

# Petrographie der mesozoischen Magmatite im Gebiet des Palmer Archipels (Antarktische Halbinsel) unter besonderer Berücksichtigung von geochemisch-lagerstättenkundlichen Gesichtspunkten

Von Gerhard Hoecker und G. Christian Amstutz\*

**Zusammenfassung:** In Zusammenarbeit mit dem chilenischen Antarktis-Institut und der Universität in Concepción/Chile wurden von 1984 bis 1986 im Gebiet des Palmer Archipels die mesozoischen Magmatite untersucht. Bei den Intrusivgesteinen der „Antarctic Intrusive Suite“ ergab sich auf Grund des Alters und der petrographischen Zusammensetzung eine Zweiteilung, und zwar in: a) den Palmer Batholith (Untertertiär) und b) die Costa Danco Intrusiva (Oberkreide). Die Intrusiva gehören einer kalkalkalinen Serie an. Dabei haben die untersuchten Granitoide eine I-Typ-Affinität. Besonders Granodiorite und Monzodiorite beider Intrusivtypen zeigen Erzmineraleparagenesen (Pyrit, Kupferkies, Bornit, Covellin, Cuprit, Magnetkies, Magnetit, Ilmenit), die zusammen mit den Umwandlungserscheinungen, wie Propylitisierung und Kaolinisierung sowie den Erzverteilungsmustern (gangartig und fein verteilt), mit den andinen Porphyry-Copper-Intrusiva und Lagerstätten vergleichbar sind. Die vulkanischen Formationen lassen sich wie folgt unterteilen: a) in die oberkretazische Wiencke Formation, die aus Andesiten und andesitischen Brekzien besteht, und b) in die jurassische Lautaro Formation, die sich aus basaltischen Andesiten, Andesiten, gelegentlich Dazit und Rhyoliten, sowie vulkanischen Brekzien zusammensetzt. Diese kalkalkalinen Vulkanite stellen ein Segment eines Inselbogensvulkanismus dar. Die Mehrzahl der hier untersuchten Vulkanite weisen verstärkte Umwandlungen („Vergrünungen“) und Mineraleubildung auf, die jedoch nach den bisherigen Beobachtungen nicht ausschließlich mit den Erzmineraleparagenesen in Verbindung stehen.

**Summary:** During the antarctic summer season in 1984 and 1986 field studies and laboratory investigations of the Mesozoic Intrusive Suite of the Palmer Archipel were carried out in cooperation with the Chilean Antarctic Institute and the University of Concepción. Volcanic formations and intrusive series are the dominant exposed rocks together with very subordinate metasediments. Different petrological and isotopic data allow to divide the Antarctic Intrusive Suite into two intrusive types: a) Palmer Batholith (Lower Cenozoic) b) Costa Danco intrusive rocks (Upper Cretaceous). Both types belong to a calc-alkaline series. The granitoid rocks show an I-type-affinity. Ore minerals (pyrite, chalcopyrite, bornite, covellite, cuprite, pyrrhotite, magnetite and ilmenite) are mainly restricted to the intermediate rock types (e. g., granodiorites). Propylitisation and kaolinisation are the observed alteration types, which suggest, together with the disseminated and vein-like ore fabrics the comparison with the andean Porphyry-Copper- and vein-type-deposits. The volcanic formations are subdivided into, a), the Upper Cretaceous Wiencke Formation, which is composed of andesites and andesitic breccias, and, b), into the Jurassic Lautaro Formation with basaltic, andesitic, dacitic and some rhyolitic rocks together with volcanic breccias. These calc-alkaline volcanic rocks apparently are part of an island arc. A strong alteration of primary minerals is very common; however, the low ore mineral content does not change significantly within the different alteration types.

## 1. EINLEITUNG

### 1.1 *Thematik und Zielsetzung*

Die Geländekampagnen von 1984 und 1986 im Bereich des Palmer Archipels stellen eine Weiterführung und Intensivierung der Arbeiten von WEST (1974), ALARCON et al. (1976) sowie ALFARO & COLLAO (1983) dar. In allen diesen Arbeiten wurden die Erzmineralvorkommen z. T. nur randlich oder nur vorläufig berücksichtigt. Diese Lücke galt es im Anschluß an andine Arbeiten, die vom zweiten Autor seit 1952 durchgeführt bzw. geleitet wurden, auszufüllen. Anhand der Kartierungen und der darauffolgenden petrographisch-geochemischen Bearbeitung, zusammen mit dem Versuch einer lagerstättenkundlichen Bestandsaufnahme, konnten folgende Fragenkomplexe erörtert werden:

- die genaue petrographische Klassifizierung der mesozoischen Magmatite: welche Gesteinstypen gehören zu welchem Intrusivtyp? Wie setzen sich die vulkanischen Formationen zusammen?
- Geotektonische Lage: gehören die mesozoischen Vulkanite zu einem Inselbogen und sind die Intrusiva Teil des zirkumpazifischen magmatischen Bogens?

\* Dr. Gerhard Hoecker und Prof. Dr. G. Christian Amstutz, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Im Neuenheimer Feld 236, D-6900 Heidelberg

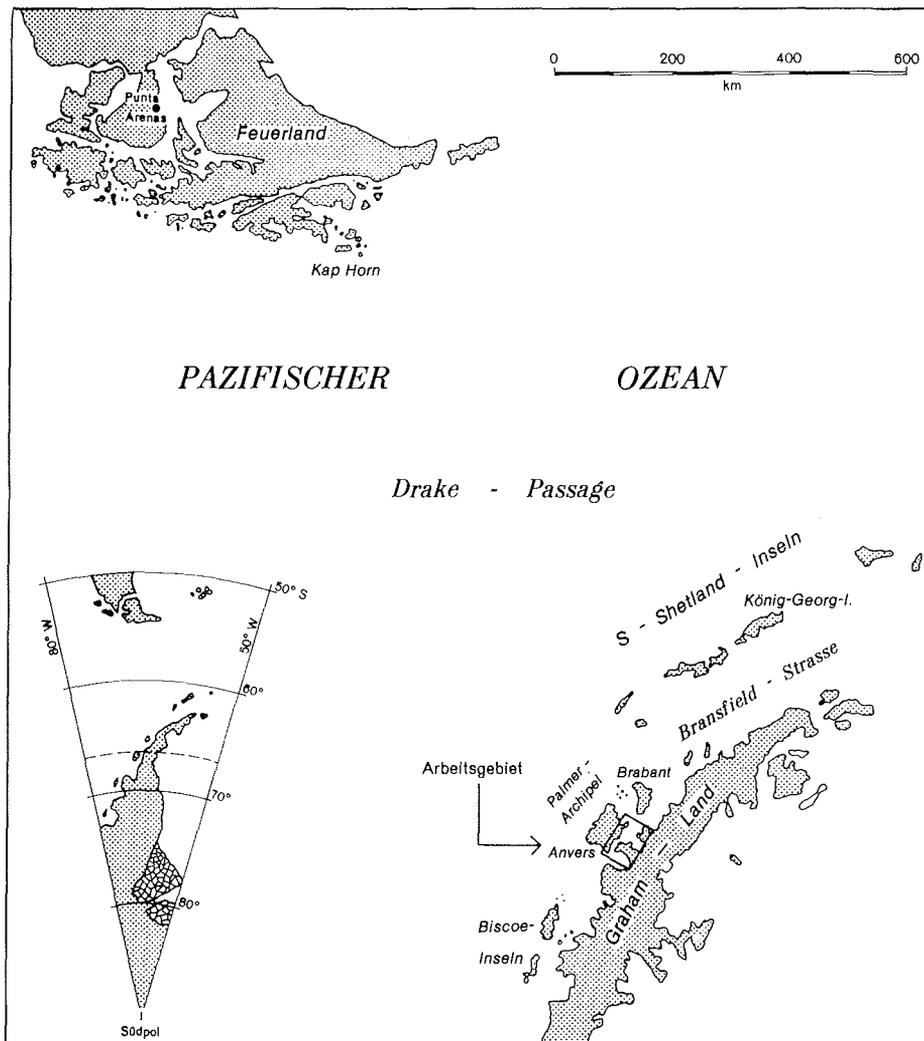


Abb. 1: Die Lage des Arbeitsgebietes im Palmer Archipel (Antarktische Halbinsel).

Fig. 1: Location and general view of Palmer Archipel on the Antarctic Peninsula.

- welche Erzminerale treten in welchen Gesteinen auf?
- welche Umwandlungstypen kommen zusammen mit den Intrusionen vor? Sind diese mit denen der andinen Porphyry-Copper-Lagerstätten und verwandten Ganglagerstätten vergleichbar?
- Gondwanazerfall: gibt es anhand der petrographisch-lagerstättenkundlichen Erkenntnisse neue Aspekte zur Rekonstruktion der ehemaligen Lage der Antarktischen Halbinsel?

Besonders die letztgenannte Frage steht noch immer im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses. So beschäftigten sich beispielsweise DALZIEL & ELLIOT (1971) mit der Entwicklung des Scotia-Bogens zwischen Südpatagonien und der Antarktischen Halbinsel, andere Autoren (MILLER 1983 oder HARRISON et al. 1979) versuchen eine Rekonstruktion auf Grund geologischer und geotektonischer Gemeinsamkeiten. Der lagerstättenkundliche Aspekt und die genaue petrographisch-geochemische Untersu-

chung der auftretenden Gesteine ist das Hauptthema unserer Arbeiten im Palmer Archipel (Abb. 1). Wie schon erwähnt, besteht diesbezüglich eine deutliche Lücke in der Bearbeitung des Palmer Archipels.

### 1.2 Arbeitsmethode

Es wurden vom kreuzenden Schiff aus die eisfreien Küstenabschnitte bzw. vorgelagerten Inseln mittels Schlauchbooten angefahren. Die Bemusterung im Rahmen einer Küstenkartierung ergab ca. 300 kg Probenmaterial für geochemische Analysen, Dünn- und Anschliffanfertigungen. Die Kartierarbeiten wurden dabei einerseits von häufigen Wetterwechseln, andererseits von der Unzugänglichkeit einiger Küstenabschnitte (Eiskanten) erschwert. Die Temperaturen betragen im Mittel Ende Februar bis Mitte März 0° bis -5° Celcius.

## 2. REGIONALE GEOLOGIE UND TEKTONIK

### 2.1 Geologischer Aufbau der Antarktischen Halbinsel

Die Antarktische Halbinsel gehört zum Andinen Orogen, das sich bis in die Anden Patagoniens fortsetzt. Sie gehört zum geologisch jüngsten Teil der Antarktis, wo triassische Sedimente mit Vulkaniteinschaltungen Ende Trias metamorph überprägt und gefaltet wurden. Die letzte Faltungsperiode (vor 40 bis 60 Ma.), als Anden-Orogenese bezeichnet, fand an der Wende Kreide/Tertiär statt. In diese Periode fällt eine der Hauptintrusionsphasen, deren Differentiationsprodukte, saure bis basische Intrusiva, von ADIE (1955) als „Andean Intrusive Suite“ bezeichnet werden. Die plutonischen Gesteine, die einen Anteil von ca. 80% am geologischen Aufbau der Antarktischen Halbinsel darstellen, finden sich als Intrusionen in einer Vielzahl von anderen, älteren Gesteinsformationen, wie z. B. in paläozoischen Gneisen und Schieferen des Grundgebirges, in mächtigen Sedimentserien des Karbons bzw. der Trias („Trinity Peninsula Series“) oder in kretazisch bis tertiären vulkanosedimentären Serien.

### 2.2 Geotektonische Situation

Die Gesteine der Antarktischen Halbinsel sind Teil des zirkumpazifischen Orogens. Viele Autoren nehmen an, daß die Antarktische Halbinsel die direkte Fortsetzung des südamerikanischen Anden-Orogens ist und daß beide dem gleichen magmatischen Bogen angehören (SUAREZ 1976). Durch Subduktionsprozesse (STOREY & GARRET 1985, BARKER 1982) und Verschiebungen entlang von Transformstörungen (MILLER 1983) wurden beide räumlich voneinander getrennt; dies geschah während der Bildung des Scotia-Bogens im Känozoikum.

### 2.3 Regionale Tektonik und Geologie des Arbeitsgebietes

Die regionale Tektonik ist gekennzeichnet durch eine intensive Grabenstruktur. Letztere läßt sich in ihrem Verlauf von der Bransfield-Straße im Norden der Halbinsel bis zur Gerlache-Straße verfolgen. Nach ALARCON et al. (1976) herrscht im südlichen Teil der Gerlache-Straße eine Kompressionsbewegung vor; im Gegensatz dazu beeinflusst eine Dehnungstektonik den Bereich zwischen der S-Shetland Inselgruppe und der Halbinsel.

Bei der Betrachtung der örtlichen Geologie (Abb. 2) sind insgesamt eine sedimentäre und zwei vulkanische Formationen sowie zwei Intrusivgruppen vertreten. Es handelt sich dabei um:

- A 1) die metasedimentäre Bahia Charlotte Formation (Trias)
- A 2) die vulkanische Canal Lautaro Formation (Jura?)
- A 3) die vulkanische Wiencke Formation (obere Kreide)
- B 1) die Costa Danco Intrusiva (obere Kreide)
- B 2) die Intrusiva des Palmer Batholiths (Untertertiär)

A 1) Die metasedimentäre Bahia Charlotte Formation setzt sich aus Quarziten, Metagrauwacken und Peliten zusammen. Letztere wurden in der Andvord Bucht beprobt: das Gestein besitzt eine deutliche

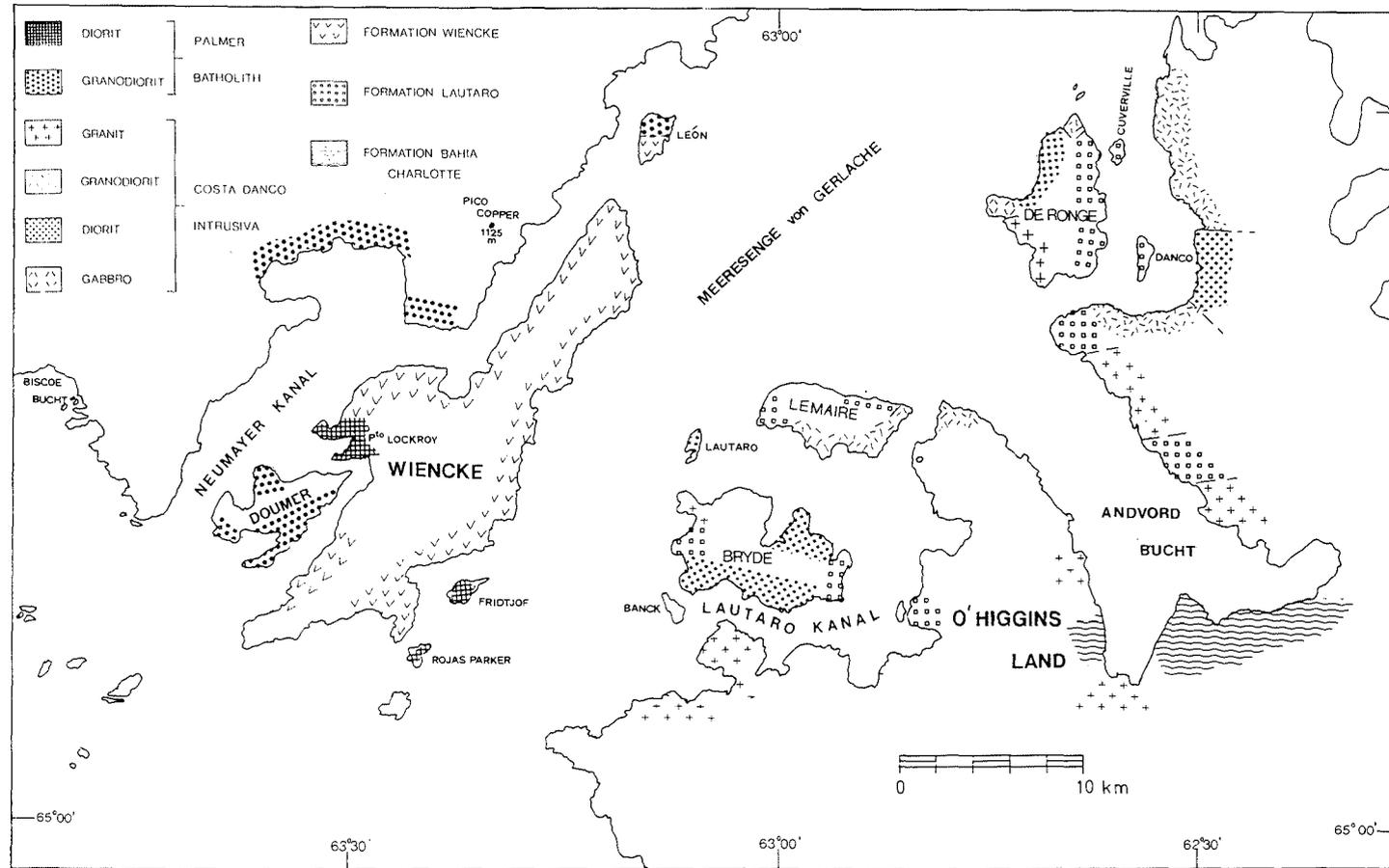


Abb. 2: Geologische Karte mit kartierten Küstenabschnitten im Arbeitsgebiet Danco Coast.

Fig. 2: Geological map of Danco Coast and adjacent islands.

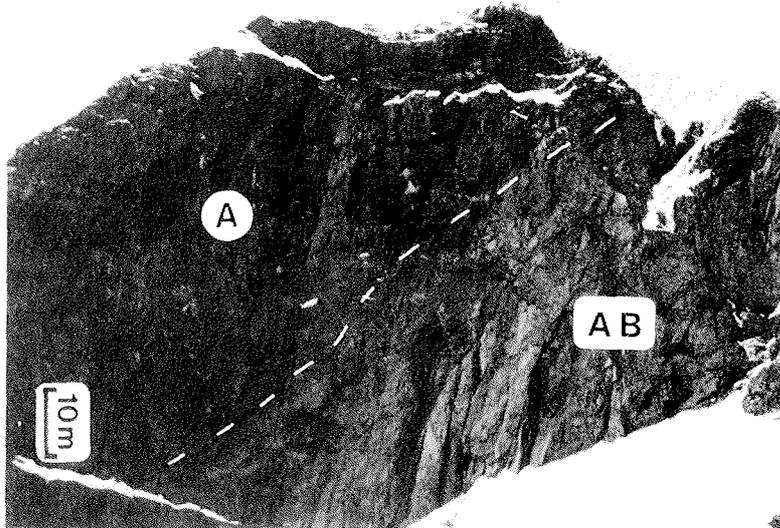


Abb. 3: Vulkanische Wiencke Formation: die dunkleren Partien entsprechen den Andesiten (A), die helleren Gesteine sind andesitische Brekzien (AB).

Fig. 3: Volcanic Wiencke Formation composed of dark andesites (A) and lighter breccias (AB).

Schichtung mit abwechselnden hellen und dunklen Lagen. Die Bahia Charlotte Formation ist als eine Unterformation der triassischen Trinity Peninsula Formation anzusehen.

A 2) Die Canal Lautaro Formation wurde erstmals von ALARCON et al. (1976) beschrieben und dem Jura zugeordnet. Sie besteht aus intermediären bis basischen Vulkaniten und vulkanischen Brekzien. Alle Gesteine weisen eine metamorphe Überprägung auf, die mit einer starken Umwandlung und Zerklüftung verknüpft ist.

A 3) Nach Osten hin, Richtung Anvers, finden sich die Andesite und andesitischen Brekzien der Wiencke Formation (Abb. 3). Die Mächtigkeit der gesamten Abfolge wird von ALARCON et al. (1976) mit 1500 m angegeben; SCOTT (1965) ordnet die Wiencke Formation der oberen Kreide zu.

#### *Intrusiva:*

B 1) Die Intrusivgesteine des Palmer Batholiths (Abb. 4) finden sich hauptsächlich im südwestlichen Teil der Insel Anvers und auf der Insel Doumer. Einige Autoren (HOOPER 1962, SCOTT 1965, VALENZUELA & MUNIZAGA 1981) gehen auf die petrographische Zusammensetzung des Batholiths ein; sie beschreiben Granodiorite und Tonalite. Die Altersbestimmungen weisen auf ein untertertiäres Alter hin (REX 1976, diese Arbeit).

B 2) Die Costa Danco Intrusiva finden weite Verbreitung entlang des Küstenabschnittes Arctowski. Die petrographische Variation dieser Intrusiva ist groß; es treten sowohl Granite, Granodiorite als auch Diorite und Gabbros auf. Die Altersstellung dieses stark differenzierten Intrusivtyps ist noch nicht vollständig geklärt. Eine Granodioritprobe wurde mittels K/Ar-Methode auf  $87 \pm 5$  ma. (obere Kreide) datiert. PANKHURST (1982) erwähnt zwei Datierungen an Graniten der Danco Küste mit Rb/Sr-Altern von 114 bzw. 131 ma.

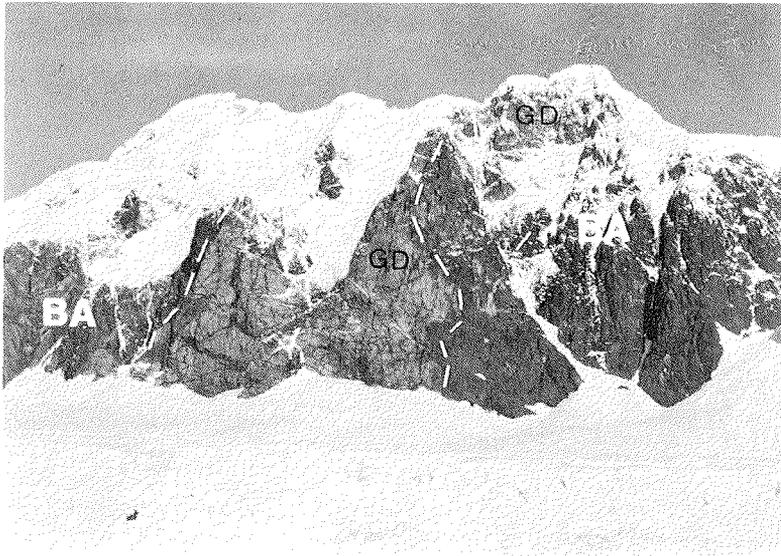


Abb. 4: Apophysen eines Granodioritstockes (GD) des Palmer Batholiths in der Lautaro Formation (Basalte und basaltische Andesite, BA).

Fig. 4: Apophysis of a granodioritic stock (GD) of Palmer Batholith within the Lautaro Formation (basalts and basaltic andesites, BA).

### 3 MINERALOGISCH-PETROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN AN DEN MAGMATITEN DES PALMER ARCHIPELS

#### 3.1 Palmer Batholith und Costa Danco Intrusiva

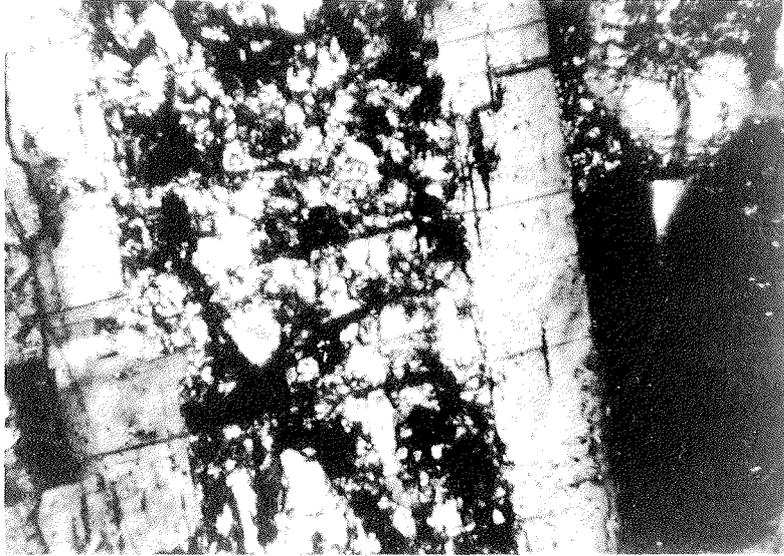
Die überwiegend intermediären bis sauren Intrusivgesteine des Palmer Batholiths (Granodiorite, Granite, Monzodiorite bis Diorite) weisen folgenden Mineralbestand auf:

Die Hauptgemengteile bestehen aus den salischen Mineralen Plagioklas, Kalifeldspat und Quarz. An mafischen Bestandteilen, die, außer bei den Dioriten, als Nebengemengteile einzustufen sind, wären Biotit, Hornblende und Pyroxen zu nennen. Akzessorisch treten Titanit, Apatit, Zirkon und opake Erzminerale (Magnetit, Pyrit) auf. Das Gefüge ist als holokristallin, hypidiomorph-körnig zu bezeichnen, wobei als besondere Gefügemerkmale perthitische Verwachsungen und Myrmekite erscheinen. An Umwandlungen treten hauptsächlich Sericitisierungen und Kaolinisierungen an Plagioklasen bzw. Kalifeldspäten auf. Auch einige mafische Minerale wie Biotit und Hornblende sind oftmals in Chlorit umgewandelt.

Zum sekundären Mineralbestand der Granodiorite und Monzodiorite sind mehrheitlich folgende Minerale zu zählen: Chlorit, Epidot, Calcit und Eisenhydroxide, die hauptsächlich aus hydrothermalen Umwandlungsprozessen resultieren. Bei einigen Dioriten treten selektive Umwandlungen (Sausuritierungen, Abb. 5) der Plagioklase auf.

Die Costa Danco Intrusiva (Granite, Granodiorite, Diorite und Gabbros) haben folgende mineralogische Zusammensetzung:

Bei den untersuchten *Graniten* überwiegen die hellen Gemengteile Quarz (oft in myrmekitischer Verwachsung mit Plagioklas), Kalifeldspat (Perthite) und Plagioklas (Albite). Als mafische Komponente tritt der Biotit hinzu, der oftmals in Chlorit umgewandelt ist. Die Kalifeldspäte sind teilweise leicht kaoli-



**Abb. 5:** Dünnschliffaufnahme eines „gefüllten Plagioklases“: der anorthitreichere Kern ist in Sericit, Chlorit und Klinozoisit/Zoisit umgewandelt (Saussuritisierung), die albitreiche äußere Zone ist erhalten geblieben. Bildbreite: 1.8 mm, Nicols gekreuzt. Gestein: Diorit des Palmer Batholiths.

**Fig. 5:** Microfoto showing a "filled plagioclase"; the anorthite rich core is altered to sericite, chlorite and clinozoisite/zoisite (saussuritisation); the albite rich rim has been conserved. Length of foto: 1.8 mm, crossed nicols. The rock is a diorite of Palmer Batholith.

nisiert und sericitisiert und werden von Chlorit-Epidot-Gängchen durchzogen. Das Gefüge der untersuchten Granite ist holokristallin, hypidiomorph-körnig, in einigen Fällen herrschen schriffgranitische Strukturen vor.

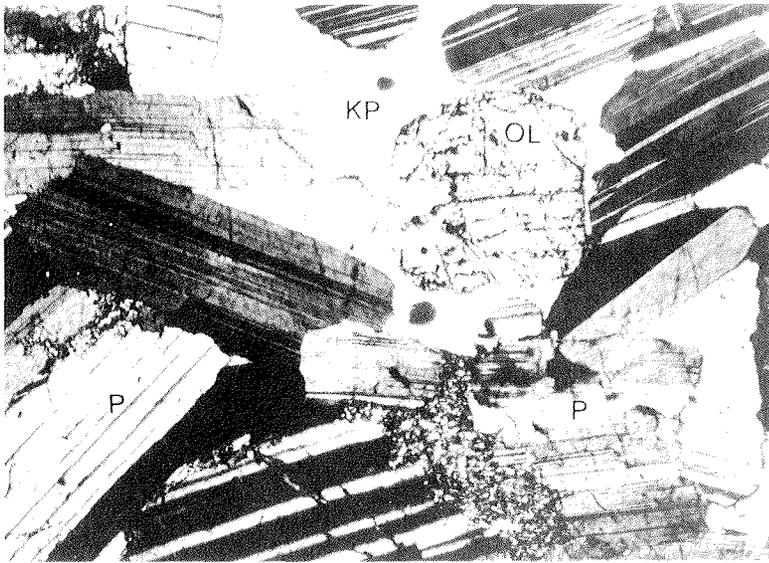
Die *Granodiorite* der Costa Danco haben als Hauptgemengteile Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas und Biotit, als Nebengemengteile Hornblende, Epidot, Titanit und Apatit. Die Plagioklase sind meist getrübt durch Sericitschüppchen, die restlichen Minerale zeigen kaum Umwandlungen. Das Gefüge ist ebenfalls holokristallin, hypidiomorph-körnig.

Bei den beprobten *Dioriten* und *Gabbros* dominieren die Plagioklase (An 45 bis 54) neben den mafischen Gemengteilen Hornblende und Biotit (bei Dioriten) bzw. Olivin und Pyroxen bei den Gabbros (Abb. 6). Akzessorisch treten Titanit und Zirkon auf. Der Olivin im Gabbro zeigt Serpentinisierung und Talkbildung.

### 3.2 Die vulkanischen Formationen Wiencke und Lautaro

Die *Wiencke Formation* (Abb. 3) besteht aus Andesiten und andesitischen Brekzien. Letztere besitzen große Klaster (0.5 bis 20 cm) von teils aphanitischen, teils auch porphyrischen Andesiten. In den dunklen Gesteinsbruchstücken zeigen sich oftmals Fluidalgefüge; die Grundmasse weist eine starke Umwandlung der salischen und mafischen Mikrolithe in Klinozoisit, Zoisit, Epidot, Chlorit und Tonminerale auf. Die Andesite der Wiencke Formation besitzen als Einsprenglinge Plagioklas (Andesin) und gemeine Hornblende, seltener tritt Pyroxen auf. Die pilotaxitische Grundmasse wird aus Plagioklas-Hornblende-Mikrolithen gebildet. Das Gefüge ist als porphyrisch zu bezeichnen. Bei den Brekzien treten auch mandelsteinartige Strukturen auf.

Die *Lautaro Formation* wird aufgebaut aus Andesiten, basaltischen Andesiten und vulkanischen Brekzien. Die aphanitischen Andesite setzen sich aus Felspatmikrolithen, mafischen Mineralkörnern (Horn-



**Abb. 6:** Die Dünnschliffaufnahme zeigt die Mineralkomponenten eines Gabbros: Plagioklasse (P) mit polysynthetischer Verzwilligung, Klinopyroxen (KP), hier xenomorpher Augit, sowie Olivin (OL), der entlang der Spaltrisse serpentinisiert ist. Bildbreite 2.3 mm, Nicols gekreuzt.

**Fig. 6:** Thin section of a gabbro: the mineral components are plagioclase (P) with typical polysynthetic twinning, clinopyroxen (KP) and olivine (OL), which shows a serpentinisation. Length of foto: 2.3 mm, crossed nicols.

blende, Pyroxen) und opaken Anteilen (Erzmineralen) zusammen. Als Sekundär- bzw. Umwandlungsminerale treten insbesondere Chlorit und Epidot auf. Die vulkanischen Brekzien zeigen unter dem Mikroskop lithische und kristalline Bruchstücke: letztere bestehen aus Feldspat (Kalifeldspat und/oder Plagioklas) und Quarz; die Gesteinsbruchstücke haben andesitische Zusammensetzung. In der Zwischenmatrix finden sich Feldspatmikrolithe und opake Körner. Auch bei den Gesteinen der Lautaro Formation sind die meisten Minerale stark umgewandelt: es treten Epidot, Chlorit, Sericit, Tonminerale und auch Zeolithe auf. Ob es sich stets um Sekundärbildungen oder z. T. um spätmagmatische Kristallisationen bzw. autohydrothermale Umwandlungen handelt, ist noch abzuklären.

#### 4. GEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

##### 4.1 Probenanalytik

Die Gesteine wurden nach den optischen Untersuchungen des Mineralbestandes und des Gefüges an Gesteinsdünnschliffen teils atomabsorptionsanalytisch, mehrheitlich aber mit Hilfe eines RF-Sequenzröntgenspektrometers (Siemens SRS 300) geochemisch untersucht. Es wurden an 60 Proben (Intrusiva und Vulkanite) Flußsäure-Perchlorsäure-Aufschlüsse für die AAS hergestellt und diese auf 7 Spurenelemente analysiert. Die Probenpräparation für die Röntgenfluoreszenzanalyse umfaßte die Herstellung von 110 Li-Tetraborat-Schmelztabletten, an denen sowohl die Haupt- als auch die Spurenelementgehalte gemessen wurden.

##### 4.2 Chemismus der Intrusivgesteine des Palmer Batholithen und der Costa Danco

In Abb. 7 sind zur besseren Übersicht einige der untersuchten Intrusivgesteinsproben im QAP-Diagramm eingetragen. Die auf mikroskopischem Wege klassifizierten Gesteine (Granite bis Gabbros) wurden mit den Daten vom Gesteinschemismus verglichen. Im QAP-Diagramm erkennt man die „Differentiations-

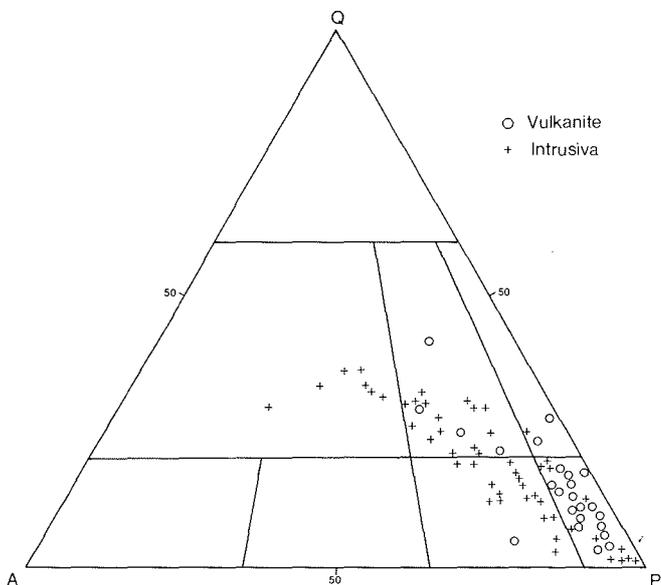


Abb. 7: Gesamtdarstellung einiger Vulkanit- und Intrusivproben vom Palmer Archipel im QAP-Diagramm.

Fig. 7: Distribution of some volcanic and intrusive rocks from Palmer Archipel in the QAP-diagram.

reihe" von den basischen Endgliedern Diorit/Gabbro über die intermediären Granodiorite bis hin zum sauren Endglied, dem Granit. In Tab. 1 sind die Haupt- und Spurenelementgehalte von einigen der untersuchten Proben beider Intrusivtypen aufgelistet. Auffallend ist die Variationsbreite des  $\text{SiO}_2$ -Gehaltes von ca. 43 bis ca. 76 Gew.-%. Die Kaliumgehalte schwanken von ca. 0,2% bei den Dioriten und Gabbros bis ca. 4,5% bei den Graniten.

Mit Proben beider Intrusivtypen wurde der kalkalkaline Index, d. h. die Alkalien  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  sowie  $\text{CaO}$  gegen  $\text{SiO}_2$  im Peacock-Diagramm zu 59 (%  $\text{SiO}_2$ ) bestimmt. Der kalkalkaline Charakter kommt auch im Magmentypen-Diagramm von McDONALD & KATSURA (1964) zum Ausdruck (Abb. 8). Die Granitoide (hier Granite und Granodiorite) zeigen dem Chemismus nach sog. „I-Typ“-Affinität, d. h. sie entstammen einer anatektischen Teilschmelze mit magmatischem Ausgangsgestein.

Die untersuchten Gabbros (Olivin- bzw. Hornblendegabbros) sind sehr kieselsäurearm (ca. 43%  $\text{SiO}_2$ ) und haben  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte von z. T. über 19%.

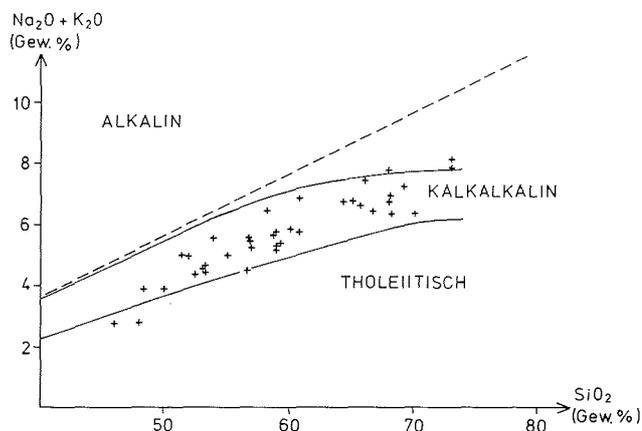


Abb. 8: Magmentypen-Diagramm (nach McDONALD und KATSURA, 1964): die Intrusivgesteinsproben der Costa Danco und auch die des Palmer Batholiths liegen mehrheitlich im kalkalkalinen Feld.

Fig. 8: Magma-type-diagram (after McDONALD and KATSURA, 1964): the intrusive rocks of the Danco Coast and the Palmer Batholith mainly plot in the calcalkaline field.

OBS	PROBE	SI02	TIO2	AL2O3	FE2O3	MNO	MGO	CAO	NA2O	K2O	P2O5	LOI	CTOTAL	BA	V	CR	CO	NI	CU	ZN	RB	PB	SR	ZR
1	GER-10	49.77	1.40	17.40	11.63	0.19	4.44	9.63	2.82	0.40	0.49	0.62	98.84	275	257	72	36	4	47	217	46	9	495	65
2	GER-11	65.64	0.24	14.39	3.67	0.08	1.07	3.86	3.27	3.51	0.10	1.16	97.05	933	49	117	6	5	26	1	100	32	289	151
3	GER-12	76.61	0.06	12.47	1.10	0.01	0.27	0.73	3.55	4.50	0.07	0.43	99.87	269	4	149	<3	11	16	8	163	7	95	131
4	GER-13	63.63	0.56	15.05	5.71	0.11	2.06	4.57	2.21	2.92	0.12	1.18	98.17	710	94	192	16	7	76	57	97	8	282	174
5	GER-16	71.14	0.29	14.34	2.84	0.10	0.61	2.49	3.67	3.11	0.10	0.42	99.19	655	30	175	6	16	<5	4	102	13	288	210
6	GER-9	51.68	1.08	17.71	8.70	0.14	4.18	7.82	3.80	1.43	0.20	1.68	98.47	348	196	93	31	12	20	100	54	1	517	106
7	28-2	73.20	0.04	12.15	1.28	0.03	0.00	0.41	3.43	4.44	0.02	0.65	95.73	218	<5	272	<3	10	29	22	204	19	37	90
8	28-3	73.30	0.21	12.91	2.59	0.04	0.34	1.90	3.49	3.14	0.07	0.76	98.82	428	11	242	4	6	45	22	136	21	140	158
9	28-4	71.19	0.30	13.52	1.35	0.03	0.38	2.64	4.63	1.20	0.07	0.67	96.04	186	18	248	<3	9	48	16	65	17	234	201
10	28-5	67.35	0.53	15.30	4.56	0.07	1.42	2.42	3.39	4.34	0.12	0.30	99.87	649	71	212	12	7	34	50	211	21	290	195
11	29-1	75.13	0.05	13.00	1.83	0.06	0.24	0.44	3.35	4.29	0.05	0.95	99.46	641	<5	254	<3	3	42	31	258	31	25	104
12	29-13	58.91	0.80	16.83	6.92	0.12	2.72	6.25	3.38	1.22	0.22	1.07	98.48	512	130	203	19	8	59	82	55	9	399	196
13	29-14	57.55	0.76	16.23	6.49	0.13	3.20	6.10	3.31	1.53	0.17	0.58	96.09	527	122	212	21	14	61	62	89	13	344	157
14	29-15	55.74	0.78	15.96	7.48	0.14	5.23	7.08	2.63	1.63	0.16	0.84	97.73	547	154	270	29	51	88	66	73	17	429	166
15	29-16	75.75	0.28	13.20	2.70	0.03	0.46	1.96	3.46	2.71	0.06	0.65	101.32	958	16	176	6	<3	33	24	90	12	156	171
16	29-2	77.04	0.05	12.73	1.47	0.04	ND.	0.52	3.48	4.33	0.01	0.42	100.15	299	<5	251	<3	<3	46	32	198	16	37	115
17	29-4	74.82	0.12	13.57	1.96	0.05	0.23	1.00	3.73	4.24	0.05	0.97	100.80	620	5	268	<3	<3	37	16	170	19	136	119
18	29-5A	72.01	0.11	12.84	1.72	0.05	0.20	1.01	2.80	5.05	0.05	1.09	96.99	794	<5	246	<3	<3	51	15	165	29	160	111
19	29-5B	70.76	0.35	15.00	3.56	0.15	0.85	1.95	4.89	2.46	0.11	0.29	100.44	364	21	252	3	7	43	72	104	31	259	239
20	30-1E	53.00	0.64	16.19	10.74	0.05	3.44	4.06	4.19	1.03	0.15	5.10	98.64	317	140	83	79	16	332	156	57	13	526	128
21	30-2D	45.06	1.70	15.67	15.75	0.23	5.65	11.02	2.03	0.13	0.17	0.10	97.58	259	509	82	54	9	80	132	20	9	415	58
22	30-2P	42.78	0.48	19.41	11.11	0.20	9.85	12.13	0.44	0.17	0.04	0.67	97.34	83	174	77	50	53	59	91	32	6	479	68
23	30-3	43.76	0.25	21.53	7.12	0.09	8.64	10.93	0.50	1.53	0.02	1.92	96.35	178	109	87	29	41	195	30	65	8	585	70
24	30-5	61.48	0.96	15.70	7.16	0.13	2.99	5.48	3.95	1.72	0.17	0.99	100.77	591	166	135	27	5	69	85	62	25	365	162
25	30-6A	50.15	1.75	17.24	11.28	0.18	4.44	9.32	3.15	0.27	0.46	0.59	98.89	246	212	66	39	18	48	116	13	1	556	102
26	30-6B	49.08	1.50	16.79	11.60	0.17	5.82	9.97	2.52	0.29	0.06	0.59	98.45	282	265	103	38	16	51	97	37	4	566	115

Tab. 1: Geochemische Analysen (mit RFA) an einigen Intrusivgesteinsproben.

Tab. 1: Geochemical analyses (with XRF) of some intrusive rocks.

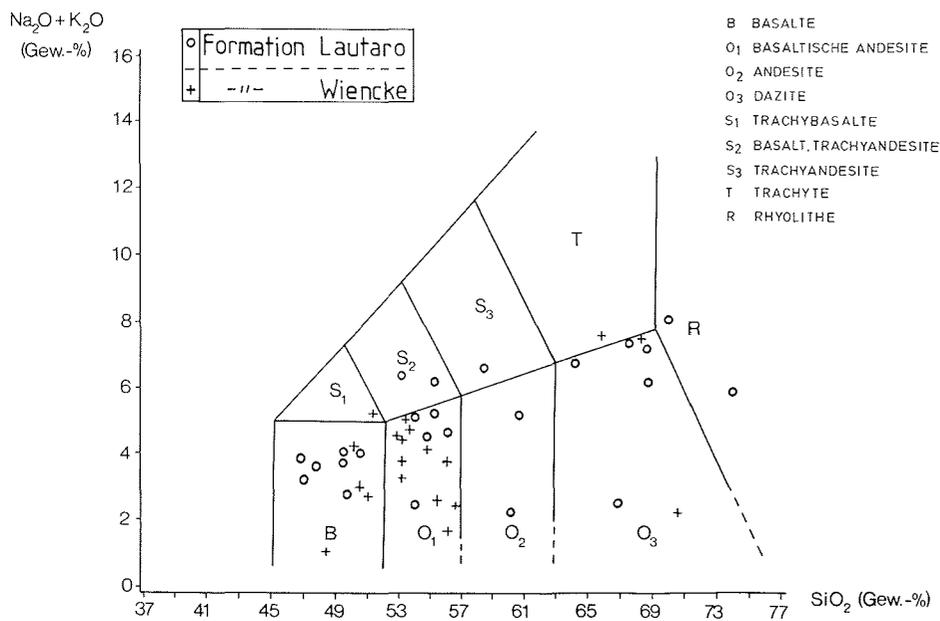


Abb. 9: Verteilung der Vulkanite der Formationen Wiencke und Lautaro im binären Diagramm  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} : \text{SiO}_2$  von Le BAS et al. (1986).

Fig. 9: Distribution of volcanic rocks from Wiencke and Lautaro. Formation in the diagram of Le BAS et al. (1986).

#### 4.3 Chemismus der Vulkanite der Formationen Wiencke und Lautaro

Einige der untersuchten Proben beider Formationen sind ebenfalls in das QAP-Diagramm eingetragen

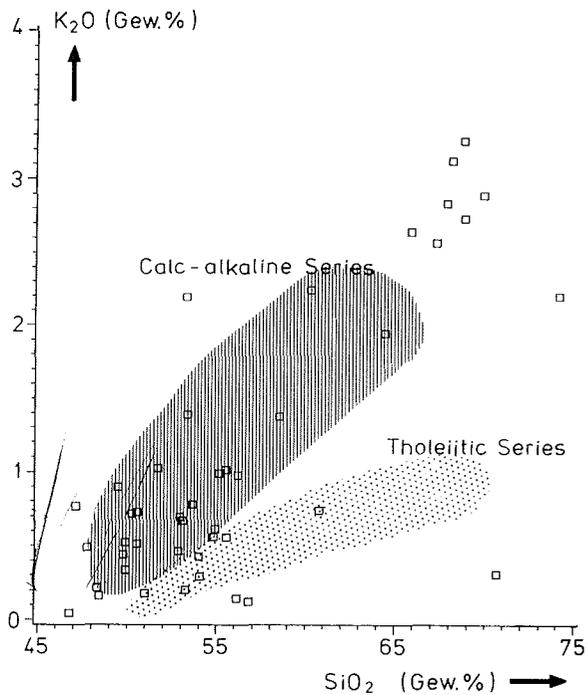


Abb. 10: Kalkalkaliner Trend der Vulkanite der Formationen Wiencke und Lautaro, dargestellt im  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ -Diagramm.

Fig. 10: Calc-alkaline affinity of volcanics of Wiencke and Lautaro Formation demonstrated by the  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  diagram.

(vgl. Abb. 7): die Mehrzahl der Proben fallen in das Basalt/Andesit-Feld. Die chemische Zusammensetzung einiger Vulkanitproben ist in der Tab. 2 wiedergegeben. Die Verteilung der Vulkanite im binären Diagramm  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} : \text{SiO}_2$  (nach Le BAS 1986) zeigt Abb. 9. Mehrheitlich sind Basalte bis basaltische Andesite vertreten, es kommen aber auch Andesite, Dazite, seltener Rhyolithe vor. Die kalkalkaline Affinität zeigt sich im  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ -Diagramm (Abb. 10), worin die meisten Gesteine der Formationen Wiencke und Lautaro in das Feld der kalkalkalinen Serie fallen (der alkali-lime-index wurde zu 59.0 bestimmt). Diesbezüglich wenden VERGARA & GONZALES-FERRAN (1972) den alkali-lime-index sowie das Verhältnis der Alkalien  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  gegen den  $\text{SiO}_2$ -Gehalt für einen Vergleich der Vulkanitprovinzen von Südamerika und der Antarktischen Halbinsel (bis Mary-Bird-Land) an. Die calc-alkaline Provinz („pacific type“) der Anden-Region setzt sich demnach bis in die Antarktische Halbinsel fort. Die alkaline Provinz umfaßt das Mary-Bird-Land und Viktoria-Land. Zudem ist die Bildung der mächtigen vulkanischen Abfolgen der „Antarctic Peninsula Volcanic Group“ in unmittelbarem Zusammenhang mit dem kalkalkalinen Plutonismus zu sehen (STOREY & GARRET, 1985). Zur Zeit durchgeführte Untersuchungen über den Seltene Erden-Chemismus an ausgewählten Vulkanitproben sollen ebenfalls zur Klärung der Frage nach einem Inselbogensvulkanismus beitragen.

Bei der Betrachtung des Hauptelement-Chemismus fällt die große Variationsbreite (besonders bei  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ) auf, wie sie auch bei den Intrusivgesteinen der Costa Danco und des Palmer Batholithen auftritt. Da bei vielen der mikroskopisch untersuchten vulkanischen Gesteine Umwandlungserscheinungen und Mineralneubildungen häufig sind, ergeben sich auch besonders beim Fe, Ca, Na und K unterschiedliche Gehalte (Metasomatose, Stoffzu/-abfuhr).

## 5. LAGERSTÄTTENKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN

### 5.1 Mikroskopische und geochemische Untersuchungen

Die Aussage über den Erzmineralegehalt sowie die Beurteilung der Lagerstättengenetischen Stellung einiger kleiner Vorkommen im Arbeitsgebiet stellt einen wichtigen Teilaspekt dieser Arbeiten dar. Jedoch steht vor oder in direktem Bezug zu den erzmineralogischen Beschreibungen die petrographisch-geochemische Untersuchung des Nebengesteins. Einige konkrete Hinweise auf Kupfererzführungen der Antarktischen Halbinsel (ROWLEY et al. 1977, ROWLEY & PRIDE 1982 und LITTLEFAIR 1978) gaben Anlaß zur genauen Untersuchung der hauptsächlich in den intermediären Intrusiva auftretenden Erzminerale.

Die Vulkanite der *Wiencke Formation* weisen praktisch keine Erzminerale außer geringen Gehalten an Pyrit und Eisenoxiden auf.

Kupferkies, Magnetkies, Pyrit sowie Magnetit und Ilmenit treten häufig in den Andesiten und Brekzien der *Lautaro Formation* auf.

Die Gehalte sowie das gehäufte Auftreten verschiedener Erzminerale sind in den Granodioriten bis Monzodioriten des Palmer Batholiths höher als in den genannten vulkanischen Einheiten. In Anschliffen von Gesteinen des *Palmer Batholiths* wurden Kupferkies, Bornit, Covellin, Cuprit, Pyrit, Magnetit und Ilmenit mikroskopiert (Abb. 11). In den auf ihre Spurenelementgehalte untersuchten Intrusiv- und Vulkanitproben wurden insbesondere einige Cu-Pb-Zn-Anomalien nachgewiesen. An einem Intrusivgestein (Diorit von Puerto Lockroy) wurde ein Gehalt von 0,7% Cu im Gesamtgestein gemessen.

Die Intrusivgesteinsproben der *Costa Danco* weisen insgesamt einen nur geringen Gehalt an Erzmineralen auf: es treten etwas Kupferkies, Pyrit und Magnetkies neben Magnetit und Ilmenit auf.

### 5.2 Paragenesen, Erzverteilung, Umwandlungen

Im wesentlichen konnten nach den mikroskopischen Untersuchungen folgende *Paragenesen* herausgestellt werden:

OBS	PROBE	AL2O3	K2O	CAO	SI02	TIO2	MNO	FE2O3	NA2O	MGO	P2O5	LOI	CTOTAL	CVTOTAL	BA	V	CR	CO	NI	CU	ZN	RB	PB	SR	ZR
1	26-1	15.40	1.39	6.72	53.27	1.60	0.24	11.34	3.66	3.75	0.27	0.04	97.64	97.68	341	300	99	31	<3	31	144	73	26	510	125
2	26-2	15.52	2.75	3.50	68.84	0.45	0.07	3.27	3.43	0.61	0.13	0.45	98.57	99.02	678	50	169	7	<3	43	37	116	20	373	206
3	27-2	16.75	0.51	9.42	50.48	1.12	0.19	10.46	2.47	5.06	0.16	0.44	96.62	97.06	154	271	212	35	15	64	86	87	3	356	88
4	27-3	18.31	0.44	11.34	49.72	0.93	0.19	8.84	2.30	6.50	0.16	0.49	98.73	99.22	204	163	144	34	41	38	87	9	16	607	108
5	27-5A	19.13	1.02	6.27	51.65	1.99	0.19	9.02	4.21	3.58	0.66	0.49	97.72	98.21	274	243	216	38	11	100	140	66	28	354	127
6	27-5B	15.62	0.12	6.78	56.78	1.09	0.29	11.95	2.32	4.21	0.31	0.32	99.47	99.79	161	222	145	50	9	381	136	64	22	396	94
7	27-9	11.80	0.31	4.12	70.61	0.84	0.14	7.23	1.95	1.81	0.06	0.67	98.87	99.54	677	122	276	27	19	99	71	51	23	269	128
8	27-10	16.60	0.90	9.82	49.47	0.91	0.22	9.76	1.78	8.59	0.16	0.56	98.21	98.77	186	187	469	44	152	56	109	26	14	466	94
9	27-11	16.01	0.29	9.07	54.03	1.36	0.18	11.25	2.11	3.92	0.20	0.12	98.42	98.54	189	289	177	35	2	94	93	39	25	470	93
10	27-12	16.70	0.20	8.85	53.21	1.32	0.18	9.84	3.07	4.15	0.19	0.05	97.71	97.76	150	307	113	29	6	44	104	26	19	507	99
11	27-13	17.88	0.98	5.86	56.12	0.74	0.14	7.33	3.77	4.18	0.21	0.54	97.21	97.75	382	122	230	24	18	52	80	60	20	588	122
12	29-3	20.57	0.22	11.07	48.29	0.97	0.17	9.28	1.65	4.93	0.15	1.69	97.30	98.99	153	190	154	37	18	46	91	31	18	505	89
13	29-6E	9.12	2.24	1.03	60.23	0.23	0.63	17.83	0.01	0.34	0.10	7.65	91.76	99.41	166	14	334	75	2	1333	8500	147	1535	46	67
14	29-6	12.63	2.58	0.21	67.30	0.19	1.35	11.68	0.01	0.62	0.06	2.09	96.63	98.72	300	9	259	26	2	31	4527	170	22	<5	98
15	29-11	15.27	3.14	2.42	68.18	0.60	0.11	3.48	4.41	1.04	0.18	0.66	98.83	99.49	732	51	146	5	<3	27	26	166	10	356	197
16	29-12	15.38	2.85	2.66	67.82	0.70	0.13	3.86	4.60	1.24	0.21	0.66	99.45	100.11	753	59	117	9	<3	47	82	103	23	370	229
17	30-4	17.12	2.66	4.27	65.89	0.35	0.22	3.85	4.98	1.24	0.19	4.79	100.77	105.56	720	30	103	8	<3	27	128	94	38	432	205

Tab. 2: Geochemische Analysen (RFA) an einigen ausgewählten Vulkanitproben.

Tab. 2: Geochemical analyses (with XRF) of some selected volcanic rocks.

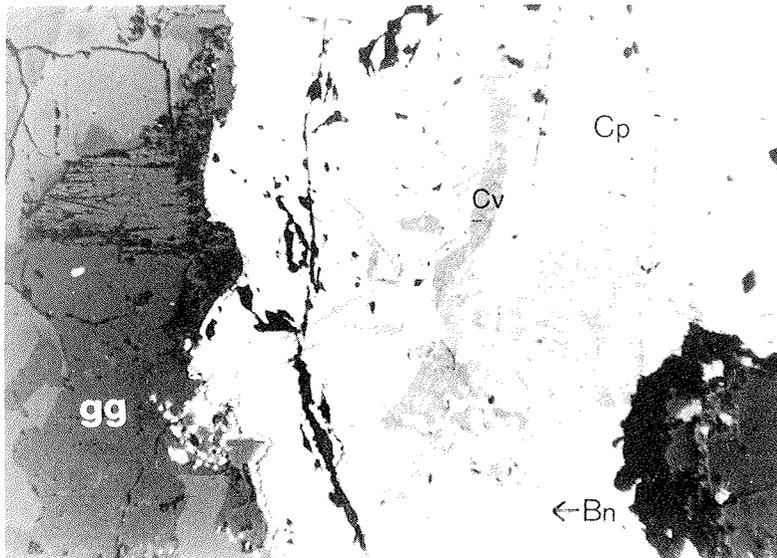


Abb. 11: Myrmekitische Verwachsung zwischen Kupferkies (CP) und Bornit (BN). In der Bildmitte ist Covellin (CV) zu erkennen. Bildbreite: 2.1 mm, parallele Nicols (Anschliff); gg = Gangart.

Fig. 11: Myrmekitic intergrowth of chalcopyrite (CP) and bornite (BN); covellite (CV) could be observed as a fissure filling. Length of foto: 2.1 mm, polished thin section, parallel nicols; gg = gangue.

1. eine frühe Phase, bei der Pyrit, Kupferkies und Magnetkies gebildet wurden.
2. eine Anreicherung, besonders an Magnetit und Ilmenit (Vulkanite der Formation Lautaro), genetisch verbunden mit der Platznahme von basischen Plutonen.
3. eine späte Phase mit geringen Gehalten an Pyrit, Magnetkies, untergeordnet Magnetit und Ilmenit.

Die *Erzverteilungen* treten in zwei geometrischen Typen auf: a) dem feinverteilten (disseminated) Erztyp und b) dem gangartigen Erztyp.

An *Umwandlungen* treten vor allem bei den Vulkaniten der Wiencke und der Lautaro Formation Propylitisierungen auf. An den Feldspäten beobachtet man oftmals Sericitisierungen, Kaolinisierungen und bei basischen Plagioklasen Saussuritisierungen. Bei den Erzmineralen ist der Magnetit entlang der Spaltrisse und an den Korngrenzen martitisiert.

Da die genannten Umwandlungen (sowohl des Gesteins als auch an den gesteinsbildenden Mineralen) häufig in der Umgebung von Porphyry-Copper-Lagerstätten (Chile, Peru) anzutreffen sind sowie eine Bindung an intermediäre Intrusiva der Kreide besteht, wären auch auf der Antarktischen Halbinsel PC-Lagerstätten und damit verbundene Ganglagerstätten zu erwarten. Über einen lagerstättengenetischen Vergleich Antarktische Halbinsel — Südamerika könnte auch eine Rekonstruktion der ehemaligen (paläogeographischen) Lagebeziehung erfolgen.

## 7. DANKSAGUNG

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die großzügige finanzielle Unterstützung dieses Projektes. Gleichzeitig sei dem Instituto Antártico Chileno für die Einladung zu den jeweiligen Antarktis-Expeditionen gedankt sowie den Kollegen M. Pereira, M. Pincheira und G. Hansen von der Universidad de Concepcion/Chile für die gute Zusammenarbeit. Dr. A. Puig sei gedankt für die Altersda-

tierungen, die am Servicio Nacional de Geología y Minería in Santiago durchgeführt wurden.

#### Literatur

- Adie, R. J. (1955): The petrology of Graham Land: II. The Andean Granite-Gabbro Intrusive Suite. — *Sci. Rep. Falkl. Isl. Depend. Surv.*, 39 pp.
- Alarcon, B., Ambrus, J., Olcay, L. & Vieira, C. (1976): Geología del Estrecho de Gerlache entre los paralelos 64 y 65 lat. sur, Antártica Chilena. — *Ser. Cient. Inst. Antart. Chileno*, 4 (1), 7—51.
- Alfaro, G. & Collao, S. (1983): Exploración minera en las Islas Anvers y Brabante, Península Antártica: Resultados Preliminares. — *Ser. Cient. Inst. Antart. Chileno*, 30: 39—47.
- Barker, P. F. (1982): The Cenozoic subduction history of the Pacific margin of the Antarctic Peninsula: ridge crest — trench interactions. — *J. Geol. Soc. London* 139: 787—801.
- Dalziel, J. W. D. & Elliot, D. H. (1971): Evolution of the Scotia arc. — *Nature, London*, 244: 246—252.
- Grikurov, G. E. (1978): Geology of the Antarctic Peninsula; translated by S. Guha. — New Dehli, Amerind. Publ. 140 pp.
- Harrison, C. G. A., Barrow, E. J. & Hay, W. W. (1979): Mesozoic evolution of the Antarctic Peninsula and the Southern Andes. — *Geology* 7: 374—378.
- Hooper, P. R. (1962): The Petrology of Anvers Island and adjacent islands. — *Sci. Rep. Falkl. Isl. Depend. Surv.*, 34, 69 pp.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B. (1986): A Chemical Classification of Volcanic Rocks based on the Total Alkali-Silica Diagram. — *J. Petrol.*, 27: 745—750.
- Littlefair, M. J. (1978): The "quartz pyrite" rocks of the South Shetland Island, Western Antarctic Peninsula. — *Econ. Geol.* 73: 1184—1189.
- McDonald, G. A. & Katsura, T. (1964): Chemical composition of Hawaiian lavas. — *J. Petrol.*, 5: 82—133.
- Miller, H. (1983): Geological comparison between the Antarctic Peninsula and Southern South America. — In: Craddock, C. (ed.) *Antarctic Geoscience, Madison*, 127—134.
- Pankhurst, R. J. (1982): Rb-Sr geochronology of Graham Land, Antarctica. — *J. Geol. Soc. London*, 139: 701—711.
- Rex, D. C. (1976): Geochronology in relation to the stratigraphy of Antarctic Peninsula. — *Brit. Ant. Surv. Bull.* 43: 49—58.
- Rowley, P., Williams, P. & Dwight, L. (1977): Geology of an Upper Cretaceous Copper Deposit in the Andean Province, Lassiter Coast, Ant. Pen. — *Geol. Surv. Prof. Paper*, 984, 36 pp.
- Rowley, P. D. & Pride, D. E. (1982): Metallic Mineral Resources of the Antarctic Peninsula. — In: Craddock, C. (ed.): *Antarctic Geoscience, Madison*, 859—870.
- Scott, K. (1965): Geology of the southern Gerlache Strait Region, Antarctica. — *J. Geol.*, 73: 518—527.
- Storey, B. C. & Garret, S. W. (1985): Crystal growth of the Antarctic Peninsula by accretion, magmatism and extension. — *Geol. Mag.*, 122: 5—14.
- Suarez, M. (1976): Plate-tectonic model for southern Antarctic Peninsula and its relation to Southern Andes. — *Geology* 4: 211—214.
- Valenzuela, E. & Munizaga, F. (1981): Petrografía de las rocas plutónicas de la Isla Doumer, Archipiélago de Palmer; Antártica. — *INACH, Ser. Cient.* 27: 39—51.
- Vergara, M. & Gonzales-Ferran, O. (1972): Structural and petrological characteristics of the late Cenozoic volcanism from Chilean Andean Region and West Antarctica. — *Krystallinikum* 9: 157—184.
- West, S. M. (1974): The geology of the Danco Coast, Graham Land. — *Sci. Rep. Brit. Antarct. Surv.*, 84: 58.