

**GEOLOGIE UND GEOCHEMIE DER INSEL ZABARGAD**  
**(ÄGYPTEN, ROTES MEER)**

Zusammenfassung zum gleichnamigen Film C 2026 des  
Österreichischen Bundesinstitutes  
für den Wissenschaftlichen Film (Wien).

von

**Gero Kurat<sup>+</sup>**

Vortrag vor der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft  
gemeinsam mit dem Verein der Freunde des Naturhistorischen  
Museums in Wien

am 11. März 1991

**Zusammenfassung:**

An Hand von geologischen, geophysikalischen, petrologischen und geochemischen Daten wird versucht, die Herkunft und Entwicklung der Insel Zabargad zu rekonstruieren. Zabargad ist demnach ein Stück des oberen Erdmantels, welches, aus einem Diapir unterhalb des Roten Meeres kommend, in die zerbrochene Kruste eingedrungen ist. Die Erdmantel-Gesteine Zabargads sind frische durch den Aufstieg tektonisch beanspruchte und chemisch größtenteils unfraktionierte Spinell-Lherzolithe. Kleinere Bereiche erlebten chemische Veränderungen durch Bildung und Abfuhr von partiellen Schmelzen (an Spurenelementen verarmte Harzburgite) oder durch migrierende fluide Phasen, die zu Anreicherungen von Spurenelementen führten (metasomatische Hornblende- und Klinopyroxen-Harzburgite). Monomineralische Ganggesteine (Klinopyroxenite, Orthopyroxenite, Hornblendite, Olivinite und Plagioklasite) sind wahrscheinlich auch durch fluide Phasen gebildet worden. Dazu zählen auch die Olivinite, welche das Wirtgestein der berühmten und seit Jahrtausenden begehrten Peridote von Zabargad sind.

**Einführung:**

Zabargad (vormals St.John's Island) ist eine kleine, etwa 3x3x3 km messende Insel im Roten Meer. Sie befindet sich rund 60 km von der Halbinsel Ras Banas am Rande

---

<sup>+</sup> Prof. Dr. Gero Kurat  
Naturhistorisches Museum Wien  
Burgring 7, Postfach 417, A-1014 Wien

des Abbruches zum zentralen Graben des Roten Meeres. Zabargad ist bekannt und berühmt für seine Peridot-Vorkommen, welche seit Jahrtausenden abgebaut wurden. Trotz der weiten Verbreitung, welche die Peridote fanden, war praktisch nichts über ihr Vorkommen bekannt, ja nicht einmal Peridote auf Matrix existierten - auch nicht bei der Firma, welche den Abbau betrieb. Für uns war es daher ein besonderes Anliegen, der Frage nach der Herkunft und Entstehung der Peridote mittels eines Lokalaugenscheins nachzugehen.

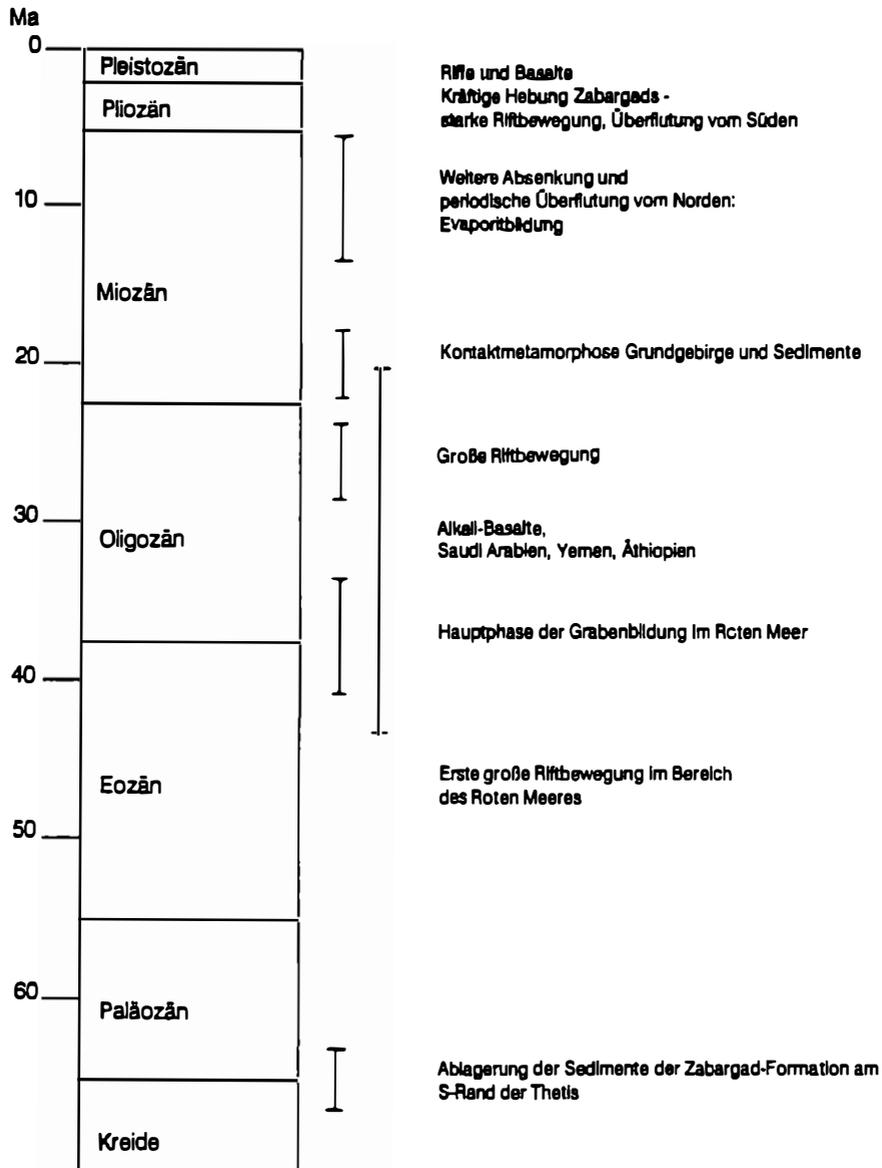
Auch über die Insel selbst war herzlich wenig bekannt. Die erste (und bis zu unserer Expedition einzige) geologische Erkundung erfolgte durch MOON (1923). Er beschrieb eine Vielzahl von Gesteinen, darunter auch Peridotite. Die Natur und Herkunft dieser Peridotite war ebenfalls unklar. Einige wenige Proben in der Sammlung des Naturhistorischen Museums, aufgesammelt im Jahre 1895 (POTT, 1898) von der Expedition des Schiffes "Pola" der Österreichisch-Ungarischen Marine zeigten, daß auf Zabargad frische peridotitische Gesteine existieren. Aufgrund der Position der Insel im Roten Meer hatten wir die spekulative Hoffnung, daß diese Peridotite Stücke des das Rote Meer unterlagernden oberen Erdmantels sein könnten.

Der Plan, die Insel zu besuchen war schon alt, als uns mit der Lockerung der Restriktionen aus militärischen Gründen ein erster Besuch im Jahre 1980 ermöglicht wurde. Die El Nasr Phosphate Company (Cairo) und der Geological Survey of Egypt (Cairo) organisierten die Expedition, der eine zweite im Jahre 1986 folgte. Unabhängig von uns besuchte und bearbeitete eine zweite Gruppe um Enrico Bonatti (BONATTI et al., 1981, 1983, 1986) die Insel. Ein Teil unserer bisherigen Ergebnisse wurde meist in kleinen Berichten veröffentlicht (KURAT et al., 1982a,b, 1983, 1984, NTAFLOR et al., 1984, OBERLI et al., 1987) und in der Begleitveröffentlichung für den Film zusammengefaßt (KURAT, 1991). Der große Bericht über die bisherigen Ergebnisse ist in Ausarbeitung. An unserer zweiten Expedition nahm auch Adolph Nicolas teil, der eine Struktur-Analyse der Insel durchführte (NICOLAS et al., 1985, 1987). Hier versuche ich, die wichtigsten Ergebnisse unserer Arbeiten und jener einer Vielzahl von in- und ausländischen Kollegen kurz zusammenzufassen.

### **Geologie:**

Zabargad hat eine raue Morphologie mit der höchsten Erhebung rund 250 m über dem Meeresspiegel. Rund ein Drittel der Inseloberfläche ist von Alluvionen, älteren und jüngeren Riffen und Evaporiten bedeckt. Daneben finden sich eine überraschende Vielfalt von Gesteinen: Peridotite, Gneise, Metasedimente und Basalte. Die Peridotite sind in drei Körpern vertreten: dem main peridotite hill (MPH), dem central peridotite hill (CPH) und northern peridotite hill (NPH) (Terminologie nach MOON, 1923). Sie bestehen hauptsächlich aus Spinell-Lherzoliten mit untergeordneten Anteilen an Harzburgiten, Duniten und Plagioklas- und/oder Amphibol-führenden Gesteinen. Alle Gesteine sind frisch und nur untergeordnete Serpentinisierung ist in einigen Zonen des MPH zu beobachten. Die Peridotite werden bereichsweise von Gängchen und Gängen meist monomineralischer Gesteine durchschlagen. Es finden sich Klinopyroxenite, Orthopyroxenite, Hornblendite, Olivinite und Plagioklasite.

# ZABARGAD - ZEITTAFEL



Tab. 1: Zeittafel zur Entwicklung von Zabargad

Die Kontakte der Peridotite zu den Gneisen sind tektonisch. Kleine Verschuppungen sind vorhanden. Die Rekristallisation dieser Schuppen und des unmittelbaren Kontaktes ist  $18,4 \pm 1,0$  Ma alt (OBERLI et al., 1987), was wir als Kontaktalter interpretieren. Die Gneise sind retrograde Hochtemperatur-Hochdruck-Metamorphite (vergl. BOUDIER et al., 1988; SEYLER & BONATTI, 1988) und werden von einer Vielzahl von Amphibolit-Gängen durchschlagen. In ihrem Aussehen ähneln sie sehr den auf dem Festland aufgeschlossenen Gneisen des Grundgebirges.

Ebenfalls in tektonischem Kontakt, zum Teil jedoch auch die Peridotite überlagernd, findet sich eine Sediment-Formation, welche kontaktmetamorph überprägt wurde (Zabargad Formation nach BONATTI et al., 1981, 1983, 1986). Diese Formation besteht aus Wechsellagerungen klastischer Sedimente, Kalken, bituminösen Tonen und Evaporiten. Es sind dies wahrscheinlich Ablagerungen eines kontinentalen Flachmeeres (der Thetis) aus der späten Kreide oder dem frühen Tertiär (Tab. 1).

Basalte finden sich in kleinen Extrusionen und als Spaltenfüllungen in den Peridotiten und Metasedimenten. Sie haben tholeiitische Affinität, sind jedoch meist zu Doleriten fraktioniert. Sie sind durchwegs sehr jung (etwa 0,7 - 1,5 Ma nach EL SHAZLY et al., 1974).

Schon im Zuge der "Pola" Expedition fand TRIULZI (1889) im Bereich von Zabargad eine sehr kräftige positive Gravitationsanomalie, welche durch moderne Messungen bestätigt wurde (STYLES & GERDES, 1983). Diese Anomalie bedeutet, daß die Insel Zabargad von Gesteinen hoher Dichte bis zu einer Tiefe von mindestens 8 km unterlagert wird. Es ist wahrscheinlich, daß diese Gesteine Peridotite sind, was bedeuten würde, daß die auf der Insel aufgeschlossenen Peridotite ihre Wurzeln im oberen Erdmantel haben. Wir sehen also nur die Spitze eines aus dem Erdmantel herausragenden peridotitischen Gesteinsberges, wahrscheinlich ein tektonisch in die Kruste eingeschuppter Block des obersten oberen Erdmantels.

### **Die Peridotite:**

Die Gefüge der Peridotite spiegeln die tektonischen Vorgänge wider. Protogranulare Gefüge (Terminologie nach MERCIER & NICOLAS, 1975) fehlen. Die Hauptmasse zeigt protogranular-porphyrklastische Gefüge mit allen Übergängen zu porphyroklastisch-equigranularen Gefügen (vergl. BOUDIER & NICOLAS, 1986 und NICOLAS et al., 1980) und den niedrig temperierten Myloniten im Randbereich der Peridotite.

Die Hauptmasse der Peridotite sind Spinell-Lherzolithe mit der im obersten oberen Erdmantel stabilen Mineralassoziation. Harzburgite und Dunite sind selten. Nur wenige Gesteine zeigen eine beginnende Plagioklasbildung, eine unvollständige Anpassung an die geringeren Drücke während des Eindringens in die Kruste. Zur Einstellung eines neuen Gleichgewichtes unter den Bedingungen der Plagioklas-Peridotit-Fazies fehlte wahrscheinlich die dazu nötige Zeit.

Die Mineral-Mineral Gleichgewichte sind vielfach unter verschiedensten Bedingungen eingefroren und erlauben es daher, die Aufstiegsgeschichte der Peridotite aus dem

oberen Erdmantel zu rekonstruieren. Mit Hilfe der "single pyroxene thermobarometry" nach MERCIER (1980) können wir den Aufstieg der Zabargad Peridotite verfolgen (Abb. 1). Naturgemäß zeigen nur wenige Relikte, daß die Zabargad Peridotite aus großer Tiefe stammen. Die maximale Tiefe können wir natürlich nicht mehr feststellen, doch reicht das "Gedächtnis" einiger Pyroxene bis in die Zeit, zu der sich die Peridotite noch im tieferen oberen Erdmantel befanden (Tiefe ca. 85 km, T 1270 °C).

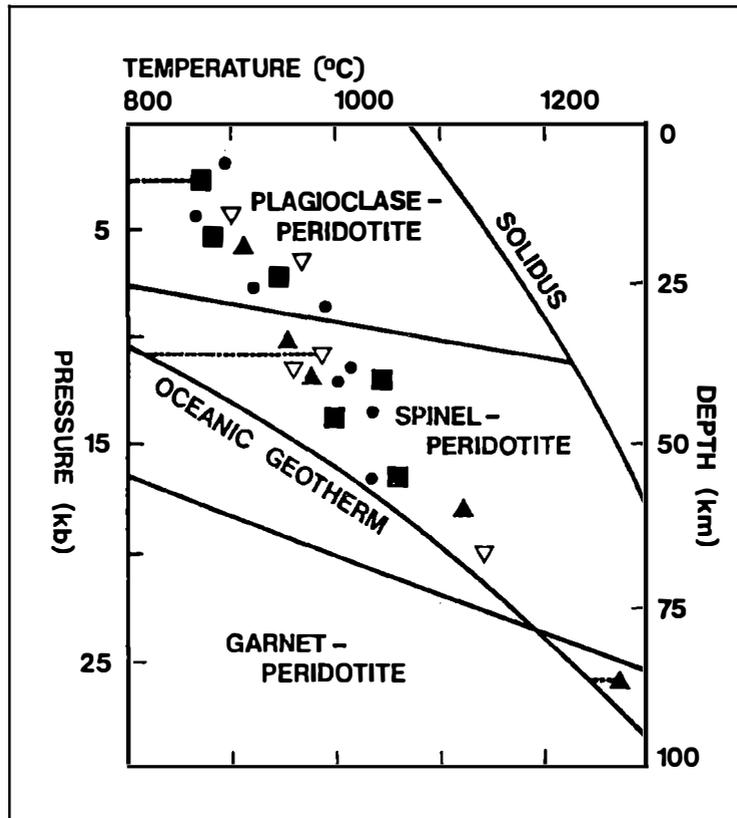


Abb.1: Bildungsbedingungen (nach MERCIER, 1980) von reliktschen Mineralkörnern (Porphyroklasten) und von rekristallisierten Mineralien in Peridotiten und Ganggesteinen von Zabargad. Quadrate: Klinopyroxene aus Peridotiten. Punkte: Orthopyroxene aus Peridotiten. Dreieck gefüllt: Klinopyroxene aus Pyroxeniten. Dreiecke offen: Orthopyroxene aus Pyroxeniten. Aus Wissenschaftlicher Film 42 (1991) mit Genehmigung des ÖWF, Wien.

In diesem Bereich liegen die Mineral-Gleichgewichtsbedingungen nahe der ozeanischen Geotherme. Das ist schon etwas ungewöhnlich, da sich das Rote Meer Rift ja im kontinentalen Bereich befindet und daher niedrigere Gleichgewichtstemperaturen zu erwarten wären. Die durch die Mineralgleichgewichte angezeigten hohen Tempera-

turen können als Hinweis darauf gewertet werden, daß im Erdmantel unterhalb des Roten Meeres eine positive Temperaturanomalie existiert und diese auch wahrscheinlich die Ursache für die Grabenbildung ist.

Mit abnehmendem Druck nehmen auch die Gleichgewichtstemperaturen der Peridotit-Mineralen ab. Allerdings entfernen sie sich in der Projektion in Abb. 1 zunehmend von der ozeanischen Geothermie in Richtung höherer Temperaturen. Dies nehmen wir als Nachweis für einen relativ raschen Aufstieg, der ein Abkühlen der Peridotitmasse auf die Umgebungstemperatur verhinderte. In der Folge intrudierte der aufsteigende Peridotitblock in die Kruste und verursachte dort kontaktmetamorphe Umwandlungen in den Gesteinen der tiefen Kruste (Gneise) und den darüber lagernden Sedimenten (Zabargad Formation).

Die chemische Zusammensetzung der Zabargad Peridotite ist entsprechend ihrer Herkunft aus dem kontinentalen oberen Erdmantel monoton. Die Hauptmasse der Spinell-Lherzolithe hat Haupt- und Spurelementgehalte, wie sie dem primitiven Erdmantel entsprechen (JAGOUTZ et al., 1979) (Abb. 2). Sie sind also unfraktioniert und haben möglicherweise seit ihrem Bestehen keinerlei geochemische Fraktionierung erfahren. Neben den dominierenden primitiven Lherzolithen finden sich untergeordnet Peridotite, welche Fraktionierungen zeigen. Es finden sich sowohl solche, welche an Spurenelementen verarmt, als auch solche, welche angereichert sind. Die Verarmung ist ein Hinweis darauf, daß diese Gesteine möglicherweise partiell aufgeschmolzen wurden und die Schmelze abgegeben haben. Diese migrierte wahrscheinlich zur Erdoberfläche und extrudierte als Basalt, ein Prozeß, der weltweit verbreitet abläuft. Die Anreicherung von Gesteinen mit Spurenelementen erfolgt ebenfalls im Erdmantel und wird Metasomatose genannt. Bei diesem Prozeß durchdringen migrierende fluide Phasen, welche reich an Spurenelementen sind die Gesteine und lagern zumindest einen Teil dieser Elemente in diesen ab. Die Gesteine des oberen Erdmantels sind allerdings meist impermeabel - auch für die sehr beweglichen fluiden Phasen. Voraussetzung für die Migration dieser fluiden Phasen ist das Vorhandensein von Porenraum. Dieser wird gewöhnlich durch tektonische Prozesse geschaffen. Diese Situation ist sehr anschaulich durch eine Probe von Zabargad dokumentiert. Ein Handstück (Probe Z-17) besteht aus einem protogranular-porphyrklastischen Harzburgit mit verarmten Spurenelementgehalten und - durch eine scharfe Grenze getrennt - einem porphyroklastisch equilibrierten Hornblende-Harzburgit, der an Spurenelementen angereichert ist. Offensichtlich ermöglichte die stärkere Tektonisierung des einen Teiles dieses Gesteines das Eindringen einer fluiden Phase und somit eine Metasomatose (Abb. 2).

### **Ganggesteine und Peridot:**

In den Peridotiten von Zabargad finden sich eine Reihe von meist ultramafischen Ganggesteinen. Diese sind meist monomineralisch und umfassen Klinopyroxenite, Orthopyroxenite, Hornblendite, Olivinite und Plagioklasite. Üblicherweise werden diese Gesteine als Differentiate einer Schmelze in Gängen betrachtet. Unsere Beobachtungen an Ganggesteinen auf Zabargad sind mit diesem Modell nicht vereinbar. Die Spurenelementgehalte der Minerale sind typischerweise sehr hoch und unvereinbar

mit den gut bekannten Mineral-Schmelze-Verteilungskoeffizienten. Die Minerale der Gänge tendieren zu einem Riesenwachstum. Orthopyroxene und Hornblenden mit bis zu 1 m Länge wurden beobachtet. Die Minerale sind vielfach auch reich an "Flüssigkeitseinschlüssen", welche allerdings keine Flüssigkeit enthalten, sondern neben einigen Kristallen (meist Halit), N<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> führen. Dies gilt für alle Ganggesteine, auch für die Olivinite, welche den gesuchten Peridot enthalten. Diese Olivinite bestehen aus großen Platten (bis 20 cm) von braunem, undurchsichtigen Olivin. In den Hohlräumen zwischen diesen Platten finden sich (offenbar als späte Ausscheidung) die klar durchsichtigen Peridot-Kristalle. Das Gesteinsgefüge und die "Flüssigkeitseinschlüsse" der Olivinite (und Pyroxenite) lassen allein den Schluß zu, daß sie Produkte einer fluiden Phase und nicht einer Silikatschmelze sind (vergl. auch CLOCCHIATTI et al., 1981). Die Arbeiten zur Ergründung der Genese der Ganggesteine sind noch im Gange, das wesentliche Ergebnis kann jedoch schon an Hand der vorliegenden Daten vorweggenommen werden: sie sind wahrscheinlich die Produkte migrierender fluiden Phasen.

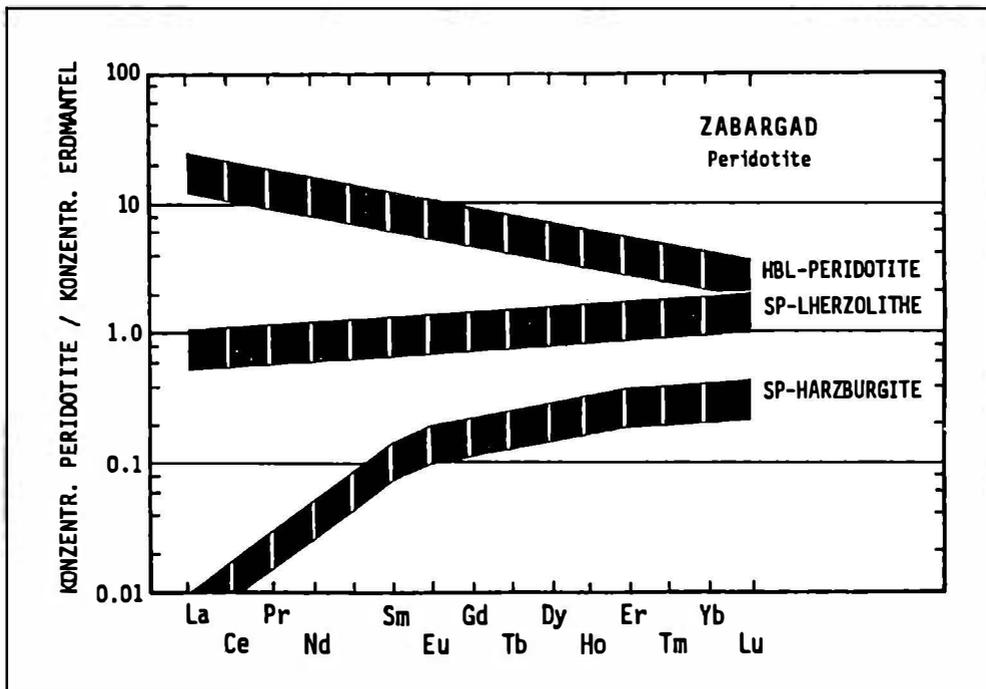


Abb.2: Die Gehalte an Seltenen Erden der wichtigsten Peridotite Zabargads, normiert auf die Zusammensetzung des oberen Erdmantels (JAGOUTZ et al., 1979). Die Hauptmasse der Peridotite (Spinel-Lherzolithe) ist unfraktioniert. Daneben finden sich untergeordnet an Spurenelementen verarmte Harzburgite und auch einige an Spurenelementen angereicherte Gesteine (Hornblende-Harzburgit). Aus Wissenschaftlicher Film 42 (1991) mit Genehmigung des ÖWF, Wien.

## Geschichte der Insel Zabargad:

Die Geschichte der Insel Zabargad ist naturgemäß eng mit der Geschichte des Roten Meeres verbunden (vergl. GIRDLER & STYLES, 1974; MARTINEZ & COCHRAN, 1988; MENZIES et al., 1990; NICOLAS et al., 1985, 1987). Diese beginnt mit der Ausbildung einer thermischen Anomalie wahrscheinlich im tiefen Erdmantel unterhalb des Afrikanisch-Arabischen Kontinentes. Aus dieser Wärmeanomalie, die natürlich noch heute besteht (vergl. DZIEWONSKI & WOODHOUSE, 1987) löst sich ein Diapir, welcher die Lithosphäre (der oberste obere Erdmantel mit Kruste und den darauf liegenden Sedimenten der Zabargad-Formation) anhebt und einen Dom bildet. Fortgesetztes Strecken der Lithosphäre führte zum Bruch vor rund 48 Ma (vergl. BARTOV & STEINITZ, 1980) mit der Trennung der Nubischen von der Arabischen Platte (siehe Zabargad-Zeittafel; Tab. 1). In der Folge bildete sich ein Graben (Hauptphase etwa 41-34 Ma, GIRDLER & STYLES, 1974). Vor rund 20 Ma erreichten die Erdmantelgesteine in einer verstärkten Bewegungsphase im Bereich der heutigen Insel Zabargad die Erdkruste, wobei sie diese und die darüber lagernden Sedimente der Zabargad-Formation kontaktmetamorph veränderten. Der Graben sank tiefer ab und wurde im Miozän (ca. 10 Ma) periodisch vom Mittelmeer her überflutet. Es bildeten sich mächtige Evaporit-Ablagerungen (bis zu 3.000 m Mächtigkeit) von denen Reste auch auf Zabargad erhalten sind. Weitere kräftige Hebe- und Riftbewegungen brachten die Erdmantelgesteine im Pliozän (5-2 Ma) an die Oberfläche. Das Rote Meer Rift wurde vom Indischen Ozean her überflutet. Das Rote Meer war geboren und mit ihm die Insel Zabargad. Die heute hoch über dem derzeitigen Wasserspiegel liegenden fossilen Riffe aus dem Pliozän und Pleistozän dokumentieren, daß die Insel heute weiter im Wachsen begriffen ist. Es wird noch viele Millionen Jahre dauern, bis aus dem Roten Meer ein richtiger Ozean wird, in dessen Fluten die Insel letztlich wohl versinken wird.

## Dankagung

Die El Nasr Phosphate Company, Cairo, und der Geological Survey of Egypt, Cairo, organisierten die Expeditionen nach Zabargad, die die Basis der Studie bildeten. Finanzielle Unterstützung erhielten wir vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt Nr. 4773) und dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung. Bei der Erarbeitung der für diesen Bericht verwendeten Daten waren maßgeblich beteiligt: T.Ntafos und F.Brandstätter (Naturhistorisches Museum Wien), H.Palme und B.Spettel (Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz), J.Touret (Frije Universität, Amsterdam), R.Oberli (Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich) und M.Prlinz (American Museum of Natural History, New York, N.Y.). Ein ausführlicher wissenschaftlicher Bericht ist in Ausarbeitung. Den Film machte H.Kerschner (Österreichisches Bundesinstitut für den Wissenschaftlichen Film, Wien) mit Unterstützung des Institutes.

## Literatur

- BARTOV, Y., STEINITZ, G. (1980): Sinistral movement along the Gulf of Aqaba - its age and relation to the opening of the Red Sea. - *Nature*, **285**, 220-222.
- BONATTI, E., CLOCCHIATTI, R., COLANTONI, P., GELMINI, R., MARINELLI, G., OTTONELLO, G., SANTACROCE, R., TAVIANI, M., ABDEL-MEGUID, A.A.,

- ASSAF, H.S., EL TAHIR, M.A. (1983): Zabargad (St.John's) Island: an uplifted fragment of sub-Red Sea lithosphere. - *J. Geol. Soc. London*, **140**, 677-690.
- BONATTI, E., HAMLIN, P.R., OTTONELLO, G. (1981): The upper mantle beneath a young oceanic rift: peridotites from the Island of Zabargad ( Red Sea). - *Geology*, **9**, 474-479.
- BONATTI, E., OTTONELLO, G., HAMLIN, P.R. (1986): Peridotites from the Island of Zabargad ( St. John ), Red Sea: petrology and geochemistry. - *J. Geophys. Res.*, **91**, 599-631.
- BOUDIER, F., NICOLAS, A. (1985/86): Harzburgite and lherzolite subtypes in ophiolitic and oceanic environments. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, **76**, 84-92.
- BOUDIER, F., NICOLAS, A., JI, S., KIENAST, J.R., MEVEL, C. (1988): The gneiss of Zabargad Island: deep crust of a rift. - *Tectonophys.*, **150**, 209-227.
- CLOCCHIATTI, R., MASSARE, D., JEHANNO, C. (1981): Origine hydrothermale des olivines gemmes de l'île de Zabargad (St. Johns) Mer Rouge, par l'étude de leurs inclusions. - *Bull. Mineral.*, **104**, 354-360.
- DZIEWONSKI, A.M., WOODHOUSE, J.H. (1987): Global images of the Earth's interior. - *Science*, **236**, 37-47.
- EL SHAZLY, E.M., SALEEB ROUFAIEL, G.S., ZAKI, N. (1974): Quaternary basalt in Saint John's Island, Red Sea, Egypt. - *Egypt.J.Geol.*, **18**, 137-148.
- GIRDLER, R.W., STYLES, P. (1974). Two stage Red Sea floor spreading. - *Nature*, **247**, 7-11.
- JAGOUTZ, E., PALME, H., BADDENHAUSEN, H., BLUM, K., CENDALES, M., DREIBUS, G., SPETTEL, B., LORENZ, V. (1979): The abundances of major, minor and trace elements in the earth's mantle as derived from primitive ultramafic nodules. - *Proc. Lunar. Planet. Sci. Conf.*, **10**, 2031-2050.
- KURAT, G. (1991): Geologie und Geochemie der Insel Zabargad (Ägypten, Rotes Meer). - *Wiss. Film (Wien)* **42**, 134-142.
- KURAT, G., BRANDSTÄTTER, F., PALME, H., SPETTEL, B., PRINZ, M., TOURET, J. (1983): Mobilizations in upper mantle rocks from Zabargad, Red Sea. - *Terra cognita*, **3**, 125.
- KURAT, G., NIEDERMAYR, G., PRINZ, M. (1982a): Peridot von Zabargad, Rotes Meer. - *Aufschluss*, **33**, 169-182.
- KURAT, G., NIEDERMAYR, G., PRINZ, M., BRANDSTÄTTER, F. (1982b): High temperature peridotite intrusive into an evaporite sequence, Zabargad, Egypt. - *Terra cognita*, **2**, 240.
- KURAT, G., NTAFLAS, T., BRANDSTÄTTER, F., PALME, H., SPETTEL, B., PRINZ, M., TOURET, J. (1984): Metasomatism of the upper mantle rocks from Zabargad Island, Red Sea. - *IGC Abstracts V, Sect.*, **10,11**, Moskau, 324-325.
- MARTINEZ, F., COCHRAN, J.R. (1988): Structure and tectonics of the northern Red Sea: catching a continental margin between rifting and drifting. - *Tectonophys.*, **150**, 1-32.
- MENZIES, M., BOSENCE, D., EL-NAKHAL, H.A., AL-KHIRBASH, S., AL-KADASI, M.A., ALSUBBARY, A. (1990): Lithospheric extension and the opening of the Red Sea: sediment-basalt relationships in Yemen. - *Terra Nova*, **2**, 340-350.
- MERCIER, J.-C.C. (1980): Single-pyroxene thermobarometry. - *Tectonophys.*, **70**, 1-37.
- MERCIER, J.C.C., NICOLAS, A. (1975): Textures and fabrics of upper-mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts. - *J. Petrol.*, **16**, 454-487.

- MOON, F.W. (1923): Preliminary geological report on St. John's Island, Red Sea. - Geolog. Surv. Egypt, Gov. Press, 36pp.
- NICOLAS, A., BOUDIER, F., BOUCHEZ, J.L. (1980): Interpretation of peridotite structures from ophiolitic and oceanic environments. - Am. J. Sci., 280, 192-210.
- NICOLAS, A., BOUDIER, F., LYBERIS, N., MONTIGNY, R., GUENNOC, P. (1985): Zabargad (Saint-John) Island: a key-witness of early rifting in the Red Sea. C.R.Acad.S.Paris II, 1063-1068.
- NICOLAS, A., BOUDIER, F., MONTIGNY, R. (1987a): Structure of Zabargad Island and early rifting of the Red Sea. - J.Geophys. Res., 92, 1-42.
- NICOLAS, A., BOUDIER, F., MONTIGNY, R. (1987b): Structure of Zabargad Island and early rifting of the Red Sea. - J. Geophys. Res., 92, 461-474.
- NTAFLOS, T., BRANDSTÄTTER, F., KURAT, G. (1984): Petrologie der Ultramafitite von Zabargad, Rotes Meer. - Fortschr. Mineral.,B 1, 62, 174-176.
- OBERLI, R., NTAFLS, T., MEIER, M., KURAT, G. (1987): Emplacement age of the peridotites from Zabargad Island (Red Sea): a zircon U-Pb study. - Terra Cognita, 7, 334.
- POTT, P.E. von. (1898): Expedition S.M. Schiff "Pola" in das Rothe Meer. - Berichte der Commission für Oceanographische Forschungen, 1-18.
- SEYLER, M., BONATTI, E. (1988): Petrology of a gneiss-amphibolite lower crustal unit from Zabargad Island, Red Sea. - Tectonophys., 150, 177-207.
- STYLES, P., GERDES, K.D. (1983): St.John's Island (Red Sea): a new geophysical model and its implications for the emplacement of ultramafic rocks in fracture zones and at continental margins. - Earth Planet. Sci. Lett., 65, 353-368.
- TRIULZI, A.E.von. (1889): Expedition S.M. Schiff "Pola" in das Rothe Meer, nördliche Hälfte. Wissenschaftliche Ergebnisse 11. Relative Schwerebestimmungen. - Denkschr.K. Akad. Wiss. Math.-naturw. Kl., 65, 131.