentenmaterial im Konglomerat von Pacaypata. Dieses rötliche bis leicht graue Gestein führt vorwiegend Plagioklaseinsprenglinge.

Struktur: Hemikristallin-porphyrisch.

In einer dichten Grundmasse lassen sich folgende Einsprenglinge erkennen:

Quarz (selten): Xenomorph.

Kalifeldspat: Optisch Orthoklas. Hypidiomorph, häufig zersetzt.

Plagioklas (überwiegend): Oligoklasalbit (10—15% Anorthit). Idiomorph, zum Teil Zonarbau.

Chlorit, Erz (untergeordnet).

In der Grundmasse kann lokal Quarz und Plagioklas identifiziert werden.

Tabelle 1. *Quarzporphyrit südwestlich von Vilcabamba (249).*

Norm ¹⁾ (Biotitvariante)	Niggliwerte	
Q (Quarz)	20,3	si 305
Or (Orthoklas)	21,7	al 37
Ab (Albit)	42,4	fm 21 Kaligibelitisch ²⁾
An (Anorthit)	4,1	c 9
Bi (Biotit)	6,8	alk 33
Cp (Apatit)	0,4	
Mt, Ilm (Erz)	1,7	
K (Karbonat)	2,6	k 0,38
Normativer An.-Gehalt	9	mg 0,31

Die chemischen Analysen und die Basis der analysierten Gesteine nach P. NIGGLI wurden auf Seite 375 tabellarisch zusammengefasst.

Melaphyr

Melaphyr tritt im E und im SW der Ortschaft Tincoc hervor. Dieses im frischen Bruch rote bis leicht graue Gestein wird von zahlreichen Mandeln durchsetzt.

Struktur: Hemikristallin-porphyrisch, hyalopilitisch.

In einer dichten Grundmasse schwimmen zahlreiche, stark zersetzte Plagioklastesteine. Es handelt sich um einen intermediären Plagioklas. Der Erzgehalt ist bedeutend.

Die zahlreichen Mandeln (Durchmesser häufig über 1 cm) bestehen hauptsächlich aus Kalzit und Chalcedon.

Tuffit

Den Sedimenten ist vielfach tuffogenes Material beigemischt. Unter dem Mikroskop lassen sich unter anderm häufig neogener Albit und Turmalin erkennen. Diese Tuffite treten hauptsächlich im mittleren und oberen Teil der Mitu-Schichten auf, namentlich im NW von Vilcabamba.

b) Beschreibung der nachpermischen Eruptivgesteine

Die nachpermischen Eruptivgesteine sind in der Cordillera Vilcabamba weitverbreitet und treten vor allem im Abschnitt zwischen Yanama und Tincoc an die Oberfläche, ebenso im nördlichen Teil der Panta-Gruppe,

¹⁾ Normativer Mineralbestand in Äquivalent-% nach P. NIGGLI. Das dreiwertige Eisen und das Titan wurde als Erz zusammengefasst.

²⁾ Megmentyp nach P. NIGGLI.

im N von Arma und im W von Choquetira. Es handelt sich hauptsächlich um Intrusivgesteine, unter denen Granit und Granodiorit dominieren. Daneben sind Tonalit, Quarzdiorit und ferner auch Gabbrodiorit aufgeschlossen.

Granit

Auf Grund von Feldbeobachtungen neigt man leicht dazu, Granit als das Hauptgestein der nachpermischen Vilcabamba-Intrusiva zu betrachten (BOWMAN, 1916). Mikroskopische Untersuchungen und die Ergebnisse von Analysen lassen jedoch erkennen, dass Gesteine, welche im Terrain als „Granit“ angesprochen werden, häufig zu den Granodioriten gehören. Granitische und granodioritische Gesteinstypen sind untereinander durch gleitende Übergänge verbunden; eine scharfe Trennung zwischen diesen beiden Gruppen wird dadurch verunmöglicht.

Granit tritt an verschiedenen Stellen hervor, so namentlich im Cedro-Tal (5 km nordwestlich von Yanama) und im SE von Tincoc. Makroskopisch erscheint dieses Gestein als homogen ausgebildeter, mittel- bis grobkörniger Biotitgranit.

Mineralbestand:

Quarz (20—25%): Im allgemeinen xenomorph mit undulöser Auslöschung.

Kalifeldspat (40—50%): Orthoklas mit Mikroperthitbildung. Hypidiomorph, oft unregelmässig begrenzt.

Plagioklas (ca. 30%): Oligoklas (15—20% Anorthit). Idiomorph, frisch, zum Teil Zonarbau.

Biotit (ca. 5%): Ausgeprägter Pleochroismus von strohgelb (n_α) über gelbbraun (n_β) zu tiefbraun bis schwarz (n_γ). Häufig ausfasernd. Chloritisierung selten.

Erz, Apatit, Zirkon (untergeordnet).

Der Kalifeldspat erscheint optisch als Orthoklas. Röntgenographische Bestimmungen von Kalifeldspat im Granit vom Cedro-Tal bestätigen diesen Befund.

Quarzporphyr³⁾

Diese hellgrauen bis rötlichen Gesteine, welche nur wenig dunkle Gemengteile enthalten, sind vorwiegend im nördlichen Teil der Panta-Region aufgeschlossen. Der Quarzporphyr leitet dort gegen die Tiefe zu stellenweise in Granit über; es dürfte sich demnach um eine Randfazies des Intrusivkörpers handeln. Unter dem Mikroskop lässt sich eine holokristallin-porphyrische Struktur mit mikroaplitischer Grundmasse erkennen.

³⁾ Die Benennung „Quarzporphyr“ wurde hauptsächlich nach feldpetrographischen Gesichtspunkten gewählt.

Mineralbestand:

Quarz (30—40%): Hauptanteil der Einsprenglinge. Idiomorph-hypidiomorph, häufig korrodiert. Undulöse Auslöschung. In der mikroaplitischen Grundmasse hypidiomorph-xenomorph.

Kalifeldspat: Orthoklas mit Mikroperthit. Teilweise zersetzt.

Plagioklas (20—30%): Oligoklasalbit (ca. 10% Anorthit). Als Einsprenglinge idiomorph, in der Grundmasse hypidiomorph.

Chlorit (ca. 3%): Wohl durchwegs aus Biotit hervorgegangen.

Erz, Apatit, Zirkon (untergeordnet).

Tabelle 2. *Quarzporphyr im nördlichen Teil der Panta-Gruppe (151).*

Modus ⁴⁾	Norm		Niggliwerte	
Quarz	34	Q	25	si 422
Kalifeldspat	36	Or	33	al 47
Plagioklas	26	Ab	37,5	fm 5 Aplitgranitisch
Chlorit	3	An	3,1	c 5
Erz, Apatit	1	Di ⁵⁾	0,9	alk 43
		Mt	0,5	
Normativer An.-Gehalt	8		k	0,47
Gemessener An.-Gehalt	10—15		mg	0,33

Granodiorit

Der Granodiorit bildet das häufigste Intrusivgestein des Untersuchungsgebietes und tritt im südlichen Teil der Pumasillo-Gruppe hervor, ebenso im N von Arma und im W von Choquetira. Die Granodiorite umfassen eine Gruppe von Gesteinen, welche untereinander gewisse Unterschiede im Mineralbestand und im Chemismus aufweisen.

Der Granodiorit der Pumasillo-Region und im N von Arma zeigt eine Alkaligranittendenz (c relativ niedrig, vgl. Niggliwerte), doch lässt sich auch mikroskopisch ein Vorherrschen des Plagioklasanteiles eindeutig feststellen.

Mineralbestand:

Quarz (10—20%): Xenomorph. Meist undulöse Auslöschung.

Kalifeldspat (20—30%): Mikroklin, mit Perthitbildungen, unregelmässig begrenzt; lokal von Einschlüssen durchsetzt. Zwillingslamellierung nach dem Periklingsgesetz häufig fehlend.

Plagioklas (40—50%): Oligoklasalbit (10—15% Anorthit), im allgemeinen hypidiomorph. Lokal Myrmekit.

⁴⁾ Der Modus in Vol.% wurde mit dem „Point-counter“ gemessen. In jedem Dünnschliff wurden ca. 200 Punkte bestimmt (Fehlerquelle einige Prozent).

⁵⁾ Di: Diopsid.

Biotit (5—10%): Ausgeprägter Pleochroismus. Zirkoneinschlüsse häufig, lokal chloritisiert.

Hornblende: Vereinzelte Relikte; gewöhnliche, grüne Hornblende.

Erz, Apatit (untergeordnet).

Struktur: Hypidiomorphkörnig.

Aus röntgenographischen Bestimmungen geht hervor, dass der Granodiorit im südlichen Teil der Pumasillo-Gruppe Kalifeldspat in Form von Mikroklin führt. Dagegen enthält der Granodiorit nördlich von Arma Orthoklas, welcher allerdings nur optisch nachgewiesen wurde.

Tabelle 3.

Granodiorit im S der Pumasillo-Gruppe, ca. 5 km nördlich von Yanama (353).

Modus		Norm (Biotitvar.)		Niggliwerte	
Quarz	16	Q	14,7	si	292
Kalifeldspat	27	Or	22,1	al	39
Plagioklas	47	Ab	48,5	fm	18
Biotit	8	An	4,1	c	8
Erz	2	Bi	6,9	alk	35
		Di	1,8		
		Cp	0,6	k	0,35
		Erz	1,3	mg	0,46
Normativer An.-Gehalt		8			
Gemessener An.-Gehalt		10			

Tabelle 4. *Granodiorit unmittelbar nördlich von Arma (184).*

Modus		Norm (Biotitvar.)		Niggliwerte	
Quarz	14	Q	22,3	si	343
Kalifeldspat	33	Or	23,8	al	42
Plagioklas	46	Ab	40	fm	17
Biotit	6	An	4,1	c	5
Erz	1	Bi	7,5	alk	36
		Ms ⁶⁾	1,4		
		Cp	0,2	k	0,42
		Erz	0,7	mg	0,35
Normativer An.-Gehalt		9			
Gemessener An.-Gehalt		10—15			

⁶⁾ Ms: Muskowit.

Von diesen Gesteinen im N von Yanama und im N von Arma hebt sich der Granodiorit im W von Choquetira schon rein äusserlich ab durch einen bedeutend höheren Gehalt an dunklen Gemengteilen. Mikroskopische und chemische Untersuchungen lassen erkennen, dass ein basischer Granodiorit vorliegt.

Mineralbestand:

Quarz (ca. 10%): Xenomorph, mechanisch kaum beansprucht.

Kalifeldspat (ca. 10%): Mikroklin mit bedeutendem Gehalt an Mikroperthit.

Plagioklas (40—50%): Oligoklas (15—25% Anorthit). Hypidiomorph, teilweise Zonarbau. Myrmekit häufig.

Biotit (15—25%): Schlecht begrenzte Biotitblättchen paketweise am Rande oder im Innern von Hornblendeindividuen angeordnet. Pleochroismus von strohgelb (n_α) zu dunkelbraun (n_γ).

Hornblende (15—20%): Häufig ausfasernd. Gewöhnliche, grüne Hornblende.

Erz, Apatit, Zirkon (untergeordnet).

Struktur: Hypidiomorphkörnig bis panallotriomorphkörnig.

Tabelle 5. Basischer Granodiorit, ca. 6 km nordöstlich von Potrero (214).

Modus		Norm (Biotitvar.)		Niggliwerte	
Quarz	10	Q	7,3	si	177
Kalifeldspat	9	Or	11,2	al	31
Plagioklas	42	Ab	40,3	fm	33
Biotit	21	An	13,9	c	14
Hornblende	16	Bi	20,1	alk	22
Erz	2	Ho	3		
		Cp	1,4	k	0,38
		Erz	2,8	mg	0,35
Normativer An.-Gehalt		26			
Gemessener An.-Gehalt		20			

Tonalit

Ein bedeutendes Vorkommen von Tonalit ist im westlichen Teil der Pumasillo-Gruppe am Choquetacarpo-Pass aufgeschlossen. Das Gestein erscheint makroskopisch sehr homogen und fällt durch den hohen Gehalt an dunklen Gemengteilen auf.

Der Tonalit am Choqueatacarpo-Pass wird von grobkörnigem Granit umgeben. Zwischen Granit und Tonalit besteht stets ein scharfer Kontakt, welcher im Felde eine exakte Grenzziehung ermöglicht. Der Tonalit wird häufig von granitischem Magma durchdrungen und ist zweifellos älter als der Granit.

Mineralbestand:

Quarz (5—10%): Xenomorph als Füllmaterial. Undulöse Auslöschung, zum Teil Kataklassstruktur.

Plagioklas (40—50%): Oligoklas (20—25% Anorthit). Hypidiomorph, zum Teil Zonarbau (im Kern bis zu 35% Anorthit). Individuen häufig verbogen, teilweise zertrümmert.

Biotit (ca. 20%): Hypidiomorphe, kleine Blättchen, meist paketweise im Innern oder am Rande der Hornblendeindividuen angeordnet. Pleochroismus von hell-gelb (n_α) zu tiefbraun bis schwarz (n_γ); Biotit frisch; nur lokal chloritiert.

Hornblende (20—25%): Stengelig bis gedrungen, häufig ausfasernd. Deutlicher Pleochroismus. Auslöschungsschiefe n_γ/c um 20° ; gewöhnliche, grüne Hornblende.

Erz, Apatit, Zirkon (untergeordnet).

Tabelle 6.

Tonalit vom Choquetacarpo-Pass, ca. 5 km im W des Pumasillo (101).

Modus		Norm (Biotitvar.)	Niggliwerte	
Quarz	5	Q	6,7	si 144
Plagioklas	47	Ab	30,6	al 23
Biotit	22	An	20,1	fm 44 Orbitisch
Hornblende	24	Bi	14,7	c 22
Erz	2	Ac ⁷⁾	23,2	alk 11
		Cp	0,9	
		Erz	3,8	k 0,23
Normativer An.-Gehalt		39		
Gemessener An.-Gehalt		25	mg 0,50	

Quarzdiorit

Die Paragneise im Raum von Occoro und auch die Phyllitgruppe im S von Choquetira werden von diskordant verlaufenden Quarzdioritzügen durchschlagen. Die Mächtigkeit dieser Züge bewegt sich zwischen 50 m und einigen 100 m. Daneben treten auch kleine, stockartige Aufbrüche von Quarzdiorit an die Oberfläche.

Infolge der geringen Ausdehnung der einzelnen Vorkommen spiegelt der Quarzdiorit die tektonische Beanspruchung deutlich wider; auch makroskopisch lässt sich eine Überprägung durch eine leichte, epizonale Metamorphose erkennen.

⁷⁾ Aktinolith.

Mineralbestand:

Quarz (10—15%): Xenomorph. Undulöse Auslöschung, zum Teil Kataklasstruktur.

Plagioklas (ca. 40%): Andesin (40—45% Anorthit), teilweise Zonarbau. Hypidiomorphe Individuen häufig verbogen, seltener zerbrochen.

Hornblende (40—50%): Stengelig, häufig schlecht begrenzt und ausfasernd. Deutlicher Pleochroismus. Gewöhnliche, grüne Hornblende. Hornblendeindividuen mit leichter Tendenz zu einer Einregelung.

Erz (untergeordnet).

Struktur: Hypidiomorphkörnig-panallotriomorphkörnig; Textur massig mit Andeutung einer leichten Schieferung.

Tabelle 7. *Quarzdiorit unmittelbar im N von Occoro (275).*

Modus	Norm ⁸⁾	Niggliwerte
Quarz	13	si 140
Plagioklas	39	al 27
Hornblende	47	fm 43
Erz	1	c 19 Orbitisch alk 11
		k 0,29
		mg 0,44
Gemessener An.-Gehalt	40	

Gabbrodiorit

Einige kleine Aufbrüche von Gabbrodiorit durchstossen die Paragneise im N von Yanama und die Phyllitgruppe im S von Choquetira. Dieses Gestein lässt deutlich Spuren tektonischer Beanspruchung erkennen.

Mineralbestand:

Plagioklas (40—50%): Andesin (um 35% Anorthit). Sperriges Gefüge der im allgemeinen idiomorphen Plagioklasleisten. Deutliche Spuren mechanischer Beanspruchung: Individuen häufig verbogen und zerbrochen.

Biotit (ca. 10%): Biotitblättchen am Rande und im Innern von Hornblendeindividuen.

Hornblende (30—40%): Hypidiomorph, häufig büschelartig angeordnet, zum Teil leicht zersetzt. Tritt in 2 Arten auf: als grüne (überwiegend) und als braune Hornblende.

Erz (ca. 5%): Hauptsächlich Magnetit.

Struktur: Hypidiomorphkörnig; Textur massig.

⁸⁾ Auf die Bestimmung des normativen Mineralbestandes wurde verzichtet, da bei Verwendung einer idealisierten Hornblendeformel keine Übereinstimmung mit dem Modus erzielt werden konnte.

Tabelle 8. *Gabbrodiorit, ca. 7 km nordöstlich von Yanama (356).*

Modus	Norm (H.blendevar.)		Niggliwerte		
Plagioklas	48	Ab	33	si	127
Biotit	11	An	18,6	al	21
Hornblende	36	Bi	15,5	fm	46
Erz	5	Ac	28,2	c	22
		Cp	1,1	alk	11
		Erz	3,6	k	0,23
Normativer An.-Gehalt		36		mg	0,49
Gemessener An.-Gehalt		35			

Ganggesteine

α) Aplite: In der Umgebung der Intrusivkörper wird das Nebengestein häufig von diskordant verlaufenden Apliten durchsetzt, vor allem im N von Yanama, aber auch südlich von Tincoc und Vilcabamba. Es handelt sich vorwiegend um Granit- und Granodioritaplit. Das im allgemeinen gleichkörnige Gestein besteht hauptsächlich aus Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas (Oligoklasalbit). Die Mächtigkeit dieser hellen Gänge bewegt sich in der Größenordnung von wenigen Zentimetern bis zu einigen Metern. Die Länge ist ebenfalls sehr variabel; die Aplite können nur selten über eine Distanz von mehr als 50 m verfolgt werden.

β) Pegmatite: Pegmatite spielen innerhalb des Untersuchungsgebietes eine untergeordnete Rolle. Vereinzelt kommen grobkörnige helle Gänge im N von Yanama vor. Ein geringmächtiger, turmalinführender Pegmatit wurde im S von Potrero aufgefunden.

γ) Basische Gänge: Basische Gänge treten vor allem im Yanama-Tal und südlich von Vilcabamba hervor. Sie durchschlagen bei Yanama die Paragneise und hellgrauen Quarzite, im nördlichen Teil der Panta-Region dagegen die Phyllitgruppe und auch den Quarzporphyr. Die Mächtigkeit der Gänge beträgt meist einige Dezimeter, ausnahmsweise auch mehr. Die Länge der Gänge ist sehr verschieden. Namentlich im Panta-Gebiet ziehen sie sich teilweise über eine Distanz von mehr als 100 m hin.

Dünnschliffe zeigen, dass die im frischen Bruch dunkelgrauen bis grünlichen Gesteine verschiedener Lokalitäten im Mineralbestand nur wenig voneinander abweichen, eine Feststellung, welche durch die Er-

gebnisse von zwei Analysen bestätigt wird. Die basischen Gänge können mit der Bezeichnung feinkörniger Titanaugitdolerit lithologisch am besten charakterisiert werden.

Mineralbestand:

Plagioklas (40—50%): Andesin (35—45% Anorthit). Sperriges Gefüge der Plagioklasleisten (ophitische Struktur).

Augit (30—40%): Titanaugit; N_y/c um 45° (auf 010). Starke Achsendispersion, Sanduhrformen häufig. Augit meist als Zwischenklemmasse.

Hornblende (maximal 5%): Wahrscheinlich durch Uralitisierung aus Augit hervorgegangen.

Tabelle 9.

Titanaugitdolerit (66); Gang in den hellgrauen Quarziten im SE v. Yanama.

Modus		Norm (Augitvar.)	Niggliwerte			
Plagioklas	54	Ab	33,5	si	120	
Biotit	4	An	17,4	al	23	Normal-
Hornblende	3	Bi	9,3	fm	44	gabbro-
Augit	35	Aug	33,3	c	23	dioritisch
Erz	4	Cp	1	alk	10	
		Erz	3,3			
		Kar-		k	0,15	
		bonat	2,2	mg	0,47	
Normativer An.-Gehalt		34				
Gemessener An.-Gehalt		37				

Tabelle 10. *Titanaugitdolerit (130); Gang im Quarzporphyr (nördlicher Teil der Panta-Gruppe).*

Modus		Norm (Augitvar.)	Niggliwerte			
Chalcedon	2	Q	3,1	si	97	
Plagioklas	38	Ab	17,1	al	17	
Biotit	8	An	17,5	fm	47	Hawaiitisch
Augit	40	Bi	13,6	c	30	
Erz	5	Aug	33,4	alk	6	
Kalzit	7	Cp	0,9			
		Erz	3,5	k	0,33	
		Kar-		mg	0,58	
		bonat	10,9			
Normativer An.-Gehalt		50				
Gemessener An.-Gehalt		45				

Biotit (5—10%): Kleine Individuen. Pleochroismus von strohgelb (n_{α}) zu dunkelbraun (n_{γ}).

Kalzit (3—10%): Mandelförmig, zum Teil mit Chalcedon verknüpft (durchschnittliche Grösse der Mandeln 1—2 mm).

Erz (ca. 5%).

δ) *Erzführende Gänge*: Im Yanama-Tal und bei Colcapampa setzen in der Paragneis-Serie an verschiedenen Stellen Blei-Silbererzgänge auf. Diese Lagerstätten wurden bereits zur Inkazeit ausgebeutet.

Unmittelbar unter dem Gipfel des Cerro Central (5060), im nördlichen Teil der Panta-Gruppe führt ein diskordant im Quarzporphyr verlaufender Quarzgang Molybdänglanz.

c) Zusammenfassung der chemischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der elf Gesteinsanalysen finden sich nachstehend tabellarisch zusammengestellt. Die Analysen führte WEIBEL nach den neuen Schnellmethoden von RILEY (1958) aus. SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO und P_2O_5 wurden kolorimetrisch bestimmt, CaO , MgO und FeO titrimetrisch, Na_2O und K_2O flammenphotometrisch. Dazu standen ein Zeiss-Elko-II-Kolorimeter und ein Zeiss-PF-5-Flammenphotometer zur Verfügung. Die RILEYSchen Schnellmethoden sind den klassischen Analysenverfahren in der Genauigkeit ebenbürtig.

Bei den Analysen der granodioritischen Gesteine (Nr. 353, 184 und 214) treten die niederen CaO -Gehalte auffallend hervor. Wenn auch einzelne CaO -Bestimmungen möglicherweise etwas zu tief liegen, worauf die normativen Anorthitgehalte der Plagioklase hindeuten können, sind die angegebenen CaO -Werte doch größenordnungsmässig richtig. Das Calcium und vor allem die relativ hohen Alkalien weisen auf eine Alkaltendenz der saureren Gesteine, was noch klarer aus den Niggliwerten hervortritt.

Für die Berechnung der normativen Mineralbestände wurden die Berechnungsmethoden auf äquivalenter Grundlage von P. NIGGLI (BURRI, 1959) angewandt. Die berechneten Normen sind möglichst eng an die tatsächliche Mineralzusammensetzung angelehnt. Bei den Gesteinen mit Augit (Nr. 66, 130) ist eine Augitvariante berechnet, wobei ein Teil des Al_2O_3 in den Augit gesteckt wurde (Nr. 66, 130). Für die normative Umrechnung wurde die Gleichung $13,5 \text{ Fo} + 3,5 \text{ Q} + 5 \text{ An} = 20 \text{ Aug} + 2 \text{ Wo}$ benutzt, die einen Augit mit 90 Äquiv.% Enstatit und 10 Äquiv.% Al_2O_3 sowie Wollastonit ergibt. Der Wollastonit wurde dabei ebenfalls zum Augit gezählt.

Tabelle 11.
Chemische Analyse von Eruptivgesteinen aus der Vilcabamba-Kette.

	151	353	184	214	96	101	275	356	66	130	249
SiO ₂	73,0	66,9	69,6	55,7	61,0	52,9	50,8	50,4	47,6	43,0	67,2
TiO ₂	0,08	0,56	0,40	1,54	1,15	2,0	1,7	2,2	2,6	2,0	0,74
Al ₂ O ₃	13,8	15,2	14,4	16,8	17,3	14,2	16,5	14,5	15,3	12,9	13,9
Fe ₂ O ₃	0,72	1,25	0,63	2,3	1,63	3,2	2,6	5,4	2,0	3,0	1,7
FeO	0,07	1,61	2,1	6,0	3,1	6,8	8,1	6,1	9,1	7,8	2,4
MnO	—	0,03	0,03	0,09	0,05	0,09	0,11	0,10	0,11	0,05	0,03
CaO	0,80	1,65	0,95	4,0	2,2	7,4	6,4	8,0	8,6	12,3	1,76
MgO	0,20	1,30	0,80	2,5	1,53	5,5	4,7	6,0	5,5	8,1	0,98
Na ₂ O	4,1	5,4	4,4	4,4	5,4	3,3	3,0	3,6	3,6	1,9	4,7
K ₂ O	5,5	4,5	4,9	4,0	4,6	1,55	1,9	1,65	0,95	1,4	4,4
P ₂ O ₅	—	0,30	0,11	0,70	0,52	0,45	0,29	0,55	0,48	0,44	0,19
H ₂ O	1,4	0,9	1,5	1,6	1,2	2,2	3,5	1,5	3,5	3,0	1,3
CO ₂									0,85	4,2	1,0
	99,7	99,6	99,8	99,6	99,7	99,6	99,6	100,0	100,2	100,1	100,3

Basis der analysierten Gesteine nach Niggli

	151	353	184	214	96	101	275	356	66	130	249
Q	54,3	45,0	50,1	34,8	38,6	33,7	33,5	28,8	28,3	25,0	47,5
Kp	19,8	15,8	17,7	14,3	16,5	5,5	7,0	5,8	3,5	5,1	15,5
Ne	22,5	29,1	24,0	24,2	29,2	18,3	17,0	19,8	20,1	10,3	25,4
Cal	1,9	2,5	2,5	8,9	4,8	12,1	16,5	11,5	14,2	13,8	2,5
Cs	0,3	0,7	—	0,3	—	4,6	1,2	5,6	4,5	6,8	—
Fs	0,8	1,3	0,6	2,5	1,7	3,5	2,8	5,7	2,2	3,2	1,8
Fa	—	1,9	2,5	7,1	3,6	8,2	9,9	7,3	10,6	7,4	2,2
Fo	0,4	2,7	1,7	5,4	3,2	11,8	10,3	12,8	11,5	15,2	1,6
Cp	—	0,6	0,2	1,4	1,0	0,9	0,6	1,1	1,0	0,9	0,4
Ru	—	0,4	0,3	1,1	0,8	1,4	1,2	1,6	1,9	1,4	0,5
C	—	—	0,4	—	0,6	—	—	—	—	—	—
Karbo- nat ⁹⁾	—	—	—	—	—	—	—	—	2,2	10,9	2,6

- 151 Quarzporphyr im nördlichen Teil der Panta-Gruppe.
- 353 Granodiorit im Süden der Pumasillo-Gruppe, ca. 5 km nördlich von Yanama.
- 184 Granodiorit unmittelbar nördlich von Arma.
- 214 Basischer Granodiorit, ca. 6 km nordöstlich von Potrero.
- 96 Übergangsgestein zwischen Paragneisen und Granit im mittleren Cedro-Tal.
- 101 Tonalit vom Choquetacarpo-Pass, ca. 5 km im Westen des Pumasillo.

⁹⁾ Als Ankerit Ca(Mg, Fe)(CO₃)₂.

- 275 Quarzdiorit unmittelbar im Norden von Occoro.
- 356 Gabbrodiorit, ca. 7 km nordöstlich von Yanama.
- 66 Titanaugitdolerit, Gang in den hellgrauen Quarziten im Südosten von Yanama.
- 130 Titanaugitdolerit, Gang im Quarzporphyr, nördlicher Teil der Panta-Gruppe.
- 249 Quarzporphyrit südwestlich von Vilcabamba.

3. Kontaktverhältnisse

Die Beziehung zwischen Vulkaniten und Sedimenten der permischen Mitu-Serie wurden bereits erörtert (S. 000), so dass wir uns im folgenden den Kontaktverhältnissen zwischen den nachpermischen Eruptivgesteinen und der älteren Sedimenthülle zuwenden können.

Es ist auffällig, wie im gesamten Untersuchungsgebiet der Verlauf der Kontaktzone mit der Streichrichtung der angrenzenden Paragesteine übereinstimmt oder mit derselben — wie zum Beispiel westlich von Choquetira — ausnahmsweise einen rechten Winkel bildet. EGELER und DE BOOY (1957) gelangen im östlichen Teil der Vilcabamba-Kette zur gleichen Feststellung und weisen auch auf die Beziehung zwischen der Lage der Kontaktzone und dem Einfallen der Sedimente hin. Die beiden holländischen Geologen ziehen hieraus den Schluss, dass im Verlaufe der Intrusion die ältere Sedimenthülle beiseitegeschoben und emporgehoben wurde.

BOWMAN gelangt bereits 1916 zu ähnlichen Ergebnissen, geht aber in dieser Beziehung entschieden zu weit, indem er die Tektonik in der weiteren Umgebung des Vilcabamba-Batholithen auf Deformationswirkungen zurückführt, welche durch die umfassende Intrusion bedingt sind.

Die Hauptzüge der tektonischen Anlage bestanden jedoch zweifellos vor dem Einsetzen der nachpermischen Intrusionsvorgänge. So wird beispielsweise die Mulde von Choquetira von Granodioriten durchbrochen und zweigeteilt.

Im grossen gesehen waren die Wege für das Magma durch die Tektonik wohl weitgehend vorgezeichnet, wie dies unter anderm STEINMANN (1910, 1929) in bezug auf den andinen Bereich mehrfach betont. Die Tatsache aber, dass die Schichtlage in unmittelbarer Umgebung der Intrusivkörper zum Teil lokale Abweichungen und Bewegungsspuren erkennen lässt und sich dabei dem Verlauf der Kontaktzone anpasst, deutet darauf hin, dass während der Intrusion das Magma sich stellenweise auch durch mechanische Verdrängung der älteren Sedimenthülle

Platz geschaffen hat. Derartige Bewegungsvorgänge werden vermutlich durch das träge Verhalten eines hochviskosen Magmas begünstigt und dürften sich vor allem in extern gelegenen, das heißt oberflächennahen Partien der Intrusivkörper abspielen. Die Frage, ob dieser Erscheinung in der Vilcabamba-Region nur lokale Bedeutung beizumessen ist, muss durch weitere Detailuntersuchungen abgeklärt werden. Ein analoges Beispiel aus dem südwestlichen Gotthardmassiv wird übrigens von S. HAFNER (1958) beschrieben. Dieser Autor betont mit Nachdruck, dass der Rotondogranit den älteren Gneismantel hauptsächlich mechanisch verdrängt hat.

Die lokal auftretenden Bewegungsspuren und der allgemein scharfe Kontakt gegenüber dem Nebengestein deuten darauf hin, dass die nachpermischen Intrusivgesteine der Vilcabamba-Region eigentliche Magmatite darstellen. Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes lässt sich allerdings stellenweise eine Umwandlung von Nebengestein zu migmatitartigen Bildungen erkennen.

Die *Kontaktmetamorphose* wird innerhalb des Arbeitsgebietes durch eine sehr unterschiedliche Intensität gekennzeichnet. Im nördlichen Abschnitt, das heißt im S von Tinoc bis zur Pumasillo-Gruppe und im N der Panta-Region, wurde die Phyllitgruppe von einer hauptsächlich thermischen Wirkung der Kontaktmetamorphose betroffen. Die Quarzite und die Phyllite erscheinen zum Teil verhärtet. Nur selten — in der nächsten Umgebung der Kontaktzone — führen die Serizitchlortschiefer Granat. Zwischen Intrusivgesteinen und den epimetamorphen Sedimenten besteht ein scharfer Kontakt. Das Nebengestein wird nur von wenigen hellen Gängen durchdrungen.

Eine bedeutend grössere Wirkung der Kontaktmetamorphose zeichnet sich westlich von Choquetira und bei Arma ab, wo zum Beispiel Graptolithenschiefer lokal Chiastolith führen.

Völlig anders liegen die Verhältnisse im Norden von Yanama. Im Süden der Pumasillo-Gruppe werden die Klüfte und Schichtflächen der Paragneise häufig von hellem, feinkörnigem Magma durchsetzt, so dass eigentliche Injektionsgesteine vorliegen.

Im mittleren Teil des Cedro-Tales (ca. 5 km nordwestlich von Yanama) besteht zwischen den Paragneisen und dem Granit eine gegen 100 m mächtige, heterogene Übergangszone, welche neben Chorismiten auch homogene Mischgesteine umfasst. Wahrscheinlich spielten bei der Bildung dieser Gesteine metasomatische Vorgänge eine bedeutende Rolle. Die Handstücke der Übergangszone lassen häufig Plagioklas-Porphyroblasten (Länge 1—5 mm) erkennen. Es handelt sich um Oligoklas. Die

Porphyroblasten sind oft verborgen und zeigen lokal Trümmerstruktur. Häufig kommt auch frischer, idiomorpher bis hypidiomorpher Biotit vor, seltener zersetzer Orthoklas. Der Quarz ist meist mosaikartig in Nestern angereichert. Undulöse Auslöschung und Kataklassstruktur weisen auf mechanische Beanspruchung hin.

Die Gesteine dieser Übergangszone unterscheiden sich vor allem durch die schlierige Textur von den eigentlichen Intrusivgesteinen. Im Materialbestand und — wie eine Analyse ergibt — auch im Chemismus lassen sich dagegen nur geringfügige Unterschiede erkennen.

Tabelle 12. *Handstück aus der Übergangszone zwischen Paragneisen und Granit im mittleren Cedro-Tal (96).*

Modus		Norm (Biotitvar.)	Niggliwerte	
Quarz	32	Q	7,8	si 227
Kalifeldspat	4	Or	18,4	al 38
Plagioklas	45	Ab	48,7	fm 23
Biotit	19	An	8	c 9
		Bi	12,1	alk 30
		Ms	2,1	
		Cp	1	k 0,36
		Erz	1,9	mg 0,37
Normativer An.-Gehalt		14		
Gemessener An.-Gehalt		15		

Entsprechende Übergangszonen sind im W von Yanama auch an anderen Lokalitäten aufgeschlossen; in diesem tiefer gelegenen südlichen Bereich herrschten im Vergleich zum nördlichen Abschnitt höhere Temperatur- und Druckverhältnisse vor.

Eine Plagioklas-Blastese ist häufig auch in Paragneisen erkennbar, welche einige km weit im S des Granit-, resp. Granodioritkontaktes liegen. Kalifeldspat-Porphyroblasten konnten dort nicht mehr aufgefunden werden. Es ist kaum anzunehmen, dass die verbreitete Plagioklas-Blastese durchwegs mit den Intrusionsvorgängen in Zusammenhang steht. Gegen diese Annahme spricht auch das häufige Vorkommen von Oligoklas-Porphyroblasten im Süden von Occoro und bei Pacaypata. Es könnte sich sehr wohl um eine regionale Plagioklas-Blastese handeln, welche auf internen Stoffaustausch in den mesozonalen Paragneisen zurückzuführen ist (MEHNERT, 1959).



Fig. 2. Kontakt zwischen Quarzporphyr und Quarziten der Phyllitgruppe im nördlichen Teil der Panta-Gruppe (von rechts unten schräg nach links oben ziehend). Der Verlauf der Kontaktzone stimmt mit der Schichtlage überein (gut sichtbar im obersten Teil des pyramidenförmigen Vorgipfels).

4. Das Alter der Hauptintrusion

Auf Grund von kontaktmetamorph veränderten Kreideschichten im S von Abancay nimmt BOWMAN (1916) für den Vilcabamba-Granit ein postkretazisches Alter an. Nach STEINMANN (1929) steht der Vilcabamba-Granit in Zusammenhang mit den umfassenden, tertiären Intrusionen im peruanischen Andengebiet. EGELER und DE BOOY (1957) können anhand von kontaktmetamorphen Sedimenten der Mitu-Gruppe das nachpermische Alter des Vilcabamba-Granites feststellen.

In unserem Arbeitsgebiet grenzen die Intrusivgesteine ausschliesslich an vorpaläozoische und paläozoische Ablagerungen, welche durchwegs Spuren einer Kontaktmetamorphose erkennen lassen. So werden im S von Vilcabamba die permischen Copacabana-Kalke lokal von hellen, aplitischen Gängen durchsetzt.

Einen weiteren Hinweis auf das nachpermische Alter der Vilcabamba-

Intrusion bildet das vollständige Fehlen von entsprechenden Komponenten in den Breccieneinschaltungen der Mitu-Serie. Dagegen enthält das Konglomerat von Pacaypata häufig Gerölle eines hornblendereichen Granodiorites (von FRICKER, 1960, fälschlicherweise als Granit bezeichnet). Entsprechende Gesteinstypen konnten zwar anstehend nicht aufgefunden werden, doch dürfte dieser Granodiorit, welcher keinerlei Spuren mechanischer Beanspruchung aufweist, ebenfalls mit der Vilcabamba-Intrusion in Zusammenhang stehen. Da das Konglomerat von Pacaypata der oberkretazischen Pucaformation entsprechen könnte (STEINMANN, 1929), darf die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden, dass die Vilcabamba-Intrusion mindestens teilweise mit der oberen Kreide zusammenfällt.

Im S von Pampa Soray, das heisst im SE des engeren Arbeitsgebietes erwähnt ARNOLD HEIM (1948) einen Granitporphyrgang, welcher am Rio Apurimac die fossilbelegten Kreideschichten (GERTH, 1915) durchschlägt. Entsprechende Ganggesteine konnten 1959 auch im Aufstieg gegen Pampa Soray aufgefunden werden. Vermutlich sind diese Gänge verknüpft mit den unmittelbar im N aufgeschlossenen Intrusivgesteinen am Nevado Soray, ebenfalls ein Indiz gegen die Annahme eines vor-kretazischen Alters der Intrusivmasse.

Alle diese älteren und neueren Feldbeobachtungen sprechen für ein oberkretazisches oder tertiäres Alter der Vilcabamba-Intrusion.

Die Vilcabamba-Intrusion stellt zweifellos einen komplexen, mehrphasigen Vorgang dar, welcher sich über eine beträchtliche Zeitspanne hinzog. Der Gabbronorit sowie der Quarzdiorit und Tonalit sind mechanisch stärker beansprucht worden als der Granit und Granodiorit. Diese stärkere Beanspruchung mag teilweise in der begrenzten Ausdehnung der betreffenden Intrusivgesteine liegen; anderseits aber ist sie durch eine intensivere tektonische Überprägung bedingt. Die umfassende Granodiorit- und Granitinvasion erfolgte in einer spätere Phase, worauf auch der scharfe Kontakt zwischen Tonalit und Granit am Choquetacarpo-Pass schliessen lässt (S. 369). Die basischen Gänge schliesslich durchsetzen ihrerseits die sauren Intrusivgesteine. So können zusammenfassend folgende Phasen unterschieden werden:

1. Intrusion von Gabbronorit.
2. Intrusion von Quarzdiorit und Tonalit.
3. Phase mechanischer Beanspruchung.
4. Intrusion der Granodiorit- und Granitmasse.
5. Intrusion von basischen Gängen aus feinkörnigem Augitdolerit.

Diese Abfolge zeigt, dass im Verlaufe der Intrusionsvorgänge die sauren Tiefengesteine innerhalb der Vilcabamba-Region allmählich an Bedeutung gewinnen und schliesslich eine dominierende Rolle spielen, wobei die dunklen Gemengteile immer mehr zurücktreten.

Die Arbeit wurde durch einen Beitrag der Forschungskommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft für den Nationalfonds ermöglicht. Die Herren Prof. Dr. A. Gansser und Prof. Dr. C. Burri brachten den Untersuchungen stets grosses Interesse entgegen. Den Herren dipl. Ing. R. Steiger und Dr. S. Hafner sind verschiedene Anregungen zu verdanken.

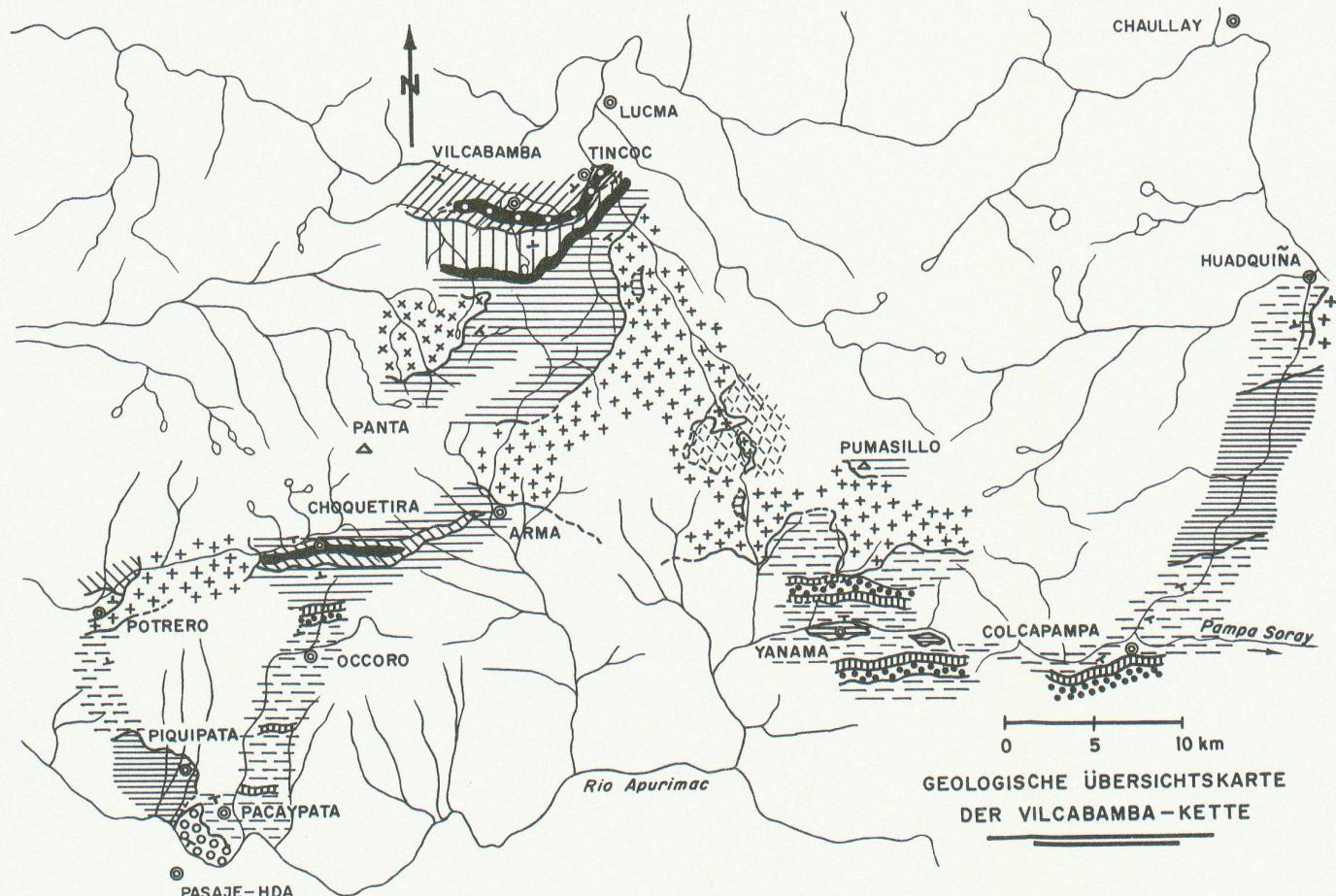
Literaturverzeichnis

- BEARTH, P. (1938): Gesteine der peruanischen Anden. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 18.
- BOWMAN, I. (1916): The Andes of Southern Peru. Am. Geogr. Soc., Special Publication I.
- BURRI, C. (1959): Petrochemische Berechnungsmethoden auf äquivalenter Grundlage. Birkhäuser-Verlag, Basel und Stuttgart.
- EGELER, C. G. und DE BOOY, T. (1956): Geology and Petrology of part of the southern Cordillera Blanca, Peru. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., Geol. Ser., deel 17.
- (1957): De geologisch-alpinistische exploratie in de Cordillera Vilcabamba en Cordillera Veronica, Zuidoost Peru, Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen., No. 2.
- FRICKER, P. (1960): Zur Geologie der Cordillera Vilcabamba. Die Alpen, 36. Jg., I. Quartal.
- GERTH, H. (1915): Geologische und morphologische Beobachtungen in den Cordilleren Südperus. Geol. Rundschau, Bd. 6.
- (1955): Der geologische Bau der südamerikanischen Kordillere. Borntraeger, Berlin.
- HAFNER, S. (1958): Petrographie des südwestlichen Gotthardmassivs. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 38, 2, und Diss. ETH Zürich.
- HEIM, Arnold (1948): Geologia de los Ríos Apurimac y Urubamba. Bol. Inst. Geol. Peru, 10.
- JENKS, W. F. (1956): Handbook of South American Geology. Geol. Soc. America, Memoir 65.
- KATZ, H. R. (1959): Zur Geologie des Paläozoikums in den südöstlichen Anden von Peru. Eclogae geol. Helv. 52, 2.
- MEHNERT, K. R. (1959): Der gegenwärtige Stand des Granitproblems. Fortschr. Mineral. 37.
- NEWELL, N. D. (1949): Geology of the Lake Titicaca Region, Peru and Bolivia. Geol. Soc. Am., Memoir 36.
- NEWELL, N. D., CHRONIC, J. and ROBERTS, T. G. (1953): Upper Paleozoic of Peru. Geol. Soc. America, Memoir 58.
- RILEY, J. P. (1958): The rapid analysis of silicate rocks and minerals. Anal. Chim. Act. 19.

- STEINMANN, G. (1910): Gebirgsbildung und Massengesteine in der Kordillere Südamerikas. Geol. Rundschau, Bd. 1.
- (1929): Geologie von Peru. Heidelberg.
- VIELMETTER, R. (1927): Untersuchung von Eruptivgesteinen und ihrer Kontaktgesteine aus den Kordilleren von Bolivien und Peru. N. Jahrb. Mineral. Geol., B. Bd. 56.

Geol. Institut und Institut für Kristallographie der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich.

Eingegangen: 4. Juni 1960.



Präkambrium

- [Hatched pattern] Granatführende Glimmerschiefer und Amphibolite
- [Horizontal lines pattern] Paragneise; untergeordnet Glimmerschiefer
- [Vertical lines pattern] Hellgrauer, massiger Marmor
- [Dotted pattern] Hellgrauer, granatführender Quarzit
- [Horizontal lines pattern] Phyllitgruppe: Serizitchloritschiefer und Quarzite

Ordovizium

- [Diagonal lines pattern] Schwarze Tonschiefer: tafelige Quarzite

Devon

- [Solid black] Graue, murbe Quarzite und Schiefer

Pennsylvanian (?) – Perm

- [Vertical lines pattern] Massige Kalke, z.T. Spätkalke: Copacabana – Gruppe
- [Cross-hatch pattern] Rote Mergel, Schiefer, Sandsteine und Breccien } Mitu – Gruppe
- [Dotted pattern] Vulkanite (Quarzporphyrr, Melaphyr)

Kreide (?)

- [Three circles pattern] Konglomerat von Pacaypata

Tertiär (?)

- [Plus signs pattern] Vorwiegend Granit und Granodiorit
- [Crosses pattern] Vorwiegend Quarzporphyrr
- [Diagonal lines pattern] Tonalit