

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 70 (1977)
Heft: 2

Artikel: Maringeologische Untersuchungen im Westpazifik
Autor: Oberhänsli, Roland / Dietrich, Volker J. / Oberhänsli, Hedwig
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-164627>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

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

Eclogae geol. Helv.	Vol. 70/2	Seiten 417-434	6 Textfiguren	Basel, Juli 1977
---------------------	-----------	----------------	---------------	------------------

Maringeologische Untersuchungen im Westpazifik

Von ROLAND OBERHÄNSLI¹⁾, VOLKER J. DIETRICH²⁾ und HEDWIG OBERHÄNSLI³⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit stellt eine Zusammenfassung der wichtigsten geologischen, petrographischen, sedimentologischen und paläontologischen Resultate dar, welche von 66 Erdwissenschaftlern aus 10 Ländern während einer dreimonatigen Forschungsfahrt vom 29. Mai bis 12. September 1976 durch den Westpazifik an Bord des russischen Forschungsschiffes «Dmitry Mendeleev» erarbeitet wurden.

Ziel der Expedition war es, die geologischen Strukturen und das Material sowohl der ozeanischen Kruste der randlichen Meeresbecken (marginal basins) des Westpazifiks als auch der Inselbögen und ihrer vorgelagerten Tiefseetröge zu untersuchen.

Das Unternehmen wurde im Rahmen des «International Geological Correlation Programme» - IGCP/UNESCO, Projekt «Ophiolites» - von der USSR-Akademie der Wissenschaften in Moskau durchgeführt.

Es wurden Serpentine, Gabbros, Diabase und Basalte aus dem zentralen Tal der Yap-Zone gedredgt. Dies spricht für die Existenz ozeanischer Kruste im West-Marianen-Becken.

Der pazifische Abhang des Marianen-Inselbogens enthält typische ophiolithische Gesteine mit flyschartigen Sedimenten vergesellschaftet - Indizien für die Ausbildung einer Ophiolith-Schuppenzone aufgrund der Subduktionsmechanismen ozeanischer Kruste.

Eine petrographische Seltenheit aus dieser Region stellen basaltische Andesite («Boninite») dar. Diese nur aus Pyroxenen und Glas bestehenden Gesteine scheinen die Basis des Marianen-Inselbogens aufzubauen.

ABSTRACT

This paper summarizes the new geological, petrographical, sedimentological and paleontological results from the R/V «Dmitry Mendeleev» 1976 cruise through the western Pacific.

The investigations were carried out by an international working group of 66 earth scientists within the IGCP Project «Ophiolites» and sponsored by the USSR Academy of Sciences, Moscow.

The purpose of the expedition was to investigate the structure and composition of the oceanic crust of the marginal basins, the remnant island arcs and the deep sea trenches.

Ultramafics, gabbros and basalts in various stages of alteration were dredged from the central valley of the Yap Zone, indicating the presence of oceanic crust within the West-Mariana basin.

The Pacific slope of the Mariana island arc contains typical ophiolitic rocks associated with «flysch-type» sediments. This is a strong evidence for the formation of an «ophiolite-Schuppenzone», probably due to subduction of oceanic crust.

One of the unique features out of this region are «boninites» which are similar to basaltic andesites. These rocks contain only pyroxenes and glass and may form the basis of the Mariana island arc.

RÉSUMÉ

Ce travail donne un aperçu des résultats géologiques, pétrographiques, sédimentologiques et paléontologiques les plus importants, récoltés par 66 chercheurs lors d'une expédition de trois mois (du

¹⁾ Labor für Mikroröntgenspektroskopie der phil. nat. Fakultät der Universität Bern, Sahlistr. 6, 3012 Bern.

²⁾ Institut für Kristallographie und Petrographie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

³⁾ Geologisches Institut, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

29 mai au 12 septembre 1976) à bord du navire soviétique «Dmitry Mendeleev» dans l'ouest du Pacifique.

C'est l'Accadémie soviétique des sciences de Moscou qui a organisé cette expédition dans le cadre du projet «Ophiolites» du Programme International de Corrélation Géologique (PICG/UNESCO).

L'expédition avait pour but l'exploration des structures géologiques et le prélèvement de matériel constituant la croûte océanique des bassins marginaux, des arcs volcaniques insulaires et de leurs fossés.

La vallée centrale de la zone de Yap a livré des échantillons de serpentines, de gabbros, de diabases et de basaltes, indiquant la composition de la croûte océanique dans le «West-Mariana basin».

Des roches ophiolitiques très typiques associés à des sédiments du type flysch se retrouvent sur le versant pacifique de l'arc insulaire de Mariana. Ces roches font penser à une zone d'écaïlles ophiolitiques formée par un mécanisme de subduction de croûte océanique.

De la même région proviennent des andésites basaltiques, roches exceptionnelles connues sous le nom de «boninite». Ces boninites sont constitués de pyroxènes dans une matrice de verre et semblent former le socle de l'arc insulaire de Mariana.

Das IGCP-Projekt «Ophiolites»

Bedingt durch die Ähnlichkeit ophiolithischer Gesteinstypen mit Gesteinen der ozeanischen Kruste wurden die ophiolithischen Abfolgen aller Gebirgsketten in den vergangenen zwei Jahrzehnten intensiv untersucht.

Besonderes Interesse galt der tektonischen Stellung der Ophiolithe in den geologisch jungen Kettengebirgen (z.B. in den Alpen und dem Apennin), ihrem internen strukturellen Aufbau, der Petrographie, dem Chemismus und der Metamorphose.

Aus der Fülle neuer Daten ergab sich auch die Aufgabe einer Ophiolith-Gliederung sowohl nach regionalgeologischen als auch nach petrographisch-geochemischen Gesichtspunkten. Die ersten Ansätze dieser Gliederungen (COLEMAN 1971; COLEMAN & IRWIN 1974; Geotimes 1972 Penrose Conference; MIYASHIRO 1975 usw.) stellten sich im Vergleich mit dem Aufbau ozeanischer Kruste aufgrund maringeologischer und geophysikalischer Daten als unzufriedenstellend heraus.

Kleinere Meeresbecken (z.B. Tyrrhenisches Meer oder Japanisches Meer) besitzen keine oder eine sehr unregelmässige Verteilung magnetischer Anomalien, der Wärmefluss ist unterschiedlich, die seismische Struktur der Kruste und die Lage der Mohorovičić-Diskontinuität nicht über grössere Distanzen einheitlich verfolgbar. Auch ergaben sich geochemische Differenzen zwischen Gesteinen ozeanischer Kruste der grossen Ozeane und der kleineren randlichen oder internen Meeresbecken (HAWKINS 1976; DIETRICH et al., im Druck).

Der Schlüssel zur Rekonstruktion der Ophiolithvorkommen in den Gebirgen, der fossilen Relikte ozeanischer Kruste, liegt in der weiteren detaillierten Erforschung der heutigen Meere.

Im Rahmen des «International Geological Correlation Programme» (IGCP-UNESCO) schliesst das russische Projekt «Ophiolites» (N. Bogdanov, Geological Institute of the USSR Academy of Sciences, Moscow) auch maringeologische Untersuchungen ein. So wurden der Atlantik für die Erforschung mittelozeanischer Rücken und der Westpazifik für detaillierte Studien in Tiefseeegräben, Inselbögen und randlichen Meeresbecken ausgewählt.

Für die Forschungsfahrt der «Dmitry Mendeleev» im Philippinen-Meer (Fig. 1) ergaben sich folgende Aufgaben:

- Suche nach Äquivalenten mittelozeanischer Rücken innerhalb der randlichen Meeresbecken. Petrographisch-geochemische Studien an Gesteinen dieser Rücken.
- Morphologische Untersuchungen mit Probenentnahmen an Ketten von «seamounts» im Philippinen- und Marianen-Becken. Stellen diese Ketten fossile vulkanische Inselbögen dar?
- Struktur und Materialinhalt der Tiefseetröge, der Flanken gegen vulkanische Inselbögen und gegen die pazifische ozeanische Kruste.
- Suche nach Schuppen ozeanischer Kruste (Ophiolith-Relikte), metamorphen Gesteinen, Mélange- und Wildflysch-Relikten innerhalb der Tiefseetröge.
- Petrographisch-geochemische Vergleiche zwischen mafisch-ultramafischen Gesteinen der Kruste randlicher Meeresbecken, Gesteinen der mittelozeanischen Rücken und Ophiolith-Relikten der Tiefseetröge.

Geologisch-tektonische Übersicht des Philippinen-Meeres

Das Philippinen-Meer erstreckt sich über eine maximale Länge von ca. 3000 km und über eine Breite von ca. 2700 km. Figur 1 stellt eine geologisch-tektonische Übersichtskarte dieses Gebietes dar, welches durch die bogenförmige, vulkanisch aktive Kette der Marianen- und Bonnin-Inseln und die vorgelagerten Tiefseetröge im Osten vom Pazifischen Ozean getrennt wird. Die westliche Abgrenzung gegen den asiatischen Kontinent mit seinen vorgelagerten Meeresbecken wird durch das tektonisch komplizierte Mosaik der vulkanischen Inselgruppen von Celebes, den Philippinen- und den Ryukyu-Inseln gebildet.

Eine Gliederung des Philippinen-Meeres in randliche Becken (marginal basins), Tröge (troughs), Tiefseeegräben (trenches), submarine Rücken (ridges), Inselbögen (island arcs), Bruchzonen (fault zones), in Plateaus und grössere «seamounts» erfolgt zunächst aufgrund ausgeprägter morphologischer Unterschiede des Meeresbodens (Bathymetrie).

Zwei etwa 2000 km lange submarine Rücken, der Kyushu-Palau-Bogen und der West-Marianen-/Iwo-Jima-Bogen, teilen das Philippinen-Meer in drei randliche Becken auf: das Philippinen-Becken im Westen, das mittlere Shikoku- und West-Marianen-(oder Parece-Vela-)Becken und in den Marianen-Trog im Osten. Die beiden submarinen Rücken werden als fossile, abgesunkene vulkanische Inselbögen angesehen [KARIG 1972, 1975; COLEMAN (Ed.) 1973; SUGIMURA & UYEDA 1973; UYEDA & MIYASHIRO 1974; KAGAMI 1975].

Der *Kyushu-Palau-Bogen* stellt einen 100 bis 130 km breiten und 2400 km langen submarinen Rücken dar, der sich von den Palau-Inseln im Süden bis zum Nankai-Trog südlich Japan erstreckt. Zahlreiche kleinere «seamounts», die als ehemalige Vulkankegel zu deuten sind, bauen den Bogen auf. Generell hat der Bogen die asymmetrische Struktur, die bei allen heute noch aktiven Inselbögen charakteristisch ausgeprägt ist. Der Ostabfall hat mit ca. 20° eine wesentlich stärkere Neigung als der Westabfall (6–8°).

Die Dredge der Stationen 1396 und 1397 (Fig. 1) an den steilen Ostflanken enthielten Basalte der Kalkalkali-Reihe sowie Bimse und Kristalltuffe, deren Gläser SiO₂-Gehalte zwischen 52 und 63% aufwiesen.

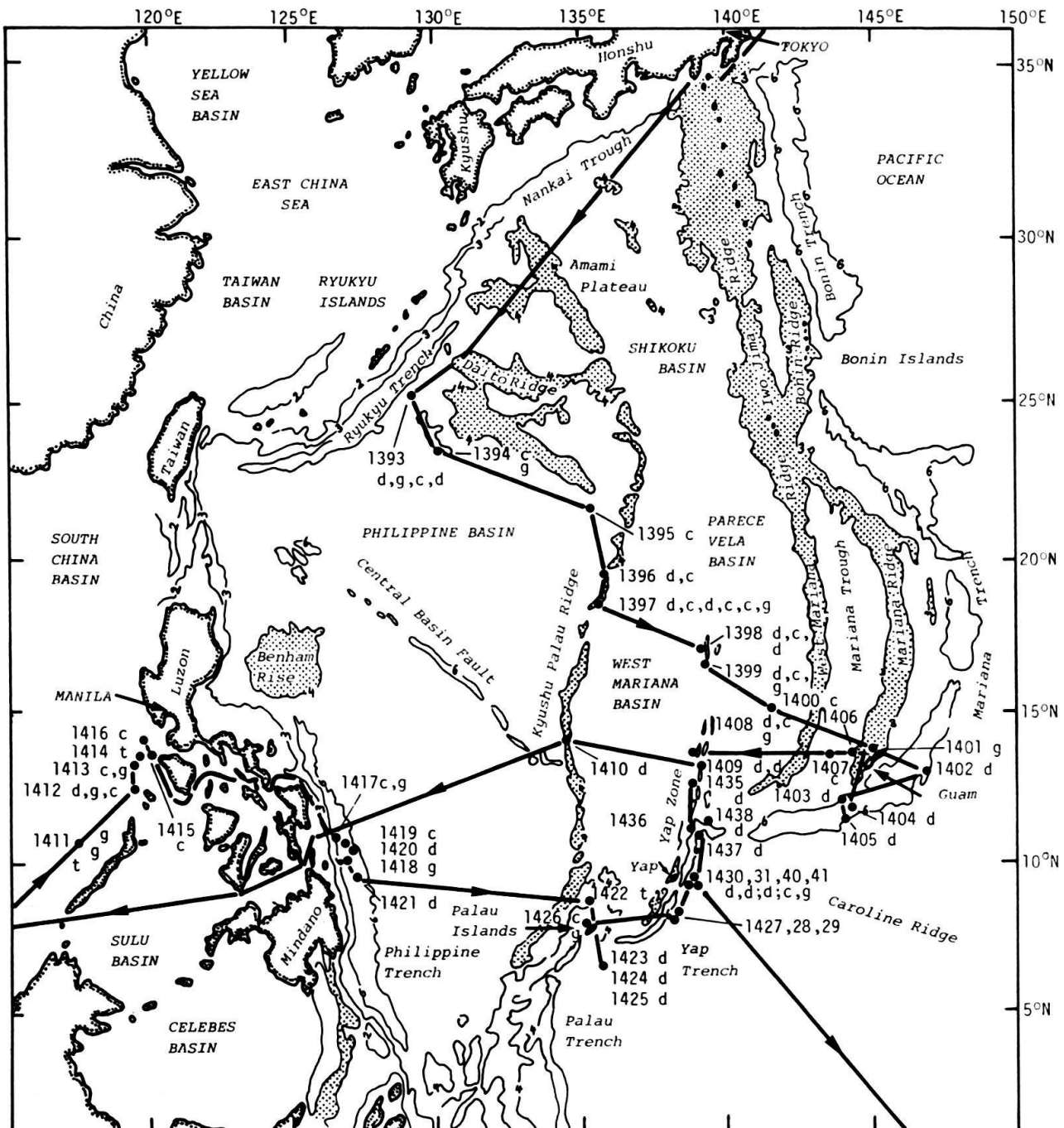


Fig. 1. Expeditionsroute der «Dmitry Mendeleev», Juni bis August 1976, durch das Philippinen-Meer. Darstellung der Schiffsroute mit den Lokalitäten der Stationen (Angaben im Text) auf vereinfachter bathymetrischer Grundlage ($\sim 3 \text{ cm} = 3000 \text{ m}$ usw.).

Legende: Nr. 1402 = Lokalität der Station; *d* = dredge, *c* = gravity core (Sediment-Kerne), *g* = grab (Sedimentproben mit Baggerschaukel), *t* = trawling (Schleppen von Kettennetz für Gesteinsproben).

Die geologischen Bezeichnungen wurden aufgrund ihrer ursprünglichen Definition in Englisch aufgeführt. Im Text verwendete Übersetzungen: *basin* = Becken, *trough* = Trog, *trench* = Tiefseegraben, *ridge* = entweder heutiger Inselbogen (meist vulkanische Inseln) oder fossiler, abgesunkener Inselbogen, *Yap zone* = Yap-Zone (fossiler mittelozeanischer Rücken) und *fault* = Bruchzone.

Der *West-Marianen-Bogen* erscheint auf den seismischen Profilen in der gleichen asymmetrischen Form wie der Kyushu-Palau-Bogen, d. h. mit einem ca. 20° steilen Ostabfall von 1700 auf 6000 m und einem allmählichen Westabfall gegen das West-Marianen-Becken. Reliktisch ist noch ein kleinerer, gegen Ost vorgelagerter Graben zu erkennen. Der vulkanische Aufbau des West-Marianen-Bogens wurde von KARIG & GLASSLEY (1970) durch dazitische Vulkanite belegt.

Nördlich des Philippinen-Beckens liegt eine Zone komplexer Strukturen, das *Amami-Plateau*, die *Daito- und Oki-Daito-Rücken*, welche als Relikte sialischer Kruste (Mikrokontinente) betrachtet werden (YOSHII et al. 1973; MOGI 1975; KANÔ 1975; KARIG 1975; SHIKI et al. 1976).

Im Süden stellt das Gebiet der *Yap-Zone* eine besondere strukturelle Konfiguration dar. Dort scheinen die eingebogenen Yap- und Marianen-Tiefseegräben mit dem Karolinen-Rücken des Westpazifiks zusammenzutreffen. Die nördliche Fortsetzung des Yap-Rückens, eine axiale Zone mit ausgeprägtem Relief, teilt das West-Marianen-Becken in zwei Hälften. Es könnte sich bei dieser Zone um das Relikt eines ehemaligen mittelozeanischen Rückens handeln, an welchem ozeanische Kruste des West-Marianen-Beckens gebildet wurde.

Das *Philippinen-Becken* weist eine recht eintönige Morphologie des Meeresbodens mit Tiefen zwischen 5000 und 6000 m auf. Einen Überblick über die Sedimentologie und Stratigraphie vermitteln die DSDP Initial Reports des Leg. 31 der «Glomar Challenger» (PACKHAM & ANDREWS 1975). Im Durchschnitt liegt 75 bis 150 m unverfestigter quartärer Tiefseeton vor. Interessant ist die Lage der CCD (Calcite Compensation Depth), welche heute zwischen 3700 und 4000 m liegt. Es konnten unter den jungen Tonen oligozäne, Nannofossilien führende Schlamme festgestellt werden. Eine grosse Bruchzone durchsetzt das Philippinen-Becken in NW-SE Richtung. Sie könnte entweder als das Relikt des zentralen Bereiches eines ozeanischen Rückens oder als eine transforme Bruchzone gedeutet werden (BEN-AVRAHAN et al. 1972).

Das *West-Marianen-Becken* wird durch eine «axiale Zone ausgeprägten Reliefs» (KARIG 1975) in zwei morphologisch unterschiedliche Teilbecken getrennt. Die Morphologie der ozeanischen Kruste im *westlichen Teil des Beckens* wird durch unzählige kleine Rücken und Täler zwischen 4500 und 5500 m Tiefe charakterisiert. Das Bild ähnelt, wenn auch in viel kleinerem Maßstab, der Morphologie des Mittelatlantischen Rückens. Die Sedimentbedeckung beträgt in diesem Bereich 50 bis 75 m.

Das *östliche Teilbecken* ist räumlich kleiner als das westliche Teilbecken. Die unruhige Morphologie wird durch eine wahrscheinlich über 1000 m mächtige Sedimentbedeckung (Detritus des West-Marianen-Bogens) ausgeglichen. Die Sedimente wurden in Leg. 6 des DSDP an zwei Lokalitäten nahe der axialen Zone abgebohrt (FISCHER & HEEZEN 1971).

Der *Marianen-Trog* stellt das räumlich kleinste randliche Meeresbecken dar. Viele Indizien weisen auf die rezente Bildung ozeanischer Kruste innerhalb dieses Troges. HART et al. (1972) beschrieben junge Tholeiitbasalte aus der Trogachse. Die hemipelagischen Silte und Tone erreichen max. 200 m Mächtigkeit. Gegen den Marianen-Inselbogen werden sie von mächtigen Schüttungen vulkanischen Detritus abgelöst.

Die *seismische Struktur der Erdkruste* variiert im *westpazifischen Raum* sehr stark. Während die japanischen Inseln von sialischer Kruste (sogar ? Präkambrium) bis in 40 km Tiefe aufgebaut werden (MURAUCHI et al. 1968; KIMURA 1974; MURAUCHI 1975; HOUTZ & EWING 1976; IKEBE 1976) liegt im Philippinen-Becken ozeanische Kruste mit nur 6–7 km Mächtigkeit vor (SEGAWA 1976; NASU 1976). Eine Zwischenstellung mit ca. 15 km Kruste nehmen die Daito- und Oki-Daito-Rücken ein. Unter den vulkanischen Ryukyu-Inseln dürfte sowohl ozeanische als auch sialische Kruste mit variablen Mächtigkeiten (wahrscheinlich bis 25–30 km Tiefe) vorhanden sein. Ähnliche Werte sind für Taiwan und die Philippinen zu erwarten. Im Bonin-Marianen-Inselbogen liegt die Mohorovičić-Diskontinuität zwischen 16 und 18 km und unter dem Kyushu-Palau-Bogen in ca. 13 km Tiefe. Kompressions- und Scherwellen-Geschwindigkeiten lassen unter dem Shikoku-/West-Marianen-Becken und unter dem Marianen-Trog auf eine 7–8 km mächtige ozeanische Kruste schliessen.

Die Bildung von ozeanischer Kruste in den randlichen Becken könnte ähnlich wie in den grossen Ozeanen abgelaufen sein, d.h. von zentralen ozeanischen Rücken aus. Indizien solcher Mechanismen wären im Auftreten paralleler, magnetischer Anomalien zu suchen, welche bisher nur im Shikoku-Becken (TOMODA et al. 1973; WATTS & WEISSEL 1974) und im Westteil des Philippinen-Beckens (LEE & HILDE 1971) nachgewiesen werden konnten.

Eine weitere Gliederung der randlichen Becken basiert auf Wärmefluss-Daten der ozeanischen Kruste in Zusammenhang mit der Lage vulkanisch aktiver Inselbögen und der zugehörigen Benioff-Zonen (KARIG 1971, 1972, 1975).

Demnach dürfte der Marianen-Trog mit hohen Wärmefluss-Werten noch heute tektonisch aktiv sein, d.h. ozeanische Kruste produzieren. Hingegen scheint das Shikoku-/West-Marianen-Becken trotz recht hohem Wärmefluss bereits inaktiv zu sein. Dies trifft ebenfalls für das Philippinen-Becken zu, dessen Kruste normale Wärmefluss-Werte wie alte ozeanische Kruste (SCLATER 1972) aufweist.

Das Alter des Philippinen-Meeres geht wahrscheinlich bis in die Oberkreide zurück. In einer DSDP-Bohrung an der westlichen Flanke des Kyushu-Palau-Bogens wurden Brekzien mit umgelagerten oberkretazischen Globotruncanen gefunden (KARIG 1975). Während die vulkanischen Bögen (Kyushu-Palau und Iwo-Jima/Bonin-Marianen) Vulkanite, Pyroklastika und marine Sedimente des Eozäns enthalten (KARIG & GLASSLEY 1970; SHIKI et al. 1976), scheinen sich die randlichen Becken von Westen nach Osten zu verjüngen. Das Philippinen-Becken enthält sicher eozäne, eventuell schon oberkretazische Sedimente. Die Sedimentation des Shikoku-/West-Marianen-Beckens scheint im unteren Miozän, diejenige des Marianen-Troges im Plio-Pleistozän eingesetzt zu haben.

Aufgrund dieser Daten ist eine episodische Öffnung der randlichen Becken während Höhepunkten vulkanischer und seismischer Tätigkeit anzunehmen (KARIG 1975): Öffnung des Marianen-Troges in den letzten 3–2 Mio. Jahren mit einer Bildungsgeschwindigkeit der ozeanischen Kruste von ca. 10 cm/Jahr; Shikoku-/West-Marianen-Becken im Zeitraum von 25 bis 18 Mio. Jahren ebenfalls mit ca. 10 cm/Jahr und Bildung des Philippinen-Beckens zwischen 45 und 37 Mio. Jahren. Zugleich mit der Öffnung der randlichen Becken scheint in Bereichen der Inselbögen die Subduktion der ozeanischen Kruste abgelaufen zu sein (KARIG 1971, 1972,

1975; PACKHAM & FALVEY 1971; DICKINSON 1971, 1973; UYEDA & MIYASHIRO 1974; SUGIMURA & UYEDA 1973; KARIG & SHARMAN 1975). Zeugnisse dieser Mechanismen sind in den Ophiolith-Relikten und assoziierten ozeanischen Sedimenten von Celebes, den Philippinen, Taiwan und Honshu zu sehen. Das Alter der Ophiolithe ist unterschiedlich, scheint aber allgemein gegen Osten jünger zu werden.

In der Sumanto-Zone, in Ost-Taiwan und in den Philippinen haben die Ophiolithe kretazisches Alter und sind im Süden bzw. Osten älteren, permischen Ophiolith-Gürteln vorgelagert. Einzig in den Ryukyu-Inseln bilden die permischen Ophiolithe den unmittelbaren Rahmen des Philippinen-Beckens.

Die geologisch-petrographischen Ergebnisse der Forschungsfahrt

Gesamthaft wurde im Philippinen-Meer und in den randlichen Tiefseegräben auf 50 Stationen gearbeitet (Fig. 1), wobei 37mal gedredgt wurde. 20 Dredge waren erfolgreich. Die Materialmenge der einzelnen Dredge variierte von einigen kleinen Gesteinsfragmenten bis zu ca. 1 Tonne. Eine detaillierte Beschreibung der Dredge und ihrer Lokalitäten liegt sowohl bei den Autoren als auch in den «dredge records» des Geologischen Institutes der Akademie der Wissenschaften in Moskau vor.

Yap-Zone

Diese Zone besteht aus dem Yap-Inselbogen, dem Yap-Graben und einer axialen Zone ausgeprägten Reliefs im West-Marianen-Becken (Fig. 3), welche eine nördliche Fortsetzung des Yap-Grabens mit Beginn an der Yap-Marianen «triple junction» darzustellen scheint (Fig. 1 und 2).

Der Yap-Graben ist vom Palau-Graben durch ein topographisches Hoch in 1500 m Tiefe getrennt. Der Yap-Graben zeigt symmetrischen Aufbau mit steilen Flanken bis zu 25° und wird durch kleinere Rücken in einzelne Depressionen mit max. 8850 m Tiefe unterteilt. Im tiefsten Bereich ist der Graben 560 km lang und weist an der flachen Basis eine Breite von ca. 8 km auf.

Die nördliche Fortsetzung des Grabens bis ca. 18° N ist auf bathymetrischen Karten als eine Zone kleinerer Rücken und Täler von 50 bis 70 km Breite dargestellt. Die seismischen Untersuchungen dieser Fahrt ergaben jedoch ein kontinuierliches N-S Streichen eines V-förmigen zentralen Tales mit steilen Flanken bis zu 20° und Tiefen um 6000 m. Das Tal wird symmetrisch von zahlreichen Rücken begrenzt, welche Höhen von 2000 m erreichen. Die Symmetrie ist besonders auf 13° N ausgeprägt, einem Bereich, in welchem ein noch unbekanntes Tief von 6900 m entdeckt wurde (Fig. 3). Im nördlich anschliessenden Shikoku-Becken geht die axiale Zone in die Kinan-Seamount-Kette (TOKUYAMA & FUJIODA 1976) über.

Sedimente und Sedimentgesteine

Unverfestigte, max. 100 m mächtige Sedimente finden sich an wenigen Lokalitäten im Yap-Graben und seiner nördlichen Fortsetzung. In kleineren externen Becken parallel zum Graben liegen bis zu 150 m verfestigte Tuffe.

Die rezente Sedimentation innerhalb der Yap-Zone ähnelt derjenigen im West-Marianen-Becken. Eine Baggerprobe von einem Rücken westlich des Yap-Grabens (St. 1397) enthielt mergeligen Kalkschlamm mit Nannoplankton und Foraminiferen sowie zahlreiche Manganknollen (21 kg/m^3). Da das Innere der Knollen aus kalkfreiem Ton besteht, kann entweder eine späte Hebung der Rücken oder ein Anstieg der Kalzit-Kompensationstiefe (CCD) gefolgert werden. Heute treten pelagische Kalkschlamm nur auf hochgelegenen Rücken auf, d. h. die CCD scheint bei ca. 4000 m zu liegen.

Ähnlich wie an den Ostflanken des Kyushu-Palau-Bogens liegen im Yap-Graben und an dessen Flanken Gebiete stark reduzierter Sedimentation. Während an der Basis der Abhänge grober edaphogener Schutt (MURDMAA 1976) liegt, ist der Grabenboden mit kieseligem *Ethmodiscus*-Schlamm bedeckt.

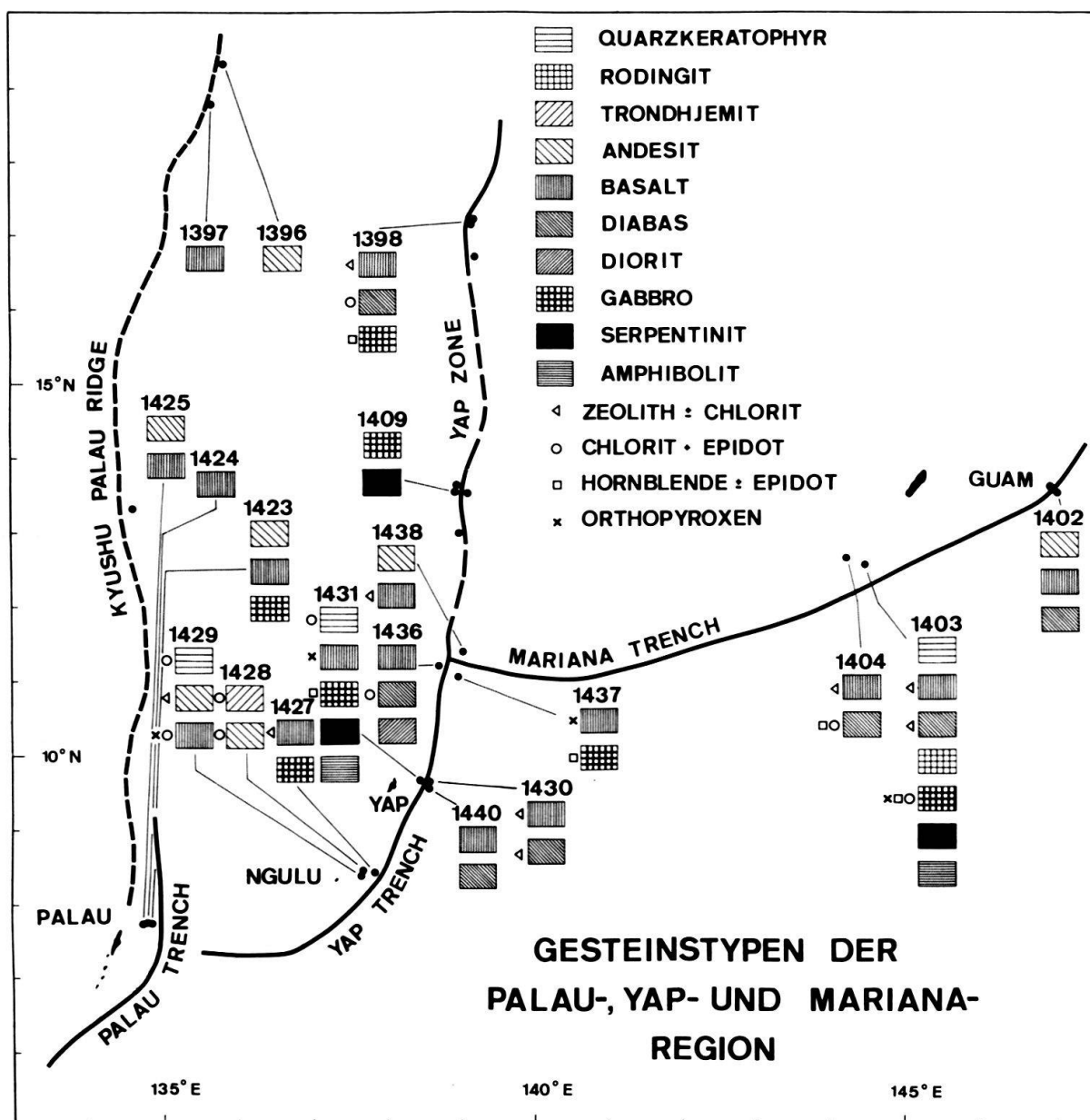


Fig. 2. Gesteinstypen der Palau-, Yap- und Mariana-Region.

Einige pliozäne Sedimente bestehen aus pelagischen Tonen, sedimentatären und vulkanischen Brekzien, welche von den Flanken des Yap-Grabens gedredgt wurden. Am Boden des Grabens fanden sich nur Brekzien. Folgende klastische Komponenten wurden in den leicht verfestigten Tonen nachgewiesen: grüne Hornblende, Epidot, Plagioklas, Pyroxen, Serpentin und vereinzelt vulkanisches Glas sowie in brekziösen Partien Serpentin-, Gabbro-, Diabas- und Basaltbruchstücke.

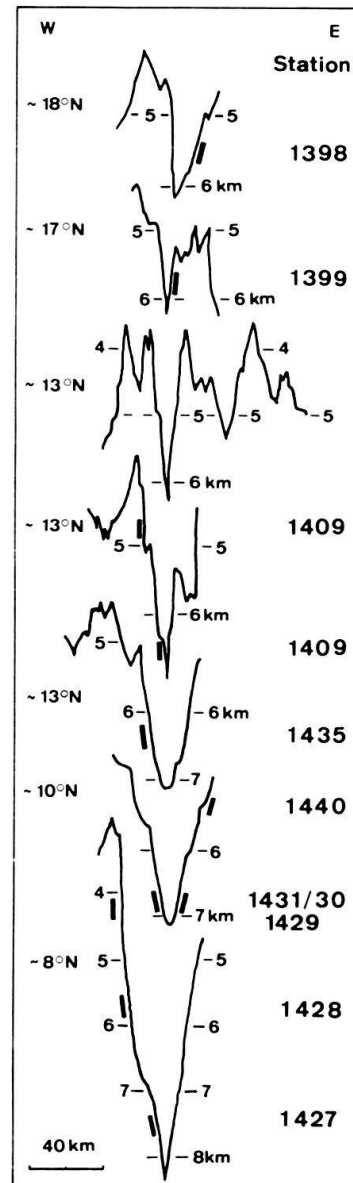


Fig. 3. Profile durch den zentralen Bereich der Yap-Zone im West-Marianen-Becken zwischen 18° und 13° N und durch den Yap-Graben zwischen 10° und 8° N. Vertikale Überhöhung ca. 25×. Die schwarzen Balken markieren die Lokalitäten der Dredge.

Am inneren westlichen Hang des Yap-Grabens (St. 1427–1431, Fig. 3) treten tuffitische Sandsteine, laminierte Siltsteine (teilweise mit Kreuzschichtung und Gradierung), Brekzien mit Vulkanit- und Metamorphit-Komponenten sowie vereinzelt tonige Tuffite und feinstkörnige Tuffe auf. Die Alter dieser Sedimente konnten nicht bestimmt werden.

Die pazifische Seite des Grabens ergab nur Hyaloklastite und kaum verfestigte pelagische Tone.

Eruptiva und Metamorphite

Unterschiedliche Gesteinsspektren ergaben sich aus verschiedenen Bereichen der Yap-Zone (Fig. 2). Die Chemismen der wichtigsten basischen Eruptiva und ihrer Umwandlungsprodukte sind auf dem Alkali/SiO₂-Variationsdiagramm (Fig. 4) und im AFM-Dreieck (Fig. 5) dargestellt. Eine detaillierte geochemische Studie dieser Gesteine (DIETRICH et al.) ist in Vorbereitung.

Im *Yap-Graben* treten neben ozeanischen Gesteinen typische kalkalkalische Vulkanite des angrenzenden Inselbogens auf. So stammen aus dem westlichen Abhang des Grabens (St. 1427–1429 und 1431) Quarzkeratophyre, Trondhjemite, Andesite, «island arc tholeiites», Diabase und Gabbros. St. 1431 ergab zudem Serpentinite und Amphibolite.

Die pazifischen Abhänge des Grabens scheinen demgegenüber aus ozeanischen Basalten und Diabasen mit olivin-tholeiithischem Chemismus aufgebaut zu werden. Häufig sind diese Gesteine metamorphosiert: Pillow-Basalte in Zeolith- bis Grünschiefer-Fazies und Gabbros in der ozeanischen Epidot-Amphibolit-Fazies. Aus der Yap-Marianen «triple junction» (St. 1436–1438) wurden Dolerite, Diorite, Gabbros und olivinreiche Basalte gedredgt.

Die nördlich anschliessende *axiale Zone im West-Marianen-Becken* enthielt nur die typische Gesteinsvergesellschaftung der ozeanischen Kruste:

Aus den steilen Flanken des zentralen Tales (St. 1398 und 1399) förderten drei Dredge zwischen 6000 und 5300 m frische Plagioklas- und Olivin-Basalte, stark verwitterte gelbliche Basalte, Pillow-Basalte und -Brekzien sowie kleinere Stücke von Meta-Gabbros zutage.

Die Chemismen der feinkörnigen Meta-Gabbros (Plagioklas An 75, Klinopyroxen, Ilmenit/Titanit, Aktinolith, Chlorit und ? Epidot) sowie einiger Basalte finden sich auf den Figuren 4 und 5. Es handelt sich durchweg um tholeiitische Chemismen, die jenen typischer ozeanischer Kruste in ozeanischen Rücken entsprechen.

Die Spinell-Lherzolithe der St. 1409 (Fig. 3) sind zu 75–80% serpentinisiert (Mineralbestand: 15–20% Enstatit, 5% Klinopyroxen, olivfarbener Chromspinell und einzelne Olivin-Relikte). Die Pyroxene sind häufig deformiert.

Die Yap-Inseln

Die Yap-Inseln, eine nur 120 km² umfassende Inselgruppe, gehört zum südlichen frontalen aktiven Inselbogen der östlichen Begrenzung des Philippinen-Meeres. Alle Inseln sind aus intermediären bis basischen Vulkaniten der Kalkalkali-Reihe aufgebaut. Assoziierte Sedimente datieren den Beginn der vulkanischen Tätigkeit im Eozän.

Yap stellt unter allen westpazifischen Vulkaninseln eine Besonderheit dar, da es aus zwei grundverschiedenen Gesteinsformationen aufgebaut wird (SHIRAKI 1971; FUJITA 1975; AOKI et al. 1976). Die «Yap formation» besteht aus Meta-Basalten und Meta-Gabbros in Grünschiefer- und Amphibolit-Fazies.

Nach SHIRAKI (1971) nimmt aufgrund des An-Gehaltes der Plagioklase (An₁₀ bis An₄₃) der Metamorphosegrad von W nach E zu. Die Amphibolite sind vollkom-

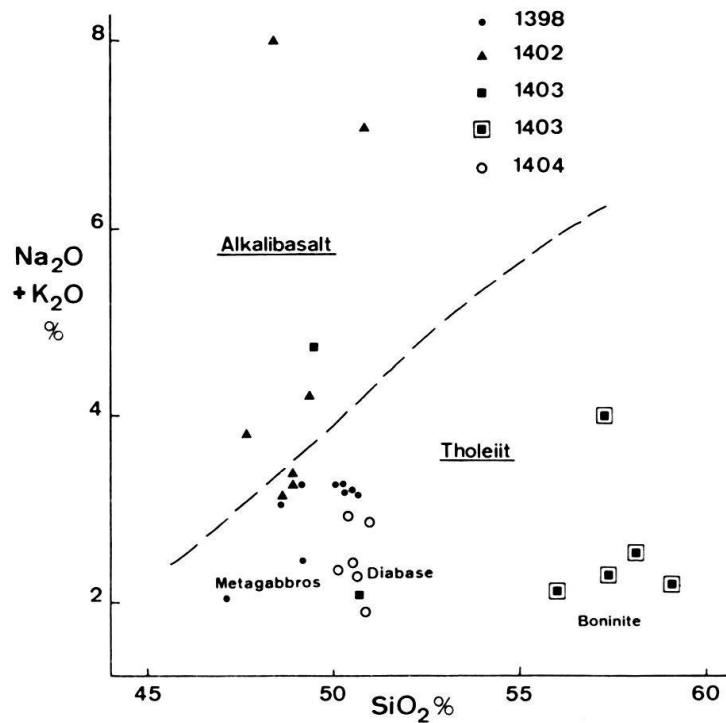


Fig. 4. Alkali/SiO₂-Variationsdiagramm der ozeanischen Gesteine (auf H₂O- und CO₂-freier Basis) aus der Yap-Zone (St. 1398) und aus dem Marianen-Graben (St. 1402 pazifischer Abhang; St. 1403 und 1404 inselwärtiger Abhang). Angaben aller Analysen (Haupt- und Spurenelemente, inkl. Seltene Erden) in DIETRICH et al. (In Vorb.).

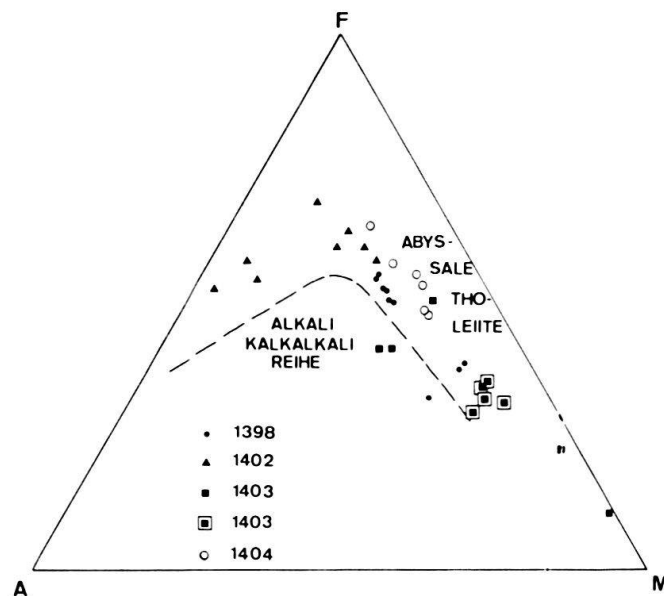


Fig. 5. AFM-(Na₂O + K₂O / FeO_{Total} / MgO)Diagramm der ozeanischen Gesteine aus der Yap-Zone und aus dem Marianen-Graben.

men rekristallisiert und zeigen nebst einer synkinematischen Schieferung auch eine postmetamorphe Deformation.

Die überlagernde «Tomil formation» besteht aus vulkanischen Agglomeraten, deren Komponenten kalkalkalische Chemismen aufweisen sowie aus aufgearbeitetem Material der «Yap formation». Die zweiphasige Deformation der Grünschiefer und Amphibolite und das aufgearbeitete Material in der «Tomil formation» lassen eine tektonische Platznahme der «Yap formation» in ihre heutige Lage vermuten.

Die Yap-Inseln stellen auch die einzigen Lokalitäten im frontalen Inselbogen des Philippinen-Meeres dar, in welchen einerseits Grünschiefer und Granat-Amphibolite aufgeschlossen sind und andererseits sogar Diopsid-Marmore und Quarzite gefunden wurden (AOKI et al. 1976).

Die kontaktmetamorphen Sedimente sind als Komponenten zusammen mit Tonaliten und Trondhjemiten in den Pyroklastika der Tomil-Formation vergesellschaftet. Wahrscheinlich liegt im Untergrund der Yap-Inseln ein Tonalit-Körper.

Die Meta-Basika sind noch wenig untersucht. Aufgrund der Lage der Yap-Inseln nahe der Yap-Marianen «triple junction» könnten diese Gesteine sowohl metamorphe Partien der basischen Insel-Vulkanite darstellen als auch ältere ozeanische Kruste des Westpazifiks oder des West-Marianen-Beckens repräsentieren.

Der Marianen-Graben

Zwei Abschnitte des über 2000 km langen, halbmondförmig gebogenen Marianen-Grabens wurden näher untersucht: ein zentraler Abschnitt zwischen 12–14° N, 144–147° E und der südliche Teil im Bereich der Yap-Marianen «triple junction».

Mehrere «air-gun» seismische Profile halfen die markante asymmetrische Morphologie des Tiefseegrabens zu rekonstruieren (Fig. 6). Die dem Inselbogen zugewandten Abhänge weisen sehr unregelmässige Längsstrukturen auf, welche sowohl durch flache Absätze und Steilstufen als auch durch Längs- und Querdepressionen markiert werden. Submarine Canyons wurden jedoch nie beobachtet. Die Neigung der inselwärtigen Abhänge beträgt, abgesehen von vereinzelten Steilstufen, in den oberen Partien ca. 3–4°. In der Zone zwischen 3000 und 5000 m liegen häufig bis zu 30 km breite Becken und Tröge, welche gegen den Tiefseegraben durch vorgelagerte Horste und Rücken abgetrennt werden. Diese Becken stellen nach DICKINSON (1971, 1973) und KARIG & SHARMAN (1975) die sogenannten «fore-arc basins» oder die Zone der «arc-trench gaps» dar.

Der 0,5–2 km breite Grabenboden ist meist flach. Kleine sedimentgefüllte Senken sind durch querlaufende Barrieren getrennt, welche einen Sedimenttransport und somit eine Nivellierung der Grabenachse verhindern.

Die Region der Yap-Marianen «triple junction» ist durch lokale Depressionen (über 8000 m Wassertiefe) charakterisiert und zeigt eine fächerförmige Struktur von Tälern und Rücken.

Ein reflektionsseismisches Profil (Fig. 6) durch den Marianen-Graben zeigt den komplizierten Aufbau und die unterschiedlichen Sedimentmächtigkeiten in den einzelnen Becken des inselwärtigen Abhanges. Im oberen Teil erreichen die Sedimente bis 1000 m Mächtigkeit und zeigen mindestens zwei diskordante Lagen.

Auftretende deformierte und gefaltete Sedimente können durch submarine Rutschungen oder tektonische Aktivität erklärt werden. Eine Schwelle im mittleren Bereich des Abhanges verhindert den Sedimenttransport in die Tiefe. Im unteren Teil des Grabens wird die Topographie unregelmässiger. In den Becken beträgt die Sedimentmächtigkeit nur noch 500–600 m. Die Sedimente weisen eine hohe akustische Dichte auf, so dass der wahre Untergrund möglicherweise getarnt ist. Mit der Tiefe nimmt die Mächtigkeit der Sedimente ab. Nur 150 m Sedimente bedecken

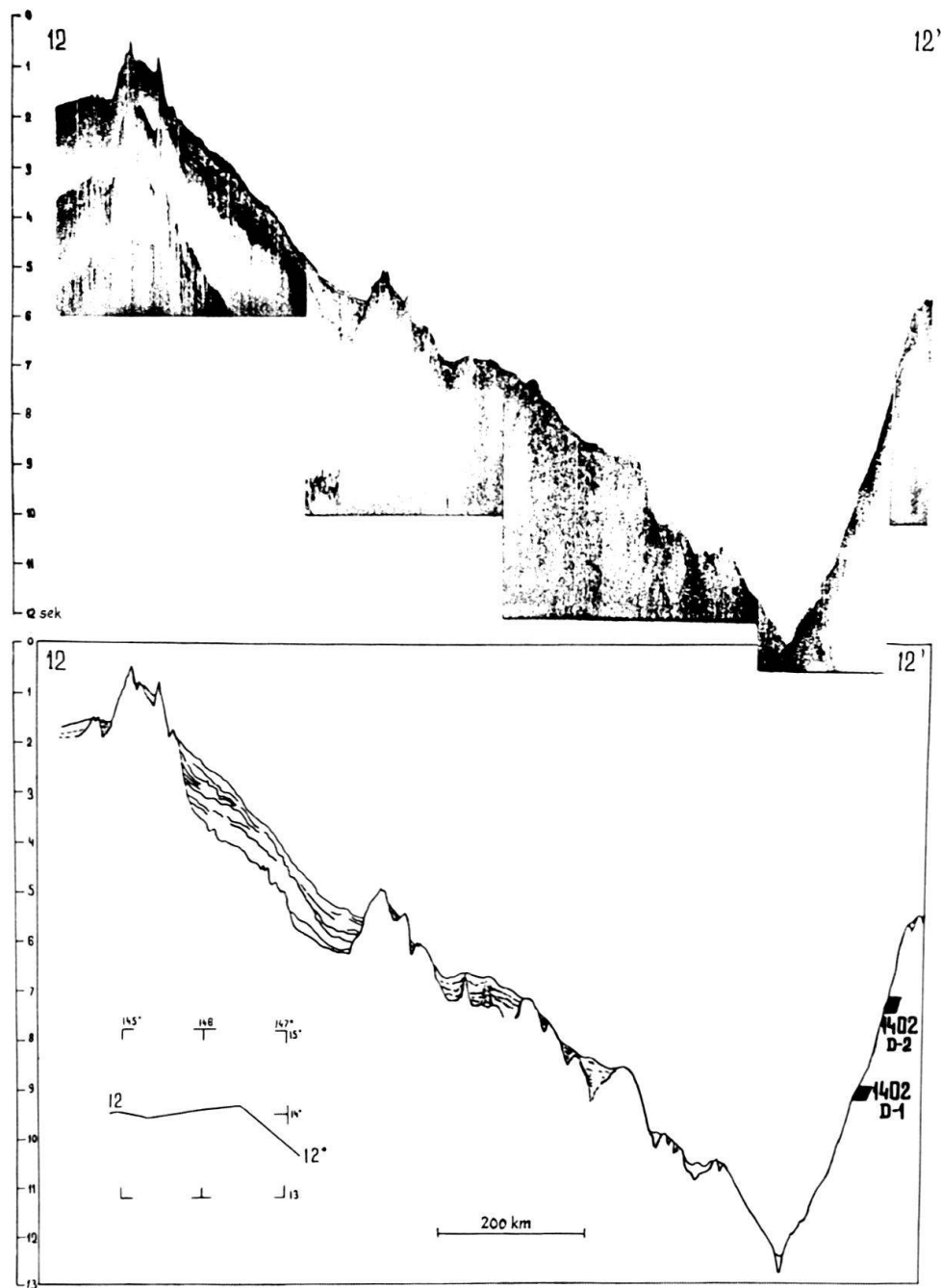


Fig. 6. «Air-gun» seismisches Profil durch den Marianen-Graben auf ca. 12° N.

Vertikaler Maßstab = Reflexionszeit der P-Wellen (sek); 1 sek ~ 750 m. Vertikale Überhöhung ca. 25 ×.

den Grabenboden. Der pazifische Abhang zeigt dagegen keine nennenswerten unverfestigten Sedimente.

Sedimente und Sedimentgesteine

Rezente Sedimente wurden im Marianen-Graben nur lokal entdeckt. Die flachen Partien der pazifischen Abhänge sind mit einer geringmächtigen Lage roten Tiefseetones bedeckt. In den Becken und an der landwärtigen Basis des Abhanges treten tuffitreiche Turbidite auf. Am Grabenboden ist Diatomeen-Schlamm (*Ethmodiscus*) abgelagert. Die submarine Verwitterung führte dort zur Akkumulation von edaphogenen klastischen Sedimenten (MURDMAA 1976). Die Sedimente und Vulkanoklastika beider Grabenflanken sind recht unterschiedlich ausgebildet.

Der *inselwärtige Abhang* (St. 1403 und 1404, Fig. 1) enthält folgende Sedimenttypen:

- Wenig verfestigte braune Tone; sandige Tone; sandige rhyolithische Glastuffe; schwach zementierte monomikte Brekzien mit Fragmenten mafischer und ultramafischer Gesteine. Da diese klastischen Sedimente häufig chaotische Strukturen aufweisen, kann die gesamte Sedimentserie als «Wildfisch», evtl. sogar als «Olisthostrom» interpretiert werden.
- Kalke, Mergel, kieselige Tone mit Radiolarien, weisse rhyolithische Kristalltuffe, z. T. gradierte und kreuzgeschichtete tephritische Sandsteine, grauackentartige Sandsteine sowie Brekzien mit Basalt-, Gabbro- und Serpentin-Fragmenten. Für einige Sedimente ist aufgrund von Foraminiferen und Nannoplankton zudem miozänes Alter wahrscheinlich.
- Kleine Fragmente von harten kieseligen Tonen, grüne Sandsteine, gut zementierte Brekzien mit Ophiolith-Komponenten.

Der dem *Pazifik zugewandte Abhang* (St. 1402, Fig. 1 und 6) weist dagegen typische ozeanische Sedimente auf:

- In Zeolithe und Tonmineralien verwitterte stratifizierte Hyaloklastite.
- Phosphatische Tone, kieselige Phosphatgesteine sowie Serpentin-Sande und Basalt-Brekzien mit Phosphat-Zement und vereinzelt Mangan-Knollen.
- Die Brekzien der St. 1402-D2 enthielten einige Kalkkomponenten, die sicher dem unteren bis mittleren Eozän angehören (eozäne gekielte Globorotalien). Daneben treten oberkretazische (Senon) ein- und zweikielige Globotruncanen auf.

Eruptiva der pazifischen ozeanischen Kruste und des Marianen-Inselbogens

Beide Flanken des südlichen Marianen-Grabens wurden in vier Stationen näher untersucht.

Zwei Dredges östlich von Guam (St. 1402) förderten eine für den meerwärts gerichteten Abhang typische Gesteinsserie:

- Aus 7000–6800 m Tiefe kamen kleine Fragmente von hellgrünen bis braunen, zeolithisierten Hyaloklastiten und stark verwitterte zeolithisierte amygdaloide Basalte. Die Gläser der Hyaloklastite sind meistens in ein feinstkörniges Gemenge von Montmorillonit, Chabasit und Si-reichem Phillipsit umgewandelt.
- Die höheren Partien eines lokalen Horstes (5600–5400 m) ergaben vorwiegend Bruchstücke von Pillow-Basalten: einen dichten, massigen Tiefwasserhabitus und einen porösen, scoriaähnlichen Seichtwasserhabitus sowie amygdaloide Basalte. Die dichten Pillow-Laven sind kaum verwittert und gehören in die Gruppe der schwach untersättigten Alkalibasalte (Fig. 4 und 5).

Die amygdaloiden, shoshonitischen Basalte (Fig. 4 und 5) sind stärker entglast und umgewandelt. Die Poren und Mandeln sind mit feinsten Tonmineralien, Chlorophäit-Gemengen, Zeolithen und Phosphorit ausgefüllt. Die hyaloklastischen Krusten sind palagonitisiert und zeolithisiert.

Auf den Stationen 1403 und 1404, nahe des Challenger-Tiefs (südlich Guam), wurde der steile, inselwärtige Abhang des Marianen-Grabens untersucht.

Aus einer Tiefe von 8400 bis 8100 m wurden neben den schon beschriebenen wildflyschartigen Sedimenten ein grosses Spektrum mafisch-ultramafischer Gesteine (*typische Gesteine einer Ophiolith-Sequenz*) gedredgt.

- Die ultramafischen Gesteine sind durch serpentinierte Harzburgite mit Kumulatstrukturen, serpentinierte Plagioklas führende Lherzolithe und stark tektonisierte Serpentine vertreten.
- Die Gabbros sind häufig rodingitisiert (Prehnit-Zeolith-Pseudomorphosen nach Plagioklas) oder amphibolitisiert (randliche Verdrängung von Augit durch aktinolithische Hornblende). Aus der Anwesenheit von Rodingit-Bruchstücken in den Brekzien wird gefolgert, dass die Rodingitisierung (Ca-Metasomatose) vor der Platznahme und Tektonisierung der Ultramafite stattgefunden haben muss.
- Den grössten Anteil des Dredges der St. 1403 bildeten Pillow-Laven und massive Basalte von olivintholeiitischer und plagioklas-tholeiitischer Zusammensetzung (Fig. 4 und 5).
Besondere mafische Gesteine stellen «basaltische Andesite» dar, die aus Einsprenglingen von zoniertem Enstatit (Fs 12–15) und aus Orthopyroxen, Klinoenstatit und Klinopyroxen in einer leicht gefärbten, z. T. palagonitisierten Glasgrundmasse bestehen. Die Abwesenheit von Plagioklas und Anwesenheit von Orthopyroxen, Klinoenstatit und Klinopyroxen reflektiert eine ungewöhnliche chemische Zusammensetzung (Fig. 4 und 5), d. h. hohe SiO_2 - und MgO - sowie niedrige Al_2O_3 - und CaO -Gehalte. Gesteine dieser Art wurden bisher nur vom Cape Vogel in Papua (DALLWITZ et al. 1966; DALLWITZ 1968) und als «Boninite» von der Bonin-Insel (KURODA & SHIRAKI 1975) beschrieben.

Diese «basaltischen Andesite» scheinen die Basis des Marianen-Inselbogens aufzubauen und dürften demnach die erste Phase der Inselbogenentstehung («immature island arcs», MIYASHIRO 1975) dokumentieren.

Basische bis saure Intrusiva (? *sills* oder *dikes*) sind durch Gabbrodiabase und Diabase (St. 1404 aus dem inselwärtigen Abhang zwischen 5500 und 5400 m Tiefe) vertreten sowie durch ein leukokrates Gestein, welches Plagioklas-Blasten, Biotit und Magnetit in einer Albit-Kalifeldspat-Quarz-Grundmasse aufweist.

Schlussbemerkungen

Die Forschungsfahrt der «Dmitry Mendeleev» durch das Philippinen-Meer erbrachte einige neue, für die erdgeschichtliche Entwicklung des westpazifischen Raumes bemerkenswerte maringeologische Resultate. Detaillierte geochemische, mineralogische und petrologische Untersuchungen an dem gedredgten Gesteinsmaterial sind in Vorbereitung.

In der Yap-Zone lieferten die gedredgten Ultramafite, Gabbros, Diabase und Basalte Beweismaterial für die Existenz der ozeanischen Kruste des West-Marianen-Beckens. Die Yap-Zone dürfte somit einem fossilen ozeanischen Rücken mit einem Zentraltal, d. h. einer ähnlichen Struktur wie jener des Mittelatlantischen Rückens, entsprechen. In dieser Zone hohen Wärmeflusses scheinen regionale, ozeanische Metamorphosen abgelaufen zu sein, welche zur Grünschieferbildung und Amphibolitisierung der Basika und zur Serpentinisierung der Ultramafika führten.

Bezeichnend für den *Marianen-Graben* ist die ausgeprägte Asymmetrie der Grabenstruktur. Der inselwärtige Abhang scheint aus wildflyschartigen, häufig tektonisierten Sedimentpaketen, vielleicht lokal auch aus Olisthostromen aufgebaut zu sein. Der Detritus stammt zum überwiegenden Teil aus dem vulkanischen Inselbogen. Dazu kommt Material aus der pazifischen ozeanischen Kruste.

Strukturmodelle dieser Zonen wurden aus seismischen Profilen konstruiert (DICKINSON 1971; FISHER 1974; KARIG & SHARMAN 1975). Der tiefere Teil unterhalb 5000 m besteht aus der vulkanischen bis subvulkanischen Basis des Inselbogens und aus einer «Schuppenzone» von untereinander geschobenen und aufgestauten Flyschkeilen, d.h. einer Struktur, die in ihrem Aufbau den typischen Ophiolith-Schuppenzonen in den Alpen (z. B. Aroser Zone in Graubünden), in den Dinariden, Karpaten, in den iranischen Zagros-Ketten, im nördlichen Himalaja und im Franciscan entspricht.

Wahrscheinlich gelangten die obersten Partien der pazifischen ozeanischen Kruste während der Subduktion der ozeanischen Lithosphärenplatte in die inselwärtigen Flyschkeile. Nur Horste und «seamounts» sowie ultramafische, serpentinierte Diapire, welche von rodingitisierten Diabas- und Gabbrogängen durchsetzt sind, überragten das durchschnittliche Niveau der ozeanischen Kruste und konnten somit abgeschert werden.

Verdankungen

Die Akademie der Wissenschaften der USSR finanzierte die gesamte Forschungsfahrt der «Dmitry Mendeleev». Einige Unkosten wurden durch die UNESCO (IGCP-Projekt, Ophiolites) getragen.

Die Schulleitung der ETH Zürich und der Rotary-Club Zürich ermöglichten die schweizerische Teilnahme durch Deckung der Reisekosten in den Fernen Osten, Exkursions- und Aufenthaltskosten auf den pazifischen Inseln, in Australien und in Japan. Die Bearbeitung des Probenmaterials erfolgt im Rahmen des Schweizerischen Nationalfonds-Projektes 2.497-0.75.

LITERATURVERZEICHNIS

- AOKI, H., ISHIKAWA, M., MISAWA, R., & EGAWA, R. (1976): *On Gravels of Metamorphic and Plutonic Rocks in Yap Islands*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 8/3, 35–39.
- BEN-AVRAHAN, Z., BOWIN, C., & SEGAWA, J. (1972): *An extinct spreading center in the Philippine Sea*. – Nature (London) 240, 453–455.
- COLEMAN, P.J., Ed. (1973): *The western Pacific: island arcs, marginal seas, geochemistry*. – Nedlands, Univ. Western Australia Press.
- COLEMAN, R.G. (1971): *Plate tectonic emplacement of upper mantle peridotites along continental edges*. – J. geophys. Res. 76/5, 1212–1222.
- COLEMAN, R.G., & IRWIN, W.P. (1974): *Ophiolites and Ancient Continental Margins* (p. 921–931). – Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- DALLWITZ, W.B. (1968): *Chemical composition and genesis of clinoenstatite bearing volcanic rocks from Cape Vogel, Papua: a discussion*. – Int. geol. Congr., Rep. 23rd Sess., Czechoslovakia (Prague) 1968, 2, 229–242.
- DALLWITZ, W.B., GREEN, D.H., & THOMPSON, I.E. (1966): *Clinoenstatite in a volcanic rock from Cape Vogel, Papua*. – J. Petrol. 7/3, 375–403.

- DICKINSON, W.R. (1971): *Clastic sedimentary sequences deposited in shelf, slope, and trough settings between magmatic arcs and associated trenches*. – Pac. Geol. 3, 15–30.
- (1973): *Widths of modern arc-trench gaps proportional to past duration of igneous activity in associated magmatic arcs*. – J. geophys. Res. 78, 3376–3389.
- DIETRICH, V., EMMERMANN, R., KELLER, J., & PUCHELT, H. (im Druck): *Oceanic basalts from the Tyrrhenian Basin, DSDP Leg 42A, site 373A*. – Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.
- DIETRICH, V., EMMERMANN, R., OBERHÄNSLI, R., & PUCHELT, H. (in Vorb.): *Geochemistry of basaltic and gabbroic rocks from the West Mariana basin and from the Mariana trench*. – Earth and planet. Sci. Lett.
- FISCHER, A.G., & HEEZEN, B.C. (1971): *Introduction*. – Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. 6, 3–16 (Washington, U.S. Gov. Print. Office).
- FISHER, R.L. (1974): *Pacific-Type Continental Margins*. In: *The Geology of Continental Margins* (p. 25–41). – Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- FUJITA, Y. (1975): *Yap Orogen and Bonin Crustal Movement*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 7/8, 14–17.
- Geotimes (1972): *Penrose field conference on ophiolites. Statement and definition on ophiolites*. – Geotimes 17/12, 24–25.
- HART, S.R., GLASSLEY, W.E., & KARIG, D.E. (1972): *Basalts and sea floor spreading behind Mariana island arc*. – Earth and planet. Sci. Lett. 15, 12–18.
- HAWKINS, J.W. (1976): *Petrology and geochemistry of basaltic rocks of the Lau basin*. – Earth and planet. Sci. Lett. 28, 283–297.
- HOUTZ, R., & EWING, J. (1976): *Upper structure as a function of plate age*. – J. geophys. Res. 81/14, 2490–2498.
- IKEBE, N. (1976): *Neogene Geohistory of Japan in Relation to the Geohistory of the Philippine Sea*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 8/3, 24–28.
- KAGAMI, H. (1975): *Plate Boundary of the Philippine Sea and Three Types of Marginal Seas*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 7, 18–23.
- KANÔ, H. (1975): *Gneisses from the Philippine Sea*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 7/8, 24–26.
- KARIG, D.E. (1971): *Origin and development of marginal basins in the western Pacific*. – J. geophys. Res. 76, 2542–2561.
- (1972): *Remnant arcs*. – Bull. geol. Soc. Amer. 83/4, 1057–1068.
- (1975): *Basin Genesis in the Philippine Sea*. – Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. 31, 857–879 (Washington, U.S. Gov. Print. Office).
- KARIG, D.E., & GLASSLEY, W.E. (1970): *Dacite and related sediment from the west Mariana Ridge, Philippine Sea*. – Bull. geol. Soc. Amer. 81, 2143–2146.
- KARIG, D.E., & SHARMAN, G.F. (1975): *Subduction and accretion in trenches*. – Bull. geol. Soc. Amer. 85, 377–389.
- KIMURA, T. (1974): *The Ancient Continental Margin of Japan*. In: *The Geology of Continental Margins* (p. 817–829). – Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- KURODA, M., & SHIRAKI, K. (1975): *Boninite and related rocks of Chichijima, Bonin Islands*. – Jap. Rep. Fac. Sci. Shizuoka Univ. 10, 145–155.
- LEE, C., & HILDE, T.W.C. (1971): *Magnetic lineations in the Western Philippine Sea*. – Acta oceanogr. Taiwanica 1, 69–76.
- MIYASHIRO, A. (1975): *Volcanic rock series and tectonic setting*. – Annu. Rev. Earth and planet. Sci. 3, 251–269.
- MOGI, A. (1975): *Submarine Topography of the Northern Part of the Philippine Sea. – On the Outer Ridge along the Nankai Trough*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 7/8, 27–32.
- MURAUCHI, S. (1975): *Crustal Structure in the Philippine Sea*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 7, 33–38.
- MURAUCHI, S., DEN, N., ASANO, S., HOTTA, H., et al. (1968): *Crustal Structure of the Philippine Sea*. – J. geophys. Res. 73, 3142–3171.
- MURDMAA, I.O. (1976): *Edaphogenous clastic sediments of the recent oceans*. – Paleontology, marine geology. – Int. geol. Congr., 25th Sess., Sydney.
- NASU, N. (1976): *Tectonic Structure and Geological History of the Bottom of the Philippine Sea*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 8/3, 7–13.
- PACKHAM, G.H., & ANDREWS, J.E. (1975): *Results of Leg 30 and the Geologic History of the Southwest Pacific Arc and Marginal Sea Complex*. – Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. 30, 691–705 (Washington, U.S. Gov. Print. Office).

- PACKHAM, G.H., & FALVEY, D.A. (1971): *A hypothesis for the formation of marginal seas in the western Pacific*. – Tectonophysics 11, 79–109.
- SCLATER, J.G. (1972): *Heat flow and elevation of the marginal basins of the western Pacific*. – J. geophys. Res. 77, 5705–5719.
- SEGAWA, J. (1976): *Gravity Anomaly, Crust and Mantle in the Philippine Sea and the Surrounding Island Arcs*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 8/3, 62–68.
- SHIKI, T., AOKI, H., & MISAWA, Y. (1976): *Island Arc-Like Character and Stages of Development of the Kyushu–Palau Ridge and the Daito Ridge Group*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 8/3, 19–23.
- SHIRAKI, K. (1971): *Metamorphic basement rocks of Yap Islands, western Pacific: Possible oceanic crust beneath an island arc*. – Earth and planet. Sci. Lett. 13, 167–174.
- SUGIMURA, A., & UYEDA, S. (1973): *Islands arcs. Japan and its environs*. In: *Developments in Geotectonics*. – Elsevier sci. Publ. Co., New York.
- TOKUYAMA, H., & FUJIOKA, K. (1976): *The Petrologic Study on Basalt from Kinan Seamount and Deep Sea Drill. Proj. Site 54*. – Marine Sci. (Tokyo) [Mon.] 8/3, 40–47.
- TOMODA, Y., KOBAYASHI, K., SEGAWA, J., & NOMURA, M. (1973): *Magnetic anomalies in the Shikoku Basin, Northern Philippine Sea*. – Abstr. IAGA Conf. Kyoto, Japan.
- UYEDA, S., & MIYASHIRO, A. (1974): *Plate Tectonics and the Japanese Islands: A Synthesis*. – Bull. geol. Soc. Amer. 85, 1159–1170.
- WATTS, A.B., & WEISSEL, J.K. (1974): *Magnetics lineations in the Shikoku Basin, South Japan*. – Abstr. geol. Soc. Amer. (with programs) 6, 1001.
- YOSHII, T., LUDWIG, W.J., DEN, N., MURAUCHI, S., et al. (1973): *Structure of southwest Japan margin off Shikoku*. – J. geophys. Res. 78, 2517–2525.