

Forschungsfahrt Midpac '81

mit FS Sonne (SO 18)

1981

[Mineralogisch - Petrographisches Institut]

Technische Universität Clausthal

Fahrleiter: Prof. Dr. P. Halbach

Gefördert durch

den Bundesminister für

Forschung und Technologie

und

die Deutsche Forschungsgemeinschaft

Clausthal-Zellerfeld, Dezember 1981

Gliederung

	Seite
Vorwort	1
1. Bericht der Fahrtleitung	2
1.1 Fahrtverlauf	2
1.2 Geräteinsatz	4
1.3 Schiffszeitverwendung	8
1.4 Bathymetrie	9
1.5 Navigation	13
2. Bericht der Arbeitsgruppe Clausthal	15
2.1 Einleitung	15
2.2 Lagerstätten (Erzkrusten,-knollen und Ge- steinsproben)	16
2.3 Sedimente	22
3. Bericht über Bordanalytik mittels RFA (Mn,Fe,Ni,Cu und Co)	28
4. Bericht der Arbeitsgruppe BGR-Hannover	35
5. Bericht der Arbeitsgruppe Hamburg-Geesthacht	40
6. Bericht der Meeresbiologie	45
7. Bericht des Gastwissenschaftlers	53

Anlagen

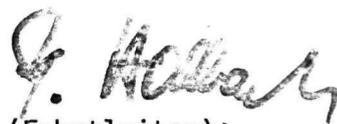
1. Fahrtverlauf und Lokationen
2. Liste der Fahrtteilnehmer
3. Liste der Stationen
4. Analysendaten
 - 4.1 Überarbeitete RFA-Ergebnisse
 - 4.2 Mittelwerte Hauptelemente Mn, Fe
 - 4.3 Mittelwerte Nebenelemente Ni, Cu ,Co

Vorwort

In den vergangenen Jahren sind im Rahmen der rohstofforientierten Tiefseeforschung von uns vor allem Explorationsfahrten zur Untersuchung der pelagischen Sedimentationsbecken des Nordost- und Südost-Pazifik durchgeführt worden, da dort die besten Manganknollenfelder liegen. Die Existenz von Erzkrusten auf submarinen Bergen ist bekannt, allerdings liegen die Gehalte für Metalle wie Ni, Cu oder Mn meistens deutlich unter den Werten der Knollen. Einzelne Angaben aus der Literatur belegen, daß die marinen Lagerstätten in den östlichen und nördlichen Randgebirgen des zentralpazifischen Beckens auf Grund erhöhter Co-Gehalte einen Sonderfall darstellen. Da systematische Untersuchungen über die regionale Verbreitung, die Art und die Entstehung dieser Co-reichen Mangan-krusten und -knollen bisher fehlen, stellt die Explorationsfahrt Midpac '81 mit FS Sonne einen ersten Schritt dar, diese Kenntnislücke zu schließen. Die Klärung der Abhängigkeit der Co-Gehalte von der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung der Erze sowie den Umgebungsfaktoren ist ein wesentliches Ziel des Forschungsprojekts. Ein Zusammenhang, der auch durch unsere Ergebnisse bestätigt wird, ist von Cronan (1977, in: Marine Manganese Deposits, Elsevier, Amsterdam) schon beschrieben worden: die Co-Gehalte steigen mit abnehmender Wassertiefe an. Dieser geochemische Trend ist von besonderer Bedeutung, da in den Bergen des Line Islands Ridge und der Mid-Pacific Mountains Höhenunterschiede bis zu etwa 3000 m auftreten. Angesichts des wirtschaftlichen Wertes von Co ist auch die Frage nach dem Rohstoffpotential im Zentralpazifik von großer Wichtigkeit.

Durch die Kooperation der Arbeitsgruppen und Wissenschaftler von der Preußag AG, der BGR Hannover, der Universität Hamburg, der GKSS, des IfM Bremerhaven, der Universität Bremen, des US Geol. Survey (Woods Hole) und der Techn.Universität Clausthal sind verschiedene Fachdisziplinen (Lagerstättengeologie, Geochemie, Mineralogie, Geophysik, Meereschemie und Meeresbiologie) an dem Projekt beteiligt, so daß einmal eine optimale Nutzung der Schiffszeit erreicht wurde, und zum anderen durch die nach Abschluß der Fahrt geplante Zusammenarbeit bei der Auswertung der Daten eine wissenschaftlich breitere Beantwortung der komplexen Fragestellung zu erwarten ist.

Durch die rauhe Morphologie des Meeresbodens in den bearbeiteten Arealen gestaltete sich die Probennahme vor allem mit der Dredge z.T. recht schwierig. Es ist besonders der Umsicht der Brücke zu verdanken, daß gerade die Dredgestationen so erfolgreich verlaufen sind. Als Fahrtleiter danke ich Kapitän Klaaßen und seiner Mannschaft für ihre stetige Unterstützung und vielen Hilfestellungen. Mein Dank gilt auch den Mitgliedern der Wissenschaftlergruppen und unseren Gästen, die durch ihre Arbeitsbereitschaft und ihren persönlichen Einsatz entscheidend zum Gelingen der Forschungsfahrt beigetragen haben. Für die Bereitstellung der Charterkosten und der Sachbeihilfe darf ich im Namen aller Wissenschaftler der Midpac '81 dem Bundesminister für Forschung und Technologie sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft herzlich danken. Der von uns hiermit vorgelegte Fahrtbericht ist der erste Teil unserer Berichterstattung. Wir werden nach Abschluß unserer Untersuchungs- und Auswertungsarbeiten etwa Ende 1982 einen ausführlichen wissenschaftlichen Fachbericht der Öffentlichkeit vorlegen.


(Fahrtleiter)

1. Bericht der Fahrtleitung

P. Halbach, K. Steinkamp und D. Hansen

1.1. Fahrtverlauf

Nach einem mehrtägigen Dockaufenthalt in der neuseeländischen Hafenstadt Wellington und nach einer Probefahrt lief das deutsche Rohstoff-Forschungsschiff "SONNE" am 6.6.1981 um 14.06 Uhr zur MIDPAC '81 - Fahrt (SO 18) aus.

Bereits vor Beginn der eigentlichen Charterzeit am 5.6.1981 hatten die Wissenschaftler die Möglichkeit, Teile der Ausrüstung an Bord zu bringen, in den Labors zu installieren und die Geräte zu justieren. Für dieses Entgegenkommen sei der Reedereigemeinschaft Forschungsschiffahrt GmbH und Herrn Kapitän Klaaßen nochmals gedankt.

Die MIDPAC '81 - Fahrt begann bei stürmischem und naßkaltem Wetter, das sich jedoch im Laufe der Zeit mit Annäherung an den Äquator zunehmend besserte, so daß nach anfänglich geringeren Tagesstrecken die volle Reisegeschwindigkeit erreicht werden konnte. Am 9.6.1981 überquerte die "SONNE" die Datumsgrenze von Westen nach Osten, wodurch dieser Tag 2 x 24 Stunden währte. Der erste Fahrtabschnitt bis Samoa bestand im wesentlichen aus Fahrtzeit, die mit Gerätevorbereitungen ausgefüllt wurde. Er endete am 12.6.1981 um 11.42 Uhr in der west-samoanischen Hafenstadt Apia auf der Insel Upolu.

In Apia wurde die wissenschaftliche und nautische Mannschaft komplettiert. An Bord kamen der Fahrtleiter, ein weiterer Clausthaler Geologe, drei Wissenschaftler(innen) von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe aus Hannover, der Meeresbiologe Dr. F. Riemann, Bremerhaven, der Gastwissenschaftler Dr. Frank T. Manheim vom Woodshole Geological Survey, Massachusetts, die beiden Gäste Anne-Marie Grobet und Dr. Erwin Lausch von der Zeitschrift GEO, sowie ein Motorenwärter. Herr Marten von der GKSS verließ das Schiff (vollständige Mannschaftsliste siehe Anlage 2).

Den 13.6.1981 hatte die Reedereigemeinschaft Forschungsschiffahrt GmbH dankenswerterweise als charterfreien Tag zur Verfügung gestellt. Dieser Tag wurde genutzt, um an Bord einen Empfang für die lokalen Behörden und für einige in Apia lebende Deutsche zu geben.

Gäste waren unter anderen:

Greg Urwin, Regierungssekretär des Äußeren

Faleafaga Tinoa, Chef der Einwanderungsbehörde

William Keil, deutscher Konsul auf Samoa

Roy Vaughan, Reporter des New Zealand Herald, Auckland

Prof. Dr. Hans Fischer, Völkerkundler der Universität Hamburg

Dr. Clara B. Wilpert, Hamburgisches Museum für Völkerkunde.

G. Neukirchner, Braumeister der Vailima Brewery
H. Hackenberg, West Samoan Shipping Services
Dr. F. Fliege, Pflanzenschutz - Institut.

Die "SONNE" verließ Apia am 14.6.1981 um 14.18 Uhr. Nach fast dreitägiger Anreise wurde das erste Zielgebiet im mittleren Teil des Line Islands Rückens erreicht. - Vergegenwärtigt man sich die gewaltige Strecke zwischen Wellington und Honolulu (Bild 1), die mit 4087 sm bzw. 7550 km Luftlinie fast einem Fünftel des Erdumfangs entspricht, so konnten die Untersuchungsarbeiten naturgemäß nur eine Routenprospektion mit schwerpunktmäßigen Detailerkundungen in der vorgegebenen Zeit darstellen. Die tatsächlich zurückgelegte Strecke, die die Bathymetriefahrten in fünf Arealen und die Abweichungen von der Luftlinie einschließt, betrug 6680 sm bzw. 12371 km.



Bild 1.

Am 1.7.1981 wurde der amerikanische Militärstützpunkt auf der Johnston Insel angelaufen, die auf dem Wege lag. Dort wurde von einem Landungsboot ein Kastengreifer übernommen, der für Sedimentprobenahmen von der University of Hawaii zur Verfügung gestellt worden war. Diese Übernahme hatte sich als notwendig erwiesen, da der an Bord befindliche Kastengreifer nicht vollständig war und die fehlenden Teile nicht mit Bordmitteln hergestellt werden konnten.

Nach den Untersuchungsarbeiten im Areal A (Midpacific Mountains, Lokationen 8 - 11; s. Anlage 1) lief die "SONNE" nach etwa 37 Seetagen am 14.7.1981 gegen 10.00 Uhr in Honolulu ein.

1.2. Geräteeinsatz

1.2.1. Geophysikalische Methoden

Die bathymetrische Aufzeichnung erfolgte mit einem 30 KHz-Echolot auf 104 Profilen mit einer Gesamtlänge von 1.245 Seemeilen.

Parallel dazu lieferte der 3.5 KHz Subbottom - Profiler ausgezeichnete Aufzeichnungen über Sedimentmächtigkeiten und Gebirgsstrukturen. In höher gelegenen Gebieten ist der Meeresboden hiernach kaum oder gar nicht mit Sediment bedeckt. Die aus hartem Gestein aufgebauten Hänge zeigen nur vereinzelt auch tiefere Sedimenttaschen. - In den Senken schwankt die Sedimentmächtigkeit je nach Wassertiefe zwischen einigen Dezimetern und 150 m. Die oberste Schicht ist häufig durch einen starken Reflex gekennzeichnet, der auf eine Verfestigung und/oder eine starke Erosion durch Bodenströmungen hinweist.

Seilgebundene Geräte wurden - mit Ausnahme der Wasserstationen (Bathysonde und IPN-Wasserschöpfer) - zur Bodenabstandskontrolle stets mit einem Pinger gefahren; hier wurde ein modifizierter Atnav-Transponder eingesetzt.

Fotografische Aufnahmen (Bild 2 und 3) vom Meeresboden wurden auf fünf Stationen mit einem Fotoschlitten aus 4 m Höhe über dem Meeresgrund angefertigt. Die Zahl der Aufnahmen pro Station liegt zwischen 12 und 250. Weitere optische Informationen lieferten Freifallgreiferkameras vom Typ Minox und Minolta. Einige Schwarz-Weiß-Aufnahmen der Fotoschlittenprofile wurden an Bord entwickelt und zeigen außerordentlich schwankende Belegungsverhältnisse. In den meisten Senken und Tälern finden sich überhaupt keine Knollen; die Sedimente sind dort häufig durch Rippelmarken charakterisiert. In den Seamount-Gebieten auf den Hängen und Plateaus können dagegen mehr oder weniger geschlossene Flächen mit Krustendecken beobachtet werden, die durch Sedimenttaschen, die z. T. Gesteinsbruchstücke enthalten, oder vor allem auf Plateaus durch kleinere Knollenfelder unterbrochen werden.

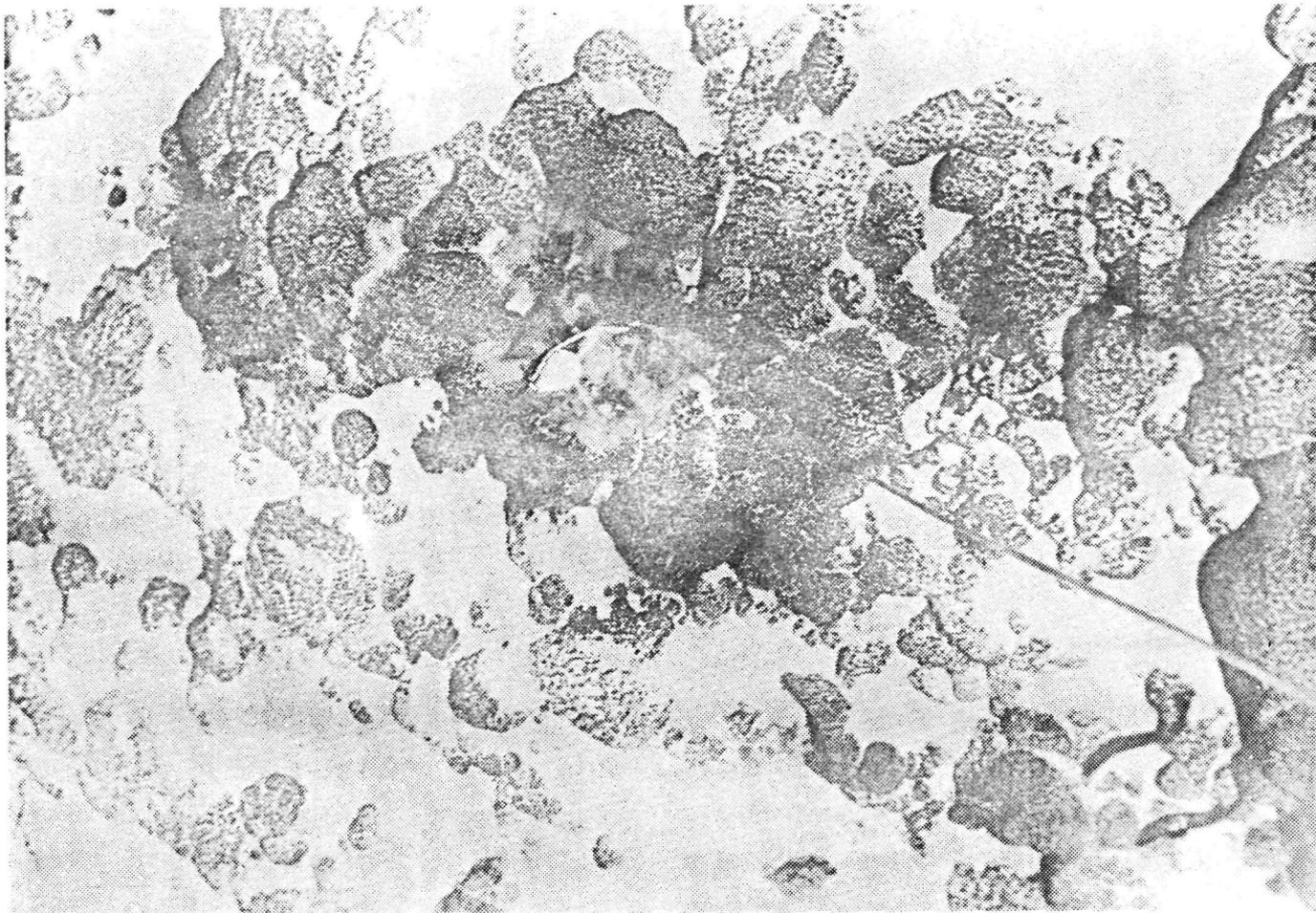


Bild 2. Lokation 8 (74 FE), Wassertiefe ca. 2800 m. Krustenbedeckung (Warzenkruste) auf Basaltgestein im Sockelbereich eines Tiefseehangs.

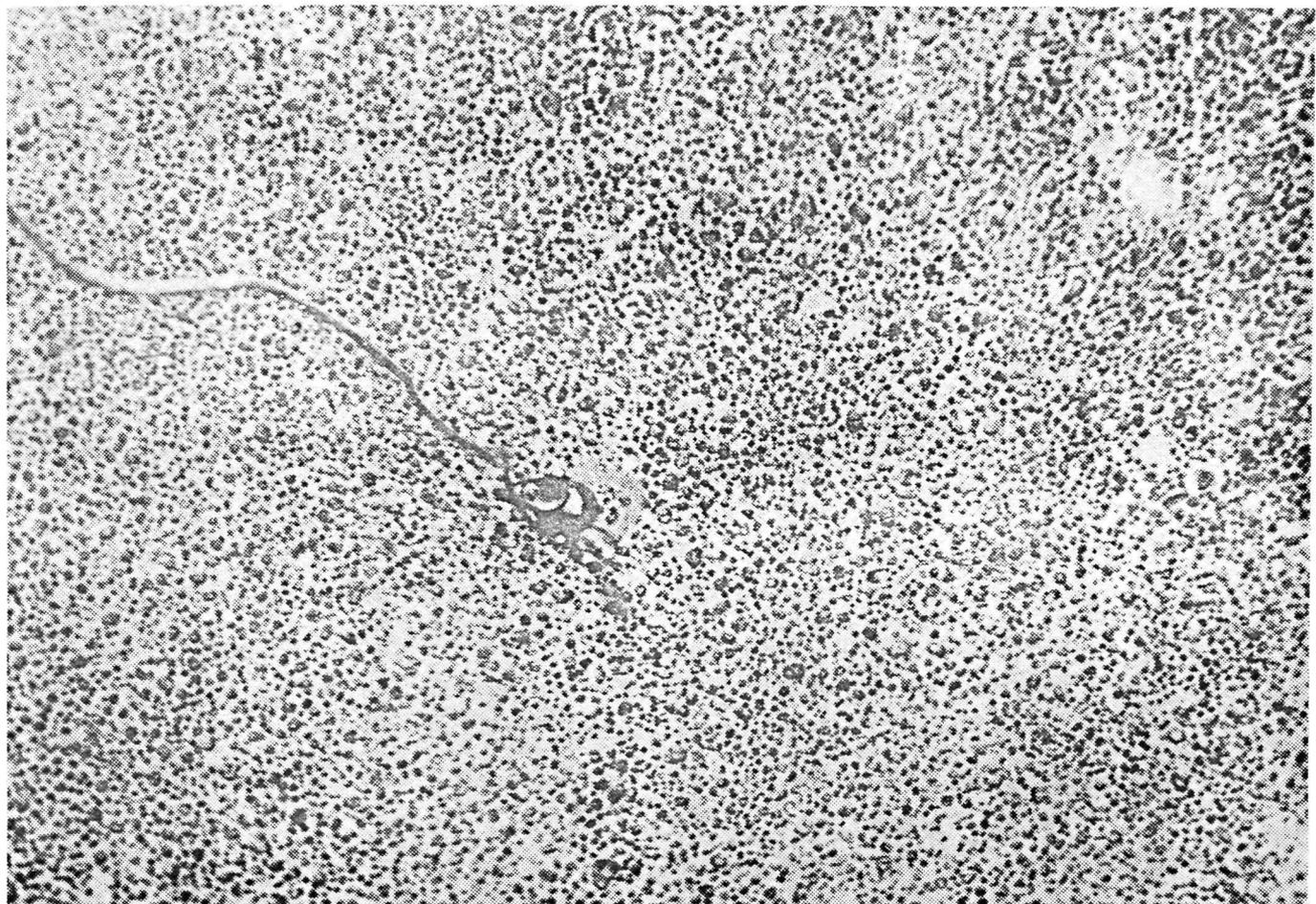


Bild 3. Lokation 9 (90 FE), Wassertiefe ca. 1800 m. Knollenbelegung auf einem Hochplateau (Belegungsichte ca. 14 kg / m^2). Die Knollen liegen auf kalkigem Sediment.

Elf Stationen mit der Bathysonde lieferten Angaben über Druck, Temperatur, Schallgeschwindigkeit und Leitfähigkeit der Wassersäule. Die Werte wurden in Intervallen von 25-50 m manuell registriert und ausgewertet. Parallel dazu wurden Zwischenwerte für eine exaktere und spätere Evaluierung an Land auf Lochstreifen festgehalten. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen bereits, daß frühere Annahmen über die Möglichkeit einer scharfen Abgrenzung des Antarctic Bottom Waters (AABW) auf Grund physikalischer und chemischer Parameter revidiert werden müssen. Ohne Zweifel ist das AABW für die stark erosiven Verhältnisse in den das Zentralpazifische Becken begrenzenden submarinen Gebirgen verantwortlich.

1.2.2. Probenahme

Wasserprobenahmen zur Bestimmung der Spurenelementgehalte in verschiedenen Tiefen bis zu 5000 m erfolgten für Vergleichszwecke an acht Stationen. Zur Vermeidung von Verunreinigungen wurde ein kunststoffummanteltes Seil verwendet; die Wasserschöpfer waren vom Typ IPN (Trans Plastic Nansens), die sich erst in 15 m Tiefe öffneten und anschließend in der gewünschten Wassertiefe durch Auslösung eines Fallgewichtes geschlossen wurden. - Auf einer Zusatzstation wurden aus gleicher Tiefe Proben mit drei verschiedenen Wasserschöpfertypen entnommen um festzustellen, ob und in welchem Ausmaß Kontaminationseinflüsse durch unterschiedliches Probegefäßmaterial auftreten können. Schließlich wurde auch eine Oberflächenwasserprobe einige 100 m vom Schiff entfernt vom Schlauchboot aus entnommen.

Für Knollen- und Krustenprobenahmen wurden Freifallgreifer, eine Kastendredge, ein Stoßrohr, ein Schwerelot und das schwere Kastenlot eingesetzt.

Der Preußag - Freifallgreifer kam 47 x zum Einsatz. Da er für die Knollenprobenahme in Gebieten mit weichem Sedimentuntergrund konzipiert ist, erwies er sich in den Seamount-Arealen mit hartem Gesteinsuntergrund oder fester Sedimentoberfläche als wenig geeignet. So brachten neun Greifer auf einem Hochplateau, das aufgrund optischer Vorerkundung eine Belegungsdichte von 60% und mehr Prozent aufwies (Bild 3), überhaupt keine Knollen hoch. Sechs Greifer gingen verloren, was einer Verlustrate von 12,77 % entspricht. Die Verlustursache bei einem der Greifer lag im vorzeitigen Abwerfen eines Ballastgewichtes beim Aussetzen. Die übrigen fünf Greifer gingen auf einer Lokation in Wassertiefen von 5150 - 5190 m verloren. Wie sich später herausstellte, wies der dortige Diatomeenschlamm eine sehr ⁵⁰ zähe Konsistenz auf, so daß die Greifer in dem weichen klebrigen Material wahrscheinlich hängen geblieben sind, ohne die Ballastgewichte abgeworfen zu haben. *eingelassen*

Auf 16 Stationen wurde die tonnenschwere URAG-Kastendredge eingesetzt, die sich für die Beprobung von hartem Material sehr gut eignete, denn Knollen, Krusten, Gesteine und verfestigte Sedimente zeigten - wenn überhaupt - nur eine sehr geringe mechanische Zerstörung; die Dredgestationen brachten z.T. Materialmengen, meistens Co - reiche Krusten, in der Größenordnung von einigen 100 kg. Mit einem Dredgezug wurde sogar ein vollständig erhaltener ca. 80 cm langer Tiefseefisch gefangen. Die Dredge selbst weist nach den 16 Einsätzen einige Beschädigungen durch Materialbeanspruchung auf. Obwohl die Dredge wiederholt am harten Gestein festhakte - es traten Lastspitzen bis zu 18 Tonnen auf - konnte dank der umsichtigen Steuerleute auf der Brücke und der Windenfahrer ein Totalverlust durch Abreißen vermieden werden.

Ein an Bord modifiziertes Stoßrohr und Schwerelot, das von einer definierten Stelle Krustenmaterial beproben sollte, wurde 12 x eingesetzt. Die Ergebnisse waren jedoch nicht befriedigend; nur einmal konnte eine Krustenprobe gehoben werden.

Sedimentproben wurden ebenfalls mit Freifallgreifern genommen, an denen ein Sedimentröhrchen befestigt war. Daneben kamen je 8 x das auf ca. einen Meter gekürzte Kastenlot und der Kastengreifer von der Universität Hawaii zum Einsatz. Letztgenannte Geräte arbeiteten unzuverlässig und lieferten vor allem nicht die gewünschte Sedimentsäule mit einer ungestörten Oberfläche.

1.3. Schiffszeitverwendung

Die MIDPAC '81 - Kampagne dauerte insgesamt 42.00 Tage. Davon war ein Hafentag in Samoa charterfrei, und ein weiterer Tag wurde durch das Überqueren der Datumsgrenze gewonnen. Die Schiffszeit vom 5.6.1981 (00.00 Uhr) bis zum 15.7.1981 (24.00 Uhr) gliedert sich wie folgt: *)

Anreisen	24990 Minuten	-	41.32 %	**)
Bathymetrie	8166 "	-	13.50 %	
Stationszeit	15522 "	-	25.66 %	
Zwischenfahrten	3862 "	-	6.39 %	
Verzögerungen	288 "	-	.48 %	
Hafenzeiten	7652 "	-	12.65 %	
Gesamt	60480	"	- 100.00 %	

Die Stationszeit von 15522 Minuten verteilt sich auf die einzelnen Geräte wie folgt:

Gerät	Stationen		Zeit		
	Zahl	%	Minuten	%	
Kastendredge	16	13.22	3997	25.75	
Fotoschlitten	5	4.13	2216	14.28	
Bathysonde	11	9.09	1898	12.23	
Wasserschöpfer	8	6.61	1802	11.61	
Freifallgreifer	47	38.84	1516	9.77	
Kastengreifer	8	6.61	1015	6.54	
Kastenlot	8	6.61	989	6.37	
Tests	(4)	3.31	896	5.77	
Stoßrohr	11	9.09	777	5.00	
Wasserprobe	1	.83	181	1.17	
Schöpfervergleich	1	.83	144	.93	
Schwerelot	1	.83	91	.58	
Gesamt	117	100.00	15522	100.00	***)
	(+4)				

*) Zeitlicher Ablauf s. Anhang (Zeitstatistik und Stationsliste)

***) Wegen zweimaliger Zeitumstellung müssen von den Anreisen und von der Gesamtzeit 120 Minuten abgezogen werden.

***) Die vier Gerätetests erhielten keine Stationsnummer

1.4. BATHYMETRIE

Die bathymetrische Vermessung erfolgte wieder mit der bordeigenen Tiefseelotanlage mit einer Arbeitsfrequenz von 20 KHz. Der Grundmeßbereich des Mutter-schreibers betrug 0-4000 m bzw. 0-8000 m, abhängig von den mittleren Wassertiefen der verschiedenen Meßgebiete. Ein vergrößernder Ausschnitt von 1000 m war per Hand nachzuregeln. Dieser Ausschnitt, registriert auf dem Tochterschreiber im Geologielabor, wurde für die Auswertung herangezogen.

Die Geschwindigkeit während der Bathymetrie-Fahrten betrug ca. 9Kn.

Die Meßanordnung - Größe des Meßgebietes, Profilabstände, Profilrichtungen - war unterschiedlich und der jeweiligen wissenschaftlichen Fragestellung angepaßt.

Die Profillinien wurden nach der Korrektur der Navigationsdaten vom Rechner bzw. dem nachgeschalteten Plotter gezeichnet.

Die Darstellung der Topographie in Form von Isolinienplänen erfolgte per Hand.

Insgesamt liegen 6 bathymetrische Karten und die dazugehörigen Profilpläne vor.

Mit Ausnahme der Lokation 2 wurden alle Karten im Maßstab 1 : 75000 angefertigt.

LOKATION__2

Nur auf dieser Lokation wurden zusätzlich zu den Daten der 4 Bathymetrieprofile 01-04 die Echolotdaten von den GBH-Abwurf- und Aufnahmeprofilen und von dem Dredgeprofil für die Kartierung verwendet.

Die gesamte Profillänge beträgt 32.5 Seemeilen. Der Isobathenabstand des Isolinienplanes beträgt 50 m und teilweise 25 m. Aufgrund der Kleinräumigkeit wurden Profilplan und Bathymetrieplan im Maßstab 1 : 25000 angefertigt.

LOKATION__4

Da auf der Lokation 4 der Südosthang eines Seamounts und das im Südosten anschließende Tal beprobt werden sollten, wurden die Vermessungslinien in NW-SE-Richtung gelegt in Abständen von ca. 1 Seemeile. Man erhielt so in kürzester Zeit eine optimale Überdeckung des Meßgebietes (s. Profilplan Lok 4). Das Gebiet hat eine Größe von ca. 1050 km². Die Gesamtprofillänge betrug 237 Seemeilen.

Die recht großen Reliefunterschiede von ca. 200 m - 300 m pro Kilometer lassen es sinnvoll erscheinen nur 100 m - Isobathen zu kartieren.

AREAL_B (Lokationen 5, 6, 7)

In diesem Gebiet war das Ziel, das Becken zwischen dem bereits bekannten "Segundo Seamount" und einem Rücken im NW des Gebietes und ein Hochtal im SSW des Rückens möglichst genau zu kartieren. Aus diesem Grunde wurde eine E-W verlaufende Profilserie abgefahren mit durchschnittlichen Abständen von 1.5 Seemeilen. Zwei dieser Profile wurden soweit nach Osten ausgedehnt, daß der "Segundo-Seamount" erfaßt wurde.

Während dieser Meßfahrt wurde ein weiterer 3600 m hoher Seamount gefunden, der in den bisher vorhandenen Karten nicht dargestellt war. In Analogie zu dem bereits erwähnten "Segundo Seamount" wurde dieser "neue" Tiefseeberg "Primero Seamount" genannt.

Das Meßgebiet hat eine Größe von 2250 km². Die Profillänge der 17 Profile beträgt 413 Seemeilen. Starke Höhenunterschiede von bis zu 700 m pro Kilometer lassen auch hier nur eine Kartierung von 100 m Isobathen zu.

LOKATIONEN 8 u. 9

Die bathymetrische Vermessung wurde in diesem Gebiet in 2 Abschnitten durchgeführt. Nach der Kartierung des östlichen Seamounts und des Südhanges des zentralen Seamounts erwies es sich aufgrund der Ergebnisse der Probenahme als erforderlich, die Ausdehnung des zentralen Seamounts vollständig zu erfassen. Zwei Profile wurden nach Westen verlängert, um eine ungefähre Westbegrenzung des hochliegenden (ca. 2700 m Wassertiefe) Meßgebietes zu finden. Im Westteil fällt der Meeresboden wieder ab auf ca. 4000 m.

Die Profilabstände betragen im Ostteil ca. 1.0 - 1.5 Seemeilen. Im übrigen Gebiet konnten sie vergrößert werden aufgrund anderer topographischer Gegebenheiten.

Die Gesamtprofillänge der 39 Profile beträgt 208 Seemeilen. Das Gebiet hat eine Größe von 1500 km².

Die Hangneigungen an den kartierten Seamounts sind deutlich geringer als in den vorangegangenen Gebieten. Zur besseren Darstellung wurden neben den 100 m - Isobathen einige 50m - Isobathen zusätzlich gezeichnet.

LOKATION 11

Auf dieser Lokation wurde wieder ein E-W-Profilnetz abgefahren. Die Gesamtlänge der 21 Profile beträgt 166

Seemeilen bei einem mittleren Abstand von 1.5 Seemeilen.

Im Zentralteil des Seamounts wurde bei der Kartierung die 1150 m Tiefenlinie zusätzlich übernommen. Ansonsten wurden nur 100 m - Isobathen kartiert.

1.5. NAVIGATION

Zur Ortsbestimmung wurde ausschließlich die bord-eigene Magnavox-Satellitennavigationsanlage verwendet. Es wurden insgesamt 358 Satellitendurchgänge ausgewertet und deren Daten auf Magnetband gespeichert. 220 dieser Satellitenfixe waren qualitativ so gut, daß sie automatisch aufdatiert wurden, während 138 erst nach Überprüfung der Glaubwürdigkeit durch den Operator aufdatiert werden konnten.

Der mittlere Fixabstand betrug ca. 1,9 Std. Extrem ungünstige Verhältnisse lagen vor am 19.6.81, 20.6.81 und am 5.7.81 mit 7 h 39 min, resp. 9 h 08 min. und 9 h 56 min. zwischen zwei brauchbaren Fixen.

Die Fixablagen - d. h. der Unterschied zwischen dem richtigen Satellitenfix und dem vom Navigationsrechner durch Verwendung von Kurs und Geschwindigkeit gefundenen Ort - waren im allgemeinen kleiner als 1 km.

Deutlich größere Ablagen traten fast nur dann auf, wenn der zeitliche Abstand zwischen verwertbaren Fixen größer als 1,5 Std. wurde.

Alle Positionsdaten wurden über den Systemrechner mit den an Bord befindlichen Korrekturprogrammen korrigiert.

Aufgrund der günstigen Profilabstände während der

bathymetrischen Vermessung war eine Kontrolle der Positionierungsgenauigkeit möglich an markanten Strukturen im Untergrund. Es hat sich herausgestellt, daß nach der Korrektur der SATNAV-Daten mit einer Genauigkeit von ± 150 m gerechnet werden darf.

Die Positionierungsgenauigkeit während der Stationsarbeiten hängt stark von der Anzahl und der Qualität der Satellitendurchgänge ab und muß bei Bedarf für jede Station einzeln bestimmt werden.

Der mögliche Bereich geht von ± 50 m (Idealfall einer Station während eines Satellitendurchganges mit optimalen Meßdaten) bis zu ca. ± 2000 m in einer Serie schlechter Satellitendurchgänge.

2. Bericht der Arbeitsgruppe Clausthal

P. Halbach, U. Schreiber und C.-D. Sattler

2.1. Einleitung

Die Zielgebiete der Explorationsfahrt Midpac '81 waren das östliche (Line Islands Ridge) und das nordöstliche Randgebiet (östlicher Bereich der Mid-Pacific Mountains) des Zentralpazifischen Beckens (Anlage 1). Die Lokationen I und II lagen im pelagischen Bereich des Beckens, die Lokationen III und IV im mittleren Teil des Line Islands Ridge ca. 50 sm nördlich von Site 165 (Leg 17 DSDP), die Lokationen V, VI und VII im nördlichen Teil des Line Islands Ridge im Bereich der Clarion-Tiefwasserpassage; die Lokationen VIII bis XII befinden sich im nordöstlichen Teil der Mid-Pacific Mountains ca. 80 bis 140 sm westlich von Site 171 (Leg 17 DSDP; Horizon Guyot).

Der Einsatz der Probenahmegeräte erfolgte jeweils nach der Erfassung der Bathymetrie, wobei die Stationen derart festgelegt wurden, daß eine getrennte Beprobung unterschiedlicher Teile der Bodenmorphologie (Tal, Hang, Berggipfel bzw. Gipfelplateau) möglich war. Bei sehr langen Hängen wurden mehrere Dredgestationen aneinander gereiht, um separates Probenmaterial aus verschiedenen Tiefenbereichen zu erhalten. Eine Beschreibung und mengenmäßige Erfassung der Erzproben (Manganknollen und -krusten) erfolgte an Bord. Ein Teil der Proben wurde auf Mn, Fe, Ni, Cu und Co analysiert (s. Bericht P. Otten (3.) Bordanalytik). Häufig waren die Erzkrustenproben noch mit dem unterliegenden Gestein verwachsen, so daß auch viele Gesteinsproben gewonnen werden konnten.

Die eingesetzten Probenahmegeräte zur Gewinnung der Tiefsee-Erze waren Kastendredge, Bumeranggreifer und Stoßrohr, von denen vor allem die Dredge sehr erfolgreich arbeitete. Die Bumeranggreifer sind für die Knollenprobenahme auf harter Sediment- oder Gesteinsunterlage ungeeignet, so daß kaum Knollen von den submarinen Bergen gehoben werden konnten, obwohl die Tiefseeaufnahmen z.B. von Bergplateaus Knollenbelegung gezeigt hatten. Eine an Bord auf Anregung von F. Manheim entwickelte Stoßrohrkonstruktion erbrachte nur in einem Fall Krustenmaterial. Zur Sedimentgewinnung wurden Kastengreifer, Kastenlot (KH 100) und Gravity-Rohr eingesetzt. Der vor Johnston Island an Bord genommene Kastengreifer amerikanischer Bauart erwies sich für die Probenahme im Tiefseebereich als mangelhaft. Nur in wenigen Fällen konnten Proben mit ungestörter Oberfläche gewonnen werden. Probleme gab es auch mit dem Kastenlot, das in den meisten Fällen zu tief eindrang und deshalb nur eine Probe mit ungestörter Oberfläche ergab. Das nur einmal eingesetzte Gravity-Rohr (GR) funktionierte einwandfrei.

2.2. Lagerstätten (Erzkrusten, -knollen und Gesteinsproben)

Allgemein überwiegt bei den Erzproben aus den submarinen Gebirgen der Anteil an schwarz-braunen Mangankrusten. Lediglich bei den Tiefwasserlokalationen (II u. III) im pelagischen Bereich wurden hydrogenetische Knollen (Bild 4) gehoben.

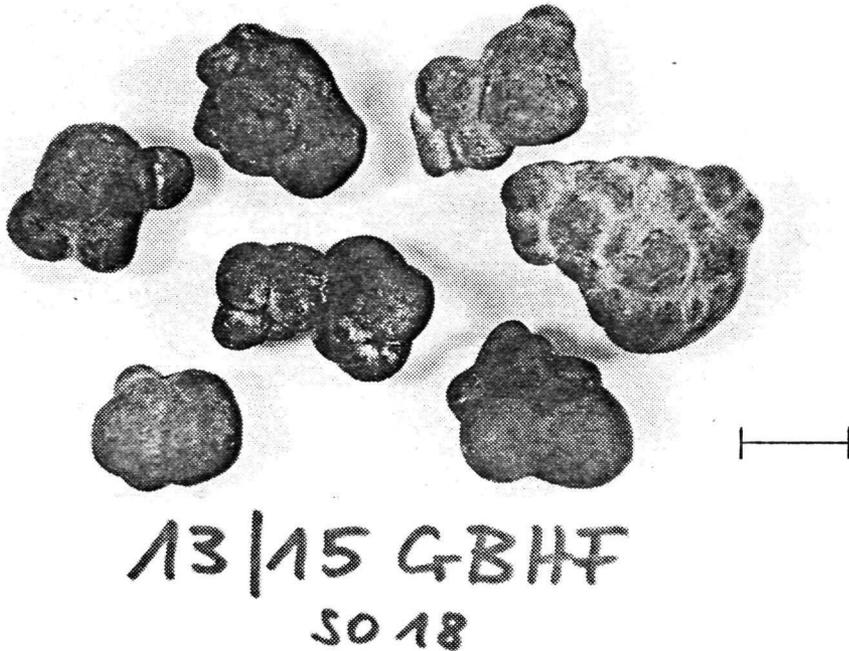


Bild 4. Hydrogenetische Polyknollen aus dem pelagischen Bereich des Zentralpazifischen Beckens (Lok. II). Der Maßstab entspricht 2 cm.

Bei der Lokation IV wurde mit drei Dredgezügen (DK 30, 31, 32) ein Südhang mit einem Höhenunterschied von ca. 3000 m beprobt. Es wurde vor allem Krustenmaterial, häufig mit unterliegendem Gesteinsmaterial, und einige Manganknollen mit Gesteinskernen gewonnen. Die Dicke der Erzkrusten schwankt zwischen 1 und max. 9 cm; sie zeigen einen feinlagigen Aufbau und bestehen aus δ - MnO_2 , amorphem Fe-Eisenhydroxid und Alumosilikaten (Ergebnis inzwischen durchgeführter Röntgenphasenanalysen). Die Krusten zeigen bei den beiden tieferen Dredgestationen eine knotige bis warzenähnliche Oberfläche (Bild 5). Die Krustenproben aus dem Gipfelbereich (DK 32) des Plateauberges sind nur 1 bis 2 cm dick und besitzen im Gegensatz zu den Proben der Stationen DK 30 und DK 31 eine sehr glatte, z.T. auch glänzende Oberfläche. Diese glatte Oberflächenstruktur ist wahrscheinlich auf erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten im Gipfelbereich des Plateauberges zurückzuführen. Dies würde bedeuten, daß die Gestaltung der Oberfläche (grobporig, rauh, knotig, feinporig oder glatt) vor allem von den Strömungsverhältnissen der Umgebung bzw. den lokalen Anlagerungsbedingungen beeinflusst wird.

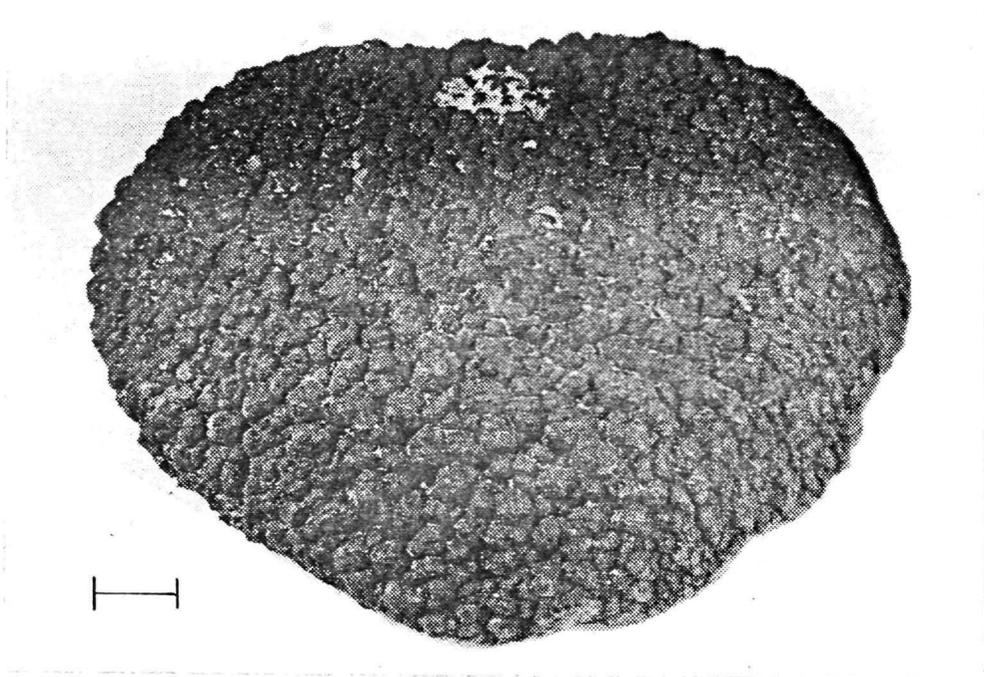


Bild 5. Knotige, ca. 3 cm dicke hydrogenetische Kruste von einem submarinen Hang des Line Islands Ridge (DK 31, Lok. IV). Der Maßstab entspricht ca. 2 cm (nur Vordergrund)

Die größten Dicken besaßen die Mangankrusten aus dem mittleren Höhenbereich des Hangs (DK 31; 3 bis 9 cm), wobei zwei verschiedene Wachstumsgenerationen zu unterscheiden sind. Die jüngeren Lagen bestehen aus mm-dicken Schichten, gleichen dem Material aus DK 30 und haben eine Gesamtdicke von 3 bis 4 cm; die ältere Wachstumsgeneration ist meist ebenso mächtig, zeigt makroskopisch keinen feinlagigen Aufbau sondern einen dichten, muscheligen Bruch mit mattem Glanz (Bild 6). Wie erste mikroskopische Untersuchungen in unserem Labor ergaben, ist diese ältere Krustengeneration völlig mit feinstkristallinem Apatit imprägniert, d.h. der Apatit ist auf Rissen und Klüften bis in die feinsten Poren der Erzkrusten epigenetisch eingedrungen. Danach begann erst das Wachstum der jüngeren Erzkrustengeneration. Diese bigenetischen Erzkrusten aus einer phosphatisierten älteren Generation und einer jüngeren Erzgeneration wurden in den Lokationen der Mid-Pacific Mountains auch gefunden, d.h. dieses zweiphasige Wachstum mit einer zwischengeschalteten Apatitausfällung ist typisch für die hydrogenetische Erzbildung in den Randgebirgen des Zentralpazifischen Beckens.

Die Bordanalysen der jüngeren Erzkrusten von DK 30, 31 und 32 zeigen ganz deutlich den Anstieg der Co-Gehalte und auch der Ni-Anteile mit abnehmender Wassertiefe (s. Anlage 4.3), während Cu abfällt. Die Konzentrationen von Co steigen im Mittel von 0,57 % (DK 30) über 0,93 % (DK 31) auf 1,38 % (DK 32) an,

wobei der max. gemessene Co-Gehalt bei 1,92 % liegt; alle Werte beziehen sich auf getrocknete Erzsubstanz. Die phosphatisierten älteren Krusten (PC-Krusten) besitzen bei ähnlichen Mn/Fe-Quotienten deutlich niedrigere Co-Anteile (s. CKB-Nr. 20 und 26 in Anlage 4.1).

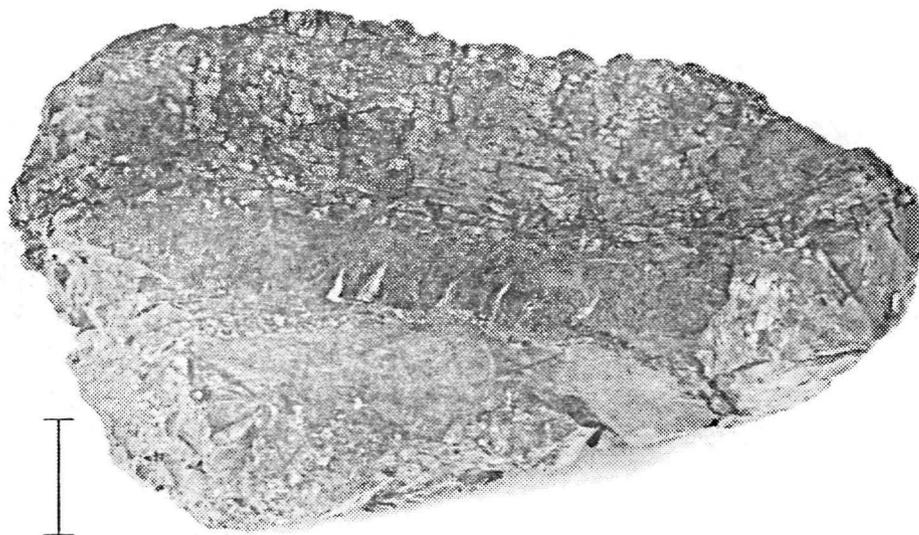


Bild 6. Hydrogenetische Kruste mit knotiger Oberfläche im Vertikalschnitt (DK 31, Lok. IV). Der bigenetische Aufbau in Form von 2 Wachstumsgenerationen ist gut zu erkennen. Die ältere Krustengeneration ist mit Phosphorit imprägniert. Der Maßstab entspricht ca. 2 cm.

Das Gesteinsmaterial unter den Erzkrusten besteht aus blasigem Basalt oder auch aus einem Hyaloklastit mit kalkigem Bindemittel, dessen blasige Basaltbruchstücke mit Durchmessern von mm bis zu einigen cm Größe meist eine rötliche Farbe besitzen. Nach den Untersuchungen von Site 165 (DSDP) haben die liegenden Basalte in diesem Teil des Line Islands Ridge ein Alter zwischen 85 und 95 Millionen Jahren (Oberkreide: Emscher bis Cenoman). Allerdings zeigen die Ergebnisse von Site 171 (Mid-Pacific Mountains), daß unter einer mehrere m mächtigen Lage von blasigem Basalt noch ca. 140 m Kalkstein liegen, so daß der älteste Basalt in Site 171 ein präcenomanes Alter (jüngere Unterkreide) hat. Als weitere Gesteinsart wurde in der Dredge DK 31 noch eine Brekzie mit Gesteins- und Erzkrustenbruchstücken in karbonatischer Grundmasse beobachtet.

Bei den Lokationen VI und VII wurde mit 5 Dredgestationen (DK 43, 44, 56, 57, 58) ebenfalls viel Erzmaterial gewonnen. Die Dicke der Krusten schwankt zwischen 0,5 und 4 cm; die meisten haben auch hier eine knotige bzw. warzenähnliche Oberfläche. Allerdings kann hier bei einzelnen Erzkrusten der Übergang von der knotigen zur glatten Oberflächenstruktur beobachtet werden; die exponierten Kuppenbereiche der Krusten besitzen eine glatte Oberfläche, so daß auch hierdurch belegt wird, daß der Strömungseinfluß diese Oberflächengestaltung kontrolliert. Z.T. wurden auch größere Basaltbruchstücke gewonnen, die allseitig von cm-starkem Krustenmaterial umgeben sind. Bei der Station DK 56 traten stark gerundete, flußkieselähnliche Gesteinsgerölle basaltischer Zusammensetzung auf, die nur unter starkem Strömungseinfluß gerundet worden sein können. Bei den Erzproben von DK 56 trat auch die ältere Erzgeneration aus phosphatisiertem hydrogenetischen Material auf. Sediment, das mit Erzproben und Gesteinsbruchstücken gehoben wurde, bestand aus schwach verfestigtem Kalkschlamm. Die Gesteinsproben aus basaltischem Material sind z.T. sehr stark verwittert; nicht selten sind die blasigen Hohlräume mit Karbonat oder Zeolithen gefüllt.

In dem nördlichen Arbeitsgebiet mit den Lokationen VIII bis XII wurden 7 Dredgezüge durchgeführt, wobei in 6 Fällen Krusten- und Knollenmaterial gewonnen wurde. Die Wassertiefen der Dredgestationen DK 73, 75, 76, 78, 89, 111 und 113 lagen etwa zwischen 3200 und 1100 m. Die Dicke der Krusten liegt zwischen 0,5 und max. 5 cm. Die Oberflächenstruktur ist wieder knotig bis warzenähnlich, z.T. sind glatte Bereiche vorhanden. Der Aufbau der Mangankrusten ähnelt grundsätzlich den bisher beschriebenen Erzproben; phosphatisierte Erzlagen aus älterem Material sind ebenfalls vorhanden. Der schon beschriebene Zusammenhang zwischen den Metallgehalten und der Wassertiefe wird auch hier bestätigt (Anlage 4.2 und 4.3). Die Erzkrusten sind z.T. sehr spröde und machen den Eindruck, als wären sie durch tektonische Bewegungen des Untergrundes deformiert worden. Mit der Dredge DK 111 (Wassertiefe 1330-1190 m) wurden einige Krustenbruchstücke gehoben, die die genetische Stellung der Phosphatisierung erkennen lassen: über einer Zone aus PC-Erzkruste folgt ein Bereich mit Phosphorit, der offensichtlich durch Verdrängung von planktonischem Kalkschlamm entstanden ist, Erzdendriten enthält und Bruchstücke aus älterem Erzmaterial einschließt; die Phosphoritsubstanz wird von Erzlagen der jüngeren hydrogenetischen Generation bedeckt. Bei der Station DK 78 besteht das unterliegende Gesteinsmaterial auch aus Speckstein. Mit Dredge DK 73 wurde ein grünliches, leicht zerbrechliches Gesteinsmaterial gehoben, welches aus Smektit besteht, und offensichtlich aus einem grobkristallinen Material (Kristallindividuen von 2 bis 6 cm Größe mit guter Spaltbarkeit; wahrscheinlich Hornblende oder Orthopyroxene) durch

vollkommene Umwandlung hervorgegangen ist. Weiterhin wurde grau gefärbtes kalkig-toniges, leicht verfestigtes Sediment als Substrat von ca. 1 cm dicken Erzkrusten beobachtet.

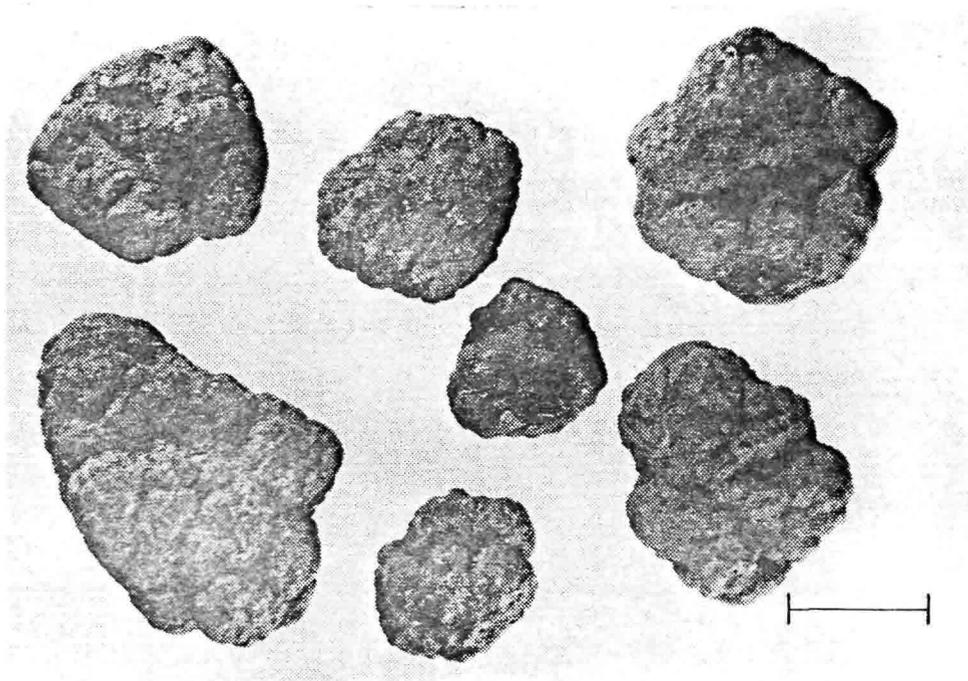


Bild 7. Plateauknollen (DK 78, Lok. IX) mit knotiger Oberfläche. Die dickplattige Form ist auf das Kernmaterial aus Krustenbruchstücken zurückzuführen. Der Maßstab entspricht ca. 2 cm.

Die Erzfunde der Lokationen VIII bis XI zeigen einen deutlichen Zusammenhang zur regionalen Morphologie: in den Tallagen kommen kaum Erzkrusten oder -knollen vor; an den Hängen existieren dicke Mangankrusten; auf den Plateaus der submarinen Tafelberge existieren Mangankrusten und -knollen. Die Manganknollen auf den Plateaus zeigen grobknotige Oberflächen (Bild 7) und haben Durchmesser von 1 bis ca. 8 cm. Im Vertikalschnitt sind sie meist etwas eckig geformt, da sie sehr anisodimensionale Kerne aus Krustenbruchstücken oder auch Speckstein besitzen. Diese Manganknollen (Plateau-Knollen) sind auf festem Untergrund aus verfestigtem Kalkschlamm durch hydrogenetisches Wachstum entstanden und entsprechen der jüngeren Generation der Krustenakkumulation. Die Flächen mit Knollenbedeckung zeigen z.T. eine Belegung von 12 bis 14 kg/m² (Bild 3). Eine Aussage über die Größe von Knollenfeldern kann beim jetzigen Stand der Untersuchungsarbeiten nicht gemacht werden. Das Angebot von Kernmaterial ist eine wichtige Voraussetzung zum Knollenwachstum; offensichtlich sind spröde Erzkrusten in Bruchstücke zerfallen, und die Bruchstücke wurden kurzräumig mit der Strömung verfrachtet. Plateauknollen mit Specksteinkernen (Anlage 5.1; CKB-Nr. 53 u. 54) haben Co-Gehalte von 0,5-0,6 %, Ni-Gehalte von 0,4-0,5 %; Plateauknollen mit Kernen aus Krustenbruchstücken haben Co-Anteile

von 0,8-0,9 %, Ni-Anteile von 0,4-0,5 %.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die östlichen und nördlichen Randgebirge des Zentralpazifischen Beckens eine sehr interessante Co-Erzprovinz darstellen; dies gilt auch unter dem Gesichtspunkt der geringeren Wassertiefen im Vergleich zu den Feldern im Nordost-Pazifik. Über die Größenordnung der Erzvorräte können jetzt noch keine Angaben gemacht werden. Wichtig ist jedoch das Ergebnis, daß praktisch alle Hänge, die beprobt worden sind, mit Erzkrusten bedeckt waren, und daß in den Plateaubereichen der Tafelberge Knollenfelder existieren. Anlage 4.3 zeigt, daß die Metallgehalte aller Midpac '81-Proben im Mittel bei 0,73 % Co und 0,45 % Ni liegen; betrachtet man nur die Erzproben im Tiefenbereich zwischen 1500 m und 1100 m, so steigen die mittleren Gehalte der Erze auf 1,1 % Co sowie 0,5 % Ni bei einem Mn/Fe-Quotienten von etwa 2,0.

2.3. Sedimente

An Bord wurden gravimetrische Kalkbestimmungen an den gewonnenen Sedimenten vorgenommen, um vor Ort die ungefähre Lage der CCD (Carbonate Compensation depth; siehe z.B. PYTKOWICZ, R.M.; Geochimica et Cosmochimica Acta, 34, (1970)) in den einzelnen Arealen zu ermitteln. Darüberhinaus sollten Bestimmungen des CaCO_3 - Gehaltes von krustenunterlagernden Gesteinsproben die Frage klären helfen, ob dieses Material rein vulkanischen Ursprungs ist oder ob es auf eine durch Sediment verkittete Breccie zurückzuführen ist. Die Analyseergebnisse sind der Zusammenfassung B zu entnehmen.

Proben folgender Stationen wurden untersucht:

GBHF: 3 ; 6 ; 7 ; 8 ; 13 ; 14 ; 17 ; 39 ; 50

KH₁₀₀ : 9 ; 19 ; 42 ; 49 ; 71 ; 102

GK: 101 ; 109

GR₂₀₀: 82

DK: 30 ; 40

Von den gewonnenen Sedimenten (GK und KH₁₀₀) wurde, wenn möglich, jeweils ein Liner für die Bearbeitung im Heimatlabor genommen. Zur Analyse an Bord zogen wir Obeflächenproben aus den Kästen und Material der Freifallgreifer heran. Die Proben wurden feucht eingewogen und anschließend im Trockenschrank bei 105° C ca. 12 Stunden lang getrocknet. Der dabei entstandene Gewichtsverlust entspricht dem Wassergehalt, woraus sich bei einer Salinität von 35g/l der NaCl-Gehalt in g ermitteln ließ. Anschließend wurden von der zermörserten Trockensubstanz 3-5 g eingewogen (NaCl in der Einwaage) und mit 2n Ameisensäure versetzt, um den Kalk aufzulösen. Nachdem sich das zurückgebliebene Sedimentmaterial abgesetzt hatte, konnte die überstehende Flüssigkeit (Ameisensäure und gelöstes NaCl) mit einer Spritze abgezogen werden. Durch anschließendes, zweimaliges Aufschlännen des Bodenkörpers mit aqua bidest. ließ sich so gut wie alle Säure und alles Salz entfernen. Zu dem Gewicht des eingetrockneten Rückstandes mußte das gelöste NaCl wieder addiert werden.

Beispiel: Einwaage: 3.10 g (davon 0.15 g NaCl)

Rückstand: 2.69 g + 0.15 g = 2.84 g

Differenz: 0.26 g = 8.40% CaCO_3

Vorgenommen wurden die Wägungen auf einer handelsüblichen Balkenwaage (Bereich 0-200 g). Trotz der an Bord herrschenden Erschütterungen ließ sich eine Wägegenauigkeit von ± 20 mg erreichen, wobei sich die zumeist ruhige See begünstigend auswirkte.

Zur weiteren Charakterisierung der Sedimente wurde die Fraktion $>63 \mu\text{m}$ abgesiebt. Die genaue Beschreibung zur Zusammensetzung der Sedimente ist Zusammenfassung A zu entnehmen. Allgemein kann man vorerst folgende Feststellungen treffen:

Der Gehalt an freien Mikro-Knollen beträgt meistens $\ll 1\%$

Ausnahmen: 49 KH₁₀₀ und 50 GBHF mit 1-2%

Häufiger sind Verwachsungen von Kalk- bzw. Kieselschalen mit feinsten Mn-Knospen

Was den Gehalt an Mikroknollen und Verwachsungen mit Knospen anlangt, lassen sich Parallelen zum Sonne-Becken erkennen (Scherhag, 1980)

Eine eindeutige Korrelation Wassertiefe - Karbonatgehalt ist aus folgenden Gründen nicht möglich:

- a) Größe des Gebietes
- b) stark schwankende Bodenmorphologie
- c) häufige Hangrutschungen; dadurch Turbiditablagerungen unterhalb der CCD (GBHF: 13 ; 14 ; 17 und 19 KH₁₀₀)

Auf mehreren Photoschlitten-Aufnahmen ist eine starke Sandrippel-Bildung zu erkennen, was auf eine hohe Strömungsgeschwindigkeit des Bodenwassers schließen läßt.

Altersbestimmung von Mn-Krusten mit Hilfe von aufsedimentierten Foraminiferen

An zwei Krusten (43 DK/2 und 43 DK/3; $12^{\circ}59.9'N/164^{\circ}59.4'W$; WT: 3000 - 3100 m) ist durch die Datierung auflagernder Foraminiferen versucht worden, die Wachstumsphase der äußersten Mn-Schicht \pm zeitlich einzuordnen. Die Foraminiferen - hauptsächlich die Gattungen Globigerina bzw. Globigorinoides und Globorotalia - befinden sich zumeist in den durch eine " Mikro-Blumenkohlstruktur " gebildeten Zwischenräumen. Eine direkte Verwachsung Schale - Krustenmaterial ist nicht zu beobachten. Agglomerate verschieden großer Globigerinen sind durch ein karbonatisches Bindemittel miteinander verkittet. Die Schalensubstanz zeigt häufig beginnende chemische Zersetzung; jedoch sind die Gehäuse der Individuen in den meisten Fällen noch vollständig erhalten. Wie auch bei den im Sediment abgelagerten Exemplaren befinden sich in den Poren der Schalen dunkle braune Pusteln (Mikroknollen statu nascendi?). Die Bestimmung der Foraminiferen hat ergeben, daß es sich größtenteils um Arten handelt, die den Zeitraum Miozän - rezent abdecken. Da aber auch die Exemplare, die ein miozänes - pliozänes Alter haben könnten, keine Verwachsungen mit Krustenmaterial aufweisen und da deren Erhaltungszustand nicht wesentlich schlechter ist als bei nur rezent vorkommenden Arten, kann man davon ausgehen, daß das Alter der Foraminiferen \pm Holozän - rezent beträgt (Zobel, pers. Mitteilung).

Dies würde ein Alter der letzten Wachstumsschicht von $\pm 10\ 000$ Jahren bedeuten. Eine exakte Datierung ließe sich allerdings erst durch genaue Meßmethoden erreichen, z.B. ^{230}Th . Im einzelnen wurden folgende Species bestimmt:

<u>Globorotalia</u> cultrata cultrata	mittleres Miozän - rezent
<u>Globorotalia</u> tumida	Pliozän - rezent
<u>Globorotalia</u> menardii	oberstes Miozän - rezent
<u>Globigerinoides</u> sacculifer	unteres Miozän - rezent
<u>Globigerinoides</u> conglobatus	Pleistozän - rezent
<u>Globigerinella</u> siphonifera	rezent
<u>Pulleniatina</u> obliqueloculata finalis	rezent
<u>Neogloboquadrina</u> dutertrei	
<u>Sphaeroidinella</u> dehiscens	rezent
<u>Orbulina</u> universa	mittleres Miozän - rezent

Zusammenfassung A

Nähere Beschreibung der untersuchten Sedimentproben

Stationen: GBHF (3 ; 6 ; 7 ; 8) ; 9 KH₁₀₀

Sedimenttyp: rot-brauner Tiefseeton (die Einzelbeschreibungen der Sedimentzusammensetzung beziehen sich grundsätzlich auf die Fraktion $> 63\ \mu\text{m}$).

Foraminifera: Anteil max. 1% ; davon alle zerstört. Meistens handelt es sich um Globorotalia - Außenränder. Sonstige Angaben sind wegen des geringen Auftretens schwierig.

Radiolaria: Anteil ca. 99% ; davon sind ca. 60% gut erhalten. Häufig sind feinste Mangan-Knospen auf umgewandelten bzw. frischen Radiolarienschalen. Verwachsungen mit größeren Mikromanganknollen treten nur vereinzelt auf.

MMK: Der Anteil der freien Knollen beträgt $\ll 1\%$.

Untergeordnet treten Diatomeen und Schwammnadeln auf.

Stationen: GBHF (13 ; 14 ; 17) ; 19 KH₁₀₀

Sedimenttyp: Mergelschlamm - Kalkschlamm

Foraminifera: Anteil ca. 90% ; davon sind ca. 70% mechanisch zerstört. Hauptvertreter sind die Gattungen Globigerina und Globorotalia. Nur ca. 20% des dickschaligen Materials sind chemisch angegriffen. Sehr vereinzelt treten Verwachsungen mit MMK auf; z.T. sind die Knöllchen voll in die Schale integriert, z.T. sitzen sie auf der Schale.

Radiolaria: Anteil ca. 5% ; davon ca. 50% mechanisch zerstört. Es sind keine Verwachsungen mit MMK zu beobachten.

Diatomeen: Anteil ca. 5% ; fast alle zerbrochen.

MMK: Der Anteil an freien Knollen beträgt \ll 1%.

Untergeordnet: Schwammnadeln

Der hohe Karbonatgehalt in dieser großen Tiefe und der Erhaltungszustand der Foraminiferen sind deutliche Indikatoren dafür, daß es sich hier um typische Turbiditablagerungen handelt.

Station: 30 DK

Bei dem krustenunterlagernden Gestein handelt es sich wahrscheinlich um eine tektonische Breccie, bestehend aus rötlichen, blasigen Basaltbruchstücken, die durch karbonatisches Bindemittel verkittet sind.

Stationen: 39 GBHF ; 42 KH₁₀₀ (TOP)

Sedimenttyp: Diatomeenschlamm

Diatomeen: Anteil nahezu 100%. Nur vereinzelt Verwachsungen mit MMK.

MMK: Keine freien Knollen beobachtet.

Station: 42 KH₁₀₀ (Kernteufe ca. 0,5 m)

Sedimenttyp: fester, dunkelrot - brauner Ton

Station: 44 DK (1)

angewittertes, krustenunterlagerndes Festmaterial

Station: 44 DK (2)

weicher, schmieriger Kalkschlamm mit Krustenstücken durchsetzt

Stationen: 49 KH₁₀₀ (TOP) ; 50 GBHF

Sedimenttyp: foraminiferenhaltiger, brauner Tiefseeton

Foraminifera: Anteil ca. 60% ; davon sind nahezu alle stark zerstört und chemisch zersetzt. Übriggeblieben sind meist nur Globorotalia - Außenränder.

Auf den Innenseiten dieser Ränder befinden sich häufig feinste Mn (?) - Knospen.

Diatomeen: Anteil ca. 5-10% ; meist alle zerbrochen

Radiolaria: Anteil $<$ 1%

MMK: Der Anteil an freien Knollen beträgt ca. 1-2%.

Ton: 20-30% Anteil an Ton-Agglomerationen.

Untergeordnet: Fischzähnen

Außerdem sind ca. 3% derbe, abgerollte Calcit-Bruchstücke enthalten, die sowohl ganz als auch teilweise von einer feinen Mn-Kruste überzogen sind.

Station: 71 KH₁₀₀

Sedimenttyp: Globigerinenschlamm

Foraminifera: Anteil nahezu 100% ; davon ca. 95% zerstört. Hauptvertreter ist die Gattung Globigerina. Nur selten treten umgewandelte Exemplare auf, die mit feinen Mn-Knospen besetzt sind. Sonst weisen 30-40% stärkere Zersetzung auf, ohne mit Knöllchen behaftet zu sein.

Radiolaria und Diatomeen wurden nicht beobachtet.

Coccolithen: anteilmäßig mit ca. 1% vertreten

MMK: Der Anteil an freien Knollen beträgt << 1%.

Untergeordnet: Fischzähnen und Schwammnadeln

Unter dem Mikroskop konnten feine hexagonale Sterne beobachtet werden, die sich jedoch unter dem Einfluß von 2n Ameisensäure auflösten. Dies mag ein Hinweis auf eine calcitische Zusammensetzung dieser Sternchen sein.

Station: 82 GR₂₀₀

Sedimenttyp: Kalkschlamm

Foraminifera: Anteil nahezu 100% ; davon sind ca. 50-60% zerstört. Wachstum von Mn-Knospen auf den Schalen ist selten.

Radiolaria: Der Anteil beträgt << 1%.

Stationen: 101 GK ; 102 KH₁₀₀

Sedimenttyp: diatomeenhaltiger, rötlich - brauner Tiefseeton

Diatomeen: Anteil ca. 70-80% ; davon sind fast alle zerbrochen.

Radiolaria: Anteil ca. 20-30%. Nur wenige davon sind umgewandelt. Ebenfalls selten sind Mn-Knospen auf den Schalen.

MMK: Der Anteil an freien Knollen beträgt << 1%.

Stationen: 109 GK (TOP) ; 109 GK (BOT)

Sedimenttyp: radiolarienhaltiger, rötlich - brauner Tiefseeton

Radiolaria: Anteil ca. 60%. Der überwiegende Teil davon ist gut erhalten. Umwandlungen sind selten, ebenso Verwachsungen mit MMK.

Diatomeen: Anteil ca. 20%

Foraminifera: Anteil ca. 5-10% ; davon sind fast alle zerstört. Sehr selten sind Mn-Knospen auf den Innenflächen der Schalenreste.

MMK: Der Anteil an freien Knollen beträgt 1% ; z.T. sind auch Krustenbruchstücke enthalten.

Untergeordnet: Fischzähnen, Schwammnadeln, Ostracoden und Asbestfasern (?)

Analysenergebnisse

Station	Position	WT (m)	CaCO ₃ (%)	Wassergehalt (%)
3 GBHF	2°00'30"N/166°00'64"W	5345	22.0	68.4
6 GBHF	1°59'67"N/165°59'82"W	5356	20.0	77.7
7 GBHF	1°59'37"N/166°00'26"W	5350	20.2	75.0
8 GBHF	1°59'54"N/166°00'72"W	5345	21.2	72.5
9 KH ₁₀₀	1°59'72"N/166°00'56"W	5315	5.3	79.7
13 GBHF	8°55'78"N/164°33'28"W	4939	68.3	60.5
14 GBHF	8°56'46"N/164°34'03"W	4922	60.6	61.2
17 GBHF	8°58'67"N/164°36'30"W	4810	62.0	55.1
19 KH ₁₀₀	8°56'50"N/164°34'83"W	4930	57.7	58.1
30 DK	9°04'29"N/164°41'58"W bis 9°05'48"N/164°45'64"W	4632 3970	6.3	26.8
39 GBHF	13°02'37"N/165°06'93"W	4933	9.5	82.5
42 KH ₁₀₀ (TOP)	13°02'16"N/165°07'59"W	5130	7.3	85.0
42 KH ₁₀₀ (0.5 m)	13°02'16"N/165°07'59"W	5130	8.4	56.6
44 DK(1)	12°59'32"N/164°57'98"W bis 12°59'08"N/164°56'92"W	2070 2040	12.9	32.6
44 DK(2)	s.o.	s.o.	54.3	38.2
49 KH ₁₀₀ (TOP)	13°08'27"N/165°33'52"W	4710	26.0	55.6
50 GBHF	13°06'90"N/165°33'09"W	4774	18.3	58.6
71 KH ₁₀₀	19°25'14"N/171°10'97"W	2880	83.6	40.2
82 GR ₂₀₀	19°23'53"N/171°34'08"W	2560	90.6	44.2
101 GK	20°25'55"N/171°20'00"W	4660	1.9	60.7
102 KH ₁₀₀	20°26'72"N/171°19'77"W	4630	2.0	53.0
109 GK (TOP)	20°21'36"N/170°35'23"W	4250	13.6	60.7
109 GK (BOT)	20°21'36"N/170°35'23"W	4250	15.9	49.7

3. Bericht über Bordanalytik mittels RFA (Mn, Fe, Co, Ni und Cu)

P. Otten (Universität Bremen)

Die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ist bei der Untersuchung von Manganknollen und -krusten die an Bord von Forschungsschiffen übliche Untersuchungsmethode, die zu schnellen, für die Fahrtplanung und die Diskussion notwendigen Angaben über die quantitativen Elementbestandteile verhilft. Aufgrund der zumeist einfachen Ausführung der dafür an Bord eingesetzten Anlagen sind die Routineuntersuchungen auf die Wertmetalle Mangan, Eisen, Kupfer, Kobalt und Nickel gegebenenfalls noch auf Blei, Zink, Vanadium und Titan ausdehnbar; für die Analyse von Sedimenten und Gestein, die als Kern oder Substrat von Knollen und Krusten auftreten, sind die apparativen Voraussetzungen jedoch selten gegeben. Selbst wenn solche vorhanden wären, müßte doch die Röntgenphasenanalyse bei diesen Objekten und bei genetischer Fragestellung als die Untersuchungsmethode erster Wahl angesehen werden. Dem geplanten Einsatz eines Röntgenpulverdiffraktometers neben der RFA während der SO 18 lag eine Hypothese zugrunde, die den Bordbetrieb zusätzlich begründete: es besteht Anlaß anzunehmen, daß einige der beschriebenen Mineralphasen von Manganknollen (s. hierzu: R. Giovanoli u. R. Hypolito: *Cristaloquímica dos minerais de Mn supergenos*, Manuskript, 1978; R.G. Burns u. V.M. Burns: *Mineralogy of ferromanganese nodules*; in Glasby: *Marine manganese deposits*, 1977; Akira Usui: *Mineralogical study of marine manganese nodules* Tokio, 1979) Modifikationen von in situ-Phasen sind. Dem sollte durch eine rasche Analyse frischer und nasser Proben nachgegangen werden.

(1) Arbeiten zur Installation der Röntgenbeugungsapparatur

Geplant war ein wechselweiser Betrieb von RFA und Röntgendiffraktion unter beidseitiger Nutzung des an Bord vorhandenen Hochspannungsgenerators. Eine aufgrund ihrer Technologie für diesen Zweck geeignete Anlage wurde mir von Frau Prof. Ida Valetton vom Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg dankenswerterweise zur Verfügung gestellt. Diese Anlage, die aus einem Meßschrank PW 1051, einem Diffraktometer PW 1050, der Tischplatte, der Röhrenschutzhaube und dem Hochspannungskabel eines Hochspannungs-

generators Müller Mikro 111 sowie diversem Zubehör bestand, wurde von mir fristgerecht zur Verschiffung angeliefert.

Im Hinblick auf die für die Aufstellung und Adaptation des Geräts an Bord notwendige Zeit war der Arbeitsbeginn ab Wellington geplant. Probleme bei der Beschaffung einer Mo-Röntgenröhre und eines zusätzlichen Szintillationszählers wurden vor dem Abflug gelöst. Bei meiner Ankunft am 3.6. in Wellington befand sich das Schiff noch im Trockendock. Die im Container verschifften Geräte, die bei einer Spedition gelagert waren, konnten nicht vor dem 5.6. an Bord genommen werden. Mithilfe des Agenten gelang es mir, die Generator-Tischplatte ausgehändigt zu bekommen und bei einer Werkstatt in Wellington ein einfaches Tischgestell hierfür in Auftrag zu geben.

Bei der Übernahme der Geräte am Nachmittag des 5.6. wurde auch dieses Tischgestell angeliefert. Während die Tischplatte, der Meßschrank sowie Hochspannungskabel, Röhrenschutzhaube und Zubehör bald unter den an Bord genommenen Kisten gefunden werden konnten, blieb das Diffraktometer unauffindbar. Da der Agent jedoch sicher war, die Kiste nach dem Pfingstwochenende aufzufinden, wurde eine Nachsendung per Luftfracht nach Apia vereinbart.

An Bord wurde während des ersten Reiseabschnitts die Röntgenbeugungsanlage im Geochemielabor neben der RFA bis auf das Goniometer vollständig und seefest aufgebaut. Am 9.6. teilte der Agent aus Wellington per Telex mit, daß die Kiste mit dem Goniometer gefunden und am 10.6. per Luftfracht nach Apia nachgesandt werde.

Bei der Ankunft in Apia war die Kiste noch nicht eingetroffen. Eine Nachfrage in Wellington, die aufgrund des Wochenendes erst am Vormittag des 14.6. möglich war, erbrachte, daß die Sendung erst später und mit einer anderen Luftfahrtgesellschaft verfrachtet worden war und am Abend des 12.6. hätte eintreffen müssen. Da die Transportabteilung des Flughafens Apia am 14.6., einem Sonntag geschlossen war, hätte das Goniometer erst am Morgen des 15.6. abgeholt werden können, falls es angekommen war. Es war die Entscheidung des Fahrtleiters und des Kapitäns, den vorgesehenen Abfahrts-termin 14.6., 14.00 Uhr, aus diesem Grunde nicht zu verschieben.

Diese Entwicklung bedauere ich sehr, da sie mir unmöglich machte, meiner eigentlichen wissenschaftlichen Aufgabe nachzugehen. Nachträglich muß ich feststellen, daß eine solche Apparatur, bei deren Betrieb an Bord ebenso wenig Probleme auftreten dürften wie bei der RFA, nicht nur für die engere Fragestellung der Mangan-Phasen geeignet wäre, sondern darüberhinaus bei der Phasenbestimmung von Gestein für die mineralogische Ansprache hätte eingesetzt werden können.

Um eine Untersuchung der ursprünglichen Fragestellung zumindest nachträglich zuhause zu ermöglichen, wurden Parallelproben genommen, mit Seewasser eingeschweißt und im Kühlraum gelagert, um gekühlt nach Deutschland transportiert zu werden. Diese Proben sind inzwischen in Hamburg angekommen.

(2) Arbeiten zur RFA-Anlage

An Bord der "Sonne" befindet sich im Geochemielabor eine seefest installierte Röntgenfluoreszenzanlage. Diese Philips-Anlage besteht aus einem Generator PW 1120/90, einem Spektrograph PW 1540 (enthaltend Goniometer PW 1050) sowie einem Meßschrank PW 1352 mit neun Einheiten inklusive eines Schreibers. Der Kühlwasserkreislauf der Au-Röntgenröhre ist geschlossen und läuft über einen Kühlblock der Firma Alfa-Laval, der eine Umwälzpumpe sowie ein Kühlaggregat mit Ventilator enthält.

Die Anlage war nicht in betriebsfähigem Zustand. Für die Inbetriebnahme und die Justage der Anlage waren mehrtägige Arbeiten erforderlich. Der schlechte Zustand der Anlage hat meines Erachtens mehrere Ursachen:

- Die Anlage ist veraltet.
- Die Anlage ist seit längerer Zeit nicht gewartet worden.
- Es fehlen wichtige Ersatz- und Verbrauchsteile.
- Früheren Betreibern waren die zur Funktionsoptimierung notwendigen mechanischen und strahlungsseitigen Maßnahmen nicht hinreichend geläufig.

Die Anlage ist nach meiner Kenntnis von der Metallgesellschaft als ausrangiertes Gerät an Bord gebracht worden. Weder die Schiffsführung noch die Reederei oder die Preußag-Techniker fühlen sich für das Gerät zuständig. Es war mir deshalb auch beispielsweise nicht möglich, in Deutschland sämtliche für meine Aufgabe erforderlichen apparativen Detailangaben zu bekommen.

Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:

- a) elektrischer Anschluß des Kühlblocks. Erneuerung sämtlicher Schlauchleitungen. Reinigen der Filter. Verlegung des Kühlblocks aus dem Labor in die "Kegelbahn", da bei Betrieb im Labor bei laufender Klimaanlage eine Temperatur von 45° C in der Nähe der Anlage entstand.
- b) Reinigung und Wartung des Meßschranks, insbesondere der Schreibereinheit. Langwierige Basteleien von Schreibfeder- und Tintenfaßersatz mangels Ersatzteilen.
- c) Zerlegung, Reinigung, Instandsetzung und Zusammenbau des stark kontaminierten und funktionsunfähigen Probenwechslers. Reinigung der Röntgenröhre.
- d) Einstellen von Zählrohrspannung, Schwell- und Fensterwert entsprechender Meßreihen.
- e) Justage von Analysatorkristall und Zählrohr. Ein Fehler von $1,5^{\circ}$ (!) 2θ wurde beseitigt. Gleichzeitig wurde die Impulsrate durch die Justierung um den Faktor 2 gesteigert.

Die Anlage wäre in diesem Zustand optimal eingestellt - soweit die ausgeschlagene und angerostete Winkelmechanik dieses erlaubt -, wenn nicht hätte festgestellt werden müssen, daß das Szintillationszählrohr nur noch etwa 30 % seiner Leistungsfähigkeit hat. Dies liegt vermutlich in der üblichen Zersetzung des NaJ-Kristalls begründet. Ein Messen war auch nur möglich, indem das Zählrohr stark gegen den Austrittsstrahl verkippt wurde, so daß - entsprechend dieser Vermutung - größere intakte Bereiche des Kristalls getroffen wurden. Um das Gerät in einen betriebsfähigen Zustand zu bringen, ist die Beschaffung eines Photomultiplier-Rohrs mit Szintillationskristall, M305HD 2 1/2 der Fa. Harshaw über die Fa. Philips zum Einsatz im Szintillationszähler PW 1964/60 erforderlich. Es wäre sinnvoll, ein zweites Ersatzrohr anzuschaffen. Darüberhinaus ist die Anschaffung eines Servicekastens (Federn, Tintenfässer, Kapillaren, Tinte etc.) für den Schreiber PR 2262A, sowie von zusätzlich 10 Probenbehältern für den Spektrographen PW 1050/25 erforderlich.

An Verbrauchsmaterial ist Mylarfolie in ausreichendem Umfang vorhanden; nur geringe Mengen sind jedoch noch vorhanden von

- Rollen Schreibpapier für den o.g. Schreiber
- Rollen Schreibpapier für den Drucker Victor Digitmatic
- Farbband für den Drucker.

Dank einer ganztägigen Aufräumaktion im Chemiestore, die von der Schiffsleitung energisch unterstützt wurde, konnte ich alles weit verstreute Zubehör für das RFA-Gerät wieder sammeln und in zwei Labor-Unterschränken ordnen:

- sämtliche apparativen Unterlagen, nunmehr in einem Ordner zusammengefaßt
- eine große Zahl naßchemisch analysierter Proben zur Verwendung als Eichstandards und Unterlagen dazu
- Mylarfolie, Schreibrollen und Schreiberzubehör sowie Probenbehälter.

Weitere, zum Teil hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit dubiose Ersatzteile wurden in einem Teil des Store-Schranks geordnet. Dazu zählt auch eine Cr-Röhre. Ich würde allerdings - im Hinblick auf die Energiedifferenz - bei Ausfall der jetzigen Au-Röhre den Ersatz durch eine noch zu beschaffende Au-Röhre vorziehen.

Die Anlage ist nach diesen Ergänzungen vom Stande ihrer Technologie gesehen einsatzfähig. Verglichen mit modernen Maschinen ist jedoch der zu ihrem Betrieb notwendige Arbeitsaufwand nicht nur im Hinblick auf ihren geringen Probendurchsatz, sondern besonders im Hinblick auf die erreichte Genauigkeit völlig unverträglich. Mit einem Spektrographen der heutigen Generation mit Rechnerzusatz kann bei gleichem Arbeitsaufwand die Probenzahl um den Faktor 5, die Meßgenauigkeit in gleicher Größenordnung gesteigert werden.

(3) Analysenablauf

Die Probennahme wurde baldmöglich nach Abschluß einer Freifallgreifer-, Dredge- oder Lotoperation gemeinsam mit dem Fahrtleiter vorgenommen. Dabei wurden einerseits gezielt Krustenteile beprobt, andererseits repräsentative Gesamtproben genommen.

Die Proben-Präparation bestand in einem mindestens 12-stündigen Trocknen bei 105° C und einem anschließenden drei-minütigen Mahlen in einer Scheibenschwingmühle der Fa. Siebtechnik GmbH. Die abschließende Präparation erfolgte durch Einfüllen des homogenisierten Mahlguts in die Probenbecher auf die Mylarfolie bis zu ausreichender Schichtdicke. Versuche mit verschiedenartigem Aufstoßen derart präparierter Proben führten zu unterschiedlichen Zählraten bei gleicher Probe. Ich halte die übliche Präparation durch Pressen

für geeigneter, reproduzierbare Verhältnisse herzustellen.

Die von den bisherigen Betreibern empfohlene Meßroutine, die das Abfahren aller Winkel für je eine Probe vorsieht, ist im Hinblick auf die Fehler bei der Winkellagen-Reproduktion ungünstig. Es wurde deshalb in batches von vier im Probenwechsler eingeführten Proben ein Winkel unverändert durchgemessen. Bei Anschaffung weiterer Probenbecher ist diese Technik ausbaubar.

Außer den Linien von Mn, Fe, Cu, Co und Ni wurde die Au-Linie vermessen, um eine Elimination von Matrixeffekten zu ermöglichen.

Auswertung: Mit jeder Meßserie wurden 6 ausgewählte Standards gemessen und mithilfe der bekannten Konzentrationen Eichkurven für die analysierten Elemente erstellt. Dabei zeigte sich ein starker Gang der Werte, der von mir auf den sich verschlechternden Szintillationszähler zurückgeführt wird. Durch die ständige Kontrolle mithilfe der Standards sowie durch die Kontrolle der Winkellagen konnte jedoch eine den Verhältnissen entsprechende gute Meßgenauigkeit erreicht werden.

Bei der Messung von Kobalt, dessen $K\alpha$ -Linie derart im Tailing der Fe $K\beta$ -Linie liegt, daß nur die graphische Auswertung einer winkelabhängigen Impulsaufzeichnung möglich ist, traten aufgrund der hohen Co-Gehalte besondere Probleme auf. Da hier nur Standards mit Kobaltgehalten bis 0,27 % und keine Co-Substanz zur Herstellung künstlicher Standards zur Verfügung standen, ist die Angabe der Co-Werte mit einem Fehler von ± 17 % behaftet.

Bei allen Messungen wurde die gemessene Impulsrate (Meßdauer 20 sec., bei Fe und Mn 10 sec., Mittelwertbildung aus drei Messungen) durch die Impulsrate der Au- $L\alpha_1$ -Linie dividiert.

Ein Auswertungsprogramm namens Regan, das im bordeigenen Systems-Computer implementiert ist, konnte mangels Programmbeschreibung und aufgrund unzugänglicher Unterprogramme nicht hinreichend analysiert werden. Versuche zur Adaptation des Programms mußten aus Zeitmangel abgebrochen werden.

(4) Ergebnisse

Es wurden 61 Einzelproben auf die Gewichtsanteile von Mn, Fe, Co, Ni, Cu analysiert. Die Ergebnisse der Analysen sind mit Angaben der Stationen und Geräte in der Anlage 4.1 aufgelistet. Sämtliche Proben wurden inzwischen im Labor in Clausthal nachgemessen. Die in Anlage 4.1 angegebenen Daten sind

die korrigierten Werte. Im allgemeinen war die Übereinstimmung mit Ausnahme der Fe-Werte sehr gut.

Charakteristisch für alle Proben sind relativ hohe Kobaltgehalte. Eine Häufung tritt im Bereich von 0,4 bis 0,8 % auf, höhere Anteile sind nicht selten, der höchste gefundene Wert liegt bei 1,9 %. Neben den Kobaltgehalten sind drei Korrelationen signifikant. Bei der Untersuchung der Korrelation zwischen Kobalt und den anderen Elementen läßt sich feststellen, daß hohe Kobaltgehalte mit hohen Mangangehalten korrespondieren. Desgleichen ist eine Abnahme des Kupfergehaltes mit steigendem Kobaltgehalt beobachtbar. Die schon von Cronan angegebene Zunahme der Co-Gehalte der Krusten mit abnehmender Wassertiefe konnte als ebenfalls signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

Die relativ große Breite der Metallgehalte von Proben einer Station ist Folge der gezielten Probennahme an unterschiedlichen Teilen der Krusten und Knollen. Gewöhnlich waren die äußeren Lagen kobaltreicher. Oft saßen die oberen Schichten relativ deutlich getrennt auf den unteren Manganschichten, die zuweilen große Sprödigkeit, muscheligen Bruch und Glasglanz besaßen und als Arbeitsbezeichnung den "Anthrazit" bekamen. Diese Anteile wiesen deutlich geringere Eisen- und etwas erhöhte Nickelanteile auf (z.B. Probennummer 26, 39, 47, 58). Basalt, Saponit, Serpentin konnten u.a. als Substrate bzw. Bestandteile angesprochen, jedoch ebenso wie viele Einzelminerale mangels zureichender mineralogischer Hilfsmittel nicht an Bord verifiziert werden.

4. Bericht der Arbeitsgruppe BGR - Hannover

H. Gundlach, V. Marchig und H. Rask

An der Fahrt SO 18 nahm eine Gruppe aus der BGR teil (Dr. H. GÜNDLACH, FRAU Dr. V. MARCHIG, FRAU H. RASK). Das Ziel dieser Gruppe war, einen geochemischen Beitrag zum Thema der Fahrt zu leisten.

Unsere Arbeiten galten im einzelnen folgenden Problemen:

1. Lassen sich die in der Literatur beschriebenen hohen Kobalt-Gehalte in Krusten und Knollen bestätigen und auch in den Sedimenten auffinden, und kann eine Erklärung dafür gegeben werden?
2. Gibt es im Untersuchungsgebiet echte (hydrothermale) metalliferous sediments? Wenn ja, wie ist ihre Zusammensetzung?
3. Gibt es weitere Hinweise auf hydrothermale Aktivität, z.B. in Krusten, Knollen oder Gesteinen?
4. Gibt es im Bereich geringer Sedimentationsraten diagenetisch gebildete metalliferous sediments und wie ist ihre Zusammensetzung?
5. Welche Unterschiede gibt es bei den Sedimenten zu solchen aus anderen Bereichen, z.B. dem Knollengürtel SE Hawaii?

Zur Bearbeitung dieser Fragen wurden an Bord folgende Arbeiten ausgeführt:

1. Probenahme von Sedimentprofilen mittels Kastengreifer.
2. Messungen von Temperatur, pH und Eh im Sedimentprofil.
3. Entnahme von Proben zu folgender Bearbeitung:
 - a. Abtrennung des Porenwassers zur Analyse
 - b. Korngrößentrennung des Sediments (größer und kleiner als $63 \mu m$)
4. Schnellansprache der Sedimente durch mikroskopische Betrachtung der Grobfraction

(Im Heimatlabor folgen: Vollanalyse der Feinfraction - Trennung der Grobfraction im Magnetscheider und Analyse der Teilfraktionen - Analyse des Porenwassers (durch A. PRANGE, Univ. Hamburg).

4. Probenahme von Dredgen in Gebieten verschiedener Wassertiefe: Entnahme von Proben aller jeweils gedredgter Materialien (Krusten, Gestein, ggfs. Knollen.

(Im Heimatlabor folgen: Präparation reiner Materials zur Analyse - möglichst vollständige Analyse)

In allen Fällen erfolgt Austausch von Material und Untersuchungsergebnissen mit den anderen beteiligten Gruppen.

Bechreibung der Arbeiten

1. Probenahme mit dem Kastengreifer

Der an Bord befindliche Kastengreifer war unvollständig und konnte mit Bordmitteln nicht komplettiert werden. Daher wurde zunächst ein auf 1 m Länge gekürztes Kastenlot benutzt. Das Handling dieses Geräts erwies sich als umständlicher als das eines normalen Kastengreifers, ferner gelang bei der Probenahme selten die Gewinnung einer völlig ungestörten Sedimentoberfläche, da das Gerät meist zu tief ins Sediment eindrang und dadurch die Oberfläche im Kopf des Geräts zerstört wurde. - Durch Vermittlung von Herrn Dr. Frank T. Manheim, USGS, Woods Hole, Mass., USA, konnte bei Johnston Island ein Kastengreifer der Hawaiian University leihweise übernommen werden. Dieser war offenbar nicht gut geeignet zur Probenahme in großen Wassertiefen und lieferte erst nach einigen Änderungen zufriedenstellende Sedimentkerne. Zudem hatte er den Nachteil, nicht seitlich aufschraubbar zu sein, es ließen sich daher keine Messungen im Sediment ausführen.

2. Messungen und Beprobung im Kastengreifer

Sofort nach Eintreffen an Bord wurden zur möglichst weitgehenden Erhaltung der in-situ-Bedingungen Liner-Rohre in das Sediment gestoßen und damit die Proben zur weiteren Bearbeitung des Sediments entnommen. Im Sediment wurden dann sofort Temperatur, Eh und pH in Abhängigkeit von der Tiefe mit entsprechenden Geräten gemessen.

3. Probenbearbeitung

a. Aus dem Liner wurden Proben aus verschiedenen Tiefen entnommen und in Zentrifugengläser gefüllt. Bei 4000 Umdrehungen/min. wurden sie in der Kühlzentrifuge zentrifugiert. Das abgetrennte Porenwasser wurde abgezogen, durch Membranfilter ($0,45 \mu\text{m}$) filtriert und zur chemischen Analyse Herrn PRANGE übergeben.

b. Das zurückbleibende Sediment wurde mit destilliertem Wasser naß gesiebt ($63 \mu\text{m}$) und die Grobfraction aus dem Sieb in eine Schale zum Trocknen gespült. Ein kleiner Teil wurde zur mikroskopischen Schnellansprache des Sediments benutzt (Radiolarien, Foraminiferen, Verwitterungsminerale, Mikroknollen usw.). Die Suspension der Feinfraction wurde nach Absitzen und Abgießen in einer Schale im Trockenschrank eingetrocknet und gewogen.

c. Die getrockneten Grob- und Feinfractionen wurden verpackt zur Analyse im Heimatlabor.

Beispiel einer Analyse an Bord

Probe 42 KH 100

Teufe cm	Temp. ° C	Eh mV	pH	Teufe cm	Grobfr. g	Feinfraktion g
0 - 5	2,1	123	7,24	0 - 10	6,91	11,70
5 - 15	2,7	145	7,25	10 - 20	5,48	12,23
15 - 25	1,7	140	7,25	20 - 32	5,31	22,68
25 - 35	1,9	140	7,25			
35 - 45	1,3	190	7,25	32 - 40	5,96	59,56
45 - 55	1,3	217	7,20			

Anmerkungen:

Teufe: Bei Betrachtung des Liners ergab sich bei 32 cm ein Wechsel zu dunklerer (brauner) Farbe. Möglicherweise liegt ab 32 cm ein diagenetisch entstandenes metalliferous sediment vor. Die Beprobung des Liners zur Korngrößentrennung wurde daher dieser Grenze angepasst.

Temp eratur: Ab 15 cm ist bis zur Messung noch keine nennenswerte Erwärmung eingetreten (Wassertemperatur nach Bathysonde 1,29°). Demnach müßten alle Werte recht zuverlässig sein.

Eh: Der Sprung bei 35 cm entspricht der Beobachtung des braunen Sediments ab 32 cm. Das braune Sediment ist offenbar höher oxidiert als das darüberlagernde Oberflächensediment (gelb).

pH: Auf der gesamten Meßstrecke keinen nennenswerte Schwankung.

Grob- und Feinfraktion: Die Gehalte der Feinfraktion nehmen zur Teufe stark zu, bzw. die Anteile der Grobfraktion nehmen ab. Zur Veröffentlichung werden solche Werte stets umgerechnet auf % des Gesamtsediments angegeben. Es ergibt sich hier eine relative Abnahme der Grobfraktion von etwa 37 % auf etwa 9 %.

Umfang der Probenahme

Die Probenahme von Sedimenten konnte vor allem in Tallagen ausgeführt werden, da dort Sediment immer vorhanden war (Echolot). Höher gelegene Ebenen waren oft von einem festen kalkigen Sediment bedeckt (oberhalb der CCD), dort gelang die Probenahme nicht immer. Wir erwarteten in Tiefseepassagen Sedimente mit geringen Sedimentationsraten. Wir fanden dort jedoch praktisch kein Sediment vor, d.h. die Sedimentationsrate war nicht gering, sondern 0 (null), d.h. die Strömungen verhinderten eine Sedimentation.

Insgesamt konnten nicht so viele Sedimentproben genommen werden, wie geplant, da die beschriebenen Einschränkungen der Geräte eine erfolgreiche Beprobung fester und zäher Sedimente nicht immer zuließ.

4. Proben aus Dredge und Freifallgreifer

Alle typischen Materialien aus Dredge und Freifallgreifern wurden in jeweils mehreren Exemplaren in Polyäthylenfolie eingeschweißt zur Untersuchung im Heimatlabor.

Ein Teil der Proben wurde vorher makroskopisch und z.T. auch mikroskopisch an Bord betrachtet. Bei der Betrachtung ergaben sich eine Reihe von Hinweisen auf mögliche hydrothermale und/oder metasomatische Aktivitäten im Untersuchungsgebiet. Diesem Problem wird in Zusammenarbeit mit anderen beteiligten Gruppen im Heimatlabor besonders intensiv nachgegangen werden. Ferner wurden sowohl in Gesteinen wie auch in der Grobfraction der Sedimente Minerale (z.B. Chrysotil) gefunden, die auf metamorphe Vorgänge hindeuten. Auch diesem Problem wird im Heimatlabor nachgegangen werden.

Dr. RIEMANN fand auf Krusten lebende Foraminiferen, in deren Schale Fäkal-Pellets auftraten, deren Untersuchung neben Mn besonders Gehalte an Cu und Zn ergab. Inwieweit der Stoffumsatz derartiger Lebewesen einen Beitrag zum Wachstum von Krusten und Knollen liefern kann, ist bisher unklar. Wir hoffen, daß eine Zusammenarbeit mit Herrn Riemann Erkenntnisse bringt, die die Bedeutung biologischer Einflüsse auf die Bildung von Krusten und Knollen aufhellen.

5. Erprobung neuer Methoden

Der Plan der Midpac-Fahrt enthielt längere Fahrtabschnitte zwischen den einzelnen Lokationen. In dieser Zeit war nicht mit neuen Proben zu rechnen. Diese ^{Proben} planten wir ein und benutzten sie zu einem systematischen Test methodischer Neuentwicklungen unter Schiffsbedingungen. Diese Methoden sollten die Bearbeitung von Sedimentproben besser, schneller und sauberer gestalten. Die Notwendigkeit, rasch und dennoch mit größter Exaktheit zu arbeiten ergibt sich aus den Anforderungen, die bei systematischer Probenahme in geschlossenen Gebieten zustellen sind. Das Ergebnis war: Bei dem im Folgenden Beschriebenen Vorgehen ist die vollständige Bordbearbeitung eines Kastengreifers in weniger als zwei Stunden durch eine Person durchführbar - Mit dem klassischen Auspressen usw. waren 4 - 6 Stunden erforderlich.

Arbeitsgänge:

1. Liner in den geöffneten Kastengreifer stoßen
2. Messungen im aufgeschraubten Kastengreifer
3. Auspressen des Porenwassers (Kühlzentrifuge), Filtration
4. Korngrößentrennung: Naßsiebung der Grobfraction, Auffangen der Feinfraction; Trocknen.

Das Absitzen der Feinfraktion erwies sich als durch die Vibration des Schiffes nicht behindert.

Ein wichtiger Schritt zur Beschleunigung und Vereinfachung des Verfahrens sind die von uns erstmals an Bord benutzten neuentwickelten Zentrifugengläser mit herausnehmbarem Teflonboden (H. RASK: Meldung an den Bewertungsausschuß für Verbesserungsvorschläge im BMWi, und in Druckvorbereitung). Bei diesen Zentrifugengläsern läßt sich nach dem Abziehen des Porenwassers und Abnahme des Bodens des Zentrifugenglases der Inhalt des Glases mit einem Teflonstempel herausdrücken. Dies erspart Zeit und verhindert Kontaminationsgefahr beim Herauskratzen der Substanz im Zentrifugenglas.

Zusammenfassung

Sämtliche Sedimentkerne wurden an Bord untersucht und zur Analyse im Heimatlabor aufbereitet (vgl. Übersicht über die gefahrenen Stationen). Mängel an den Probenahmegeräten ließen die Zahl der genommenen Proben geringer ausfallen, als geplant.

Das Material aus Dredgen, überwiegend Krusten, ist wesentlich umfangreicher, als erwartet. Es wurde nach Betrachtung zur Analyse im Heimatlabor verpackt.

Die Methode der Sedimentuntersuchung und -ⁿanalysevorbereitung wurde wesentlich verbessert. Im Routinebetrieb können Bordmessungen, Porenwasserabtrennung und Korngrößentrennung aus einem Kastengreifer durch eine Person in weniger als zwei Stunden ausgeführt werden.

5. Bericht der Arbeitsgruppe Hamburg - Geesthacht

A. Prange, R. Makhraban, R. Marten und H. Schneider

Im Rahmen des vom BMFT geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens "Spurenanalytische Verbundverfahren und Tracer-Studien im Meerwasser und Luftstaub" wird u.a. auf der Basis der Röntgenfluoreszenzanalyse mit totalreflektierendem Probenträger ein auch an Bord von Forschungsschiffen einsetzbares Analyseverfahren zur Bestimmung von Elementspuren im Meerwasser (Ästuarien, Küstengewässer und offene Ozeane) entwickelt.

Entsprechend den Zielsetzungen des Förderprogrammes sollte im Rahmen der Entwicklungen des Verfahrens auch der prototypische Einsatz unter Bordbedingungen demonstriert werden.

Im Einzelnen wurden während dieser Forschungsreise mit F.S. "Sonne" Arbeiten durchgeführt mit den Zielen

- Probennahme von Meerwasser aus verschiedenen Wassertiefen mit Hilfe von Wasserschöpfer-Ketten (TPN-Kette)
- Vergleich der Leistungsfähigkeit von Probennahmen-Systemen im Hinblick auf Betriebssicherheit und Kontaminationsrisiko. Zum Einsatz gelangten dabei
 - - 12 coc-TPN-Schöpfer (Hydrobios, Kiel)
 - - 1 Go-Flo-Schöpfer (Fa. Oceanics, Miami)
 - - 1 PTFE-Schöpfer (Eigenbau IfM Kiel)
 - - Peristaltikpumpe mit armiertem Probennahme-Schlauch aus PTFE
 - - Probennahme von Oberflächenwasser mit Polyäthylenglasflaschen vom Schlauchboot aus.
- Probenlagerung für Analysen im Heimatlabor und Vergleichsanalysen mit anderen Methoden.
- Überprüfung der Standfestigkeit der mitgeführten Laborausrüstung auf See, insbesondere der speziellen Röntgenfluoreszenzanlage

- Charakterisierung des Analysenverfahrens unter besonderer Berücksichtigung
 - - geringer Elementspurengehalte
 - - Blindwerte
 - - Reproduzierbarkeiten
- sowie Analysen von Meerwasserproben

- Analysen von "Begleitstoffen" wie Phosphat, Silikat, Salzgehalt und Temperaturen in den verschiedenen Wassertiefen zur späteren Korrelation mit den Analyseergebnissen der Elementspurengehalte

- Bereitstellung der Analysenmethode für analytische Fragestellungen anderer Arbeitsgruppen an Bord, insbesondere für Analysen von Krusten, Knollen und biologischem Material.

Es wurden auf 10 Stationen etwa 300 verschiedene Meerwasserproben abgefüllt und nach den oben genannten Zielen bearbeitet. Insgesamt wurden 477 Röntgenfluoreszenzmessungen, die sich auf Blindwertbestimmungen, Reproduzierbarkeitsuntersuchungen, Eichmessungen, Meerwasserproben, Krusten und Knollen bezogen, durchgeführt, sowie 56 Salzgehaltsbestimmungen und je 58 Phosphat-beziehungsweise Silikatbestimmungen. Für Schwermetallbestimmungen im Heimatlabor wurden 100 Meerwasserproben, 6 Porenwasserproben, die uns die Geochemiegruppe der BGR geliefert hat, sowie 25 Feststoffproben von bereits gemahlene Krusten und Knollen gelagert.

Schon während des ersten Fahrtabschnittes von Wellington nach Apia bewiesen sämtliche Laboreinrichtungen bei Windstärken bis zu zehn ihre Seetauglichkeit. Nennenswerte Störungen an unseren Geräten, außer einer Anschlußschwierigkeit des Röntgen-generators beim Umstellen des elektrischen Netzes von Land-auf Bordbetrieb, gab es während der gesamten Reise nicht.

Problematisch war jedoch zunächst die Probennahme, da die von der PREUSSAG (Betrieb Berkhöpen) versandte Pfaff-Winde nicht betriebsfähig war. Obwohl und noch in Deutschland versichert wurde, daß die Winde nach durchgeführtem Umbau (Auslegung auf

5000 m 6 mm Kevlar-Seil) einsatzbereit sei, mußten hier an Bord durch die Herren Brandt und Krüger umfangreiche Umbauarbeiten durchgeführt werden, wie

- Versetzen der Trommelbacken (sie schleifen an der Kupplung)
- Änderung des Spulgeschirrs (Spindel und Führungswagen)
- Umsetzen des Motors
- Einbau einer neuen Antriebswelle etc.,

die es schließlich nicht mehr ermöglichten, die vorgesehenen Teststationen im ersten Fahrtabschnitt durchzuführen. Auch der mitgelieferte Abgangsblock bedurfte einiger Nacharbeitungen.

In dem zweiten Fahrtabschnitt konnte dann mit der Wasserprobennahme begonnen werden. Sie erfolgte im wesentlichen mit speziell ausgerüsteten TPN-Wasserschöpfern der Firma Hydrobios. Das Besondere dieser Schöpfer besteht in der Möglichkeit, sie geschlossen durch die "dreckige" Wasseroberfläche fahren zu können (coc-Typ: closed-open-closed). Bei ca. 15 m öffnet der Schöpfer und wird weiter offen durch die Wassersäule gefiert. An entsprechender Tiefe wird er durch Fallgewichte ausgelöst geschlossen. Störungen gab es durch gelegentliches Versagen des Auslösemechanismus zweier TPN-Schöpfer. Sonst aber funktionierten alle eingesetzten Probennahmesysteme einwandfrei. Nennenswerte Verluste traten nicht auf.

Die Weiterverarbeitung der Wasserproben geschah in clean benches. Aus je einem Schöpfer wurden die Einzelproben für Salzgehalts-, Phosphat-, Silikat- und Elementspurenbestimmung abgefüllt. Für Analysen im Heimatlabor wurden jeweils eine 500 ml-Probe in gereinigte Polyäthylenflaschen abgefüllt, mit HCL Suprapur auf pH 1,7 angesäuert und bei + 4° C im Dunklen gelagert.

Die "Begleitstoffanalysen" für Phosphat, Silikat und Salzgehalt wurden baldmöglichst nach dem Abfüllen der einzelnen Proben durchgeführt und waren ohne Probleme.

Schwierigkeiten traten jedoch bei der Bestimmung der Elementspuren im Meerwasser auf. Kontaminationsprobleme,

insbesondere von Zink und Eisen sowie relativ schlechte Reproduzierbarkeiten der Analysenergebnisse aus Meerwasser und einigen Blindwerten machten sichere Aussagen über Elementgehalte von Mn, Fe, Co, Ni, Cu, und Zn direkt an Bord nicht möglich. Hier bleibt im Heimatlabor abzuklären, ob Laborbedingungen des Schiffes, wie z.B. die Lüftung, oder aber der chemische Aufarbeitungsschritt die Ursache der Kontamination sein können. Ausführliche Blindwertuntersuchungen aller eingesetzten Chemikalien, die Probenträger und Probenaufbringvorrichtungen führten hier an Bord zu keinem konkreten Anhaltspunkt.

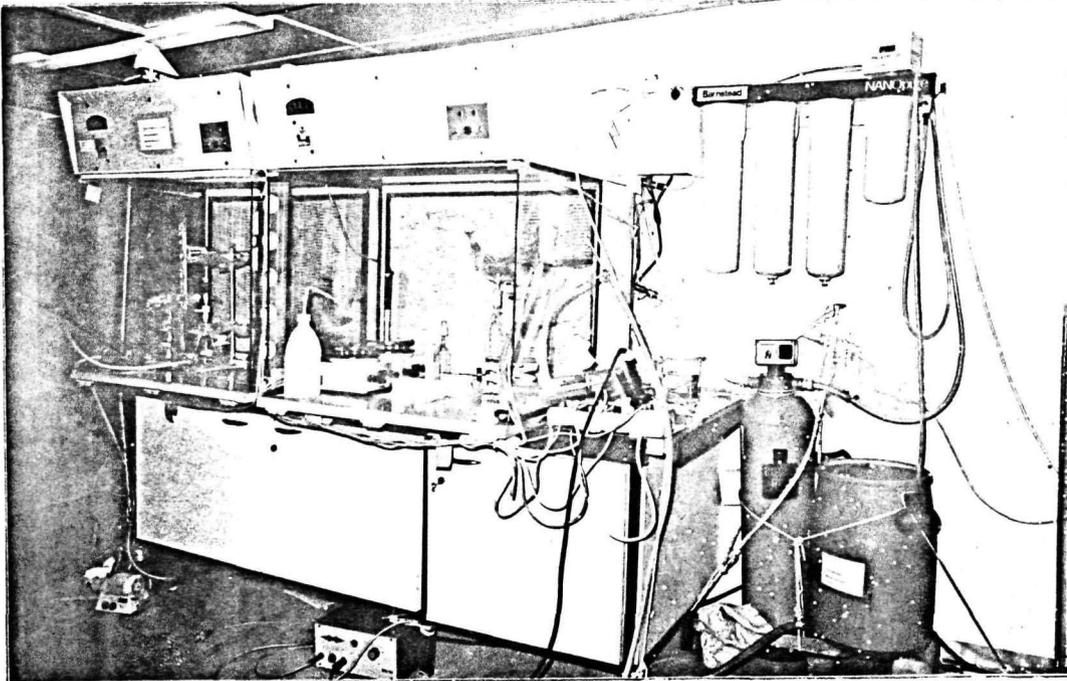
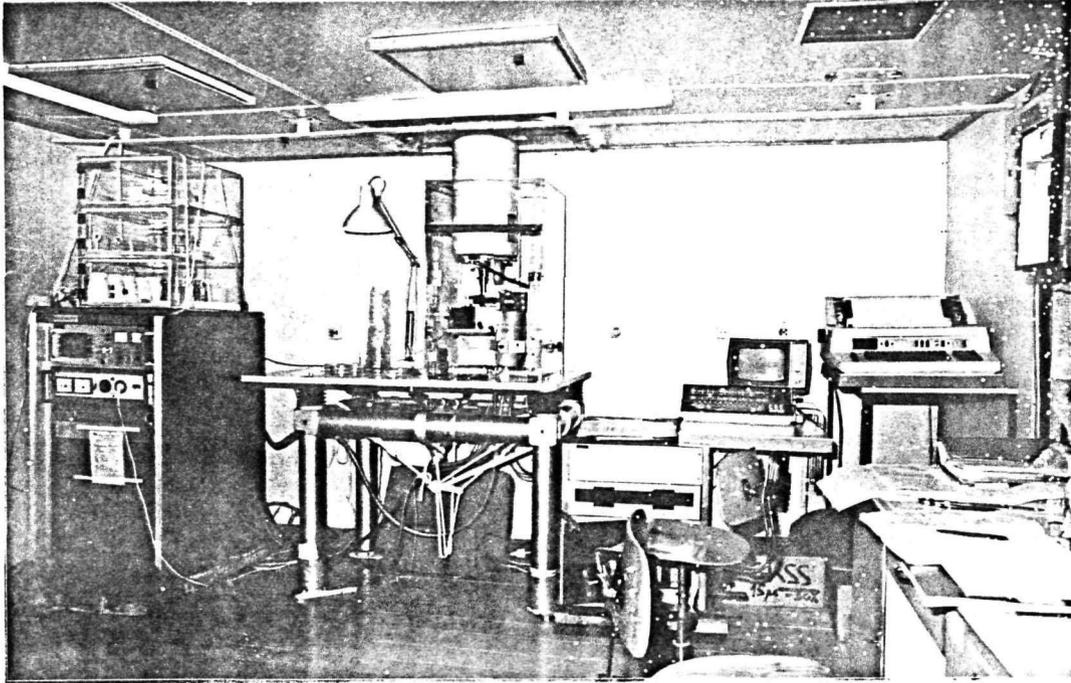
Ohne Schwierigkeiten ließen sich Analysen im Zusammenhang mit Fragestellungen anderer Arbeitsgruppen durchführen. So wurden z.B. einige der von Herrn Otten analysierten Knollen, bzw. Krusten auch von uns analysiert. Erste Ergebnisse zeigen recht gute Übereinstimmungen.

Als sehr nützlich erwies sich die spezielle Röntgenfluoreszenzmethode als Mikromethode bei der Analyse sehr kleiner Mengen von verschiedenen Phasen aus einer Kruste, bzw. Knolle (siehe dazu den Report des Fahrtteilnehmers F. Manheim). Ein weiteres Beispiel ist die stichprobenartige Analyse von ausgewaschenem Kotmaterial von Foraminiferen (s. Bericht F. Riemann).

Aus den an Bord gesammelten Erfahrungen wird deutlich, daß die mitgeführten Laboreinrichtungen, insbesondere auch die neuartige Röntgenfluoreszenzanlage, sowie die verschiedenartigen Probennahmensysteme für den Bordeinsatz geeignet sind. Einer Überarbeitung bedarf der Analysenschritt der chemischen Abtrennung der Schwermetalle aus Meerwasser.

Abschließend danken wir der Fahrtleitung für ihre Unterstützung, Kapitän Klaassen und seiner Besatzung für die praktische Hilfeleistung sowie unseren mitfahrenden Kollegen für viele interessante, ideenreiche Diskussionsbeiträge.

Ausrüstung im spurenanalytischen Labor



6. Bericht Meeresbiologie

F. Riemann (IFM Bremerhaven)

Fragestellung

Untersuchung der Meiofauna auf Mangankrusten und Knollen sowie der benachbarten Sedimente mit Hinblick auf den Einfluß der Organismen auf die Genese erzhaltiger Konkretionen in der Tiefsee (als Meiofauna bezeichnet man mehrzellige bodenbewohnende Kleintiere, die ein Sieb mit 1 mm Maschenweite passieren. Neuerdings werden auch die Foraminiferen, einzellige Amöben, dazugerechnet).

Einleitung

Der biogene Einfluß bei der Accretion manganhaltiger Erze in der Tiefsee ist in seiner Bedeutung gegenüber rein anorganischen Fällungsprozessen immer noch umstritten. Es gibt mehrere Linien der Argumentation, die bakteriellem Einfluß bei der Fällung und Anlagerung der Metalloxide große Bedeutung zusprechen, sowie einige Arbeiten, die auf die Häufigkeit von Foraminiferengehäusen (in denen manchmal Mikroknollen eingelagert sind) hinweisen und deren Einfluß auf das Wachstum der Knollen diskutieren (Greenslate 1974, Wendt 1974, Dugolinsky, Margolis und Dudley 1977); neben den Foraminiferen finden noch andere auf den Knollen lebende Tiergruppen Berücksichtigung bei Thiel (1978) sowie Greenslate, Hessler und Thiel (1974).

Die eigene Arbeit auf FS "Sonne" soll durch die Untersuchung lebendfrischen Materials unmittelbar nach der Probennahme neue Einsichten zur Biologie der auf den Knollen und Krusten sowie in den Sedimenten lebenden Vertreter der Meiofauna bringen im Zusammenhang mit der speziellen Fragestellung der Metallakkumulation.

Bemerkungen zu Material und Methodik

Es wurden 66 Mangankrustenstücke und Steine (4-8 cm groß), 12 Knollen und 12 Sedimentproben aus Tiefen zwischen 5369 m und 1150 m untersucht. Die Objekte wurden gleich nach Probennahme in Gefäße mit gekühltem Seewasser (+ 4° C) gebracht und kurz danach im Wasser unter dem Binokular bei 25 facher Vergrößerung durchgemustert; die Sedimente wurden vorher vorsichtig

durch Ausschlämmen über einem 73 μ Sieb von feinsten Trübstoffen befreit. Die Lagerung der Proben geschah im Kühlraum bei + 4° C, wobei sich die Nachbarschaft von Kühlraum und Labor als sehr vorteilhaft erwies (Geochemie-Naßlabor). Teilproben wurden in Formol und Alkohol konserviert. Die zur Probengewinnung eingesetzten Fréfallgreifer und die mehrkammerige Kastendredge (Bauart URAG) ergaben ein für zoologische Untersuchungen vorzüglich erhaltenes Knollen- und Krustenmaterial, mit einem Minimum an Beschädigungen der Oberflächen. Die zur Gewinnung von Sedimenten eingesetzten Kastenlote ergaben leider keine ungestörte Oberfläche, vielfach waren die obersten Zentimeter der Sedimentschichten (die Meiofauna der Tiefseeböden ist nahezu vollständig auf die obersten 4 cm beschränkt) ausgewaschen. Behelfsmäßig an Freifallgreifern angebrachte Gefäße mit einem sich beim Schließen des Greifers ebenfalls schließenden Deckel und einem gazebedeckten Boden erbrachten einige von der Bodenoberfläche stammenden Sedimentproben.

Die bei der Forschungsplanung ursprünglich geäußerte Absicht, die Besiedlungsdichte unter und neben den ungestört auf dem Sediment liegenden Manganknollen zu untersuchen, konnte wegen des Mangels an geeigneten Proben nicht verwirklicht werden, deshalb lag ein Schwergewicht der Untersuchungen auf der Bearbeitung harter Substrate.

Befunde und Diskussion

Die S e d i m e n t e erwiesen sich als ungewöhnlich gering besiedelt im Vergleich zu anderen Böden aus ähnlichen Tiefen, nur ein einziger Nematode (diese sind die häufigsten Kleintiere des Bodens) wurde gesehen (Gattung Siphonolaimus, Stat. 6). Die Hauptmasse der tierischen Besiedlung wird von agglutinierenden Foraminiferen ausgemacht, röhrenförmigen, z.T. verzweigten Sedimentagglutinationen in der Größenordnung 1 mm. Viele dieser Formen sind fast nackt und erscheinen als amorphe Schleimklumpen und Fäden, Strukturen, die nur bei günstigen Untersuchungsbedingungen als Tiere erkannt werden können. Von Station 6 (GBHF, mit zusätzlichem Sedimentgreifer) wurde offenbar besonders oberflächennahes Sediment erhalten; ca. 1-5 schleimige Foraminiferen von 1 mm Größe sind hier pro 1 ccm Sediment gesehen worden. Ein Präparat eines dieser Organismen zeigt 60 μ große Ansammlungen von 10-15 μ großen kugeligen braunen und schwarzen Strukturen, die als schwermetalloxidhaltiges Kotmaterial der Foraminifere gedeutet werden, welches im Körper des Tieres einbehalten bleibt.

Die K r u s t e n und K n o l l e n sind ebenfalls fast ausschließlich von Foraminiferen besiedelt. Daneben fanden sich vereinzelt kleine Polychaeten (Borstenringelwürmer, 1cm und kleiner) in Röhren aus Globigerinenschalen (die durchaus den Bauwerken der agglutinierenden Foraminiferen gleichen, beide benutzen Globigerinen als Baumaterial), außerdem Kiesel Schwämme, sowie sehr selten Aktinien, Korallen, Lepadomorphe Cirripedia (Entenmuscheln).

Die Foraminiferen treten in folgenden Formen auf: feine, weiche, Unverzweigte oder verzweigte, senkrecht abstehende oder dem Substrat aufliegende Röhren (1-2 mm lang), ferner aus

Globigerinentrümmern agglutinierte spröde oder elastische weiße Fladen (1-5 mm) und verzweigte oder unverzweigte weiße und zimtfarbene Gänge (1 mm bis 2 cm), sowie mehrere Millimeter große chitinöse "Membranen" (siehe Greenslate). Alle diese Strukturen bedecken nicht mehr als 1 % der Krusten- oder Knollenoberfläche, nur sehr beschränkt sind Areale von etwa 1 cm² von biogenen Belägen bedeckt. Die übrigen Flächen des Substrates sind glänzend blank und rein mineralisch.

In 44 Foraminiferen sind Ansammlungen von gelben, braunen und schwarzen runden oder ovalen Pillen (wie bei der schleimigen Foraminifere aus dem Sediment) gefunden worden, der Durchmesser der Pillen ist 10-25 μ , in einigen Fällen ist das gesamte Gehäuse der Foraminiferen mit einer pillenhaltigen schwarzen Masse ausgefüllt gewesen. Die Pillen werden als Kotballen angesehen und eine Anreicherung von Schwermetallen erschien nach der dunklen Färbung hochwahrscheinlich. Eine an Bord von H. Schneider, Geesthacht, stichprobenartig ausgeführte Analyse des sorgfältig mit aqua bidest. ausgewaschenen Kotmaterials (Handhabung mit Glaskapillaren) ergab in drei von vier Analysengängen eine im Vergleich zum vorherrschend vorhandenen Eisen bemerkenswert hohe Cu-Konzentration (siehe beigelegter Analysenausdruck).

Die Pillen in den Foraminiferen werden für eine interessante Entdeckung dieser Forschungsreise gehalten. Es wurden Glycerinquetschpräparate hergestellt und intakte Foraminiferen in Formol und Alkohol für biologische und chemische Untersuchungen (chemische Mikroanalyse der einzelnen Pillen) an Land konserviert. Mit Vorbehalten (der Bearbeiter ist kein Foraminiferenspezialist) lassen sich gegenwärtig die folgenden Überlegungen an die an Bord gemachten Befunde knüpfen, einstweilen in hypothetischer Form:

- Die Pillen sind Erzeugnisse der lebenden Foraminiferen. Damit steht der Befund im Gegensatz zu einer Feststellung Greenslates, der, offenbar ähnliche, Ferromanganausfüllungen für sekundäre Bildungen unter möglichem Einfluß anorganischer Prozesse hält.

- Die Kotpillen werden im Plasma der lebenden Foraminifere angereichert, die nach Amöbenart ihre Plasmafüße millimeter- oder vermutlich gar zentimeterweit über das Substrat ausstreckt und proteinhaltige Detrituspartikel aus dem freien Wasser sowie Bakterien (manganakkumulierende Bakterien?) einfängt, in den Vakuolen im Plasma verdaut und unverdauliche Rückstände, wie die Metalloxide in Form von Kotpillen im Körper anreichert bis zum Tode der Foraminifere.

- Nach dem Tode, vielleicht aber auch schon während des Lebens der Foraminiferen entstehen - so ist es theoretisch denkbar - in ihren Gehäusen räumlich und zeitlich intermittierende Zonen mit reduzierendem und oxydierendem Mikroklima, die zu fraktioniertem Lösen und Wiederausfällen der in den Kotballen anfänglich akkumulierten Metalle führen, wonach diese an das Substrat angelagert werden.

- Die Dimension der mikrobotryoidalen Oberflächenstrukturen der Mangankrusten und Knollen läßt vermuten, daß jede Erhebung der Fußfläche einer solchen flach gewölbten fladenförmigen Foraminifere entspricht, in denen besonders oft die schwarzen

Kotpillen gefunden wurden.

- Im Einklang mit Graham und Cooper, Greenslade, Hessler und Thiel sowie Döglinsky et. al. halte ich die agglutinierenden Foraminiferen für eine möglicherweise wichtige Komponente bei der Genese wertmetallreicher Mangankonkretionen, bin aber der Meinung, daß nicht den (bei dem vorliegenden Material meist aus Globigerinenkalk aufgebauten) Gehäusewandbestandteilen und Strukturen die wesentliche Bedeutung beim Knollenwachstum zukommt, sondern dem Weichkörper der Tiere.

- Eine quantitative Bewertung des Beitrages der agglutinierenden Foraminiferen zu Wachstum und Zusammensetzung der Mangankonkretionen kann erst gegeben werden, wenn Daten über die Dauer des Lebenszyklus und der Stoffwechselintensität dieser Foraminiferen bekannt sind. Nur, wenn der Zyklus kurz ist und der Stoffumsatz hoch, kann bei dem nachgewiesenermaßen extrem langsamen Knollenwachstum die Materiallieferung über die Foraminiferen von entscheidender Bedeutung sein.

Zum Abschluß der Fahrt möchte ich mich beim Fahrtleiter, Prof. Dr. P. Halbach, und den Gremien der DFG für die freundliche Förderung meiner Untersuchungen bedanken. In den Dank schließe ich ein alle mich auf der Reise begleitenden Kollegen wegen ihrer stimulierenden und informativen Gespräche und ihrer Hilfeleistungen.

Anlage: Analysenergebnisse, Stichprobe.

ANALYSIS REPORT : RIEMANN

*Faecal Material
aus 2cm grosser
agglutiniertes Foraminifere
28.6.81 / Stat. 43DK (Kruste)
(Riemann - Protokoll p. 28)*

SAMPLE POS.----- 7

COUNTING DATE--- 4/ 7/81

STANDARD-----FE 100.000 REL

ACQ. TIME-----300 SEC.

SPECT.LABEL-----PL141

FILE NO.----- 14

*ca 200 µm
Klumpen*

[ELEMENT]	[CONC.]	[VAR.]	[DIM.]
KK	14.427	+	0.616 REL
CA	4.922	+	0.385 REL
TI	13.371	+	1.067 REL
VK	2.122	+	0.589 REL
BA	312.432	+	1.967 REL
MN	1.736	+	0.169 REL
CO	0.222	+	0.135 REL
NI	0.352	+	0.051 REL
CU	0.821	+	0.047 REL
ZN	0.476	+	0.041 REL
AS	0.860	+	0.060 REL
PB	0.276	+	0.087 REL
SE	0.349	+	0.033 REL
BR	1.761	+	0.054 REL
RB	0.237	+	0.046 REL
SR	23.095	+	0.164 REL
ZR	0.553	+	0.293 REL
YK	0.242	+	0.051 REL
HG	0.180	+	0.051 REL
AR	3.912	+	0.110 REL

1.

*Analysen
von Harald Schlichter
4. Juli 1981*

*enthalten Ausdrucken
Schalenmaterial*

F. Prof. Dr. Kallbach

ANALYSIS REPORT : RIEMANN

Faecal Material
aus 2cm großer
agglutiniertes Foraminifere
28.6.81 / Stad. 43DK (Kruste)
(Riemann-Protokoll p. 28)

SAMPLE POS.----- 7

COUNTING DATE--- 4/ 7/81

STANDARD-----FE 100.000 REL

ACQ. TIME-----300 SEC.

SPECT.LABEL-----PL71 W

FILE NO.----- 16

ca 200 µm
90% 3er Kluster

[ELEMENT]	[CONC.]	[VAR.]	[DIM.]
KK	34.523 +-	1.645	REL
CA	79.278 +-	1.447	REL
TI	6.457 +-	1.093	REL
VK	0.747 +-	0.648	REL
BA	76.030 +-	1.985	REL
CR	0.605 +-	0.337	REL
MN	5.945 +-	0.357	REL
CO	1.244 +-	0.276	REL
NI	1.746 +-	0.152	REL
CU	16.451 +-	0.265	REL
ZN	7.529 +-	0.199	REL
AS	0.649 +-	0.182	REL
PB	2.892 +-	0.292	REL
SE	0.379 +-	0.085	REL
BR	8.437 +-	0.185	REL
SR	9.734 +-	0.224	REL
ZR	1.534 +-	0.657	REL
AR	15.402 +-	0.403	REL
CLL	50.726 +-	0.536	REL

2.

ANALYSIS REPORT : RIEMANN P28

SAMPLE POS.----- 7

COUNTING DATE--- 5/ 7/81 13:11

STANDARD-----FE 100.000 REL

ACQ. TIME-----500 SEC.

SPECT.LABEL----PL52

FILE NO.----- 32

[ELEMENT]	[CONC.]	[VAR.]	[DIM.]
KK	48.952	+-	5.463 REL
CA	58.652	+-	3.635 REL
TI	8.737	+-	3.112 REL
VK	2.718	+-	1.925 REL
BA	32.999	+-	5.767 REL
MN	10.431	+-	1.352 REL
CO	2.096	+-	0.918 REL
NI	1.967	+-	0.643 REL
CU	46.641	+-	0.939 REL
ZN	24.271	+-	0.762 REL
PB	2.382	+-	0.752 REL
BR	1.669	+-	0.512 REL
SR	3.809	+-	0.837 REL
AR	42.592	+-	1.157 REL

Faecal Material

aus 2cm grosser agglutinerender Foraminifere

*28.6.81 / Stad. 43DK (Kruste)
(Riemann - Protokoll p. 28)*

*Ca 500 µm grosser Klumpen
in HCl gelöst, getrocknet*

3.

ANALYSIS REPORT : RIEMANN P28

SAMPLE POS.----- 7

COUNTING DATE--- 5/ 7/81 13:29

STANDARD-----FE 100.000 REL

ACQ. TIME-----500 SEC.

SPECT.LABEL-----PL28

FILE NO.----- 33

Faecal Material

aus 2cm grosser Foraminifere

agglutinerender (Kruste)

28.6.81 / Stat. 43DK (Kruste)

RIEMANN - Protokoll p. 28

*Ca 500 µm grosse Klumpen
in HCl gelöst, getrocknet*

[ELEMENT]	[CONC.]	[VAR.]	[DIM.]
KK	21.023	+-	4.523 REL
CA	62.751	+-	3.189 REL
TI	3.795	+-	2.643 REL
VK	2.076	+-	1.639 REL
BA	27.682	+-	4.908 REL
MN	16.436	+-	1.236 REL
CO	2.655	+-	0.802 REL
NI	1.321	+-	0.566 REL
CU	20.821	+-	0.666 REL
ZN	6.223	+-	0.502 REL
PB	2.427	+-	0.655 REL
SE	0.923	+-	0.402 REL
BR	0.929	+-	0.455 REL
SR	4.004	+-	0.728 REL
AR	42.299	+-	1.097 REL

4

7. Bericht Gastwissenschaftler

F.T. Manheim (U.S. Geol. Survey, Woods Hole)

CONTENTS

- I INTRODUCTION
- II SCHEDULED WORK
- III SPECIAL EXPERIMENTS & STUDIES
- IV GEOCHEMISTRY & PHASE DISTRIBUTION IN NODULES & CRUSTS
- V ECONOMIC GEOLOGY OF SEAMOUNT REGIONS
- VI POST CRUISE COOPERATIVE REPORTS

I INTRODUCTION

I was most grateful for the opportunity to be a guest on the R/V Sonne, for the MIDPAC 81 quest for cobalt in the Pacific Ocean. I appreciate the kind invitation of Dr. Peter Halbach, Chief Scientist, and for the courtesies of the German Research Council, and Ministry for Technology, for permitting this trip for me, and for all the many services and helpfulness of the Captain, Wolfgang Klaassen, and the crew.

Judging by the powerful array of cranes, lifters and hydraulic devices, winches and a monster steel box dredge which greeted me upon arrival at the ship's dock in Apia, Western Samoa, it was obvious that this cruise meant business and had the dimensions of gear to perform ambitious plans. Somewhat later I also found that behind the principle equipment such as winches ~~lay~~ ^{lay} technical reserves, such as spool of beautifully made 18 mm trawl cable, and sophisticated engineering ^{is} in accumulators to minimize effect of swells and cable stretch upon measurements.

As with all cruises some problems emerged from time to time. I felt fortunate to be able to provide assistance in a few cases. With the aid of Radio Operator Stratmann and Capt. Klaassen I was able to arrange with the Chairman of the Dept. of Oceanography of the Hawaii Inst. of Geophysics for a box corer to be delivered to Johnston Island for pickup by the Sonne. The corer was in fact transferred on July 1 by LCM. We were able to confirm via telex from Dr. Terence Edgar (Chief of Office of Marine Geology, USGS) and the U.S. State Dept. that the Sonne required no special permission to conduct bottom investigations within 200 mi. of Johnston Island. The ship's instructions indicated that according to the draft text of the 3rd UN Law of the Sea Conference 6 months advance permission of coastal countries had to be sought. I was also able to obtain instructions for use of Kodak developers by Telex from Woods Hole.

As a result of many good interchanges with scientific members of the cruise I have offered to assist in other specific areas: carrying home chilled samples for special mailing; later "bloodhounding" (finding out special desired information, contacts, facilities) Perhaps future cooperation will emerge other than indicated in item VI.

The net personal result to me was profit in experience with methodologies, equipment, and extraordinary nodule and crust sample material from the Mid Pacific Mountain target area, plus

insights gained from discussions with the scientific staff.

II SCHEDULED WORK

Having no fixed project of my own, I participated in watches involving nearly all the equipment used during the cruise: bathymetry, bathysonde, dredge, short kasten core (100 cm), free fall bottom grabs, gravity core, photo sled, special trace metal water sampling. The variation of duties gave me a better understanding of the tools in question. Several pieces of gear, the Kasten corer, and the huge, 2.5 ton dredge of special design, are unique German designs and functioned extremely well. The box dredge, in particular not only functioned well in 15 of 16 lowerings, collecting hundreds of kilos of rocks each time, but protected the integrity of the rocks far better than chain bag dredges. This was a significant factor in being able to recreate the sequence of materials on rugged seamount slopes on large, relatively undisturbed samples, as well small pebbles. ^{base} \wedge * Fig. 1.

I pointed out that my own project had some parallel technique problems in dealing with hard rocks, and that we had used a short-barreled piston corer with special noses to get hard bottom materials, in the Eastern Gulf of Mexico. Some "Stossfohr" runs were incorporated into the cruise plans during the Samoa-Hawaii run.

III SPECIAL EXPERIMENTS & STUDIES

1. Free fall velocity of objects in water

Peter Otte n and I evaluated the maximum fall velocity of bodies in water to determine the relative velocities of corers lowered by winch and free fall:

$K_1 = mg$ = downward force of falling body

$K_2 = \frac{c \rho v^2}{2}$ = frictional force resisting fall through water

where c is a constant depending on shape of object, here taken as .99, A is the surface area of an object in cm (normal to fall dir.) v is the velocity in cm/sec, m is the mass, and g is the acceleration of gravity or 980 cm/sec². ρ is the density of the medium, or about 1.025 for water.

At terminal velocity $K_1 = K_2$, hence

$$mg = \frac{c \rho v^2}{2}, \text{ or } v_{\max} = \sqrt{\frac{2mg}{c \rho}}$$

Using the following units, two sets of calculations showed max. velocities for bolts, as well as with the approximately 1000 kg Kolbenlot (piston corer, with short core barrel).

<u>bolts</u>	<u>kolbenlot</u>
m 150 g	1000 kg = 10 ⁶ g
g 980 cm/sec ²	980 cm/sec ²
c .99	.99
A 4 cm ²	706 cm ² (radius = 15 cm)

v_{\max} 270 cm/sec 1660 cm/sec

To verify the results of the calculations, an experiment with bolts was performed, using a 4 m plastic core liner taped vertically to a ladder, plugged on bottom and filled with water. Franz Riemann assisted in the experiment, which consisted of timing bolts dropped from the top as they passed meter markers:

1 m	.6 sec	2 m	1.0 sec
3 m	1.6 sec	4 m	2.0-2.6 sec, depending on type of bolt

Fishtailing and banging against side of tube was observed after 1 m. of fall.

In summary, the bolts achieved a maximum velocity within a few meters and a value of about 2 m/sec. This agrees with calculations, given the crude experimental setup and the constraint of tube sides. It also confirms that maximum free fall velocity of the big corer should be about 8 times that of the maximum winch velocity of about 120 m/min, or 2 m/sec.

On the present cruise Stossrohr experiments could not be done with a free fall, because core technicians Brandt and Krüger felt that trigger arrangements were not feasible with gear on board. For the future, because penetrating ability in near surface substrates increases with the square of the velocity, one might suggest that Stossrohr experiments employ free fall arrangements.

2. True-dimension profiles of seamounts

Up to now, seamounts have been excluded from consideration as sites for serious economic consideration for metal recovery, because of their small area, and rugged topography.

Part of the notion of "unfavorable topography" stems from the vertical exaggeration of all bottom profilers, which make bottom features of sea mounts look like jagged peaks. When profiles are drawn at true scale, this topographic problem becomes less severe, as can be seen by Figures 2-5. Some seamounts have very steep sides just beneath the lip, but others have relatively moderate slopes right up to the plateau. Moreover, the topography on the top and sides of seamounts is not necessarily more subject to short-range or small scale irregularities than abyssal hill terrains in prime nodule areas, at least as noted in this reconnaissance survey.

Further aspects of seamounts will be dealt with under Economic Geology(Sect. V).

Fig 2

PROFILES AT
LOC 7 (NO EXAGGERATION)

SSW - NNE

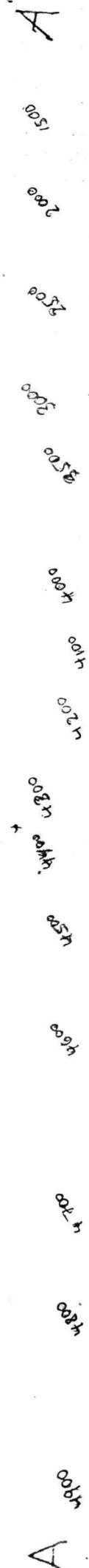
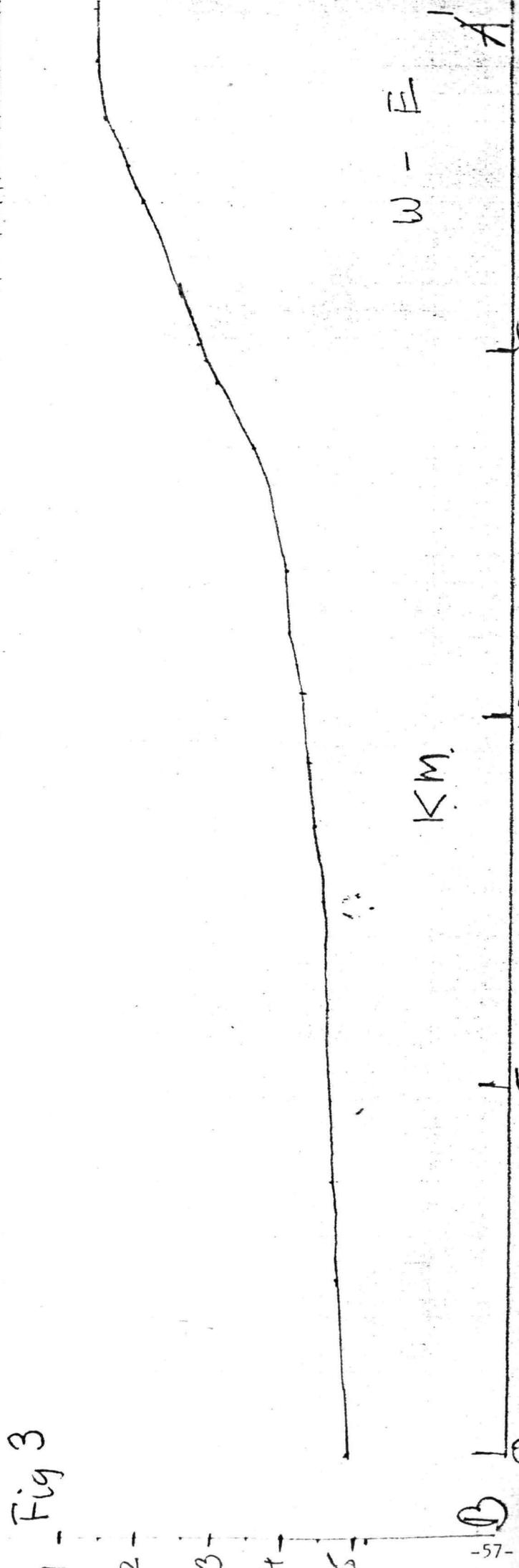


Fig 3

W - E

KM.



20 15 10 5

Fig. 4

LOK 9
Site "A"

DK 78
FE 79

Fig 5

LOK 11

IV GEOCHEMISTRY AND PHASE DISTRIBUTION IN NODULES AND CRUSTS

Methods

To get more detailed insight into phase distributions in nodules and crusts "polished sections"(i.e. by shipboard standards) were prepared with the help of a diamond saw:

- a. Nodules were rough cut on the saw
- b. Preliminary grinding was done on the bottom of porcelain mortars using glass powder and water. The glass powder was made from crushed bottles, ground in the mixer-mill with a tungsten carbide mortar. This technique of grinding glass was routinely used by Otten to clean the mortar.
- c. Finer grinding was done with powdered carbonate ooze and water on a smooth polypropylene board.
- d. Finest grinding and polishing were done with powdered "soapstone" or fine red clay on the polypropylene sheet. This step was taken only a few times because of long time needed.
- e. Sections were then etched to bring out structural detail and phase differences, using an acid reducing solution. This was prepared from 5% Kodak D-19 developer as a reducing agent, buffered to pH 3 with HCl (using pH indicator paper from the Clausthal group). This solution leached manganese-containing phases rapidly, but had relatively little effect on iron phases. After quick washing and drying the iron phases were stained yellow-orange and stood out in relief. Microlayering in the Mn phases was also brought out.

Microanalysis of a number of major and trace constituents was performed by the Prange group (Geesthacht): Harald Schneider. A few grains of material was sufficient to obtain sensitivity into the trace range, when placed on a quartz plate and excited in a grazing incidence X Ray fluorescence spectrometer, complete with multichannel analyzer and automated readout system. Data were reported on the basis of Fe = 100.00. I then normalized data in this report to correspond with Fe = bulk analyses by Otten, for similar materials, or otherwise assumed.

General results

Some 25 sections or more were made of nodules and crust material, and about 16 were subjected to the leaching procedure with subsequent analysis under the microscope. Binocular microscopes kindly provided by Franz Riemann and the Gundlach-Marchig group were invaluable. Riemann also generously allowed use of his slides & ancillary equipment, and Calle Sattler was always helpful with equipment. Many conversations with P. Halbach and Ulli Schreiber helped develop the following observations and interpretations.

As luck would have it, the first nodule from DK 78 polished and examined proved to have as nucleus material a mineral phase interpreted by P. Halbach as hydrothermal todorokite. Very similar material had previously been found by him in the E. Pacific rise hydrothermal regions. It was interpreted as of hydrothermal origin because of its mineral formula, composition, and resemblance to land hydrothermal deposits.

Following the above discovery, some dozen or more etched nodule sections were prepared. About 3/4 had pre-existing Fe-Mn crustal material as nuclei, at least in part. No further hydrothermal manganese could be confirmed, but one nodule and a possible second contained a monomineralic crystalline "hematite" (?) phase as a part of their nucleus. The remainder of nuclei from DK 78 were altered basalt and a whitish unknown silicate with Mn dendrites beginning to encroach on the inner portion. Sections were prepared mainly from DK 31 ("coaly Mn") DK 78, and HK 107. Burnout of the transformer to the diamond saw unfortunately cut off sectioning activity prematurely.

Study of the crusts upon layered hyalobreccia-conglomerate showed a very typical mode of development throughout the sites in elevations above 2000 m, as is discussed further in the following sections.

"Hydrothermal manganese - hematite" (DK 78)

The knobby nodule had a grayish central core with complex arcuate shape. The material was divided in the center by a reddish vein of crystalline iron-rich material, at first thought to be goethite (Table 1), but later concluded to be more likely to be hematite and recalculated appropriately (Table 2). The section is shown in Fig. 6. Small amounts of material were gouged from the polished section under the microscope with a steel needle, and analyzed by Schneider (Table 1). The analysis of the outer portion of the nodule corresponds very well with the average of nodule material analyzed from DK 78 by Otten, and his Fe value is used to normalize the analysis in Table 1.

The grayish inner material is characterized by a fibrous radial habit with good crystallinity, as evidenced in part by needle-like crystal projections pointing inward toward cavities. The analysis shows only minor concentrations of Co, Ni, and Cu and 1.4 % Fe - i.e. the material is a quite pure manganese phase, with exception of 1.6% Ba and .65% K. This kind of composition is regarded as typical of the EPR todorokites of hydrothermal origin (well-crystallized) by Halbach, and can also be found in other land hydrothermal manganese deposits.

The hematite can also be regarded as a hydrothermal phase, and was likewise very pure with only Mn (2.9%) and minor amounts of V and Zr (.13 and .14%) as significant traces (see also recalculation in Table 2).

The layered, vitreous black Mn/Fe material around the nucleus is typical of Mn/Fe layers found on both nodules and crusts throughout MIDPAC 81. The etching reveals a honeycomb pattern of iron-rich silicate material separating cellular units of layered Mn-Fe phase. Its composition is shown in the first two columns of Table 1, and is dominated by Mn (25%) and Fe (14%) with .6-.8% Co, .3% Ni, and rather more variable Cu (.1% or less). Ti is about .7%, and other significant trace elements are Ba .07%, Zn, .04%, Pb .18%, V .08%, As .024% with Cr undetectable. Where the Fe-silicate

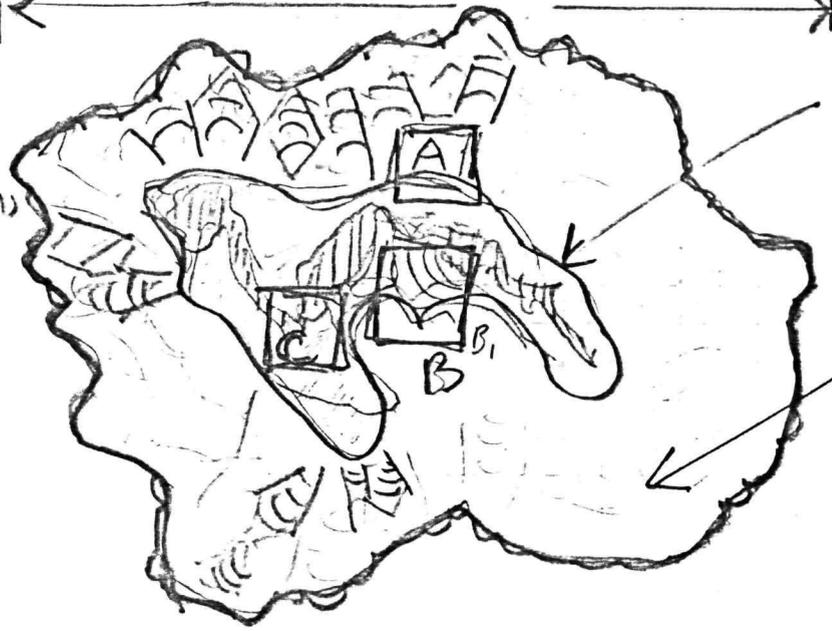
Fig 6 Nodule from DK 78 (?)

Mn layers - 150/mm = .01 - ~.06 μ

Nodule



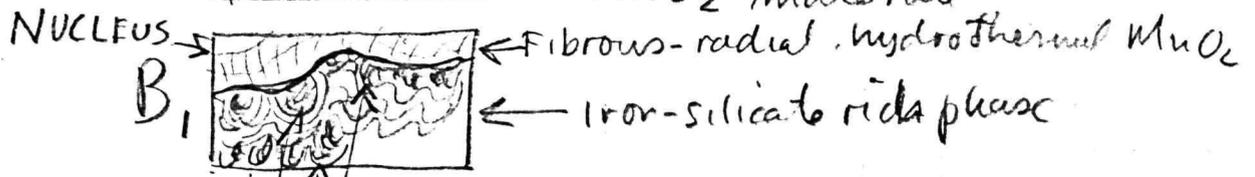
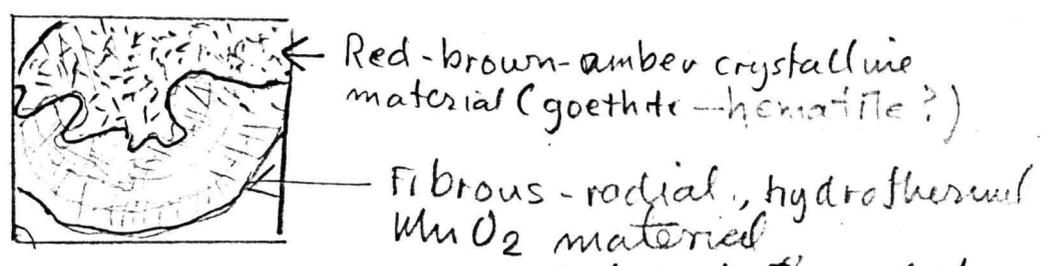
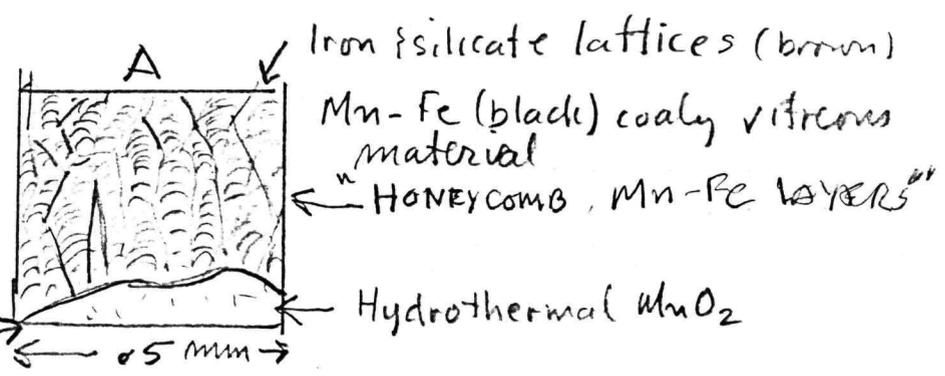
Cellular Fe-silicate rich divisions (schematic)



Nucleus

Mn-Fe module layers

MODULE SURF.



"Normal" Mn/Fe module material

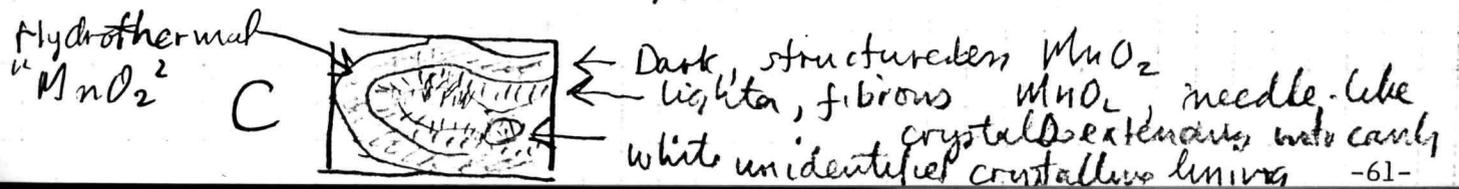


Table 1. Model analyses of polished section of nodule (Fig. 2) from Dredge DK 78. XRF data of Otten is mean of 5 samples analyzed by macro-powder technique. Data for outer phase is normalized to iron value of Otten (microsample analyzed by grazing incidence XRF spectrometry: Schneider/Prange). All values in weight percent oven dried material.

Bulk analysis mean(Otten), DK 78 samples		Outer Mn/Fe layer microanalysis (Prange/Schneider)	"Hydrothermal" MnO ₂ core (Mn = 40)	"Hydrothermal" goethite" (Fe = 50)
Mn	23.3	24.7	40	2.9
Fe	13.7	13.7	1.4	50.0
Co	.62	.83 !	.085	ND
Ni	.32	.29	.045	ND
Cu	.098	.04	.10	.03
Ti	-	.72 !	.11	ND
K	-	.29	.65	.30
Ca	-	.84	.31	.19
Ba	-	.069	1.6	ND
Sr	-	.166	.33	.035
Zn	-	.043	.035	.06
Pb	-	.18	.023	ND
V	-	.085	.013	.13
As	-	.024	ND	.032
Tl	-	.017	.021	.004
Zr	-	.071	ND	.14
Se	-	.0012	ND	ND
Cr	-	ND	.016	ND
Y	-	.015	.005	.014

is richer, it too becomes layered and foliated, and in other samples can be seen to take on oolitic-pisolitic structure. The Fe-detrital component "cellular" enclosures are clearly responsible for the knobby nature of crusts as seen with the eye, and are a hallmark of Mn/Fe material deposited on an open surface, or otherwise able to acquire particulate material. The continuity of the Mn/Fe layers through the cellular structure suggests that the Fe-Mn cells became established by diagenetic reorganization after nodule layers were laid down. Shrinkage & crack formation may have aided in this process.

In summary, evidences for hydrothermal origin of nucleus material in Fig. 6 are: a) Presence of a fibrous-radial Mn phase having good crystallinity, and having rather high purity (lack of iron and other typical ocean Mn components such as Co and Ni); b) presence within the Mn of a well-crystallized monomineralic iron phase, probably hematite, which does not form under low temperature conditions in sea water; c) Characteristic presence of Ba and K (typical for hydrothermal Mn oxides) but absence of either honeycombing or other evidence of detrital components typifying Mn formed at the sediment-water interface by slow accretionary processes; ~~xxxx~~ d) an indirect factor bearing on the origin of nuclei in general is the fact that most seem to be material of one kind or other (e.g. altered basalt) that has been formed under hydrothermal conditions.

Coaly Mn-Fe phases

An excellent, 5 cm thick specimen of coaly Mn-Fe crust from MK 31, was sectioned. It was dense and had a clean, conchoidal fracture very similar to high grade bituminous or even cannel coal. Upon polishing and etching ~~scarce~~ but distinct honeycombing with iron-detrital cellular was discovered. For the most part, the entire specimen consisted of extremely dense, closely layered Mn/Fe laminae ($<10\mu$) throughout,

Toward the base some zones of higher Fe-detrital material appeared.

The origin of this rock is puzzling. Its density, and paucity of honeycombing, in conjunction with apparently normal Mn/Fe ratios and Co-Ni composition (Halbach) is unusual. One suggestion is baking at an intermediate time, causing loss of interstitial porosity and consequent retardation or reduction in formation of shrinkage cracks and Fe-detrital segregations. However, the formations of layers should have been slow, allowing diagenetic alteration to proceed in any event prior to baking. More study of this rock and its substrate will be needed.

Complex nodule (DK 78)

This nodule (Fig. 7) contained a chunk of the hydrothermal hematite as well as complexly deformed, pre-existing Mn-Fe phases of various kinds. Some of the is oolitic-pisolitic in character with much Fe-detrital silicate or its alteration products. Other has a layered nature with significant silicate, and resembles the material at the base of Fig. 9. It is tempting to conclude that the nucleus material represents an earlier Mn-Fe layering episode, which has been subjected to deformation, and perhaps hydrothermal action.

Mn-Fe layers on cemented hyalo-breccia and basalt(altered)

This is a very common mode of Mn/Fe crust occurrence, and is depicted in a sample from KH 100 / 107. The samples were recovered in a kastenlot, and therefore the substrate must have been at least soft enough for the probe to penetrate deep enough to allow the flaps to capture surface crust..

Samples of the weathered basalt(olive-gray-green with some residual vesicles) and a bright cream to reddish hyalobreccia were sampled for chemical analysis(Table 2). The hyalobreccia occurs in many gradations, from hard, tightly cemented(with chalcedony) to loose and friable, almost sandy in deeper waters. Augen or subangular chunks of reddish rock appear to be further altered basalt, judging by the composition of the materials in Table 2, column 1 and 2. The general agreement in composition, including surprising similarity of the large strontium levels applies, even though the actual range of the constituents could be changed by using a different normalization factor for Fe(here 10% was employed). Ulli Schreiber noted a shark tooth cemented under the Mn crust at the top of a hard cream-colored breccia, and some carbonate admixture was likewise observed..

A striking observation was finding of cm-size Mn/Fe chunks floating in cream cemented matrix, with dentritic encroachment of Mn only in the upward direction(Schreiber).

Blue-white interlayered Mn/Fe crustal base

Fig. 9 depicts another crust sample from DK 111(?), showing normal honeycombed Fe/ Mn layers underlain by a peculiar strata having a blue-white laminar character, rather than the yellowish honeycombing normally brought out by etching.. Above the laminated area, on the reverse(unetched) part of the rock a coaly section is noted, even though no evidence of it occurs on the etched side. No explanation so far.

Hematite composition(Table 2)

Upon recalculating the goethite in Table 1, and comparing with the Fe phase found in Fig. 7, substantial similarity in virtually all trace elements is found to a striking degree(note V & Zr !)

Unknown highly crystalline mineral

Best fit seemed to be obtained with a basaltic hornblende in Otten's Strunz reference(var. kaersutite). The Ti, Ca and K levels are all in good agreement, and unusually large Co, Ni may possibly be explained by minor contamination with Mn materials.

Age of nodules and crusts

According to age determinations widely accepted for nodule phases the crusts of 1 cm thickness (lower slopes) should be no older than 10 million years and perhaps as little as 2 my or less(2-4 mm/10⁶ yrs) The thickest crusts (5 cm) could be as old as early Miocene(20 my) or Oligocene. In no case could they be as old as the presumed age of Horizon Seamount's last vulcanism - ca 80 my, unless interruption of growth by burial took place.. On the other hand, the hydrothermal Mn nucleus obviously represents a pre-existing phase, which might have been rapidly formed.

* Or hydrothermal formation is postulated.

Fig 7 Complex module with partly DK 78 hydrothermal? (baked) mineralized nucleus

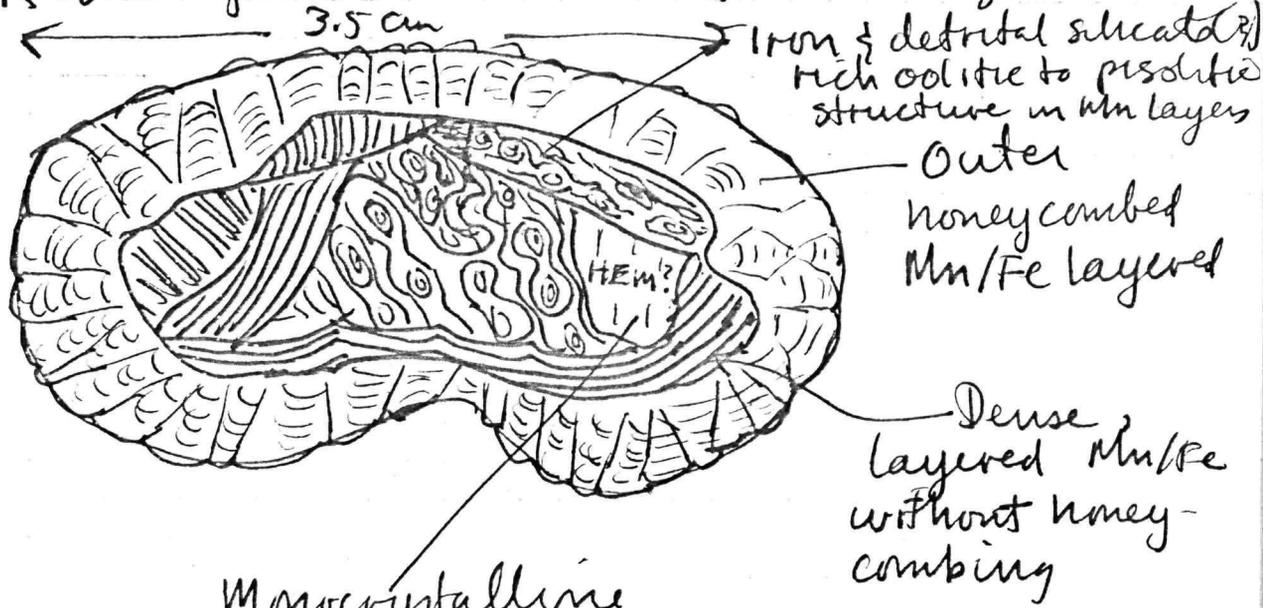


Fig 8

KH-107

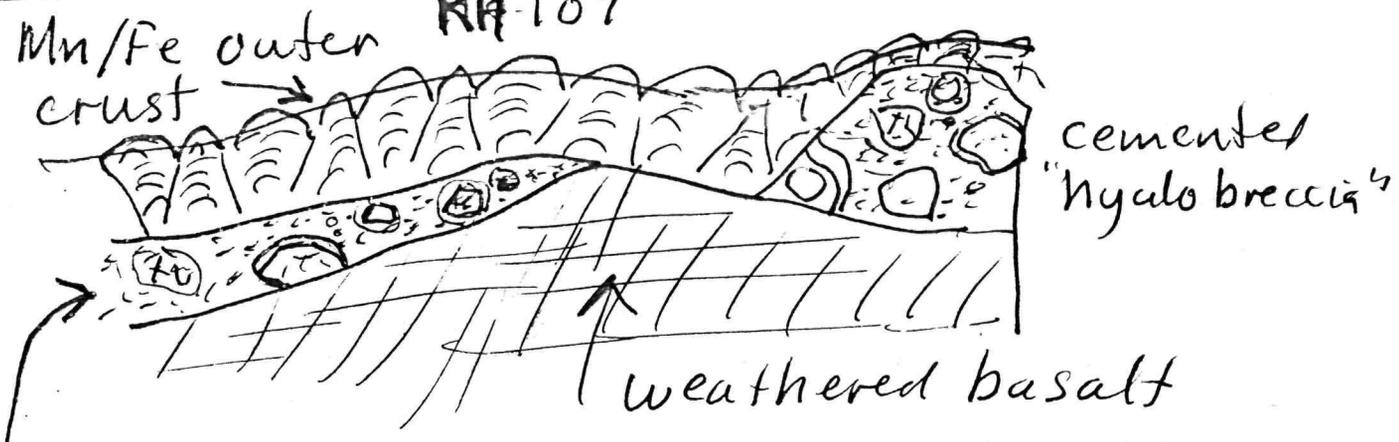


Fig 9

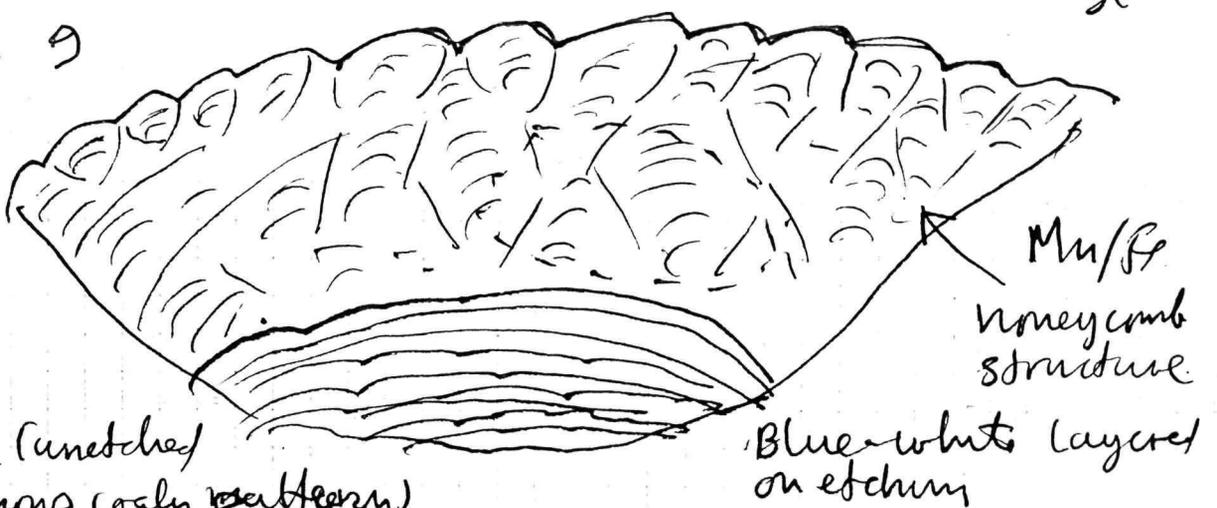
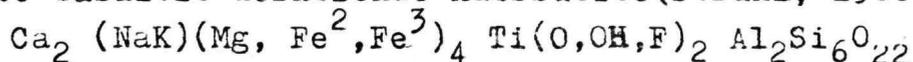


Table 2. Composition of various phases in Figs. 6 and 7. Values in per cent of oven dried material.

	Altered basalt.	Reddish inclusion in hyalocl.*	Hematite(?) inclusion in nucleus(Fig 6)	Hematite recal. from "Goethite"Tab 1
Mn	.12	.046	1 .43	3.8
Fe	8.00	10.0	65	65
Co	ND	ND	ND	ND
Ni	.0084	.0046	.021	ND
Cu	.032	.033	.060	.044
Ti	.95	.93	ND	ND
K	.75	.71	.125	.40
Ca	1.71	.67	.40	.25
Ba	ND	ND	ND	ND
Sr	.35	.29	.07	.07
Zn	.050	.06	.108	.079
Pb	ND	.0076	.021	ND
V	.033	.033	.18	.18
As	.004	.0019	.044	.045
Tl	ND	ND	.012	.005
Zr	.108	.148	.18	.18
Ga	.0033	.0021	.002	ND
Cr	ND	ND	ND	ND
Y	.029(!)	.0039	.008	.005
Rb	.007	.012	ND	ND

* Hyaloclastite consisting of fragments of highly altered, reddish rock(possibly weathered-altered basalt) in sandy matrix with quartz(chalcedony) mantling. Hematites are calculated by letting Fe = 65

Table 3. Rounded crystalline inclusion in hyaloclastic breccia overlain by Mn/Fe layers. Data by Schneider, recalculated to basaltic hornblende-kaersutite (Strunz, 1966) basis (Fe=17.5)



For this calculation OH and F are replaced by O, and the Mg group consists of (Mg, 2Fe)

	<u>Sonne mineral</u>	<u>Hornblende</u>
Na	ND	1.2
K	2.6	2.1
Mg	ND	2.5
Al	ND	5.6
Si	ND	17.5
Mn	1.3*	-
Fe	17.5	17.5
Co	.057	-
Ni	.10	-
Cu	.017	-
Ti	4.0	5.0
Ca	10.9	8.3
Ba	ND	-
Sr	.27	-
Zn	.025	-
Pb	.005	-
V	.031	-
As	.008	-
Tl	ND	-
Zr	.047	-
Ga	.0049	-
Cr	.009	-
Y	.048(!)	-
Hg	.0022(!)	-

* Some contamination with Mn oxide material and associated Co-Ni may have occurred.

Economic Geology & potential of submarine mountain provinces

Five main factors bearing on economic potential of ferromanganese oxides can be considered: ore metal content & value, extent of deposits or mineable resources (tonnage), depth of water, type of topography, and nature of substrate and ore. Up to now ~~whereas~~ it has been recognized that some seamounts have valuable concentrations of cobalt, the supposed limited extent of deposits and rugged terrain have precluded further consideration. Crusts have also not received serious published discussion as economic materials because of the problem of recovery, in addition to the foregoing factors..

All of the above presumptions need reevaluation:

1. Metal content & value:

(P. Halbach)

Nodule and crust composition and distribution of metals is covered in reports and summary of the Chief Scientist and others (e.g. P. Otten). At least preliminarily, significant metal value seems indicated for the portion of the Mid Pacific Mountain area studied

2. Extent of deposits

The studies in Midpac 81 indicate that the average radius of seamount areas above the approximately 2000 m contour is on the order of 10 km. This is the depth boundary above which nodules and crusts consistently on the order of 2 cm or thicker have been obtained. A 10 km radius, ignoring additional slope increment, means about 310 km. Ridges and other seamounts not investigated here are still larger.

The continuity of crusts remains to be investigated on the photographs of the bottom, and perhaps in the future in total circumferential surveys. However, previously, a number of investigators have come to the conclusion that in given areas the mass of ferromanganese accumulations present is proportional to and can be predicted by the number of nuclei available. In seamount areas nuclei cover the entire slope and top; hence, crust should in principle be virtually continuous. Exceptions would be in areas of recent slump, or conversely, burial by material from higher levels.

3. Depth of water

By the definition above, the submarine mountain areas under consideration have much shallower water location, and hence more favorable working conditions from a depth standpoint.

4. Topography

Except for a sharp declivity just below the summit of some seamounts, the topography on ~~xxxxxx~~ seamounts may not automatically eliminate engineering operations. The frequent obstacles and hazards reported in prime nodules' areas have been only, recently widely noted. Much more detailed bathymetric mapping needs to be done on tops and slopes, but the present surveys frequently showed a surprisingly smooth profile on seamounts themselves.

5. Nature of substrate & ore

The principal problem facing consideration of ore recovery from seamount areas may be the nature of crusts. Data from MIDPAC 81 show that a significant proportion of metalliferous material recovered in dredges has been from crusts on larger rock masses, ranging from cobbles to boulders, with some material perhaps scraped from in-situ bedrock itself.

On the lower slopes substrate material was frequently softer and crusts thinner, suggesting more recent date of accumulation. Here it would not be difficult to scrape off total top layers but yield may not warrant operation, if present patterns persist.

On upper slopes and the top of seamounts, substrates tended to be a hyaloclastic breccia-conglomerate with large boulders to cobbles of ~~weathered~~ basalt and other minor rocks. The detailed nature of this substrate remains to be established by present photocoverage, and by future studies. Whether it could be mined and how, depend to a large extent on information not available to us now.

However, from the positive point of view it should be reckoned that a harder substrate need not necessarily be a disadvantage from all points of view. A soft substrate at the prime nodule site poses significant problems of equipment sinking into the mud, as well as clouds of turbidity that obscure vision and may pose some ecologic disadvantages.

The problem of separation of ferromanganese mineral from attached rock will be a further complication for winning of crusts, but need not be insuperable if the general values warrant.

Preliminary calculations of seamount deposits' tonnage

Assuming a 300 km² area of a single seamount above 2000 m depth, and a 2 cm crustal coverage, on average, simple calculations show

$$\begin{aligned} \text{tonnage} &= 300 \times 10^6 \times 2.0 \times .02 \quad (\text{where specific gravit.} \\ &= 12 \times 10^6 \text{ tons.} \quad \text{is assumed to be 2)} \end{aligned}$$

This coverage would be more than enough to supply a 3 million ton-per-year operation for 2 or 3 years, assuming a 60-70% yield, or for one year assuming a 1/3 yield. Subsequently the the operation could simply move to the next seamount.

The uncertainty of crustal continuity needs to be filled, but the above assumption includes both possibilities for decrease and increase in crustal thickness. In particular, most crustal development covers not only the flat top of a substrate, but a rounded or three-dimensional area. For example, a hemisphere placed upon a square of 100 cm² area as illustrated below and covered with 2 cm thick crust would have 320 cm² of crust, compared to 200 cm² for the flat square

CONCLUSIONS



CONCLUSIONS

and on the flat table - like top regions (plate 2)

1. Scientific results

Manganese-iron nodules and crusts are found on the slopes of investigated seamounts, as well as in some intermontane valleys, with crusts dominating ferromanganese phases..

The thickest and most continuous crusts, subject to examination of bottom photographic coverage, occur in upper slope and top regions of seamounts, and range between 1 and 5 cm in linear thickness on substrates. However, geometric shape factors may increase net thickness per m² over linear measurement in hand specimen. A mean linear thickness between 2 and 3 cm was measured

The most common substrate for crusts is a hydroclastic breccia-conglomerate, which tends to be softer on lower slopes from 4000-2700 m, but which became lithified (partly to ringed hard) in regions from 2500-1200. A yellowish-white sandy siliceous sediment containing traces of carbonate was a frequent matrix. Then follows altered basalt.

Among nuclei of individual nodules sectioning and etching of polished faces found hydrothermally-formed manganese with low iron and trace metals, and an iron-rich phase, probably hematite. Similar well-crystallized Mn phases were observed in the East Pacific Rise by P. Halbach. Other altered materials and crystalline phases plus previous reports suggest that hydrothermal activity has had a role in forming present substrates for Mn-Fe layers, and perhaps some metalliferous oxides as well.

Typical manganese-iron nodule & crust material has a honeycomb structure formed by Fe and recrystallized silicate minerals separating cells of layered vitreous black Mn-Fe phases. The cellular structure is reflected externally by a knobby, papillary character on crusts and nodule.

In addition to the above, a coaly Mn₂Fe phase with a conchoidal fracture also has the honeycomb texture, but with much Fe-silicate material and a virtually linear-lamellar structure of very fine Mn-Fe layers (<10 μ)

Altered basalt is not substantially enriched in Co-Ni but shows some Cu and possibly Zr enhancement. Crustal trace metals, based upon a single analysis, are unusually high in V(.09%) and As(.02), and Pb(.18%).

2. Economic implications

VI POST CRUISE COOPERATIVE REPORTS

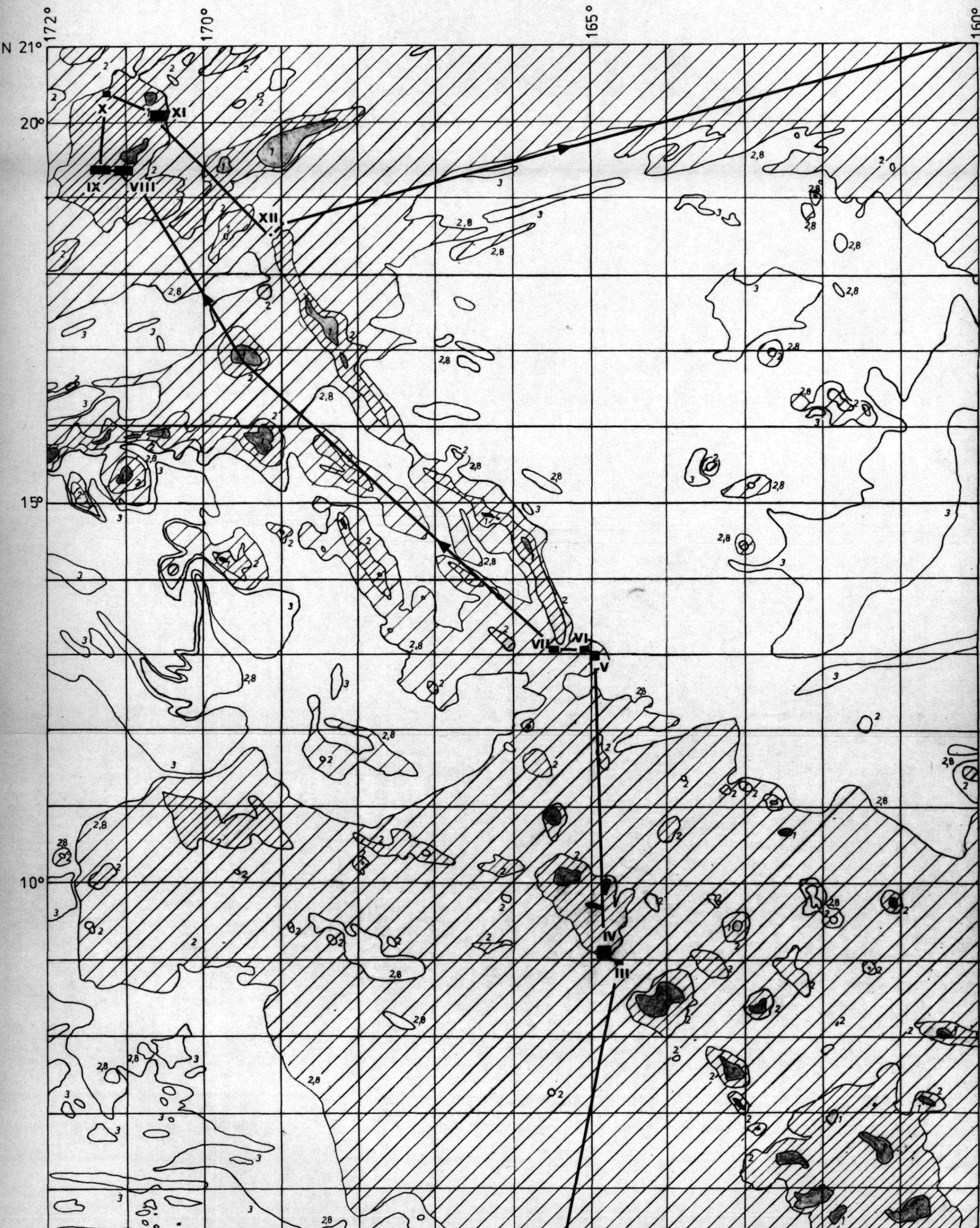
1. As Chief Scientist of Midpac 81 P. Halbach wishes to prepare a paper of about 5 pages printed length, which will give wide visibility and attention to the scientific and potential economic results of the cruise. He will visit Woods Hole following the cruise. During his stay a draft of a cooperative paper by Halbach, Manheim and Otten will be prepared, using confirmatory analyses of cobalt and any other data that can be made ready by the time of his departure from Woods Hole, using the Woods Hole facilities. The paper should come out within 6 months, if possible.
2. Manheim will submit nodule and crust material sampled by him for special analysis of trace constituents by the Reston laboratories of the U.S. Geological Survey. This data, including noble metals, will form part of another cooperative paper with Halbach in due course.
3. Other cooperative work may be possible, depending on scientific developments and the interests of participants.

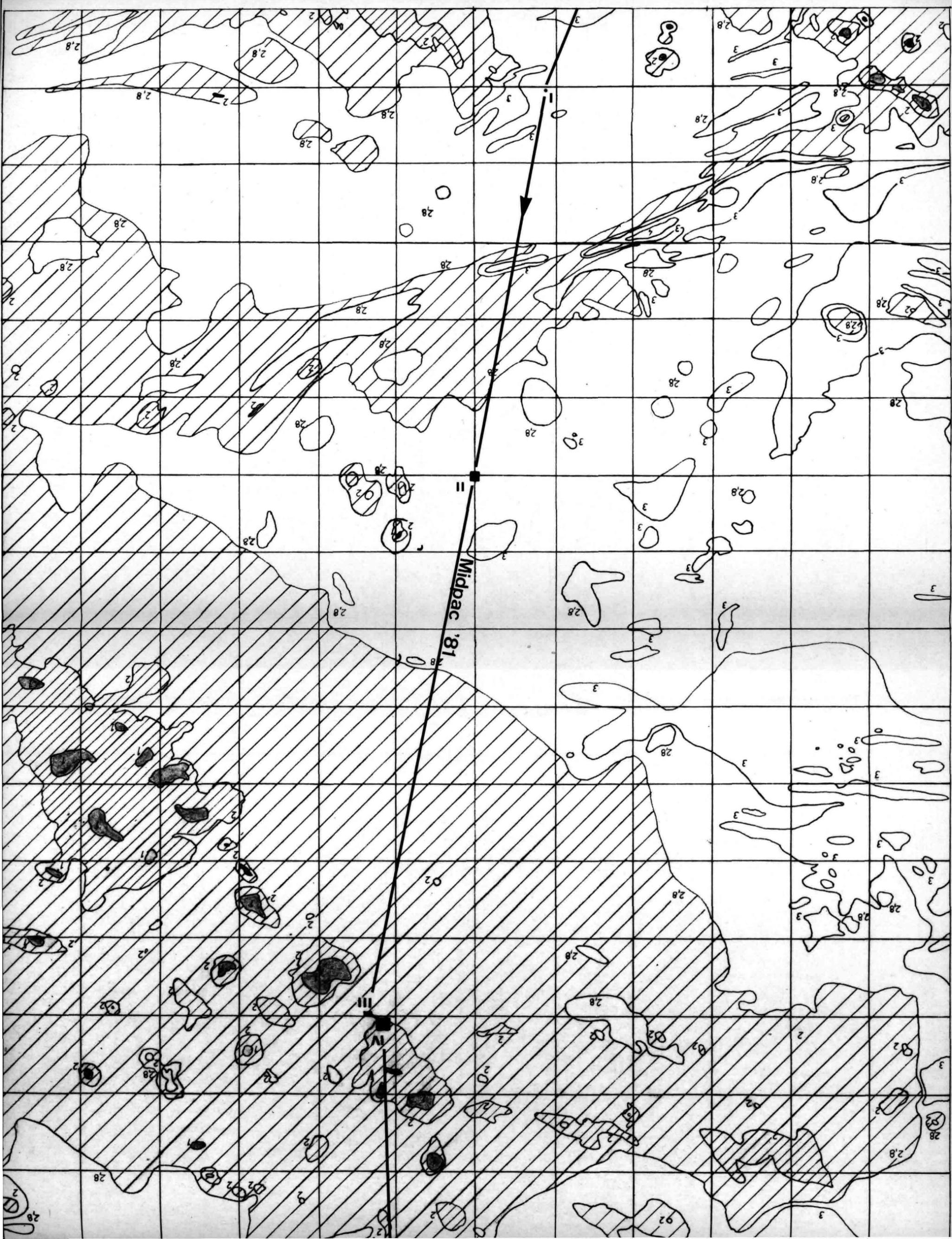
Anlage 1

Fahrtverlauf und Lokationen I bis XII der Midpac '81 / SO 18.

Tiefenangaben in Faden (1 Faden \approx 1,83 m) : 1= 1000 Faden

2= 2000 Faden ; 2,8= 2800 Faden ; 3= 3000 Faden





Arrival Departure

1. Name of ship		2. Port of arrival/departure		3. Date of arrival/departure	
MS „SONNE”		Apia		12.06.1981	
4. Nationality of ship		5. Port arrived from			6. Nature and No. of identity document (seaman's passport)
German		Wellington N.Z.			
7. No.	8. Family name; given names	9. Rank or rating	10. Nationality	11. Date and place of birth	
01	Klaassen, Wolfgang	Master	German	28.06.45 Coburg	0261/78
02	Steen, Heinrich	Ch. Mate	German	04.12.44 Brake	0218/81
03	Morawitz, Hans-Georg	2. Mate	German	10.10.55 Neunkirchen	0595/76
04	Stratmann, Hans	R. O.	German	07.11.44 Bremerhaven	0242/75
05	Lauer, Claus	Ch. Eng.	German	16.09.45 Flensburg	0055/80
06	Kroehning, Adolf	2. Eng.	German	04.03.34 Friedland	0767/75
07	Dietrich, Ernst	2. Eng.	German	17.10.55 Westrauderfehn	0241/81
08	Thaysen, Uwe	2. Eng.	German	18.10.43 Schwandorf	1733/72
09	Fiedling, Peter	Electr.	German	11.07.42 Hamburg	1128/75
10	Rieper, Karsten	Electr.	German	28.12.48 Hamburg	0059/81
11	Wagner, Wolfgang	M.-Man	German	11.10.48 Minden	0191/79
12	Buchmann, Kurt	M.-Man	German	29.09.42 Bruenne	0743/75
13	Kuechau, Erhard	M.-Man	German	22.08.37 Steinberg	0998/78
14	Weiner, Horst-Peter	Ch. Cook	German	26.03.40 Doberan	0157/81
15	Noernberg, Rolf	2. Cook	German	27.04.55 Celle	0166/80
16	Deja, Hans	Ch. Stwd	German	30.07.34 Myslowitz	0656/75
17	Laubenstein, Karl	2. Stwd.	German	17.01.55 Koeln	0130/76
18	Kroener, Alfred	2. Stwd.	German	23.05.56 Bremerhaven	0302/80
19	Wenke, Johann	Bosun	German	08.12.41 Schwanewede	0104/81
20	Rosenhagen, Wilfried	A. B.	German	10.06.31 Deichsende	0076/77
21	Lude, Guenter	A. B.	German	23.07.36 Teterow	0596/80
22	Wojcieszak, Gerhard	A. B.	German	17.03.58 Heide	3383/77
23	Janssen, Hans-Otto	A. B.	German	25.11.59 Bremerhaven	1054/75
24	Meyer, Dieter	A. B.	German	21.04.45 Holtz im Marsch	0281/73
25	Mueller, Walter	A. B.	German	04.03.53 Waldboeckelheim	0083/78
26	Hoffmann, Hilmar	Electr.	German	22.08.40 Gersdorf	D8929583
27	Laabs, Willi	M.-Man	German	29.10.50 Sudwalde	0724/80

12. Date and signature by master, authorized agent or officer Apia, 12.06.1981

IMCO Convention on Facilitation of International Maritime Traffic

CREW LIST

Anlage 2 (2)

1. Name of ship		2. Port of arrival / departure			3. Date of arrival / departure	
4. Nationality of ship		5. Port arrived from			6. Nature and No. of identity document (seaman's passport)	
7. No.	8. Family name; given names	9. Rank or rating	10. Nationality	11. Date and place of birth		
MS „SONNE“						
German						
01	Halbach, Hans, Peter	Scient.	German	10.05.37	Velbert	D5933467
02	Steinkamp, Karl	Scient.	German	21.03.39	Lavesloh	C8933749
03	Otten, Klaus-Peter	Scient.	Germany	09.06.38	Krefeld	D6651190
04	Hansen, Rolf	Scient.	German	28.07.47	Brunsbuettelkoog	D7676752
05	Schneider, Harald	Scient.	German	28.01.36	Hamburg	F2037219
06	Makhraban, Rosa-Maria	Scient.	German	02.06.53	Heidenheim	E0408119
07	Prange, Andreas	Scient.	German	08.03.50	Cuxhaven	E1071535
08	Sattler, Carl-Diedrich	Scient.	German	22.01.56	Wolfsburg	F1314063
09	Heidbuechel, Elmar	Scient.	German	21.03.39	Duesseldorf	D8510518
10	Brandt, Helmut	Scient.	German	08.03.40	Habenhausen	E7074572
11	Keipke, Dietmar	Scient.	German	19.09.55	Eddesse	D4734507
12	Krueger, Harm-Dietrich	Scient.	German	10.12.55	Peine	D3932459
13	Lausch, Erwin	Scient.	German	13.06.29	Berlin	C9401543
14	Grobet, Anne Marie	Scient.	Swiss	25.03.43	Grand-Sacconnex	3418621
15	Manheim, Frank Tibor	Scient.	USA	14.10.30	Germany	Y1506272
16	Schreiber, Ulrich	Scient.	German	19.01.56	Osterode	E7838696
17	Riemann, Franz	Scient.	German	24.06.37	Wandsbeck	E9488187
18	Rask, Helgard	Scient.	German	09.10.53	Sarstedt	82498K
19	Gundlach, Heinrich	Scient.	German	23.04.29	Lennep	67364K
20	Marchig, Vesna	Scient.	German	27.08.40	Zagreb	82499K
12. Date and signature by master, authorized agent or officer						

AMR

STATION - SAMPLING - LIST

50/178

Campaign	Station	Equipm. Code	Position			Depth (m)	Metal contents (%/a)						Cruise	Date	Net Stat. Time (min)	Add. Equipm.	Results				CKB	DK	DS	SP	CK	SR	SBZ	SBF	INC	DOM																						
			N	E	W		Lat.	Long.	Ni	Cu	Co	Mn					Fe	Nod	Sed.	Wat.											Nod. (g)	Sed. (cm)																				
1	31	FE	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50											
			9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50								
			7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50						
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50				
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

*Analysen siehe CKB-Liste
(Beitrag P. Otten)*

66 Heutungen
33 Heutungen

(AAS, Spektralphotometrie, Titrimetrische Maßanalyse)

CKB-Nr	%Mn	%Fe	%Co	%Ni	%Cu	%Zn	Mn/Fe	Gerät	Station
3	21,4	14,9	0,35	0,48	0,33	0,073	1,44	GBHF	13
4	21,2	14,0	0,35	0,52	0,34		1,51	GBHF	14
5	21,5	13,8	0,38	0,57	0,36		1,56	GBHF	15
6	17,1	10,2	0,25	0,57	0,38	0,075	1,68	GBHF	16
7	19,1	10,5	0,27	0,60	0,42	0,090	1,82	GBHF	17
8	21,0	13,9	0,36	0,51	0,32		1,51	KH	19
9	13,4	6,9	1,00	0,07	0,04		1,94	SR	25 W
10	26,2	14,4	0,43	0,42	0,20	0,064	1,82	DK	30
11	23,5	15,0	0,38	0,50	0,39	0,072	1,57	DK	30
12	24,7	15,3	0,64	0,28	0,09		1,61	DK	30
13	11,5	7,6	0,15	0,41	0,48	0,067	1,51	DK	30
14	26,8	15,2	0,64	0,42	0,10	0,061	1,76	DK	30
17	23,0	12,9	0,91	0,49	0,06	0,065	1,78	DK	31(1)
18	25,8	14,3	0,92	0,46	0,05		1,80	DK	31(2)
19	28,1	13,2	1,13	0,56	0,06	0,067	2,13	DK	31(3)
20	20,1	9,6	0,53	0,36	0,07	0,074	2,09	DK	31(4)
21	23,7	14,5	0,78	0,38	0,05		1,63	DK	31(5)
22	26,6	12,8	1,30	0,63	0,05		2,08	DK	31(6)
23	33,0	9,8	1,92	0,78	0,05	0,074	3,37	DK	32(1)
24	33,2	10,7	1,62	0,77	0,04	0,073	3,10	DK	32(2)
25	29,9	11,5	1,18	0,71	0,05	0,071	2,60	DK	32(3)
26	24,2	7,0	0,79	0,78	0,04	0,109	3,46	DK	32(4)
27	15,5	13,6	0,44	0,06	0,12		1,14	KH	49
28	13,0	12,3	0,31	0,20	0,11	0,046	1,06	GBHF	50
29	18,4	12,0	0,48	0,32	0,34		1,53	GBHF	55
30	20,4	13,2	0,40	0,50	0,35		1,55	KH	42
31	26,4	15,5	0,91	0,46	0,08	0,084	1,70	DK	43(1)
32	24,4	15,5	0,52	0,52	0,17	0,074	1,57	DK	43(2)
33	24,9	14,7	0,58	0,42	0,17		1,69	DK	43(3)
34	24,1	14,8	0,63	0,48	0,15	0,080	1,63	DK	43(4)
35	27,4	14,6	0,84	0,53	0,06	0,067	1,88	DK	44
36	20,5	14,0	0,72	0,29	0,10		1,46	DK	56
37	18,9	14,3	0,62	0,27	0,10		1,32	DK	57
38	30,7	12,2	1,21	0,62	0,05	0,068	2,52	DK	58(1)
39	30,0	11,5	1,14	0,57	0,05	0,063	2,61	DK	58(2)
40	22,1	8,0	0,71	0,56	0,05	0,068	2,76	DK	58(3)
41	13,4	12,9	0,44	0,28	0,14		1,04	DK	73(1)
42	19,0	16,6	0,56	0,13	0,12		1,14	DK	73(2)

(AAS, Spektralphotometrie, Titrimetrische Maßanalyse)

CKB-Nr	%Mn	%Fe	%Co	%Ni	%Cu	%Zn	Mn/Fe	Gerät	Station
44	21,0	16,1	0,71	0,20	0,04		1,30	DK	75(1)
45	23,4	14,6	0,83	0,38	0,09		1,60	DK	75(2)
46	27,0	15,5	1,02	0,44	0,04	0,050	1,74	DK	76(1)
47	21,6	7,9	0,50	0,62	0,11	0,083	2,73	DK	76(2)
48	29,0	15,6	1,38	0,51	0,03	0,050	1,86	DK	76(3)
49	26,5	13,7	0,50	0,28	0,09		1,93	DK	78(1)
50	27,3	14,0	0,48	0,22	0,09		1,95	DK	78(2)
51	24,6	14,3	0,79	0,44	0,08		1,72	DK	78(3)
52	24,2	11,1	0,45	0,39	0,06	0,064	2,18	DK	78(4)
53	21,8	13,7	0,55	0,51	0,15	0,097	1,59	DK	78(5)
54	18,4	10,9	0,55	0,38	0,11		1,69	DK	78(6)
55	21,8	13,9	0,87	0,48	0,05	0,059	1,57	DK	111(1)
56	27,4	14,5	1,15	0,45	0,02	0,076	1,89	DK	111(2)
57	26,8	15,7	1,10	0,44	0,02	0,071	1,71	DK	111(3)
58	24,6	7,3	0,75	0,82	0,18	0,121	3,37	DK	111(4)
59	27,0	13,8	0,84	0,46	0,04		1,96	DK	111(5)
60	24,0	14,6	1,10	0,35	0,07	0,059	1,64	DK	113(1)
61	19,8	17,5	0,56	0,28	0,09	0,063	1,13	DK	113(2)

n	St.-Nr.	CKB-Nr.	Pr.-Bez.*1)	Mn				Fe				Mn/Fe		mittlere Wassertiefe		
				Ø	± S	max.	min.	Ø	± S	max.	min.	Ø	± S		max.	min.
06	*2)	s.u.	Kt u. Kn	23,22	4,79	33,2	11,5	13,01	2,59	17,5	6,9	1,78	0,72	3,46	1,04	-
15	*3)	s.u.	Kt u. Kn	24,18	4,66	33,2	11,5	13,00	2,79	17,5	6,9	1,86	0,76	3,46	1,04	-
1	*4)	3-8,11, 27-30	Kn	19,28	3,07	23,5	13,0	13,04	1,61	15,0	10,2	1,48	0,42	1,82	1,06	= 4000 m
3	30	10,12,14	Kt	25,9	1,08	26,8	24,7	14,97	0,49	15,3	14,4	1,73	0,13	1,82	1,61	3780 m
6	31	17-22	Kt	24,55	2,87	28,1	20,1	12,88	1,76	14,5	9,6	1,91	0,48	2,13	1,63	2100 m
4	32	23-26	Kt	30,08	4,20	33,2	24,2	9,75	1,96	11,5	7,0	3,09	1,05	3,46	2,60	1120 m
4	43	31-34	Kt	24,95	1,02	26,4	24,4	15,13	0,43	15,5	14,7	1,65	0,11	1,70	1,57	3350 m
1	44	35	Kt	27,40				14,60				1,88				1960 m
1	56	36	Kt	20,50				14,00				1,46				4050 m
1	57	37	Kt	18,90				14,30				1,32				4380 m
3	58	38-40	Kt	27,60	4,78	30,7	22,1	10,57	2,25	12,2	8,0	2,61	1,01	2,76	2,52	1510 m
1	73	42	Kt	19,00				16,60				1,14				2860 m
2	75	44-45	Kt	22,20	1,70	23,4	21,0	15,35	1,06	16,1	14,6	1,45	0,21	1,60	1,30	1880 m
2	76	46-48	Kt	28,00	1,41	29,0	27,0	15,55	0,07	15,6	15,5	1,80	0,10	1,86	1,74	1190 m
1	78	51	Kt	24,60				14,30				1,72				1900 m
3	111	56,57,59	Kt	27,07	0,31	27,4	26,8	14,67	0,96	15,7	13,8	1,85	0,14	1,96	1,71	1240 m
2	113	60,61	Kt	21,90	2,97	24,0	19,8	16,05	2,05	17,5	14,6	1,36	0,36	1,64	1,13	2500 m
1	78	52	Kn	24,20				11,10				2,18				1900 m
1	78	53	Kn	21,80				13,70				1,59				1900 m
1	78	54	Kn	18,40				10,90				1,69				1900 m
1	111	55	Kn	21,80				13,90				1,57				1240 m

n	St.-Nr.	CKB-Nr.	Pr.-Bez. ^{*1}	%Co			%Ni			%Cu			mittlere Wassertiefe	
				± S	max.	min.	∅	± S	max.	min.	∅	± S		max.
56	*2)	s.u.	Kt. u. Kn	0,73	1,92	0,15	0,45	0,17	0,82	0,06	0,13	0,48	0,02	-
45	*3)	s.u.	Kt. u. Kn	0,82	1,92	0,15	0,45	0,17	0,82	0,07	0,09	0,48	0,02	-
11	*4)	3-8, 11, 27-30	Kn	0,36	0,48	0,25	0,44	0,17	0,57	0,06	0,31	0,42	0,11	= 4000 m
3	30	10, 12, 14	Kt	0,57	0,64	0,43	0,37	0,08	0,42	0,28	0,13	0,20	0,09	3780 m
6	31	17-22	Kt	0,93	1,30	0,53	0,48	0,10	0,63	0,36	0,06	0,07	0,05	2100 m
4	32	23-26	Kt	1,38	1,92	0,79	0,76	0,03	0,78	0,71	0,05	0,05	0,04	1120 m
4	43	31-34	Kt	0,66	0,91	0,52	0,47	0,04	0,52	0,42	0,14	0,17	0,08	3350 m
1	44	35	Kt	0,84			0,53				0,06			1960 m
1	56	36	Kt	0,72			0,29				0,10			4050 m
1	57	37	Kt	0,62			0,27				0,10			4380 m
3	58	38-40	Kt	1,02	1,21	0,71	0,58	0,03	0,62	0,56	0,05	0,05	0,05	1510 m
1	73	42	Kt	0,56			0,13				0,12			2860 m
2	75	44, 45	Kt	0,77	0,83	0,71	0,29	0,13	0,38	0,20	0,07	0,09	0,04	1880 m
2	76	46, 48	Kt	1,20	1,38	1,02	0,48	0,05	0,51	0,44	0,04	0,04	0,03	1190 m
1	78	51	Kt	0,79			0,44				0,08			1900 m
3	111	56, 57, 59	Kt	1,03	1,15	0,84	0,45	0,01	0,46	0,44	0,03	0,04	0,02	1240 m
2	113	60, 61	Kt	0,83	1,10	0,56	0,32	0,05	0,35	0,28	0,08	0,09	0,07	2500 m
1	78	52	Kn	0,45			0,39				0,06			1900 m
1	78	53	Kn	0,55			0,51				0,15			1900 m
1	78	54	Kn	0,55			0,38				0,11			1900 m
1	111	55	Kn	0,87			0,48				0,05			1240 m

*1) Kn: Knollen

Kt: Krusten

*2) 13-17, 19, 25 W, 30, 31, 32, 42, 43, 44, 49, 50, 55-57, 58, 73, 75, 76, 78, 111, 113

*3) 25 W, 30, 31, 32, 43, 44, 56, 57, 58, 73, 75, 76, 78, 111, 113

*4) 13-17, 19, 30, 42, 49, 50, 55