
Bericht zur Exkursion

Regionale Geologie des Oman-Obduktions- Orogens



13. - 26. Februar 2015

Geowissenschaftliches Zentrum der Georg-August-Universität
Göttingen

Erstellt von den Exkursionsteilnehmern im April 2015

Inhaltsverzeichnis

Teilnehmerliste		3
Vorbemerkung		4
Übersichtskarten		5
Anreise und erster Exkursionstag	13. - 14.2. - Wadi Tayyin	11
Zweiter Exkursionstag	15.2. - Mahram Plateau	16
Dritter Exkursionstag	16.2. - Wadi Al Abyad	23
Vierter Exkursionstag	17.2. - Hebungs- und Senkungsgeschichte	29
Fünfter Exkursionstag	18.2. - Tsunamigeschichte, Wadi Shab, Sur	34
Sechster Exkursionstag	19.2. - Radiolarit, Kimberlit, Sandwüste	41
Siebter Exkursionstag	20.2. - Durchquerung des Jebel Akhdar	46
Achter Exkursionstag	21.2. - Jebel Akhdar, Snowball Earth	54
Neunter Exkursionstag	22.2. - Obere oz. Kruste, Hawasina-Fenster	59
Zehnter Exkursionstag	23.2. - Hawasina-Fenster	65
Elfter Exkursionstag	24.2. - Hochdruckgesteine, Zungenfalten	71
Zwölfter Exkursionstag und Abreise	25.2. - Muskat	73
Danksagung		79
Impressionen		80

Teilnehmerliste

Dozenten: Prof. Dr. Siegfried Siegesmund (Universität Göttingen)
Prof. Dr. Bernd Lammerer (LMU München)

Gastführer: Prof. Dr. Françoise Boudier (Universität Montpellier)
Prof. Dr. Adolphe Nicholas (Universität Montpellier)
Dr. Gösta Hofmann (RWTH Aachen/GUtech Muskat)

Studenten: Marius Aschoff Master
Marina Brinkmann Master
Jan Hendrik Dammasch Master
Beatrix Heller Master
Mareike Henneberg Master
Markus Hering Bachelor
Mathias Hueck Doktorand
Cosima Kaiser Master
Sebastian Oriolo Doktorand
Marlene Perschl Master
Maren Schröpfer Master
Alexander Wellhäuser Master
Philipp Wischhöfer Master
Anna Wittenborn Bachelor
Sebastian Zeman-Kuhnert Bachelor
Max Zeuner Bachelor

(alle Universität Göttingen)

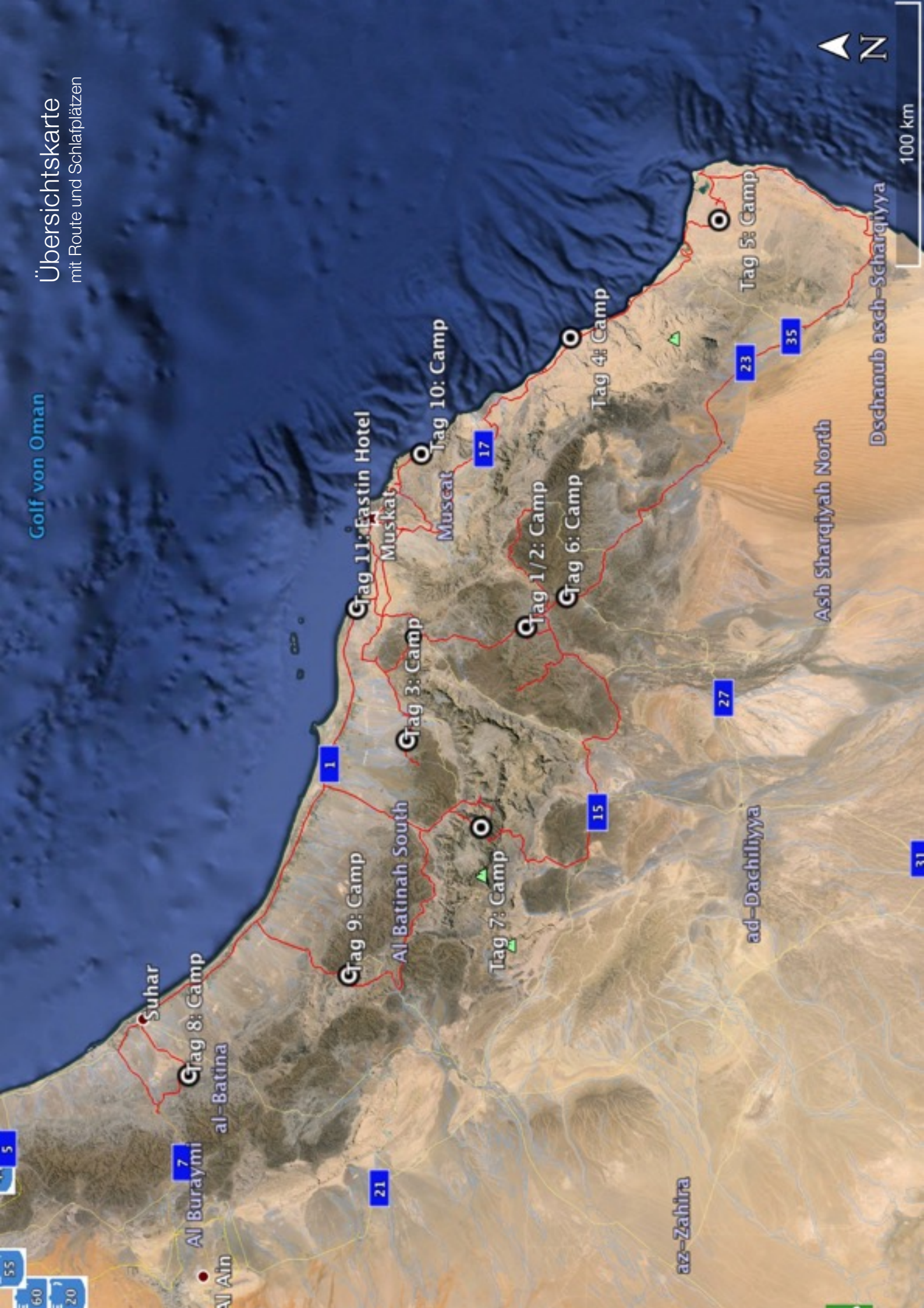
Gaststudentin: Noora Al-Balushi B.Sc. (GUtech Muskat)

Gäste: Prof. Dr. Claudia Trepmann (LMU München)
Prof. Dr. Stefan Schmid (Universität Basel, derzeit ETH Zürich)

Vorbemerkung

Vom 13. bis 26 Februar 2015 führten fünfzehn Studenten der geowissenschaftlichen Studiengänge der Universität Göttingen unter Leitung von Prof. Dr. Siegfried Siegesmund und Prof. Dr. Bernd Lammerer eine Exkursion in den Oman durch. Ziel der Veranstaltung war die regionale Geologie des Oman-Obduktions-Orogens. In diesem befindet sich mit dem Semail-Ophiolithen eine weltweit einmalige geologische Sensation. Die Gruppe wurde dabei zunächst von Frau Prof. Dr. Françoise Boudier und Herrn Prof. Dr. Adolphe Nicholas unterstützt. Dabei lernten die Studenten aus deren großen Erfahrungsschatz zur Geologie des Oman-Ophiolithen, der auf eine mehr als vierzigjährige Arbeit zurückgeht. Nach drei Tagen schlossen sich Herr Dr. Gösta Hoffmann und Frau Noora Al-Balushi (B.Sc.) unserer Gruppe an. Im Laufe der Exkursion stellten sie neuere Forschungsergebnisse zur regionalen Geologie, Sedimentologie, Quartärgeologie und Hazard-Forschung (Tsunamis) vor. Als Gäste nahmen Frau Prof. Dr. Claudia Trepmann und Herr Prof. Dr. Stefan Schmid an der Exkursion teil. Die gesamte Gruppe profitierte von den zahlreichen Diskussionen und Erläuterungen zu petrologischen, strukturgeologischen und geodynamischen Fragestellungen.

Übersichtskarte mit Route und Schlafplätzen





Übersichtskarte des ersten und zweiten Tages, sowie von Abschnitten des sechsten Tages



Übersichtskarte des dritten Tages, sowie von Abschnitten des vierten Tages



Übersichtskarte von Abschnitten des vierten und fünften Tages



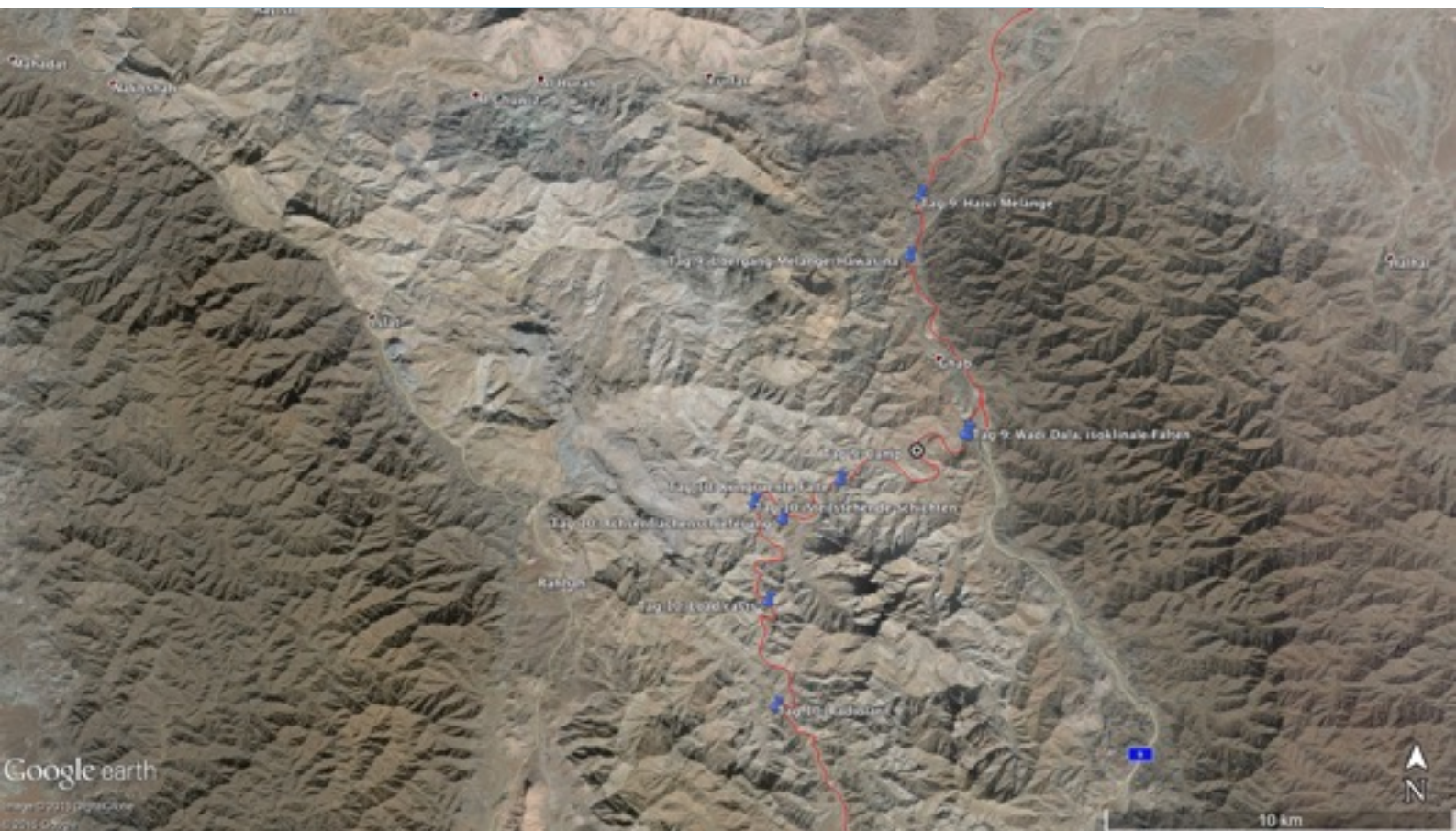
Übersichtskarte von Abschnitten des fünften und sechsten Tages



Übersichtskarte des siebten Tages, sowie von Abschnitten des achten Tages



Übersichtskarte von Abschnitten des achten und neunten Tages



Übersichtskarte von Abschnitten des neunten und zehnten Tages



Übersichtskarte des elften Tages



Übersichtskarte von Muskat



Übersichtskarte des Stadtteils Muttrah und der Altstadt von Muskat

Anreise und erster Exkursionstag, 13. - 14.2. - Wadi Tayyin

Für uns Studenten begann die Reise nach Oman am Morgen des 13. Februars im Zug nach Hannover. Von dort flogen wir zunächst nach Istanbul, wo wir bei einem vierstündigen Aufenthalt viel Zeit hatten uns bei türkischen Süßigkeiten etwas auf den Orient einzustellen. Um 19:40 Uhr Ortszeit ging es dann mit dem nächsten Flugzeug weiter in den Oman nach Muskat wo wir um 02:15 Uhr Ortszeit ankamen. Visumskauf, Einreise und Gepäckausgabe gingen problemlos von statten, sodass wir ab 4 Uhr das morgendliche Treiben am Flughafen mit verfolgen konnten. Um 6 Uhr traf wie vereinbart unsere Exkursionsleitung, bestehend aus Herrn Prof. Siegfried Siegesmund und Herrn Prof. Bernd Lammerer, am Flughafen ein. Desweiteren stießen noch Frau Prof. Claudia Trepmann (LMU München) und Herr Prof. Stefan Schmid (Universität Basel, derzeit ETH Zürich), die uns als Gäste begleiten würden, zu uns. Nicht anwesend waren leider der Autovermieter sowie die vier Geländewagen, die wir bei ihm vorbestellt hatten. So dauerte es noch bis ca. 9 Uhr, bis wir uns zu unserem ersten Exkursionstag in Bewegung setzen konnten. In der Zwischenzeit konnten wir dafür den ersten omanischen Sonnenaufgang auf dem Flughafenvorplatz bewundern.

Um 9 Uhr begann schließlich unsere Fahrt in Richtung Süden. Nach ca. 2h Fahrt trafen wir an einem vereinbarten Punkt unsere Gastführer der ersten drei Tage, die Professoren Adolphe Nicholas und Françoise Boudier der Universität Montpellier. Beide forschen bereits seit über 35 Jahren am Oman-Ophiolit und kennen ihn wie wohl kaum jemand sonst. Nach einem kurzen Einkaufsstopp fuhren wir mit ihnen an der Spitze eine weitere Stunde in Richtung Wadi Tayyin im Südkomplex des Ophiolits. Es gab zunächst eine kurze Einführung zum Ophioliten und dem Programm der nächsten Tage. (Abb. 1)



Abb. 1: Einführung im Gelände

Der Oman-Ophiolit ist ein 500 km langes Stück ozeanische Lithosphäre, welches auf die arabische Platte obduziert wurde. Er ist meist etwa 20 km breit und erstreckt sich NW-SE küstenparallel entlang der NE-Küste des Omans. Die Gesteine des Ophiolits bildeten sich im Cenoman (95 Ma) in einem schnell spreizenden Rücken. Anschließend wurden der Ophiolit sowie die unterliegenden Hawasina-Schichten auf die arabische Platte aufgeschoben. Nach seiner Platznahme kam es zur Aufdomung des Jebel Akhdars, sodass der Ophiolit in einen Nordwest- und einen Südostteil getrennt wurde. Im Südostteil, in dem das Wadi Tayyin Massiv liegt, befinden sich die krustalen Anteile des Ophiolits im Süden, die Mantelgesteine sind im Norden. Zwischen den Mantelperidotiten und den Hawasina-Decken liegt die Metamorphe Sohle (metamorphic sole), die wir uns im Folgenden anschauen.

Die Weiterfahrt zum ersten Aufschluss, dem Green Pool im Wadi Tayyin, führte durch Gabbros und Peridotite. Am ersten Aufschluss ist der Kontakt der Metamorphen Sohle mit den Mantelperidotiten aufgeschlossen. Die Peridotite sind sehr feinkörnig, mylonitisiert und stark serpentiniert sowie von Karbonatgängen durchzogen (Abb. 2a). Sie wurden bei Temperaturen von 900-1000°C gebildet. Die Metamorphe Sohle besteht am 1. Aufschluss aus feinkörnigem, stark foliiertem Amphibolit (Abb. 2b). Nah am Kontakt kann er auch Granat enthalten (i.d.R. nur mikroskopisch, in seltenen Fällen mit der Lupe oder dem bloßen Auge sichtbar). Abb. 2c zeigt Adolphe Nicolas am Kontakt von Peridotit (oben) und Amphibolit (unten). Über die Entstehung der Metamorphen Sohle gibt es unterschiedliche Theorien. Während manche in ihr die kontaktmetamorph überprägten Gesteine der Unterplatte sehen, ist sie für Vertreter des Supra - Subduktionszonen - Modells der Teil einer subduzierten Platte. Während die Bildungstemperatur der Amphibolite von etwa 850°C allseits akzeptiert ist, sind die Drücke zum Bildungszeitpunkt schwieriger abzuschätzen. Die Angaben liegen hierbei zwischen 2 kbar und 11-13 kbar. Entsprechend gibt es verschiedene Interpretationen über die Entstehung der Sohle. Fest steht jedoch dass sie etwa zur gleichen Zeit wie der Ophiolit selbst gebildet wurde. Im Wadi Tayyin wurde die Metamorphe Sohle durch die Aufdomung des Saih Hatat Fensters exhumiert.



Abb. 2a: Mantelperidotit



Abb. 2b: Amphibolit der metamorphen Sole



Abb. 2c: Adolphe Nicholas am Kontakt des Amphibolits mit dem Mantelperidotit

Ein paar 100m weiter abwärts im selben Wadi befindet sich der zweite Aufschluss. Dort stehen grünschieferfazielle Quarzite an. Sie sind sehr feinkörnig, laminiert, haben teilweise dunkle Bänder und sind eng bis isoklinal verfaltet. Abb. 3 zeigt eine enge Falte im Quarzit des 2. Aufschlusses. Vermutlich handelt es sich bei den Quarziten der metamorphen Sohle um metamorph überprägte Radiolarite.



Abb. 3: Quarzit der metamorphen Sohle

Der dritte Aufschluss des Tages befindet sich unterhalb einer sehr gut asphaltierten Straße. Anstehend sind erneut die Mantelperidotite. Hier sind sie jedoch gebändert und bestehen aus hellen Dunit-Lagen und dunkleren Harzburgit-Lagen (vgl. Abb. 4). Sie gehören zu den „Tief-Temperatur“-Peridotiten und wurden bei etwa 1000°C gebildet (bei 1000°C von Tieftemperatur zu sprechen, erscheint paradox, aber Peridotite schmelzen erst bei 1300-1400°C und verformen sich bei Temperaturen über 1000°C noch leicht und mit anderen Mechanismen). Dunite, die nur aus Olivin (Ol) und Spinell (Sp) bestehen, bilden sich in diesem Ambiente wenn aus Harzburgiten (Ol+Px+Sp) Pyroxene (Px) ausschmelzen. Die Dunite sind sozusagen die „Restite“ der partiell aufgeschmolzenen Harzburgite. In den Harzburgit-Lagen dieses Aufschlusses gibt es vereinzelt Pyroxen-Lagen von einigen cm Mächtigkeit.



Abb. 4: Dunit- und Harzburgitlagen



Abb. 5: Erster Schlafplatz

Nach diesem Aufschluss machten wir uns auf zu unserem ersten Lagerplatz (Abb. 5). Umgeben von Harzburgiten bauten wir unsere Feldbetten auf und gingen nach einem kurzen Abendessen sehr müde ins Bett.

Verfasst von Beatrix Heller

2. Exkursionstag, 15.2. - Mahram Plateau

Nach einer Übernachtung im Semail Massiv startete der zweite Tag der Exkursion in eine Übersicht über die geologischen Gegebenheiten des Mahram Plateaus unter der Führung von Adolphe Nicolas und Françoise Boudier.

Das Mahram Plateau mit der Ortschaft Mahram im Zentrum bezeichnet den höchsten Punkt des Semail Massivs. Geologisch gesehen handelt es sich hierbei um einen Manteldiapir, den Makhsad Diapir. Durch die Schmelze, die im Diapir aus partiellen Aufschmelzprozessen im Mantel akkumuliert wird und anschließend in die Schmelzlinse in der unteren Kruste migriert, existiert hier keine scharf abgegrenzte Moho, sondern eine Übergangszone (Moho Transition Zone (MTZ)) aus residualen Duniten. Überlagert wird die MTZ von den Gabbros der Krusteneinheit. Aus der Existenz eines erhaltenen Manteldiapirs lässt sich folgern, dass an dieser Stelle die ehemalige Mitte der ozeanischen Spreizungszone lag, da die Schmelze aus dem Diapir die Magmenzufuhr für die Bildung von neuer ozeanischer Kruste liefern konnte.

STOP 1: PANORAMA ÜBER DEN WESTTEIL DES DIAPIRS, SEMAIL GAP

Der erste Stop des Tages führte zu einem Straßenpanorama am Westrand des Semail Massivs. Hier stehen Gabbros der Krusteneinheit an, die von deutlich heller verwitternden Duniten der MTZ (Moho Transition Zone) unterlagert sind. Anhand von strukturellen Untersuchungen lässt sich feststellen, dass die Gabbros und Dunite eine antiforme, domartige Lagerung aufweisen, die auf den unterliegenden Mantelplume zurückzuführen ist.

Von dieser Stelle aus lässt sich der Westrand des Semail Massivs bis hin zum Übergang in das dahinter gelegene Jebel Akhdar Massiv gut überblicken. Die beiden Struktureinheiten sind durch den sogenannten Semail Gap, eine morphologische Depression, voneinander getrennt. (Abb. 6) Diese Lücke stellt gleichzeitig die einzige durchgehende Wegsamkeit zwischen den Höhenzügen des westlichen und östlichen Hajar-Gebirges dar. An dieser Stelle liegt der Kontakt zwischen den Peridotiten des Semail Massivs und der unterliegenden Metamorphen Sohle, die östlich durch den tektonischen Kontakt zur unterliegenden Hawasina Decke im randlichen Jebel Akhdar begrenzt ist.

STOP 2: NORDTEIL DES DIAPIRS

An diesem Aufschluss sind erneut die Dunite der MTZ zu beobachten. Im Unterschied zum Aufschluss vorher enthalten sie Linsen von gebändertem Gabbro. Die relativ große Mächtigkeit der Moho – Übergangszone von über 100 m ist typisch für eine Diapirstruktur. Aus dem Diapir findet über partielle Aufschmelzung ein kontinuierlicher Transport von Wärme als auch Material in die Kruste statt. Durch die partielle Aufschmelzung und Aufnahme von Orthopyroxen aus dem Harzburgit in die Schmelze verbleibt der Dunit als Restit in der MTZ, während die Schmelze in die Kruste migriert, dort abkühlt, auskristallisiert und zur Bildung von Gabbro führt. Durch die Existenz von Gabbro in Linsen innerhalb der MTZ zeigt sich, dass der Transportweg durch die MTZ an dieser Stelle randlich des Diapirs durch niedrigere Temperaturen nicht mehr vollständig möglich war und die Schmelze daher als Gabbro innerhalb der MTZ auskristallisiert ist. Auch wird, laut Prof. Adolphe Nicolas Dunit durch Sammelkristallisation der Olivinkristalle dicht und impermeabel für weiteren Schmelztransport.



Abb. 6: Blick von den Gabbros des Semail Massivs auf den Semail Gap und randliche Höhenzüge des Jebel Ahkdar im Hintergrund

STOP 3: CHROMITE DES MAHKSAD-DIAPIRS

Durch partielle Aufschmelzung von Peridotit unter Einfluss von Wasser entstehen oberhalb eines Manteldiapirs stratiforme Lagen, die an Chromit stark angereichert sind. Diese sind in Wechsellagerung mit Duniten oder Noriten anzutreffen. Hier im Nordbereich des Mahksad-Diapirs sind die größten aufgeschlossenen Chromitlagen des Semail-Ophioliths anzutreffen. Im Gegensatz zu den Chromiten des Bushveld-Komplexes in Südafrika, die unter anderem als die größten Lagerstätten für Platinminerale weltweit gelten, sind die Chromite in Oman wirtschaftlich von eher geringer Bedeutung. Die laterale Ausdehnung der Chromithorizonte beträgt maximal 1 km, die einzelnen Lagen sind bis zu 1m mächtig.

Bei Chromit oder auch Chrom-Spinell ($(\text{Fe Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$) handelt es sich um den mit Cr angereicherten Spinell-Anteil der Peridotite des oberen Erdmantels. Im anstehenden Gestein ist er als tiefschwarzes, metallisch glänzendes Mineral erkennbar, das auf Keramik einen braunen Strich ergibt. Innerhalb der chromitreichen Lagen sind Dunite in xenomorpher Ausprägung zu finden (siehe Abb. 7).



Abb. 7: Chromitlagen (grau-schwarz) im Dunit (grünlich): Die Chromitlagen zeigen einen Anzeichen von Saigerung, sie setzen scharf ein und gehen nach oben durch Abnahme der Chromit – Häufigkeit graduell in Dunit über. (Foto: Bernd Lammerer)

STOP 4: CHROMITE DES MAHKSAD-DIAPIRS

Dieser Aufschluss, ca. 500 m unterhalb des vorangegangenen Chromitaufschlusses zeigt ein Profil in der MTZ, bestehend aus einer Wechsellagerung von Gabbros und Duniten. Wie schon in den Chromiten zeigt diese Wechsellagerung die stratiforme Separierung des Mantelmaterials durch partielle Aufschmelzung oberhalb eines Diapirs. (Abb. 8)

Die Gabbros sind an diesem Aufschluss troctolithisch, mit einem hohen Anteil an Plagioklas, ebenfalls lässt sich mit der Lupe Chromit beobachten. In den Gabbros lässt sich durch Farbvariation von dunkelgrau bis hellgrau eine Bänderung beobachten, die hauptsächlich durch die lokale Variation des Plagioklasanteils ausgebildet ist. Da das Zentrum des Diapirs in südlicher Richtung liegt, fallen die Schichten leicht nach Norden ein.

Durch durchgeführte strukturelle Untersuchungen (EBSD-Messungen) an den Gesteinen dieses Aufschlusses ist durch die Deformationseigenschaften ein Temperaturfenster von 1100°C bis 1300°C auszumachen. In diesem Temperaturfenster sind Dunite durch Hochtemperatur-Deformationskriechen des Olivins noch duktil verformbar und bilden eine kristallographische Vorzugsorientierung aus, während die Gabbros schon verfestigt sind und sich nur noch spröde verformen lassen.



Abb. 8: Wechsellagerung aus Dunit (hellbraun) und gebändertem Gabbro (dunkelgrau) im Aufschluss und gebänderter Gabbro im Handstück (Bildausschnitt unten links).

STOP 5: NORDENDE DES DIAPIRS, STRAßENPANORAMA

Das Panorama in Abb. 9 zeigt eine deutlich durch die hellbraune Färbung auszumachende MTZ mit aufliegendem Gabbro und unterliegendem Harzburgit. An dieser Stelle enthält die MTZ Bereiche von sogenannten imprägnierten Duniten (impregnated Dunites). Diese enthalten noch als dünne Gänge sichtbare, schmelzgefüllte Bereiche. Diese sind Relikte der ursprünglich vorhandenen größeren Menge an Schmelze, die aus dem Diapir in die darüber liegende Krusteneinheit transportiert wurde. Die Schmelze ist an dieser Stelle innerhalb einzelner Dunitlinsen noch sichtbar, da sich der Dunit mit zunehmender Abkühlung verfestigt und die Restschmelze nicht mehr durch die umliegenden „trockenen“ Dunite entweichen kann.



Abb. 9: Straßenpanorama der Übergangssequenz Harzburgit - MTZ - Gabbro

STOP 6: AN DER STRAÙE AUßERHALB VON MAHRAM

Die Existenz einer Diapirstruktur wurde durch detaillierte strukturelle Untersuchungen des Mahram-Plateaus postuliert. So wurde abgesehen von der antiformalen Struktur der Ophiolith-Einheit an dieser Stelle auch eine steile Foliation der Gesteine in und um die Ortschaft Mahram festgestellt, die nach außen wieder flacher wird. Dies deuten Nicolas und Boudier ebenfalls als Hinweis auf eine Diapirstruktur.

An diesem Aufschluss unweit von Mahram lässt sich diese steile Foliation in den anstehenden Hochtemperatur-Harzburgiten beobachten. Insbesondere die Orthopyroxene im Gestein zeigen durch Einregelung ein Linear auf den Schichtflächen, das parallel zur steilen Foliation angeordnet ist. Vielfach ist das Linear aber nur durch Anätzen am geschliffenen Handstück zu erkennen.

STOP 7: MAHRAM – ZENTRALER TEIL DES DIAPIRS

Die Gesteine in und um den Ort repräsentieren den Zentralen Teil des Manteldiapirs. Am Ortsrand sind Plagioklas-Peridotite zu beobachten mit Plagioklaskristallen von bis zu mehreren cm Größe. (Abb. 11) Das Material ist hier direkt als partielle Schmelze über Porenfließen aus den Harzburgiten ausgetreten und hat sich in Schmelzlinnen und -gängen angereichert. Die hier beobachtete, direkte Schmelzbildung aus Harzburgiten im zentralen Diapir stellt einen alternativen Schmelzpfad zu den Duniten der MTZ im randlichen Bereich dar.



Abb. 10: Harzburgite am Ortsrand von Mahram und Plagioklasperidotite (unten rechts)

STOP 8: WADI AL MAHRAM

Im Wadi al Mahram lassen sich nur wenige hundert Meter außerhalb der Ortschaft Mahram Gabbros der Krusteneinheit beobachten. Das bedeutet, dass an dieser Stelle ein direkter Übergang von den Harzburgiten und Duniten des Diapirs in die Gabbros der Krusteneinheit besteht. Die Bänderung in den Gabbros ist an dieser Stelle besonders gut ausgeprägt. Die Gabbros werden von Wehrlit-, bzw. Dunitintrusionen durchschlagen. Der Übergangsbereich von Diapir und MTZ zu den überliegenden Gabbros ist also nicht scharf abgegrenzt.

STOP 9: GEBÄNDERTE GABBROS IN SAMRAH

Dieser Aufschluss liegt geologisch gesehen ca. 100 – 200 m oberhalb der MTZ und zeigt gebänderte Gabbros der unteren Krusteneinheit. Die Bänderung ist horizontal ausgeprägt mit lokal starken, farblich sichtbaren Materialunterschieden. Die horizontale Bänderung wird durchbrochen von lokalen Scherzonen mit einer Ausdehnung zwischen wenigen cm bis ca. 1 m. (Abb. 11) Diese sind vermutlich durch Gleitung auf Restschmelze bei der Abkühlung des Gesteins nahe der Erstarrungstemperatur für Gabbros (ca. 1200°C) gebildet worden. Innerhalb der Bänderung ist die Anordnung der Minerale immer wieder gleich: der Pyroxenanteil ist unten hoch und nimmt nach oben stark ab, bis fast nur noch Plagioklas vorhanden ist. Da dieses sogenannte mineral-layered-bedding einer Separierung nach dem Dichtekontrast entspricht, wird vermutet, dass die Bänderung durch temporäre Injektion von Schmelze entstanden ist, sodass die Minerale vor der Erstarrung dichteabhängig separiert wurden.



Abb. 11: Gebänderte Gabbros in Samrah

3. Exkursionstag, 16.2. - Wadi Al Abyad

Vor Verlassen des Camps am Morgen des 16.02.2015 wurde von Françoise Boudier das Thema des astenosphärischen Mantelflows behandelt. Der obere Erdmantel fließt mittels *solid state flow* ohne Beteiligung von Schmelzen. Da Olivin die häufigste Phase des oberen Mantels darstellt wird die Thematik anhand dieses Minerals erläutert. Entlang von intra-kristallinen Ebenen kommt es zur Gleitung, wobei das aktive Gleitsystem abhängig von der Temperatur ist. Zwischen 1200-1400 °C dominiert in Olivin das "a-slip" system $[100](010)$ Gleitsystem (Abb. 12). Die Olivinegefüge zeigen dann typischerweise eine kristallographische Vorzugsorientierung (lattice preferred orientation, LPO). Unterhalb von 1200°C treten andere Deformationsmechanismen in den Vordergrund, weshalb dann schon von „kalter“ Deformation gesprochen wird.

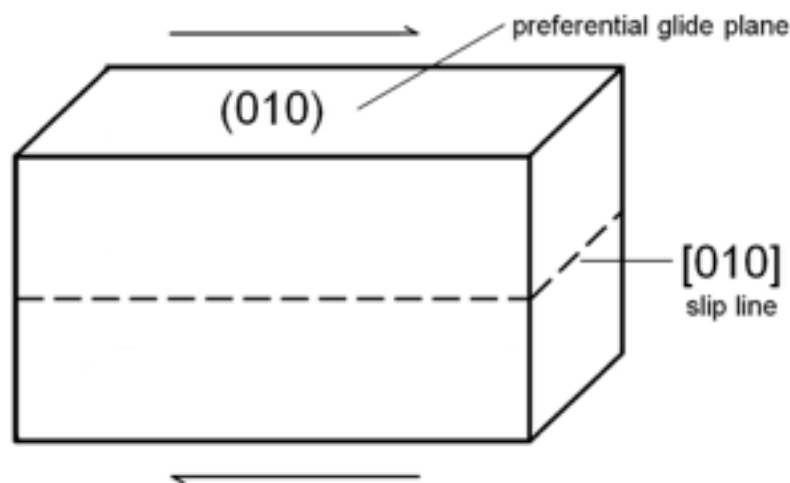


Abb. 12: $[100](010)$ Gleitsystem

Nach diesem Vortrag wurde das Camp in Richtung Norden verlassen. Um zum Wadi Al Abyad zu gelangen, musste die Nordspitze des Jebel Akhdars umrundet werden. An einem aus Listveniten aufgebauten Bergzug im Sumail-Massiv erfolgte ein erster Stopp. Bei den Listveniten handelt es sich um karbonatisch-silikatische Gesteine, die durch eine hydrothermale Alteration von serpentinierten, ultramafischen Gesteinen entstehen. Der Mineralbestand setzt sich typischerweise aus Quarz, Karbonatmineralen (Magnesit, Dolomit, Ankerit, Kalzit) und Cr-Musoviten wie z.B. Fuchsit zusammen. Darüber hinaus können Sulfide (z.B. Pyrit) und Oxide (Hämatit, Magnetit) enthalten sein. Frische Listvenite haben eine grüne Färbung. Im Zuge der Verwitterung wird aus den Fe-reichen Karbonaten Eisen freigesetzt, welches anschließend in Eisenoxiden gebunden wird. Aus diesem Grund sehen die Gesteine im Gelände häufig rötlich-braun aus. Die Listvenite sind von wirtschaftlicher Bedeutung, da sie unter anderem Gold, Nickel, Arsen, Cobalt, Wolfram und Quecksilber enthalten können.

In der auf dem Weg gelegenen Stadt Fanjah erfolgte ein kurzer Einkaufsstopp.

Das Wadi Al Abyad befindet sich stromabwärts des Wadis Bani Kharus, das im Jebel Akhdar Massiv entspringt. Es verläuft in Nord-Süd-Richtung durch große Teile des Nakhl-Rustaq Massivs (Abb. 13). Das Wadi ist berühmt für den hier vollständig aufgeschlossenen Profilschnitt durch die Ophiolith-Serie, der im Laufe des Exkursionstages abgefahren wird. Im Süden des Wadis beginnt die Serie mit peridotitischen Mantelgesteinen, die in Richtung Norden in Gesteine einer geringmächtigen Moho Transition Zone übergehen. Im Hangenden ist die Moho direkt aufgeschlossen (Abb. 14). Darauf folgt die komplette Gabbro-Einheit, die bis zur Basis des *sheeted dike* Komplexes reicht.

Im stellenweise mit Wasser gefüllten Wadi angekommen wurde zunächst eine Mittagspause eingelegt. Das Wadi stellte die erste Waschmöglichkeit seit Exkursionsbeginn dar und war für alle eine willkommene Erfrischung (Abb. 15).



Abb. 13: Lage des Wadi Al Abyad im Nakhi-Rustaq-Massiv

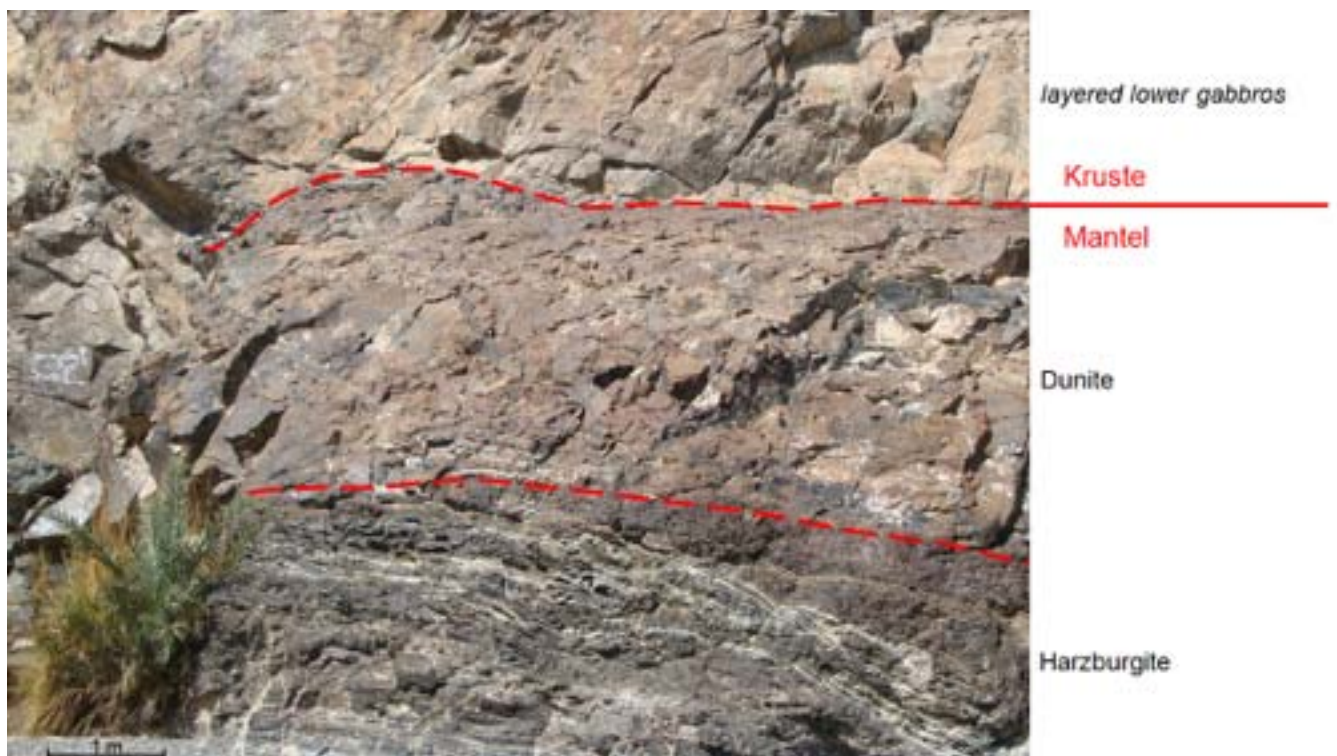


Abb. 14: Moho-Aufschluss im Wadi Al Abyad



Abb. 15: Erfrischung im Wadi Al Abyad

Anschließend wurde von Adolphe Nicolas die hydrothermale Zirkulation von Ozeanwässern an Spreizungszentren thematisiert. Dabei dringen kalte Ozeanwässer durch Spalten in der basaltischen Kruste in tiefere Stockwerke ein und werden auf ihrem Weg abwärts erwärmt. Im klassischen Modell wird davon ausgegangen, dass die erwärmten Ozeanwässer nur so weit infiltrieren bis sie ihre kritische Temperatur von ca. 400°C erreichen. Solche Temperaturen herrschen in Tiefen von ca. 2 km an der Basis des *sheeted dike* Komplexes (kritischer Punkt bei Wasser: 374,12 °C bei 221,2 bar). Neuere Beobachtungen deuten jedoch auf eine tiefere Penetration der Ozeanwässer hin. Demnach dringen die superkritischen Wässer durch Mikrorisse bis an die Moho vor (recharge circuit). An der Wand der Magmakammer induzieren die tief zirkulierenden Fluide bei Temperaturen >1000°C *hydrous melting* der *layered gabbros*. Die hydratisierten Gabbro-Schmelzen bilden *gabbroic dikes* aus, durch welche die heißen Fluide zurück an die Oberfläche geleitet werden (*discharge circuit*). Diese *dikes* sind grobkörnig bis pegmatitisch ausgebildet und werden von 1-2 cm breiten hydrothermalen Reaktionsrändern umschlossen. In der oberen Kruste übernehmen gering temperierte hydrothermale Adern (ca. 500°C) die Aufgabe der *gabbroic dikes* und leiten die Fluide an die Oberfläche. An ihrer Austrittsstelle am Ozeanboden bilden sich durch die Ausfällung von Sulfiden, Eisen, Kupfer etc. Black Smoker aus. Anhand der Alteration der Gabbros lässt sich das Temperaturregime der hydrothermalen Zirkulation ableiten. Typische Minerale der *low-temperature seawater alteration* (LT, ≤ 500°C) sind beispielsweise Chlorit, Epidot und Actinolit. Chlorit, Amphibol, Plagioklas sowie die partielle Substitution von Klinopyroxen durch Pargasit entsprechen *der high-temperature alteration* (HT, 800-900°C). Plagioklas, Orthopyroxen und Pargasit bilden die *very high-temperature alteration* Mineralparagenese (VHT, ≤ 1200°C). Die HT- und VHT-Alteration erstreckt sich innerhalb des Oman - Ophioliths bis in 10-20 km Entfernung von der Paläo-Rückenachse (Abb. 16).

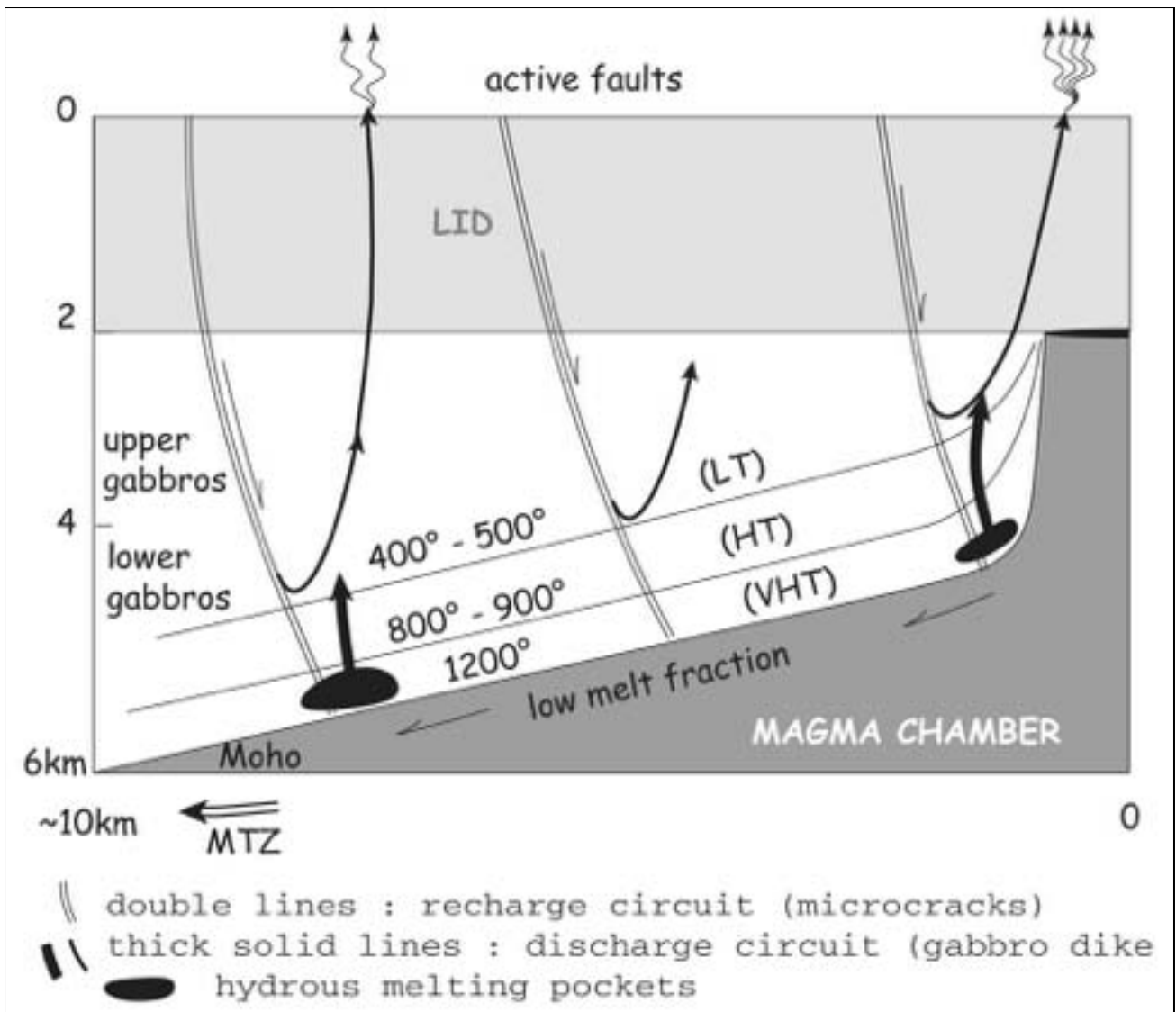


Abb. 16: Hydrothermale Zirkulation über Magmenkammern

Abb. 17 zeigt im unteren Bereich Harzburgite und Wehrlithe, die an der Grenze zur Moho Transition Zone (MTZ) von einer Vielzahl von Gängen durchzogen werden. Zum einen sind helle Gabbro- und Anorthositgänge zu sehen, zum anderen konnten Doleritgänge beobachtet werden. Diese zeigen bei „später Entstehung“ d.h. nach Abkühlen des umgebenden Gesteins auf Temperaturen $\leq 450^\circ\text{C}$ Abschreckungssäume (*chilled margins*), welche bei früheren Ganggenerationen nicht zu sehen sind. Die meisten der Gänge sind subparallel zu dem *sheeted dike* Komplex orientiert und schneiden die Peridotite horizontal, es können jedoch auch einige vertikal verlaufende Gänge beobachtet werden. Zum Teil sind diese Gänge entlang von kleineren Störungen treppenartig zu einander versetzt. Im Hangenden folgt die aus Duniten aufgebaute MTZ. Sie erreicht im Bereich des Wadi Al Abyads eine maximale Mächtigkeit von lediglich 10-20 m. Der Kontakt zwischen den zwei beschriebenen Einheiten ist scharf ausgeprägt, ebenso wie jener zwischen den Duniten und den überlagernden *layered lower gabbros*, welche die Basis der krustalen Einheit bilden. Bereichsweise kann in den unteren Gabbros ein



Abb. 17: Bereich um die MTZ im Wadi Al Abyad (Foto: Gösta Hofmann)

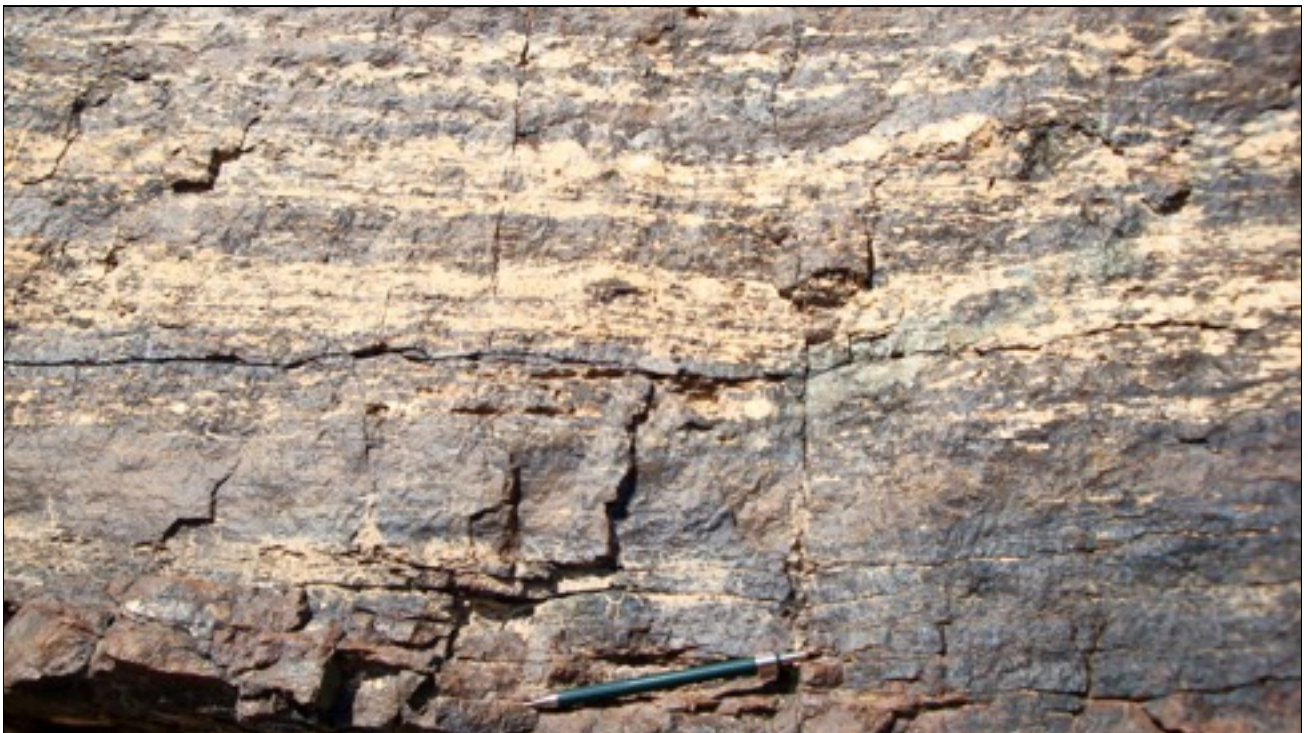


Abb. 18: Plagioklas- und Klinopyroxen-reiche Lagen in den *layered lower gabbros*

Lagenbau aus Plagioklas- und Klinopyroxen-reichen Lagen beobachtet werden (Abb. 18). Die mittleren *laminated gabbros* enthalten Wehrlit-Lagergänge und Lagen aus Anorthosit. In Richtung Hangendes zeigen die Gabbros zunehmend eine Foliation, die im Bereich des Wadi Al Abyads steil Nord-Süd streicht. Diese *upper foliated gabbros* sind zum Teil verfaltet (Abb. 19). Außerdem sind in der gesamten Gabbro-Einheit irregulär auftretende hydrothermale Risse zu erkennen, die bei der Zirkulation der Ozeanwässer eine Rolle gespielt haben.



Abb. 19: Verfaltete *upper foliated gabbros*

4. Exkursionstag, 17.2. - Hebungs- und Senkungsgeschichte

Der vierte Tag der Exkursion wurde von Dr. Gösta Hoffmann von der German University of Technology (GUtech) Oman geleitet. Das Thema des Exkursionstages ist die heterogene Hebungs- und Senkungsgeschichte und Situation der Küste.

Während der Vorbesprechung des Tages wird die Morphologie des Schlafplatzes erläutert die durch langgezogene, verästelte Geröllhügel geprägt ist. Hierbei handelt es sich um die Rinnenfüllungen ehemaliger Schwemmfächer die zum Entwässerungsnetzwerk des südlich gelegenen Gebirges gehören. Durch die Hebung der Küstenregion sind nur noch die grobklastischen Kanalfüllungen erhalten, die overbankfines sind erodiert. Dies ist ein klassischer Fall von Reliefumkehr.

STOP 1: HAL BAN; ÄUßERSTER WESTLICHER RAND VON MUSKAT

Der Aufschluss besteht aus einer nach Norden einfallenden Abschiebung die den südlich liegenden Ophiolit von jüngeren hangenden Gesteinen trennt. Am südlichen Horizont ist der anstehende Peridotit als Teil des Gebirges zu erkennen. In der Störung ist Travertin ausgefallen (Abb. 20) der ein morphologisches Lineament bildet, das annähernd vollständig entlang des Nordrandes des Gebirges zu verfolgen ist. Mit U/Th ist der Travertin, und somit die Störung auf jünger als 250 ka datiert. Im Liegenden überlagern zusätzlich horizontale Travertine mit klastischen Einschaltungen den Ophiolit. An einigen Stellen entlang des Lineaments tritt Sole mit einer Temperatur zwischen 37 – 64 °C aus.



Abb. 20: Ausgefallener Travertin in der Störungszone

Die Frage ob die Störung noch aktiv ist, oder wann sie es war, kann nicht abschließend geklärt werden. Entweder spiegelt die Störung die vom Küstenabschnitt entkoppelte Hebung des Gebirges, oder das Absenken der Küstenregion wieder. Auch eine Kombination beider Prozesse ist denkbar.

ARCHÄOLOGISCHER EXKURS: DIE NEKROPOLE VON HAL BAN

Auf dem horizontal gelagerten Travertin stehen 30 sogenannte Bienenkorbgräber (Abb. 21) in unterschiedlicher Größe sowie Erhaltungszustand. Das Alter dieser Sammelgräber wird auf 5000 Jahre geschätzt. Im Oman gibt es zehntausende dieser Bauten die ausschließlich an exponierten Orten zu finden sind. Die runden Gebilde bestehen aus einer inneren und einer äußeren Wand die konisch zulaufen und nach oben offen sind.



Abb. 21: Zerfallenes Bienenkorbgrab

Ihr Auftauchen in dieser Region kann mit klimatischen Veränderungen in Verbindung gebracht werden. Bis vor 6000 Jahren gibt es im Nordoman drei Monate Sommerregen aufgrund der durch die letzte Eiszeit verengten Klimazonen. Mit dem Ende der letzten Eiszeit verlagert sich der verantwortliche Monsungürtel nach Norden und weite Teile Omans werden unfruchtbar. An der Küste dagegen ist aufgrund von sauerstoff- und planktonreichen Auftriebswässern die Nahrungsversorgung durch Fisch weiterhin gegeben. Dies kann das plötzliche Auftauchen dieser Kultur in Küstennähe erklären. Die Gräber wurden flächendeckend vor ungefähr 3000 Jahren geplündert.

STOP 2: STRAßENANSCHNITT DER AUTOBAHN BEI DER STAATL. UNIVERSITÄT MUSKAT; AL KUDH

Im Straßenanschnitt ist eine sedimentäre Abfolge als E-W-Profil (7-8m Höhe) zu betrachten (Abb. 22). Die sandige Basis ist eozänen Alters und erosionsdiskordant vom restlichen Profil getrennt. Darüber liegt eine nach Osten fallende, schräg geschichtete fluviatile Abfolge mit einem bimodalen Konglomerat mit Komponenten in Geröllgröße an der Basis. Darauf folgt ein besser sortiertes Konglomerat mit sehr prägnanter Schrägschichtung. Das Top des Profils ist wiederum ein nur schwach eingeregelttes bimodales Konglomerat jedoch mit kleineren Komponenten als an der Basis.



Abb. 22: Profil des Aufschlusses

Der eozäne Sand beinhaltet eine Großzahl an Nummuliten die einen Durchmesser von bis zu 5cm erreichen können (Abb. 23).



Abb. 23: Nummuliten

STOP 3: SAHYHATAT-FENSTER

Die Mittagspause findet nahe der Autobahn in einem kretazisch grünschieferfaziell überprägten Glimmerschiefer statt. Die stark eingeregelteten Gesteine sind von Quarzgängen durchzogen in denen idiomorphe Quarze gefunden werden können. Das Gestein ist Teil der exhumierten Subduktionszone.

STOP 4: HAWIYAT NAJIM „DAS LOCH DER STERNE“

Das Loch der Sterne (Abb. 24) ist eine 30 m Tiefe Doline im miozänen Karstgestein und Teil eines weit verzweigten Karstsystemes das auch im Kontakt mit dem Meer steht. Der Kalkstein wird diskordant von 10 m quartärem deltaischem Geröll überlagert. Die begehbare Doline ist touristisch erschlossen und lädt zum Baden ein.



Abb. 24: Hawiyat Najim

STOP 5: MARINETERRASSE BEI FINS

Entlang der Flanke des Gebirges lässt sich zwischen bis zu 10 Terrassengenerationen differenzieren. Generell gilt hier: Je höher die Terrasse über dem Meeresspiegel liegt, desto älter ist sie, was als Beweis für eine rezente Hebung der Region herangezogen werden kann. Bei Fins liegt die höchste Terasse zwischen 300 – 400 m und besitzt ein Alter von 500 ka. Eine Terrasse entsteht im Intertidal durch Bioerosion. Bohrmuscheln perforieren Brandungsgerölle sowie ggf. anstehende Gesteine wodurch diese erosionsanfälliger werden und eine flache Ebene, genannt Brandungsplattform entsteht. Die Brandungsterrassen werden von ca. 3 m mächtigen Schottern überlagert, die als Strandablagerung interpretiert werden. In den Schottern befinden sich gut erhaltene Schalen der marinen Gastropode *Pleuroploca*.

An in den Schottern vorhandenen Quarzen können OSL (Optical Stimulated Luminescence) Analysen durchgeführt werden um deren Ablagerungsalter zu erhalten. Der Haltepunkt befindet auf einer 110 m über dem Meeresspiegel liegenden Terrasse die mit OSL auf 70 ka datiert ist was zu einer Hebungsrate von 1 - 2 mm pro Jahr führt.

ARCHÄOLOGISCHER EXKURS: FLINTVERARBEITUNG

Auf der Brandungsplattform befinden sich die Überreste einer 9000 Jahre alten Flint-Pfeilspitzen - Produktionsstätte. Es finden sich diverse Flintabfälle aber auch potentiell verwendbare, klar bearbeitete Flint-Pfeilspitzen sowie Werkzeuge zu deren Bearbeitung.

STOP 6: STRANDPROFIL NAHE DEM ORT „MENSTRUATIONSZYKLUS“

Direkt oberhalb des rezenten Kiesstrandes ist ein ungefähr 12 m hohes Küstenprofil mit fünf zu unterscheidenden Schichten aufgeschlossen. Es stehen 3 m mächtige Porites Korallen (Abb. 25) mit fingerförmiger Ausprägung an. Diese werden von einer 1,5 m mächtigen Blocklage erosiv überlagert, die wahrscheinlich eine Mure (debrisflow) repräsentiert. Oberhalb davon setzt das Korallenwachstum in einer 4 m mächtigen Schicht wieder ein, ist jedoch nicht so prägnant ausgebildet wie an der Basis. Darauf folgen 2 m Geröll-Lage und am Top ein halber Meter Strandsediment. Das Profil wird als das Resultat quartärer Meeresspiegeloszillation in Verbindung mit einem stetigen Uplift interpretiert.



Abb. 25: Fingerförmig ausgeprägtes Korallenwachstum an der Basis des Profils

5. Exkursionstag, 18.2. - Tsunamigeschichte, Wadi Shab, Sur

Mittelpunkt des Tages war die Rekonstruktion der Tsunamigeschichte des Omans und ihre Bedeutung für das Frühwarnsystem im Indischen Ozean. Die Leitung des Tages erfolgte erneut durch Dr. Gösta Hoffmann. Der Nachtlagerplatz des Vortags stellte den ersten Aufschluss dar.

Die Arabische Platte taucht im Nordosten in einem Winkel von 5° entlang der Makran Subduktionszone unter die Eurasische Platte. Durch den Eintrag des Indus wird die Subduktionszone von einem bis zu 7 km mächtigen gas- und wassergesättigten Akkretionskeil überlagert. Die Sonne-Störung unterteilt die Makran Subduktion weiterhin in eine westliche und eine östliche Zone, deren Spannungsaufbau unabhängig voneinander verläuft. Folglich treten Erdbeben jeweils nur auf einer Seite auf.

Zuletzt ereignete sich in der östlichen Subduktionszone in der Nacht vom 27. Auf den 28.11.1945 ein Beben der Magnitude 8,2. Für den westlichen Teil sind keine Beben überliefert, was entweder durch eine aseismische Subduktion oder einen Spannungstau begründet werden kann. Wärmeanomalien sprechen jedoch für letzteres. Modellrechnungen prognostizieren ein Beben der Magnitude 9,0, welches für den Oman eine Flutwelle von 15 m Höhe zur Folge hätte. Bei einer Entfernung des Nordomans zur Makran Subduktion von 300 km und einer Wellengeschwindigkeit von 700-900 km/h liegt die Zeit zwischen Beben und Ankunft eines Tsunamis bei nur 20 bis 30 Minuten.

Die Owen-Bruchzone – die dextrale Transformstörung zwischen Arabischer und Indischer Platte – sowie die Sumatra Subduktionzone stellen weitere Tsunamirisiken für den Oman dar. Der Tsunami des submarinen Erdbebens der Sumatra Subduktionszone am 26.12.2004 erreichte das Land noch mit einer Höhe von 2 m. Bei einer hohen Magnitude von 9,1 war die Welle relativ niedrig, womit die Gefahr für den Oman durch diese Subduktionszone als gering einzuschätzen ist. Weitere theoretische Tsunamirisiken sind submariner Vulkanismus und marine Meteoriteneinschläge.

Nach der für Südostasien verheerenden Katastrophe 2004 wurde im indischen Ozean ein Frühwarnsystem eingerichtet, um bei erneuten schweren Erdbeben schneller reagieren zu können. Dieses setzt sich zusammen aus Bojen, welche Veränderungen des Drucks der Wassersäule am Meeresboden registrieren, Seismometern und GPS-Stationen. Am 24.09.2013 um 11:29 Uhr wurde ein Erdbeben der Magnitude 7,7 südlich von Pakistan aufgezeichnet. Der resultierende Tsunami traf die omanische Stadt Sur um 12:08 mit einer Höhe von 0,8 m.

Das Frühwarnsystem bezieht in die Berechnung der Gefahr, welche von einem Erdbeben ausgeht, nicht nur die zum jeweiligen Zeitpunkt aufgezeichneten Daten ein, sondern auch jene von zurückliegenden Ereignissen. Entsprechend ist es wichtig, auch Daten von Events vor 2004 zu sammeln und in das System einzuspeichern. Für den Oman bedeutet dies, neben dem kurzen Intervall von Messdaten, auch historische und geologische Daten einzubeziehen, um Häufigkeit und Höhe von Tsunamis besser zu bestimmen. Der Fehler der Daten nimmt mit zunehmendem Alter zu.

Für das obig erwähnte 1945er Beben liegen wenig historische Berichte für den Oman vor. Informationen aus der damaligen Times of India, veröffentlichte Berichte des Britischen Geheimdienstes und Schriftdokumente des damaligen Sultans lassen auf eine Welle von 2,5 m Höhe schließen, welche Strukturschäden, aber wohl keine menschlichen Verluste zur Folge hatte. Gespräche von Studenten der GUtech mit örtlichen Fischern decken sich mit diesen Berichten.

STOP 1: STRAND N' FINIS

Der hiesige Strand steigt nahe des Ufersaums flach auf 2,5 m an und fällt dann steil zum Meer hin ab. Im oberen Bereich ist eine sandige Kiesbank aufgeschlossen, in die Korallenstücke, Wurmrohren und Muscheln, darunter Fossile der auf Hartsubstrat lebenden *Auster Pinctata radiata*, eingelagert sind. ¹⁴C-Datierung von Muscheln ergab für die Ablagerung ein Alter von etwa 600 Jahren. Damit kann eine Entstehung des Walls durch regionale Hebung ausgeschlossen werden. Diese besitzt eine Rate von 1 mm/a, was bei der Höhe des Walls von 2,5 m einem Alter von 2.500 Jahren entspräche.



Abb. 26: Fossilreiche sandige Kiesbank in einem Strandwall (vergleiche kleines Bild) bei Fins. Als Bildungsursache wird ein Tsunami vor 600 Jahren angenommen.

Als Bildungsursache wird ein Tsunami angenommen. Eine klare Abgrenzung zu einem Sturmereignis ist jedoch nicht möglich. Tsunamis zeichnen sich durch 1-2 Wellen bzw. Würfe aus, Stürme hingegen durch erhöhte Wellen in hoher Frequenz über einen Zeitraum von Stunden bis wenigen Tagen. Die resultierenden Sedimentkörper sind allerdings kaum zu unterscheiden.

Ein weiterer Indikator für ein Starkwellenereignis sind auf der gesamten Strandfläche verteilte Beachrockblöcke (quartäre Konglomerate aus Kiesen mit karbonatischer Matrix), welche landeinwärts kleiner werden.

STOP 2: WADI SHAB

Das Wadi Shab folgt einer Störung in eozänen pelagischen Kalksteinen. Unter der Talsohle stehen Ophiolithe an, welche das Versickern des Wassers verhindern. In den benachbarten Wadis Tiwi und Fins ist der Ophiolith aufgeschlossen. Das Wadi Shab ist ganzjährig wasserführend und wird vom bis zu 2000 Meter hohen verkarsteten Gebirge im Westen gespeist, wo die Niederschlagsmenge bis zu 150 mm pro Jahr beträgt. Die Mündung in den Omanischen Golf bildet ein Ästuar, in dem es zu gezeitenabhängiger Vermischung von Süß- und Salzwasser kommt. Seit 2008 wird die Mündung von einer Brücke überspannt.

An den Hängen des Wadis wurden über lange Zeit Gärten durch ein Kanalsystem („Faladsch“) bewirtschaftet. Durch den tropischen Wirbelsturm 2007 und die daraus resultierende Flashflood wurden diese jedoch zerstört. Momentan beginnt der Wiederaufbau. Ein 450-500 Jahre altes Naturdenkmal wurde ebenfalls Opfer der 2007er Flut, was zeigt, dass Ereignisse dieser Stärke im Wadi Shab relativ selten sind.

Eine nur durch Tauchen zu erreichende Höhle ca. 3 km von der Mündung entfernt stellt ein beliebtes Touristenziel dar und wurde auch während der Exkursion besucht.



Abb. 27: Der Weg das Wadi Shab hinauf führt über Sand, Fels und Wasser zwischen verkarsteten eozänen Karbonaten hindurch

STOP 3: STRAND N' WADI SHAB

Auf der gesamten Strandfläche liegen teils imbrikierte und zum Meer hin einfallende Beachrockblöcke verteilt. Das Gelände ist anthropogen überprägt. Morphologisch sind mindestens zwei zum Meer hin steil einfallende Wälle aus eozänen Karbonaten und Beachrock in sandiger Matrix ähnlich jenem von Stop 1 zu erkennen.

In einer 1,5 m hohen auflässigen Kiesgrube steht eine Wechsellagerung aus marinen und terrestrischen Sanden und Kiesen an. An Fossilien finden sich Muscheln sowie marine und terrestrische Schnecken, von denen es drei Arten im Oman gibt. Die Datierung der Fossilien ergab aufgrund des hohen Rekristallisationsgrades Alter zwischen 20 und 40 ka. Untersuchungen mit dem Georadar zeigen, dass die Sedimente auf einer erosiven Basis liegen. Die Wechselfolge wird als onwash-backwash Ablagerung von einem oder auch mehreren Tsunamis interpretiert.

Von den beschriebenen Blöcken zeigt der größte eine karbonatische Basis mit aufliegendem Konglomerat. Seine Maße betragen 7 m x 6 m x 1,5 m, woraus sich ein Gewicht von ungefähr 120 t ergibt. Zwei im Winkel von 90° zueinander stehende Kluftscharen sind gegenüber den Klüften im Anstehenden verdreht – sie deuten also eine Rotation bei seiner Bewegung an. Versuche den Block mittels Laserscan am Strand in seine Ausgangsposition zu reorientieren hatten keinen Erfolg. Satellitenbilder zeigen, dass der schwere Tropensturm Gonu 2007 nicht die Ursache für die Bewegung des Blocks war. Es ist jedoch nachgewiesen, dass Blöcke dieser Größe sowohl von Sturmwellen wie auch Tsunamis bewegt werden können.

Für zwei Gesteinsblöcke des Strandabschnitts (Abb. 28) wurden Altersdatierungen an Lithophagen (Bohrmuscheln) durchgeführt. Die Untersuchung eines hellen Blocks mit sessilen Bivalven des Intertidals ergab 1945 als jüngstes Sterbealter der Fossilien und damit früheste Deposition des Blocks. Seine Lage auf dem Strand passt jedoch nicht mit der damaligen Tsunamihöhe von nur 2-3 m überein. Ein nur 20 m entfernter dunkler, stärker verwitterter Block wurde hingegen auf das Jahr 1000 datiert. Dieses Ergebnis deckt sich mit persischen Quellen, die von einer großen Welle im Jahre 1008 berichten. An der Küste des Omans wurden bereits 80 solcher Datierungen an Gesteinsblöcken durchgeführt, um Cluster für die Häufigkeit und Intensität von Tsunamis zu bestimmen. Die Mehrzahl der Blöcke wird dem Ereignis 1008 zugeordnet. Tsunamis dieser Stärke treten im Oman also relativ selten auf.



Abb. 28: Zwei Blöcke aus Beachrock als Zeugen wiederkehrender Tsunami- oder Sturmereignisse am Strand N' des Wadi Shab. Während die Deposition des Blocks im Vordergrund auf das Jahr 1000 datiert wurde, liegt der markierte Block im Hintergrund erst seit 1945 an Ort und Stelle.

STOP 4: ALTER FRIEDHOF TIWI

Der Friedhof liegt direkt an einer vor kurzem gebauten, küstenparallelen Straße. Einige Gräber sind an der Oberfläche durch Steine parallel zum darunter liegenden Körper markiert. Andere weisen nur jeweils einen Kopf- und Fußstein auf. Ortsansässige datieren den Friedhof auf vorislamische Zeit. Die Orientierung der Gräber mit einer nach Mekka ausgerichteten Längsseite entspricht jedoch islamischem Brauch und deutet daher ein Alter unter 1400 Jahren an. Um dies zu überprüfen wurde ein beim Straßenbau freigelegter Schädel versucht mit der ^{14}C -Methode zu datieren, was jedoch fehlschlug.

Imbrierte, zum Meer hin einfallende Beachrockblöcke in Dachziegellagerung überdecken Teile des Geländes. Mittels Georadar konnten auch unter diesen Gräber festgestellt werden. Entsprechend zeigen sie ein Tsunamiereignis jünger 1400 Jahre an. Die ungewöhnliche Nähe des Friedhofs zur Küste lässt einen Meeresspiegelanstieg innerhalb dieser Zeit vermuten.

STOP 5: S' LAGUNE VON SUR

Der auf Meeresspiegelniveau liegende Aufschluss (Abb. 29) miozäner mergeliger Karbonate zeigt in 3,7 m Höhe eine charakteristische Brandungshohlkehle. Diese entspricht einem Paläomeeresspiegelhöchststand. An Fossilien finden sich marine Muscheln und Schnecken. Die ^{14}C -Datierung an Austern schlug fehl, da der Aragonit ihrer Schalen vollständig zu Kalzit rekristallisiert ist. Allerdings konnte das Alter von Quarzkörnern einer benachbart anstehenden fossilreichen Sandlage mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL) auf die Eem-Warmzeit vor 110.000 Jahren bestimmt werden. Hierfür wurde ein Würfel der Kantenlänge 30 cm entnommen und von der University of Liverpool analysiert. Da zur Eemzeit der Meeresspiegel 3-6 m höher lag als heute, ist für diesen Ort keine Hebung festzustellen. Im Gegenteil kann sogar eine langsame Subsidenz für die Region um Sur beobachtet werden.



Abb. 29: Das Hinterland der Lagune von Sur liegt heute auf Höhe des Meeresspiegels. Die deutliche Brandungshohlkehle in der Bildmitte zeigt jedoch, dass dieser im Eem noch knapp vier Meter höher lag.

Die rezente Tektonik des nördlichen Omans ist dynamisch in eine Reihe von Blöcken geteilt. Sur, Muskat und Musandam befinden sich in Subsidenz. In der Exklave Musandam hat die Senkung zur Überflutung zahlreicher Täler geführt, welche die Assoziation mit Fjorden zulässt. Daher stammt auch der Spitzname „Norwegen Arabiens“. Die restlichen Gebiete heben sich und zeichnen sich in der Folge durch marine Terrassenlandschaften aus. An der Störungszone zwischen dem sich senkenden Sur und dem sich hebenden Norden hat die omanische Regierung eine Gasverflüssigungsanlage errichten lassen, die weiteres Gefahrenpotenzial für die Region birgt.

Bei der Berechnung von Katastrophenszenarien für den Oman muss nicht nur die Frequenz von Erdbeben, Tsunamis und tropischen Stürmen berücksichtigt werden. Auch das Zusammenspiel von Hebung, Senkung und Meeresspiegelveränderungen ist von Bedeutung.

STOP 6: DAU-WERFT IN SUR

Zum Abschluss des Tages wurde noch ein kultureller Stop in der Dau-Werft von Sur gemacht. Eine Dau (auch Dhau) ist ein traditioneller Typ von Segelschiffen, der vom Oman über Jahrhunderte mit Hölzern aus Indien und Sansibar gebaut und für den Gewürzhandel und die Sklavenverschiffung nach Amerika eingesetzt wurde.

Die Werft wurde von Sultan Qabus ibn Said ins Leben gerufen, um das Aussterben dieses Handwerks im Oman zu verhindern. Während der Rumpf der Daus im Wesentlichen den alten Vorbildern entspricht, sind sie im Inneren modern eingerichtet, um den Wünschen der meist gut betuchten arabischen Abnehmer zu genügen.



Abb. 30: Daukonstruktion in Sur (Foto: Marlene Perschl)

6. Exkursionstag, 19.2. - Radiolarit, Kimberlit, Sandwüste

STOP 1: RADIOLARITE, „UMM AL TILAL“



Abb. 31: Umm al Tilal, auch "Die Mutter aller Aufschlüsse" genannt.

Auf den ersten Blick fällt auf, dass die Schichten in diesem Aufschluss extrem verfaltet sind. Noch dazu spielen mehrere Ab-/Aufschiebungen hier eine Rolle, die der heutigen „Mother of all outcrops“ ihre Einzigartigkeit verleihen. Dieser Aufschluss ist ein perfektes Beispiel für die Komplexität von Faltensystemen. Durch den Kompetenzkontrast der Schichten und der zu großen Dicke einer einzelnen Schicht, entstehen Chevron-Falten mit hinge collapse. Auf dem linken Teil des Bildes kam es vor der Faltung erst noch zu einer Überschiebung, wohingegen im rechten Bereich die Überschiebung jünger als die Falte ist.

STOP 2: FOSSILIEN IN TEKTONISCHER MÉLANGE

In der Nähe des Radiolarit-Aufschlusses findet man viele verschiedene Fossilien in einem mergeligen Kalk, die wahrscheinlich in die Zeit des Perms einzuordnen sind, da dort ein *produktus horridus* (leitend für Perm) und späte eingerollte Trilobiten gefunden wurden.

Neben Trilobiten kommen flachmarine Brachiopoden, Solitärkorallen und Crinoiden vor. Es könnte sich hierbei um ein Extremereignis handeln, etwa eine Tempestitablagerung, da so viele Fossilien auf kleinem Raum zu finden sind.



Abb. 32: Fossilienplatte aus einem Block der coloured melange. Neben Muscheln, sind Brachiopoden und Schnecken, sowie abgebrochene Crinoidenstängel zu erkennen.

STOP 3: MANGAN-LAGERSTÄTTE

In Oman gibt es kleinere Manganerzlagerstätten, die im Tagebau abgebaut werden. Die Vorkommen sind sehr vereinzelt und lokal auftretend. Die Erze sind schichtgebunden (stratiform), kommen an Kieselschiefer (Radiolarite) gebunden vor und sind, durch ihre schwarze Färbung sogar auf Satellitenbildern zu erkennen.

Neben Manganerzen werden im Oman auch Chromit, Kupfer- und Gold gewonnen, die jedoch alle nicht leicht abzubauen sind. Die größten Vorkommen stellen Erdöl und Erdgas im Landesinneren dar. Sie sichern ca. 80% des Bruttoinlandsproduktes.

Kies und Sand werden für den Straßenbau und als Zuschlag für Beton verwendet, Gabbro als Zuschlag für Asphalt. All die natürlichen Bodenschätze tragen wesentlich zu einer stark verbesserten Infrastruktur in Oman bei.

STOP 4 A: RAS AL HADD „HD06“

Ras al Haad, auch „HD06“ genannt, beschreibt einen kleinen Bereich in Küstennähe, in dem Gebäudereste gefunden wurden, die bis zu 5500 Jahre alt sind. Man konnte zwei Phasen der Siedlungsentwicklung feststellen, wobei in der ersten Phase Sandziegel zum Häuserbau benutzt wurden und in der zweiten Phase Lehmziegel. Dazwischen findet man immer wieder Lagen mit Muscheln als Sedimentfracht, was auf plötzliche Überschwemmungsereignisse hinweist. Wobei nicht sicher zwischen einem Tsunami oder einer Sturmflut unterschieden werden kann.



Abb. 33: Gebäudereste der Siedlung "Ras al Hadd" (aus: G. Hoffmann (2015) Geo-archaeological evidence for a Holocene extreme flooding event within the Arabian Sea (Ras al Hadd, Oman)).

STOP 4 B: KLEINER AUFSCHLUSS AM WALL

Das Areal wird von zwei Wällen umgeben, der äußere besteht aus anstehendem Gestein, der innere jedoch konnte durch topographische Messmethoden (Laserscanning) anthropogenem Ursprungs zugewiesen werden. Es handelt sich wahrscheinlich um einen kleinen Schutzwall, der den Wohnbereich ehemaliger Siedler eingrenzte. Im Aufschluss findet man Asche von Holzkohlefeuern, Muscheln und Korallenreste sowie Kupfer- und Bronzeobjekte. Die Siedler benutzten Werkzeuge um Schneckengehäuse vorne abzuschlagen, auszuhöhlen und als Angelhaken oder Ringe zu benutzen. Später wurden die Haken aus Kupfer selbst hergestellt, da die Muschelstücke zu schnell brachen. Das Überflutungsereignis wird mithilfe der Datierung der Muscheln auf 4500 Jahre vor heute datiert.

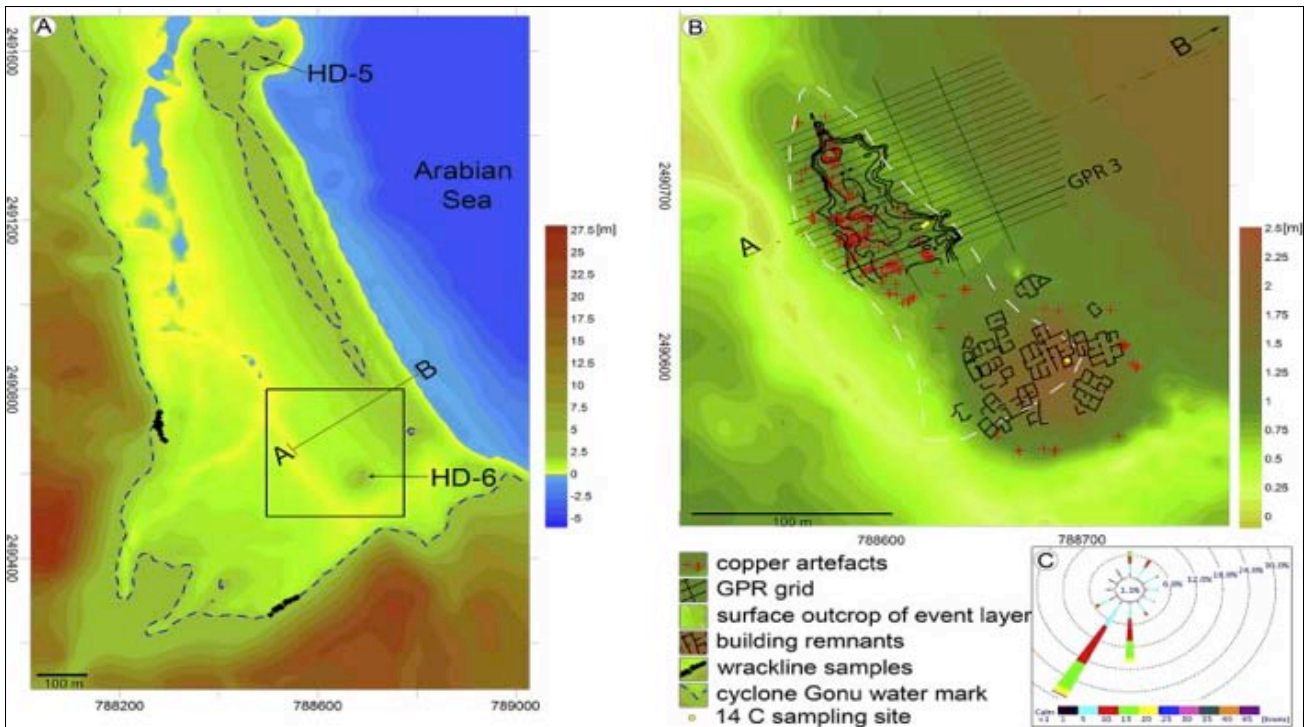


Abb. 34: Vermuteter Lageplan der Gebäude in Ras al Hadd (aus: G. Hoffmann (2015) Geoarchaeological evidence for a Holocene extreme flooding event within the Arabian Sea (Ras al Hadd, Oman)).

STOP 5: STRAND NAHE ARABIAN SEA HOTEL



Abb. 35: Kimberlit. Zu sehen sind Einsprenglinge auf brekziöser Oberfläche.

Unterhalb des Arabian Sea Hotel findet man entlang des Strands vulkanische Brekzien, die als Kimberlite beschrieben sind. Das brekziöse, ultrabasisch bis basische Gestein enthält Xenolithe und Einsprenglinge von Olivinen und Pyroxenen. Ein Drittel aller Kimberlite der Welt enthalten Diamanten, diese hier jedoch nicht.

Das Gestein kommt aus einer Magmaschmelze aus sehr großer Tiefe von mindestens 150 km, die schnell aufsteigt und sehr hohe Fluidanteile und Gasphasen enthält. Die ersten Kimberlite, die auf diese Weise an die Oberfläche gelangen, enthalten meist keine Diamanten, da der Weg nach oben durch sie erst „frei gebrochen“ werden muss und sie daher langsamer aufsteigen als spätere Magmaschübe, die dann Diamanten führen können. Diese späteren Austritte können mit sehr hoher Geschwindigkeit aufsteigen, sodass sie innerhalb weniger Stunden die Oberfläche erreichen, wo sie teils mit Überschallgeschwindigkeit explosionsartig austreten.

STOP 6: SANDWÜSTE, BIDIYAH

Im Gegensatz zum nordöstlichen Teil Omans, dessen Landschaftsbild vorwiegend durch Gebirgszüge oder karge Steinwüste gekennzeichnet wird, erstreckt sich südlich von Bidiyah eine große Sandwüste, an deren Ausläufer wir uns eine kleine Verschnaufpause gönnten.



Abb. 36: Rand der Sandwüste südlich von Bidiyah.

7. Exkursionstag, 20.2. - Durchquerung des Jebel Akhdar

ÜBERSICHT

Nachdem am Vortag eine Route entlang der Ostküste nach Süden und von dort aus nach Westen ins Inland gewählt wurde, wurde der Weg über die Autobahn nach Bahla über Izki eingeschlagen. Von dort aus ging es weiter nach Norden parallel zum Profil auf der Titelseite des Exkursionsführers.

Auf der Fahrt durchquerten wir ohne zu halten die Ophiolithdecken und erreichten das Autochthon.

STOP 1: STRAßE N' ALHAMRA - „STINKKALK“ DER OBER-KREIDE

Zu sehen ist ein dunkler Stinkkalk, der beim Anschlagen einen Geruch nach Schwefelwasserstoff freisetzt - typisch für ein reduzierendes Ablagerungsmilieu.

Anhand der geologischen Karte kann bestimmt werden, dass die Gesteine aus der unteren Oberkreide stammen. Aufgrund der großen Menge an organischem Material im Gestein kann man dessen Bildung noch genauer auf das anoxische Ereignis im Cenomanium festlegen (Bonarelli-Ereignis, 93,8 bis 93,5 Ma).

Das hier anstehende Gestein gehört zum Autochthon. Allerdings kann man in einiger Entfernung eine Klippe der Hawasinadecke auf dem Autochthon sehen. Bei dieser Decke handelt es sich um Ablagerungen des distalen Kontinentalrandes von Arabien, die an der Basis der Ophiolithdecken mitverschoben wurden.

Bei der Autofahrt fiel auf, dass die Schichten steiler einfallen als die Gesteinsschichten. Das bedeutet, dass wir in stratigraphisch älteres Gestein fahren. Die folgenden Stops befinden sich an der Straße zwischen Alhamra und dem Pass über die Südflanke des Jebel Akhdars.

STOP 2: VERKARSTETER KALKSTEIN DER OBER-KREIDE

Zu sehen ist ein hellerer Kalkstein als bei Aufschluss vorher. In diesem sind etwa 0,5 cm große Calcitkristalle und Kristalldrusen. Auch dieser Kalk weist einen H₂S-Geruch auf, nur ist dieser nicht mehr ganz so intensiv wie zuvor. Man findet etwa 1 mm große konzentrische, runde Fossilien, die sich als Orbitolinen bestimmen lassen.

Desweiteren ist Verkarstung zu erkennen. Im Karst gibt es Hohlräume, sogenannte Schlotten, die mit Verwitterungsprodukten gefüllt sind.

Stratigraphisch befindet sich dieser Aufschluss auch noch in der unteren Oberkreide, muss aber etwas älter sein als der erste.



Abb. 37: Verkarsteter Kalkstein

STOP 3: SCHWACH METAMORPHE KALKE DER OBER-KREIDE

An diesem Haltepunkt ist eine Wechsellagerung grauer Stinkkalke (ähnlich wie in Stop 1) und hellgelblicher Mergel zu sehen. Zwischen den ca. 1 m mächtigen Kalkbänken befinden sich geschieferte, poröse, helle Mergelschichten, deren Perlmuttglanz bereits auf einen gewissen Illitanteil und damit auf beginnende Metamorphose schließen lässt. In beiden Gesteinseinheiten befinden sich mit Quarz gefüllte Zerrklüfte.

Anhand der Schleppung der Zerrklüfte kann festgestellt werden, dass die Mergelschichten und die Kalke dextral gegeneinander bewegt wurden. Dies könnte beim schichtparallelen Gleiten während der Aufdomung des Jebel Akhdar Massivs passiert sein, das möglicherweise eine Rampenantiklinale darstellt.

Stratigraphisch befindet sich dieser Aufschluss auch noch in der Ober-Kreide, muss aber etwas älter sein als die vorigen.



Abb. 38: Wechsellagerung von Mergel und Kalkstein



Abb. 39: Geschieferte, poröse, helle Mergelschicht

STOP 4: FIEDERKLÜFTE

An diesem Haltepunkt wurden Fiederklüfte im Kalk und ihre Kinematik diskutiert. Des Weiteren sieht man lange, horizontale Gänge aus jüngeren Generationen.

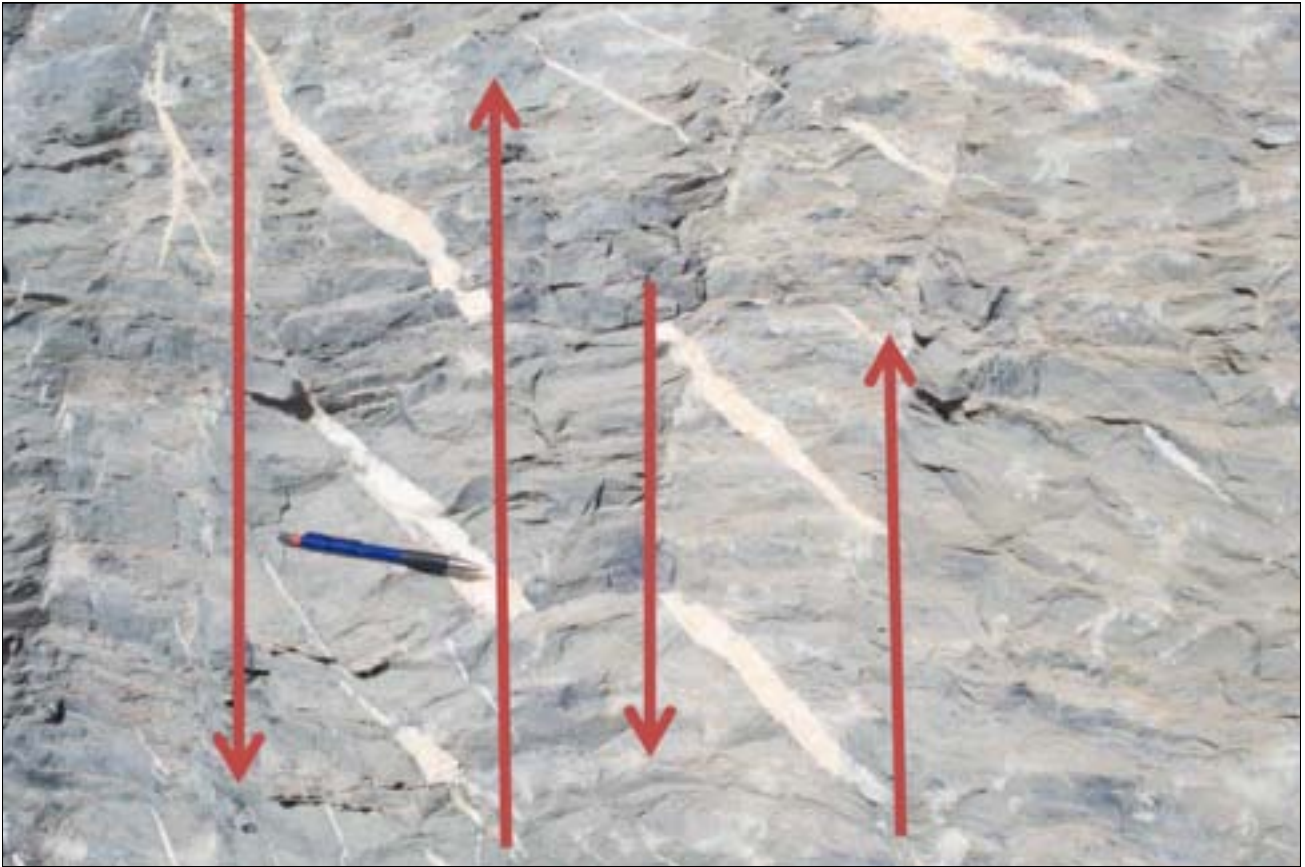


Abb. 40: Fiederklüfte

STOP 5: PASS ÜBER SÜDFLANKE DES JEBEL AKHDAR - TURBIDITE DES JURA

Dieser Haltepunkt stellt den höchstgelegenen Punkt der Exkursion da. Von dort führte die Weiterfahrt entlang einer Bergstraße tiefer in die Schichtfolge. Der aktuelle Haltepunkt liegt noch in Juraschichten, aber im Ausblick kann man Schichten, die zum Perm und Proterozoikum gehören, ausmachen.

Bei dem Gestein hier handelt es sich um distale Turbidit-Ablagerungen mit wenige mm dicken Lagen und einem geringen Quarzgehalt.



Abb. 41: Aussicht von Stop 5

STOP 6: VERFALTETE TURBIDITE DES OBER-JURA, SCHERBÄNDER

Zu sehen ist die Ablagerung von distalen Turbiditen mit fein laminierten Schichten, einer Schieferung und großen Boudins. Darin findet man nicht penetrative Scherbänder die deutliche Abschiebungen zeigen. Die Abschiebungen müssen jünger sein als die Schieferung, da sie nur einen gewissen Teil des Aufschlusses betreffen.

Einige Schichten des Aufschlusses sind stark intern verfaltet. Dabei handelt es sich vermutlich um Rutsch- oder Slump Falten.



Abb. 42: Verfallung der Turbidite

Stratigraphisch ist der Aufschluss in den Oberen Jura einzuordnen, was etwa dem Zeitpunkt der Öffnung der Neo-Tethys entspricht.

STOP 7: KALKSTEINE DER TRIAS

Dieser Stop befindet sich ca. 500 m entfernt von Stop 6 und auf der gleichen Höhenlage. Allerdings befinden sich hier keine Turbiditablagerungen, sondern triassische Kalksteine.

Dies lässt sich mittels einer Abschiebung erklären, bei der der jurassische Block um ca. 200m abgeschoben wurde. Eine entsprechende Verwerfung ist auch zu finden. Dass es sich dabei um eine Abschiebung handelt, ist nur aus dem Zusammenhang zu bestimmen. Allerdings gibt es kleinräumige Strukturen die ebenfalls auf eine Abschiebung hinweisen, wie Verschleppungen im jurassischen Block.

STOP 8: PROTEROZOISCH/KAMBRISCHE „STINKKALKE“, PERM-TRIAS-ABSCHIEBUNG

Bei dem hier anstehendem Gestein handelt es sich erneut um schwarze „Stinkkalke“, die denen des ersten Stops ähneln. Allerdings gehören diese hier stratigraphisch in das Proterozoikum oder Kambrium (wohin genau ist mittels der Karte nicht genau zu bestimmen).

Betrachtet man den Berghang, an dem die vorherigen Haltepunkte lagen, so kann man zwischen den Perm- und Triasschichten wiederum eine Abschiebung erkennen (Abb. 43).



Abb. 43: Abschiebung zwischen Perm und Trias

STOP 9: PRÄKAMBRISCHE, BOUDINIERTER TONSCHIEFER

An diesem Aufschluss befinden sich rot-violette und grüne Tonschiefer. In dem Schiefer findet man einige Abschiebungen und deutliche Boundinage (Abb. 44). Beides – Boundinage und Abschiebungen – sind Dehnungserscheinungen. Damit es zur Boundinage kommt, muss außerdem eine kompetente Schicht von inkompetenteren Schichten umgeben sein.

Desweiteren findet man auch Knickbänder (kinkbands). Diese treten bei Verformung in stark gebänderten Gesteinen auf. Stratigraphisch gehört dieses Gestein ins Präkambrium.

STOP 10: RAMPENÜBERSCHIEBUNG

Von diesem Haltepunkt aus kann man eine große Rampenüberschiebung sehen (Abb. 45). Bei der linken Gesteinseinheit handelt es sich um die „Stinkkalke“ aus dem Proterozoikum oder Kambrium, die bei Stop 8 gesehen wurden, bei der rechten Gesteinseinheit um den präkambrischen Tonschiefer von Stop 9.



Abb. 44: Boundinage im Tonschiefer



Abb. 45: Rampenüberschiebung bei Stop 10

8. Exkursionstag, 21.2. - Jebel Akhdar, Snowball Earth

Nach einer stürmischen Nacht mit einem drastischen Temperatursturz um mehr als 20°C wurde wie jeden Tag um 8 Uhr gestartet um weiter Richtung Norden die Ausläufer des Jebel Akhdar zu durchqueren.

STOP 1: FELSNASE IN CANYON

Es steht ein feinbankiger, grün-violetter proterozoischer Tonschiefer an. Dieser zeigt eine vertikale Schichtung an. Im Gegensatz dazu liegt die Schieferung horizontal, also 90° zur Schichtung (siehe Abb. 46). Die Schieferung ist penetrativ in feinkörnigen, inkompetenten Bereichen. Da Schichtung und Schieferung senkrecht zueinander stehen, kann man ableiten, dass hier ein Faltenscharnier aufgeschlossen ist. Dies kann weiterhin durch auf Schnittflächen erkennbare Delta-Lineare bestätigt werden, welche auch einen Rückschluss auf die Lage der Faltenachse geben.

In grobbankigeren Schichten sind lokal Turbiditablagerung erkennbar. In diesen grobkörnigeren Bereichen ist die Schieferung nicht penetrativ, sondern es treten lokale Bereiche mit Bruchschieferung auf. In einem kurzen Exkurs wurde von Prof. Schmid das facing als Hilfsmittel zur Bestimmung der Verjüngungs- und somit der tektonischen Transportrichtung erklärt.

Mithilfe des facing-Vektors wurde die tektonische Transportrichtung als von Süden nach Norden verlaufend bestimmt. Der Deckentransport im Jebel Akhdar verläuft allerdings von Nord nach Süd – also genau anders herum. Zwei Lösungen bieten sich an: entweder ist dieser Bereich durch Rückfaltung beeinflusst, oder, was hier wahrscheinlicher ist, die Strukturen im Aufschluss sind älter als die anderen Überschiebungsstrukturen des Jebel Akhdar.



Abb. 46: Lage von Schichtung und Schieferung im Bereich eines Faltenscharniers in präkambrischen Schiefen.

STOP 2: STRABENAUFSCHLUSS

Die im Aufschluss sichtbaren Gesteine sind ebenfalls proterozoischem Alters, es handelt sich um einen dünnlagigen Mergel mit 1-2 cm mächtigen, dunklen Kalksteinlagen.

Die Schichtung des Mergels fällt steiler ein als die Schieferung (Abb. 47), was bedeutet, dass wir uns im Schenkelbereich einer überkippten Falte befinden. Desweiteren fallen sowohl Schichtung als auch Schieferung nach Norden ein, da der Aufschluss bereits am Nordrand der Aufdomung des Jebel Akhdar liegt. Zwischen Stop 1 und diesem Aufschluss ändert sich somit auch die Lage der Schieferung von horizontal zu nach Norden einfallend. Somit muss die Schieferung älter sein als die Aufdomung des Jebel Akhdar, da sie mit verfaltet wurde.

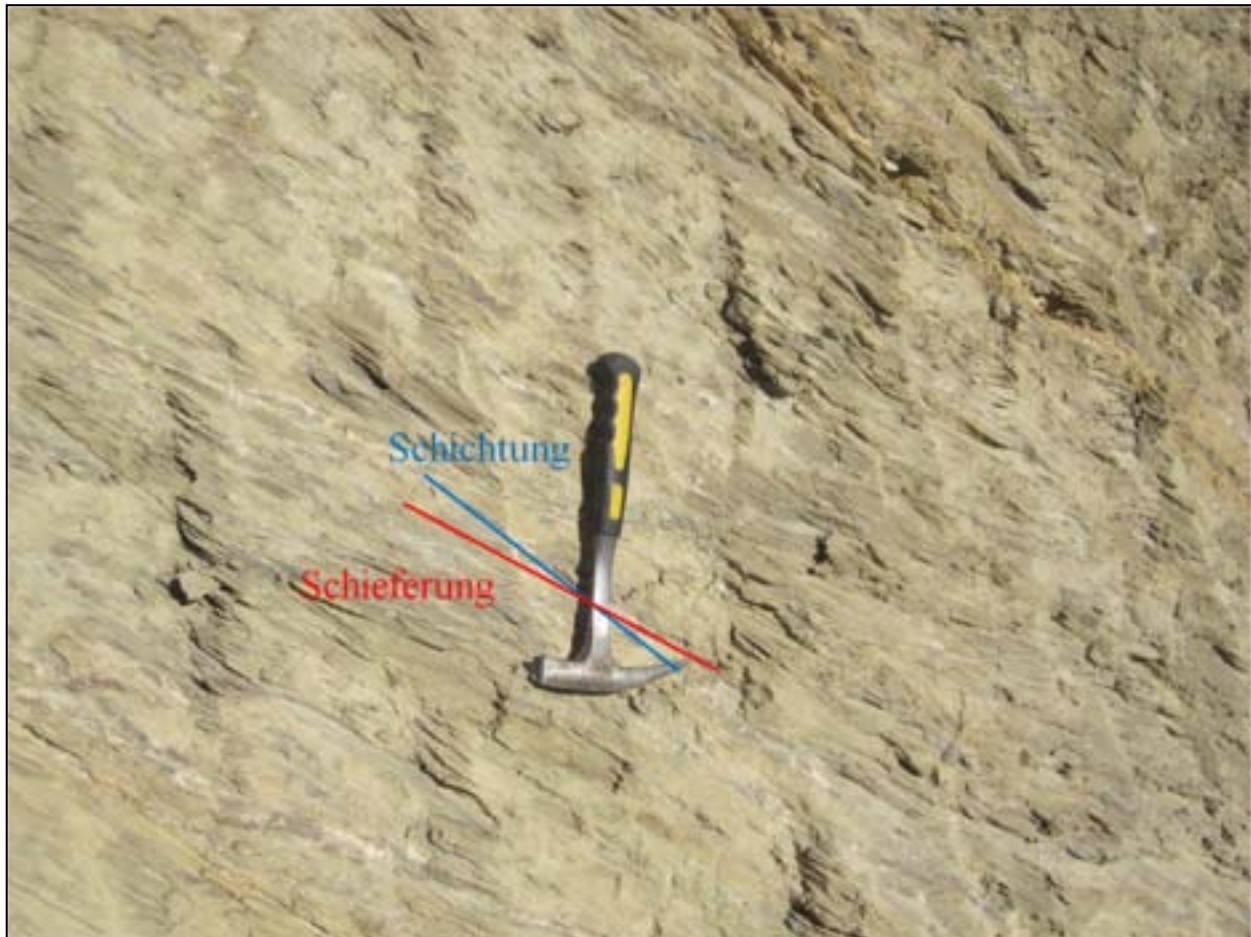


Abb. 47: Lage und Bezug zueinander von Schichtung und Schieferung in Aufschluss 2.

STOP 3: FELSWAND PERMISCHE DISKORDANZ

An einer mächtigen Felswand ist sehr deutlich eine Winkeldiskordanz zu erkennen (siehe Abb. 48). Im Liegenden stehen mittelsteil einfallende präkambrische Kalksteine an, im Hangenden subhorizontale permische Flachwassercarbonate. Dies zeigt in groben Zügen die geologische Geschichte: 1. Ablagerung der Kalke im Präkambrium; 2. Faltung; 3. Hebung und Erosion; 4. Senkung und Ablagerung der Permschichten.

In den präkambrischen kieseligen Kalken sind sehr deutlich Stromatolithen erkennbar (siehe Abb. 49), welche in Form nach oben konvexer Strukturen als Cyanobakterien-Matten in Flachwasser-Systemen wachsen. Diese gehören zu den ältesten Fossilien der Erde, sind aber auch noch rezent anzutreffen. Sie betreiben Photosynthese, wobei sie Sauerstoff freisetzen. In der frühen Erdgeschichte bewirkten sie den Wandel von einer Kohlendioxid - zu einer Sauerstoff - Atmosphäre und sind dadurch eine der wichtigsten frühen Lebensformen der Erde.

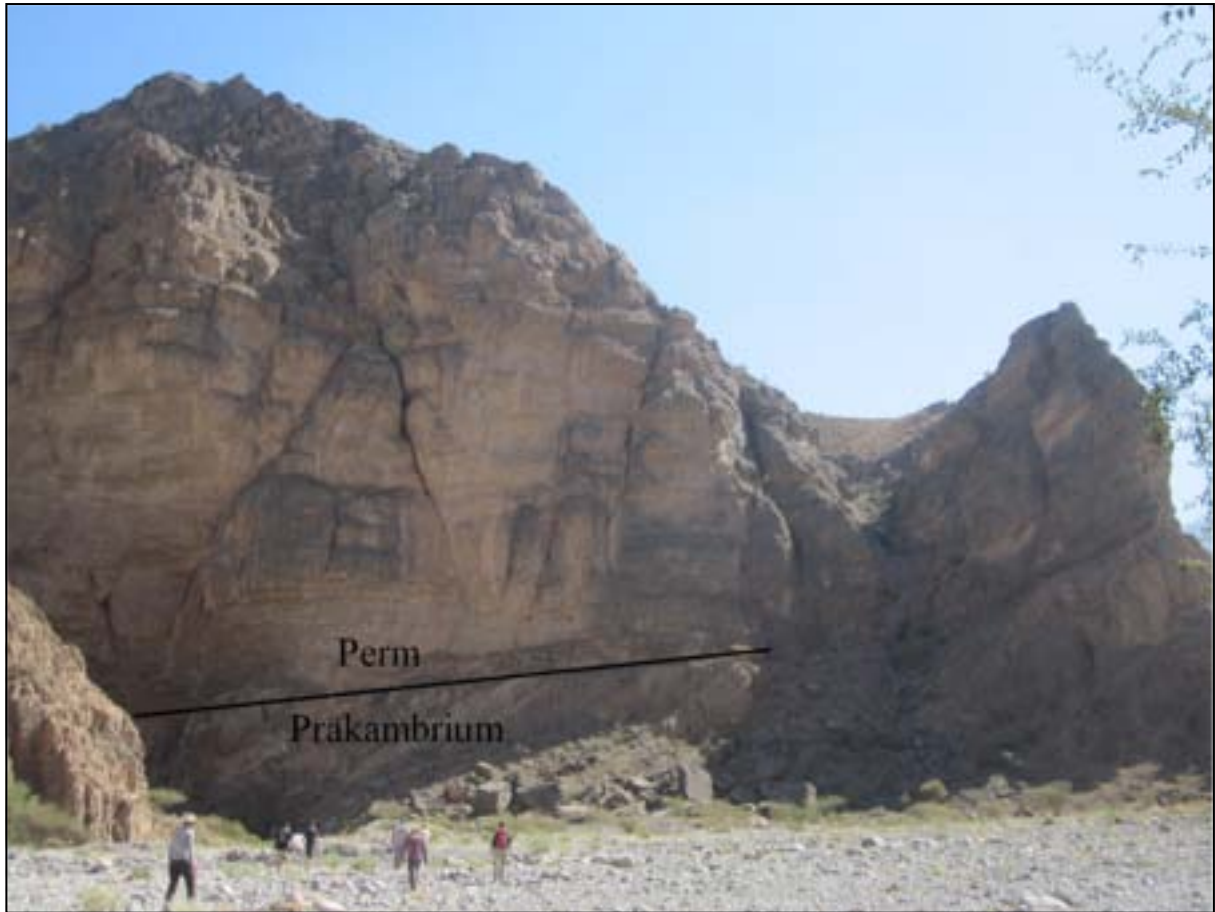


Abb. 48: Ungefähre Lage der Diskordanz zwischen Präkambrium und Perm



Abb. 49: Stromatolithen in präkambrischem Kalkstein

STOP 4: AUFSCHLUSS SNOWBALL EARTH

Der Aufschluss gilt als einer der Vorzeigaufschlüsse für die These der vollständigen Vereisung der Erde, „Snowball Earth“ genannt. Er wird der letzten von drei derartigen Vereisungen zugeordnet, die jeweils mehrere Millionen Jahre andauerten– dem Marinoan, das etwa von 670 - 650 Millionen Jahre dauerte. Es finden sich zwei unterschiedliche Gesteinseinheiten. Im unteren Bereich steht Diamiktit an, ein Gestein, welches durch zwei stark unterschiedliche Korngrößen charakterisiert ist. Zum einen ist dies ein feinkörniges siliziklastisches marines Sedimentgestein, zum anderen Steine bis Blöcke, unter denen sich auch Granite finden, die nicht aus der Region bekannt sind. Diese werden entweder als durch Eisberge oder Schelfeis transportierte „dropstones“ interpretiert, welche in das siliziklastische marine Sediment gefallen sind, oder als Geschiebe in einem Tillit, also die verfestigte Grundmoräne eines Gletschers.

Über dem Diamiktit stehen feinlagige (0,5-3 cm) gelbbraune Kalke bzw. Dolomite an, welche als Cap Carbonates interpretiert werden. Diese anorganisch gefällten Carbonate finden sich weltweit über den Tilliten bzw. Diamiktiten. Die massive Kalkfällung wird auf eine sehr schnelle Erwärmung bei noch relativ alkalischen Verwitterungslösungen zurückgeführt. Sie sind durch den starken Meeresspiegelanstieg um bis zu 300 m nach dem Snowball Earth Event auch gut erhalten.

Am Aufschluss hielt Sebastian Zeman-Kuhnert einen Vortrag über die Snowball Earth Events.



Abb. 50: Snowball Earth Ablagerungen. a) Übersicht mit Übergang Diamiktit zu Cap Carbonates. b) Detailaufnahme Cap Carbonates. c) Detailaufnahme Diamiktit.

Nach längerer, aufgrund eines starken Sandsturms mit geringen Sichtweiten (Abb. 51), anstrengender Fahrt zum Hilti-Massiv wurden am Abend im Camp noch folgende 6 Vorträge gehalten:

- 1) Jan Hendrik Dammasch: Lagerstätten in Ophiolithen
- 2) Marius Aschoff: Chromit-Lagerstätten im Oman
- 3) Anna Katharina Wittenborn: Black Smoker
- 4) Maren Schröpfer: Strukturelle und petrologische Segmentierung des Oman Ophioliths
- 5) Beatrix Heller: Metamorphe Sohle
- 6) Cosima Kaiser: Suprasubduktionszone

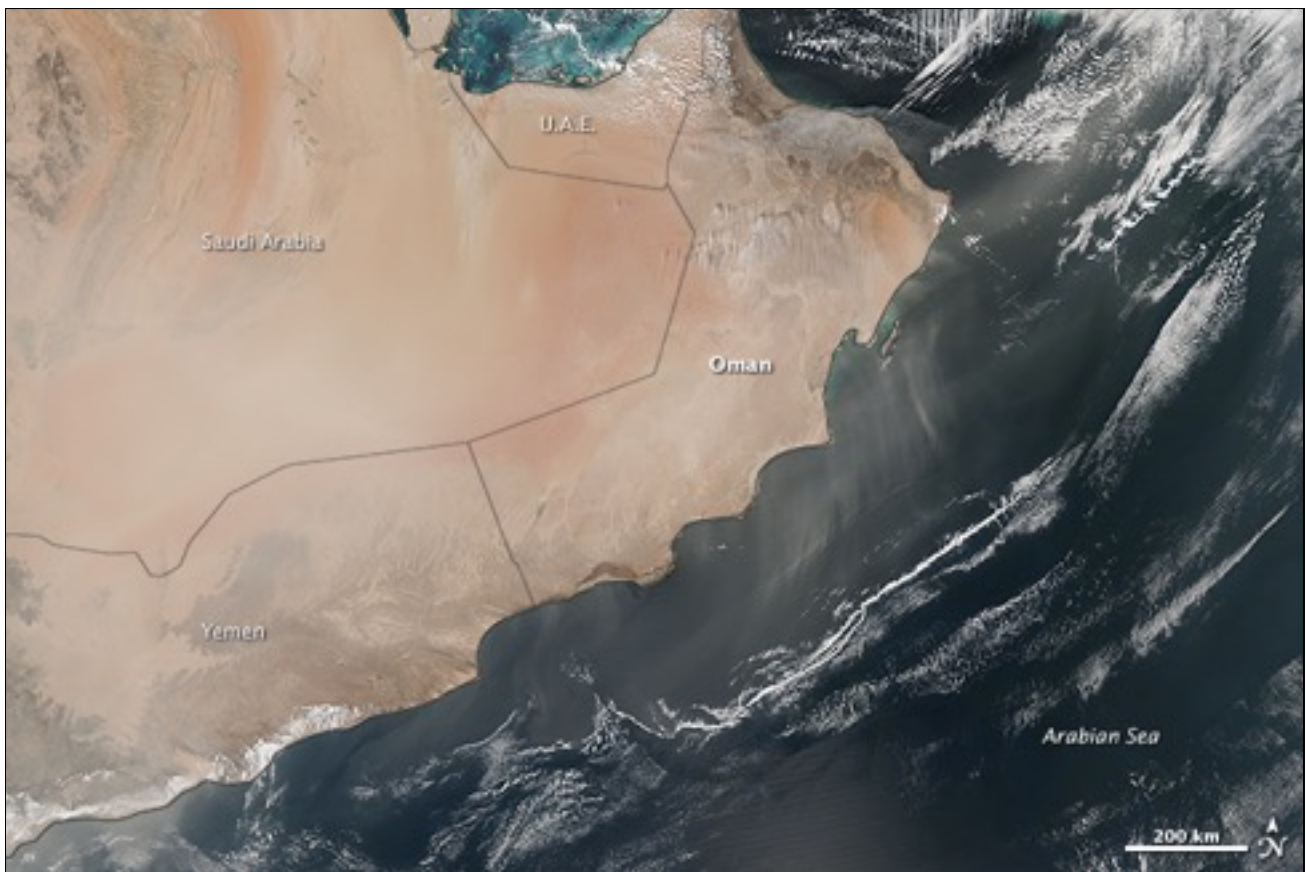


Abb. 51: Satellitenbild von durch einen Sandsturm bis zum Persischen Golf transportierten Sand- und Staubpartikeln (<http://npp.gsfc.nasa.gov>)

9. Exkursionstag, 22.2. - Obere oz. Kruste, Hawasina-Fenster

STOP 1: EISERNER HUT, BLACK SMOKER (WADI HILTI)

Der erste Haltepunkt des Tages befindet sich im Wadi Hilti. Es handelt sich um einen ehemaligen Black Smoker bzw. Eisernen Hut oder Gossan (unter Studenten auch zu „Gossip“ abgewandelt), welcher durch eine Schicht aus Pillow Laven (Host Rock) gebrochen ist. Der ursprüngliche Basalt zeigt eine rotbraune Färbung mit radialstrahligen Schrumpfungsrissen und einem grünlichen Abschrecksaum entlang der einzelnen Pillow-Grenzen. Die grünliche Färbung wird durch einen Saum aus Glas hervorgerufen, welcher sich hauptsächlich aus den Mineralen Prehnit, Pumpellyit und Chlorit zusammensetzt.

Umso näher man an den eigentlichen Black Smoker heran kommt, desto stärker alteriert ist der umgebende Basalt, bis hin zu einer vollkommenen hydrothermalen Alteration, deren Produkt eine weiße, poröse Masse mit sehr geringer Dichte ist. Die weiße Färbung dieses Basaltes (Abb.) ist auf die Auslaugung („leaching“) der metallischen Bestandteile in der Laugungszone durch alkalische Wässer zurückzuführen. Das Meerwasser wird durch den Wasserdruck (300-400 Bar) in den Basalt hineingedrückt. Dort erwärmt es sich und dehnt sich aus. Das mit Metallen angereicherte Wasser wird in den Black Smoker abgeführt, durch den es wieder an die Oberfläche gelangt. Dort werden die gelösten Metalle z.B. als Sulfiderze oder sogar in gediegener Form gefällt.

Als besonderer Moment an diesem Tag ist der eine oder andere Regenschauer vorbeigezogen.



Abb. 52: Aufstieg zum Eisernen Hut

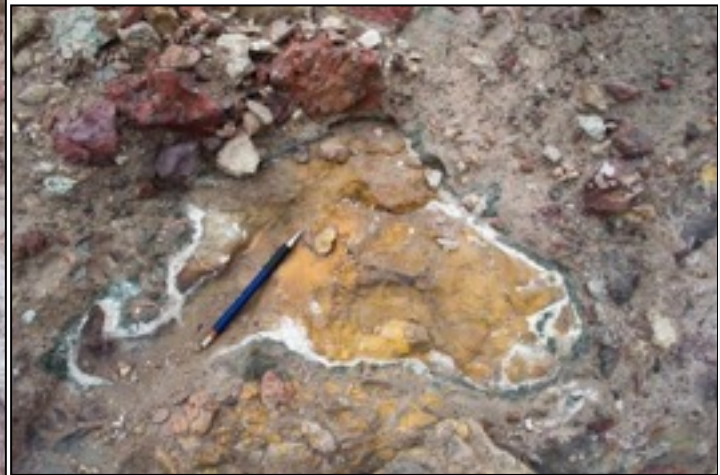


Abb. 53: Verwitterter, ausgelaugter Basalt (links), grüner Abschrecksaum um ein gelb verwittertes Basalt-Pillow (rechts)

STOP 2: SHEETED DIKES, WADI JIZZI

Auf dem Weg zum zweiten Haltepunkt wurden mehrere kleine spontane Stops eingelegt. Bei einem aus dem Auto als Sheeted Dikes interpretierten Aufschlüssen handelte es sich allerdings um Basaltsäulen. Dies belegt, dass untermeerische Laven nicht immer Pillowform annehmen müssen, sondern dass schnell fließende Ströme auch massig bleiben und in Säulen erstarren.

Am eigentlichen Aufschluss stehen Sheeted Dikes mit einer Höhe von mehreren zehner Metern an. Die einzelnen Dikes lassen sich anhand ihrer feinkristallinen Abschrecksäume erkennen (Abb. 54). Des Weiteren ist deutlich zu sehen, dass diese Dikes immer wieder in sich selbst intrudiert sind.

Die Sheeted Dikes bilden die Schicht unterhalb der Pillowbasalte der ozeanischen Kruste.



Abb. 54: Sheeted dikes mit feinkristallinen, glasigen Abschreckungssäumen



Abb. 55: Ein weiterer Fotostop wurde eingelegt, als unsere Auto-Karawane diese beiden Einheimischen aufflas

STOP 3: „GEOTIMES“-PILLOWBASALTE MIT DIKES

Der „Geotimes“-Aufschluss südlich von Sohar ist berühmt für seine schönen Pillowbasalte, seit er das Cover der Zeitschrift „Geotimes“ schmückte. Die Pillows entstanden beim untermeerischen Austritt der die Semail Ophiolite begleitenden Laven, die sogenannten V1 Laven. Durchschnitten werden die Pillows von zwei parallel zueinander verlaufenden, etwa 1m breiten Dikes. Geochemisch entspricht die Zusammensetzung der Pillows einem typischen Basalt vom Mittelozeanischen Rücken (n-MORB). Überlagert werden die V1-Pillows von Radiolariten und diese wiederum lokal von den jüngeren V2-Laven mit inselbogen – andesitischer (IAT)- und Boninit- Zusammensetzung.



Abb. 56: „Geotimes“-Aufschluss der V1-Pillowbasalte

STOP 4: TEKTONISCHE MELANGE, HAIVI MELANGE

Die Haiva-Melange setzt sich zusammen aus Gesteinsbruchstücken der Ophiolit-Decken, der metamorphen Sohle, der Hawasina Decke und exotischer Karbonate in einer serpentinierten, schiefrigen Matrix. Die Komponenten sind nicht stratiform. Es handelt sich hierbei um typische Ablagerungen eines Akkretionskeils wie er sich typischerweise über einer Subduktionszone entwickelt. Die Mächtigkeit dieser Einheit beträgt lokal bis zu 500m.

Unterbrochen wurde unsere Arbeit kurzzeitig durch einen besonders aufgeschlossenen und interessierten Omani, welcher uns einlud einige gemeinsame Fotos vor seinem Auto aufzunehmen. Besonders Wert legte er dabei natürlich auf die die richtige Gesellschaft und zog es vor, sich mit den Damen ablichten zu lassen. Etwa 15 Minuten später ergab sich eine ähnliche Situation am Übergang der tektonischen Melange zu den Hawasina-Decken, als ein freundlicher Inder neben der Gruppe anhielt und um ein Foto bat. Der Unglückliche war zuvor anscheinend in eine Badewanne voll Rosenwasser gefallen und wurde von einer undurchdringlichen Duftwolke umgeben. Wahrscheinlich ist ihm nicht einmal aufgefallen, dass wir seit über einer Woche kein Wasser gesehen haben.



Abb. 57: Begeisterte Einheimische lassen sich fotografieren



Abb. 58: Übergang der tektonischen Melange zu den gefalteten Hawasina-Decken

STOP 5: WADI DALA, GEFALTETE HAWASINA DECKEN

Im Wadi Dala suchten wir den letzten Aufschluss des Tages auf, der sich kurz vor unserem Lagerplatz befand. Zu sehen sind isoklinale Falten mit Boudinage-Strukturen in den Faltenschenkeln. Die Dehnungsbereiche der Faltenscharniere sind mit Calcit verfüllt. Zudem ist eine Schieferung zu erkennen.



Abb. 59: Isoklinale Falten mit Boudinage in den Faltenschenkeln (links), Calcitausfällung im Dehnungsbereich der Faltenscharniere (rechts)

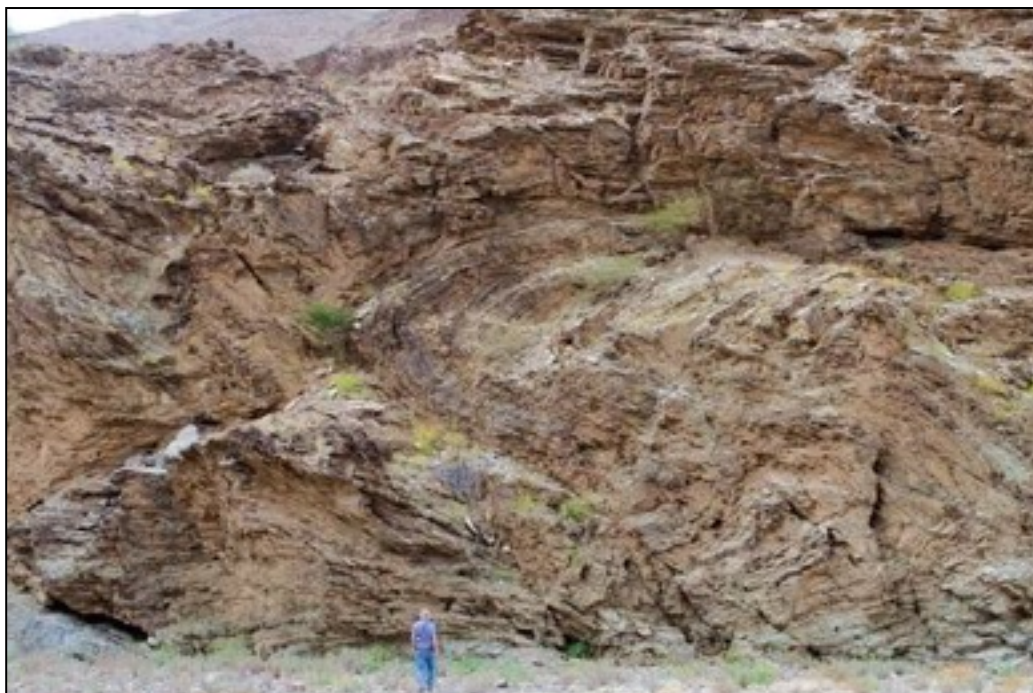


Abb. 60: Großräumige Aufnahme der isoklinalen Falte

Verfasst von Marina Brinkmann

10. Exkursionstag, 23.2. - Hawasina-Fenster

STOP 1: KONGRUENTE FALTE

Wir befinden uns im Hawasina-Fenster, im höchsten Teil der ca. 4km mächtigen Hawasina Decke. Die Gesteine wurden im Zeitraum zwischen Trias bis Unterer Jura im Hawasina-Becken abgelagert. Die Schichten weisen hier Einfallen nach Süden auf – doch ist in der Ferne eine große Sattelstruktur zu erkennen (Abb. 61). Im Laufe des Tages bewegen wir uns im Wadi Dahali, einem Seitental des Wadi Al Hawasina, in tiefere Bereiche der Hawasina-Decke.



Abb. 61: Ausblick im Hawasina-Fenster

Im Aufschluss ist eine Falte erkennbar, die eine gleich bleibende Mächtigkeit, parallel zur Schieferung gemessen, aufweist (Abb. 62). Es handelt sich um eine Ähnliche oder auch Kongruente Falte (= similar fold). Das Facing zeigt Richtung Osten in den Boden, das spricht für eine Aufdomung im Westen. Das Gestein weist siliziklastische Komponenten auf, die von erodiertem Basement stammen.



Abb. 62: Kongruente Falte

STOP 2: FALTEN MIT ACHSENFLÄCHENSCHIEFERUNG

Einige Falten im Aufschluss zeigen eine deutliche Achsenflächen-Schieferung (Abb. 63).

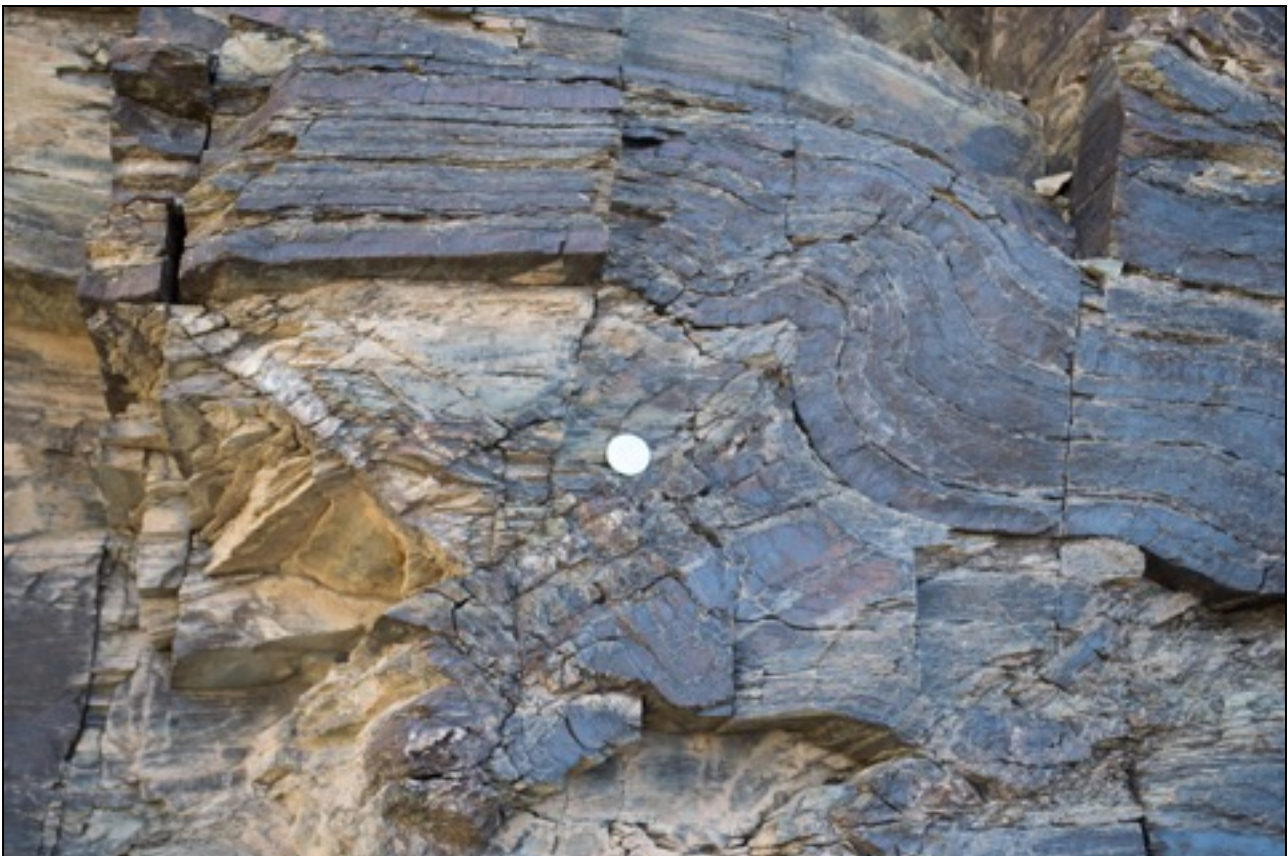


Abb. 63: Falte mit Achsenflächenschieferung

Auf den Gesteinsoberflächen sind diverse, nicht genau definierte Strukturen zu erkennen (Abb. 64).



Abb. 64: Umriss kieseliger Konkretionen (links oben), verheilte Kluftscharen (links unten), Spurenfossilien (rechts)

STOP 3: STEIL STEHENDE SCHICHTEN EINES QUARZREICHEN SEDIMENTGESTEINS

Auf den steil stehenden Schichten des Aufschlusses (Abb. 65) ist eine Schieferung erkennbar.



Abb. 65: Aufschluss mit steil stehenden Schichten

Die Oberfläche der Gesteine weist eine wellige Struktur auf (Abb. 66). Bei diesen Strukturen handelt es sich vermutlich um Artefakte, also Schnittlinien von Schieferung mit anderen Strukturen, wie Schrägschichtung oder einer zweiten Schieferung. Das Gestein ist quarzreich und damit ein anderer Sediment-Typ als vorher.



Abb. 66: Wellige Strukturen auf den Gesteinen

STOP 4: PERMOTRIASSISCHE TURBIDITE MIT LOAD CASTS

Das pelitisch-psammitische Gestein weist wellige Strukturen an der Schichtunterseite auf (Abb. 67). Dabei handelt es sich um Belastungsmarken (load casts), die durch Einsacken des schnell geschütteten Turbidits in den wassergesättigten Untergrund entstanden. Solche Strukturen sind in Turbiditen häufig zu finden. Die Gesteine stammen nach der geologischen Karte aus dem Oberen Perm bis Unteren Trias.

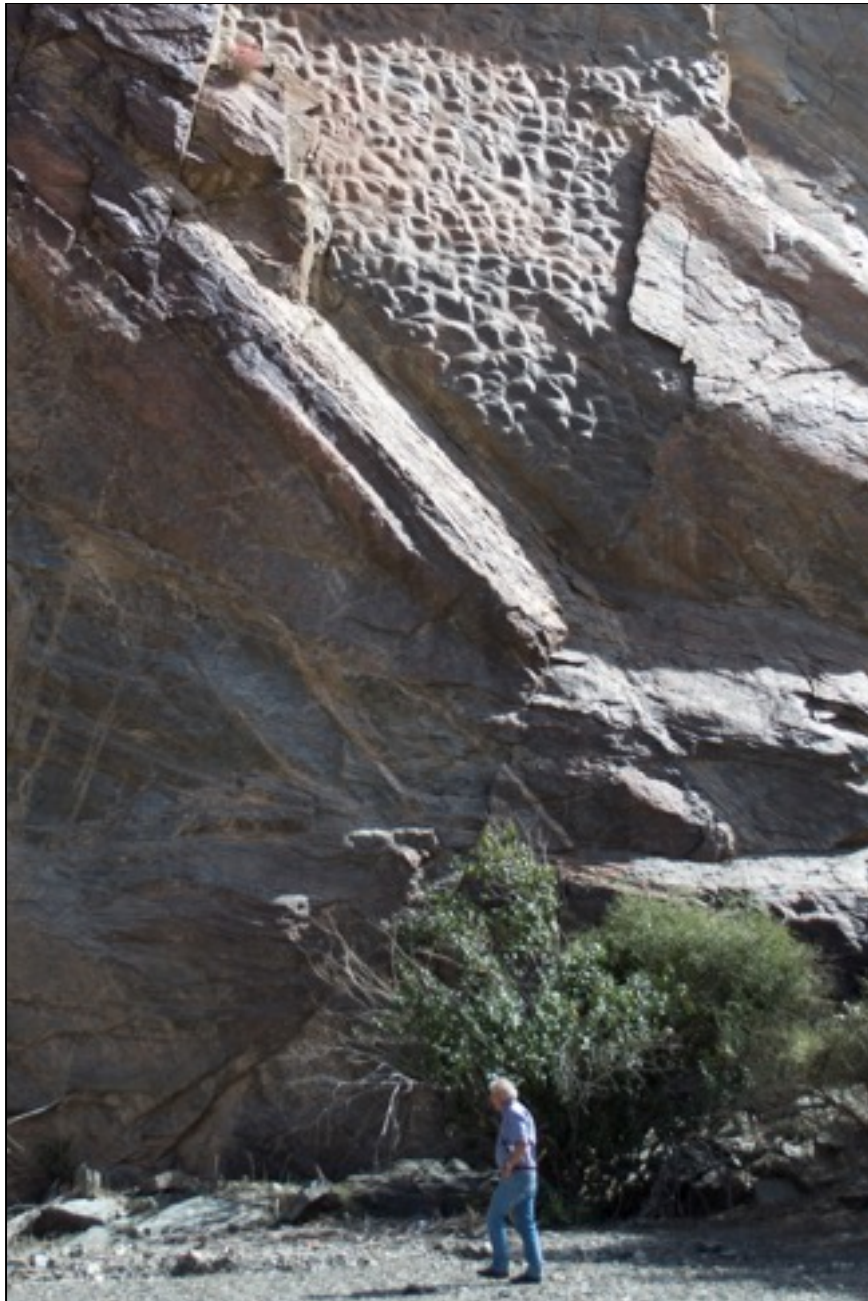


Abb. 67: Load casts auf den Gesteinsoberflächen

STOP 5: RADIOLARIT

Im Aufschluss steht Radiolarit mit einer lila Färbung an (Abb. 68). Dieser wurde im Hamrat Duru Becken, dem proximalsten Teil des Hawasina-Systems, unterhalb der CCD abgelagert.

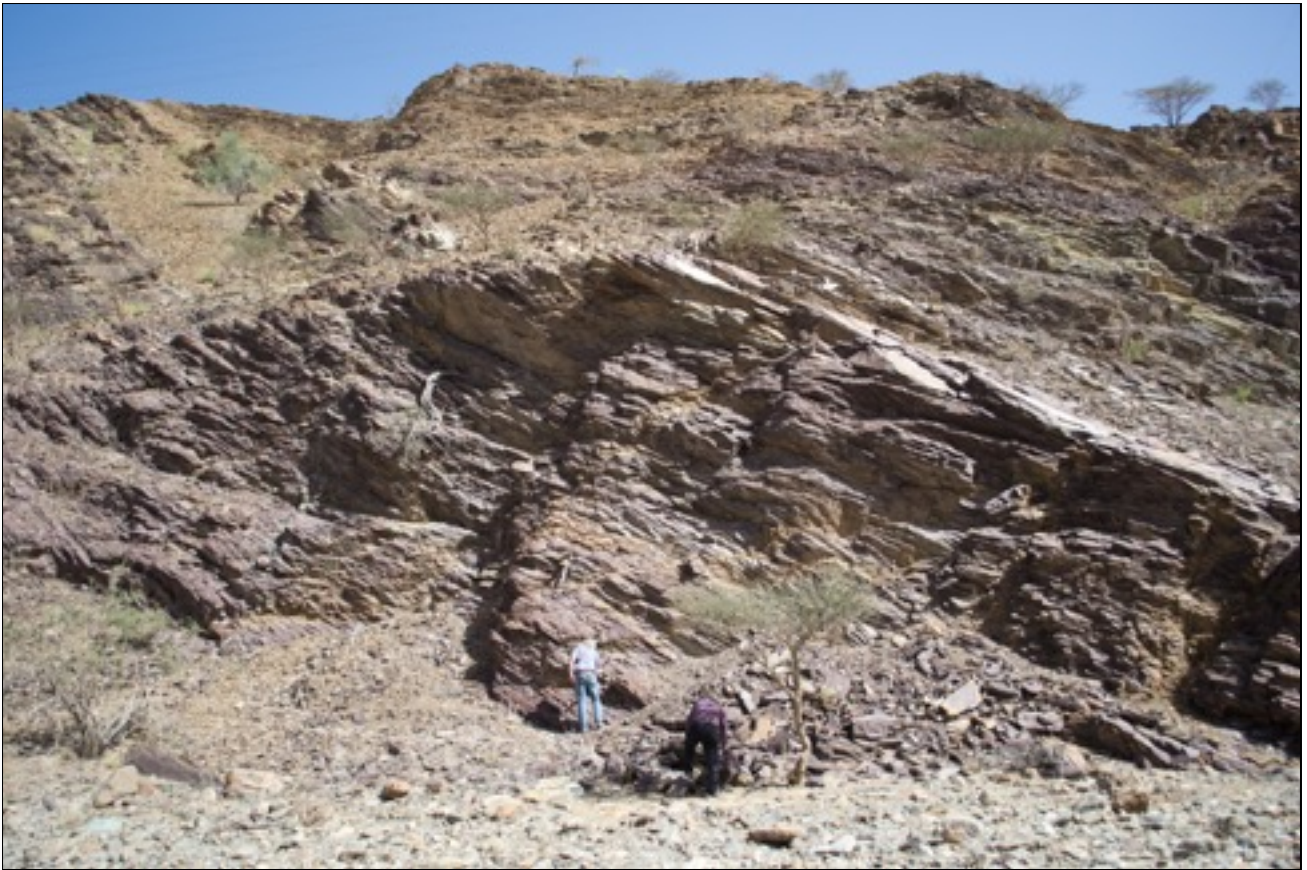


Abb. 68: Radiolarit mit lila Färbung

Im weiteren Verlauf des Tages sind wir in Richtung Nord-Osten, durch Muskat und schließlich nach As Sifah gefahren. Ein Stück nördlich des Ortes haben wir unser Lager aufgeschlagen und uns im Meer erfrischt.

11. Exkursionstag, 24.2. - Hochdruckgesteine, Zungenfalten

Die letzte Nacht unter freiem Himmel wurde am Strand in As Sifah nahe der Stadt Muskat verbracht. Am frühen Morgen trauten sich noch einige Studenten ein letztes Mal ins Meer zu gehen. Kurz nach dem Frühstück gingen alle zu Fuß zum ersten Aufschluss des Tages, der der Küste entlang etwa 1 km nördlich vom Lagerplatz liegt.

STOP 1: AS SIFAH, HOCHDRUCKGESTEINE

Der erste Aufschluss des Tages befindet sich direkt an der Küste 1 km nördlich vom Schlaflager. Der Strandaufschluss umfasst Gesteinsblöcke verschiedener Größen und unterschiedlicher metamorpher Überprägung. Diese Brocken entsprechen dem bekannten Saih Hatat Hochdruck-Fenster anstehenden Gesteinen, an denen eine blauschiefer- bis eklogitfazielle Hochdruckmetamorphose und eine spätere retrograde Metamorphose nachgewiesen wurde. Die meisten Gesteinsbrocken bestehen aus einer grünlichen phengitreichen Matrix und größeren Kristallen von Glaukophan und Pyroxen, vereinzelt auch Granat (Abb. 69 a, b).

Diese Gesteine wurden vor etwa 79 Ma durch die nach NE subduzierende Arabische Platte unter Hochdruck-Bedingungen gebildet. Die Ausgangsgesteine waren basische Vulkanite sowie Metasedimente des arabischen Kontinentalrandes, die etwa denen der Hawasina Decken entsprechen. Die Exhumation der Hochdruckgesteine in der Subduktionszone und ihr Zusammenhang mit der fast gleichzeitigen Obduktion der Semail-Ophiolite ist noch nicht endgültig geklärt.

An diesem Aufschluss wurden die letzten vier Vorträge der Studenten dieser Exkursion gehalten, in denen es um magmatische Gefüge in Gabbros, Entstehung und Bedeutung von Plagiograniten am Ophiolit, Heraushebung der Hochdruckgesteine und Geochronologie im Oman ging.

STOP 2: WADI MAYIH, ZUNGENFALTEN

Den letzten Aufschluss besuchten wir auf der Rückreise nach Muskat. Im Wadi Mayih, das von mehreren Dekameter hohen Felsen aus Kalksteinen umgeben ist, finden sich niedriggradig metamorphe Einheiten des Saih Hatat Fensters. Auf einer Felswand ist eine mächtige subhorizontale Falte sichtbar, während auf einer zweiten Felswand diese Gesteine Ei-förmige konzentrische Formen zeigen. Diese Strukturen wurden als Zungenfalten (sheath-folds) interpretiert, die eine bedeutende Überschiebungsweite anzeigen (Abb. 69 c).

Der geologische Teil der Exkursion wurde damit beendet und der Rest des Tages wurde mit der Rückreise nach Muskat, der Abgabe der Mietwagen und das Genießen der Einrichtungen des Hotels (Dusche, Bett und Pool, u. A.) verbracht. Zum Ausklang des Tages wurde mit der gesamten Gruppe schließlich gemeinsam in einem indischen Restaurant zu Abend gegessen.

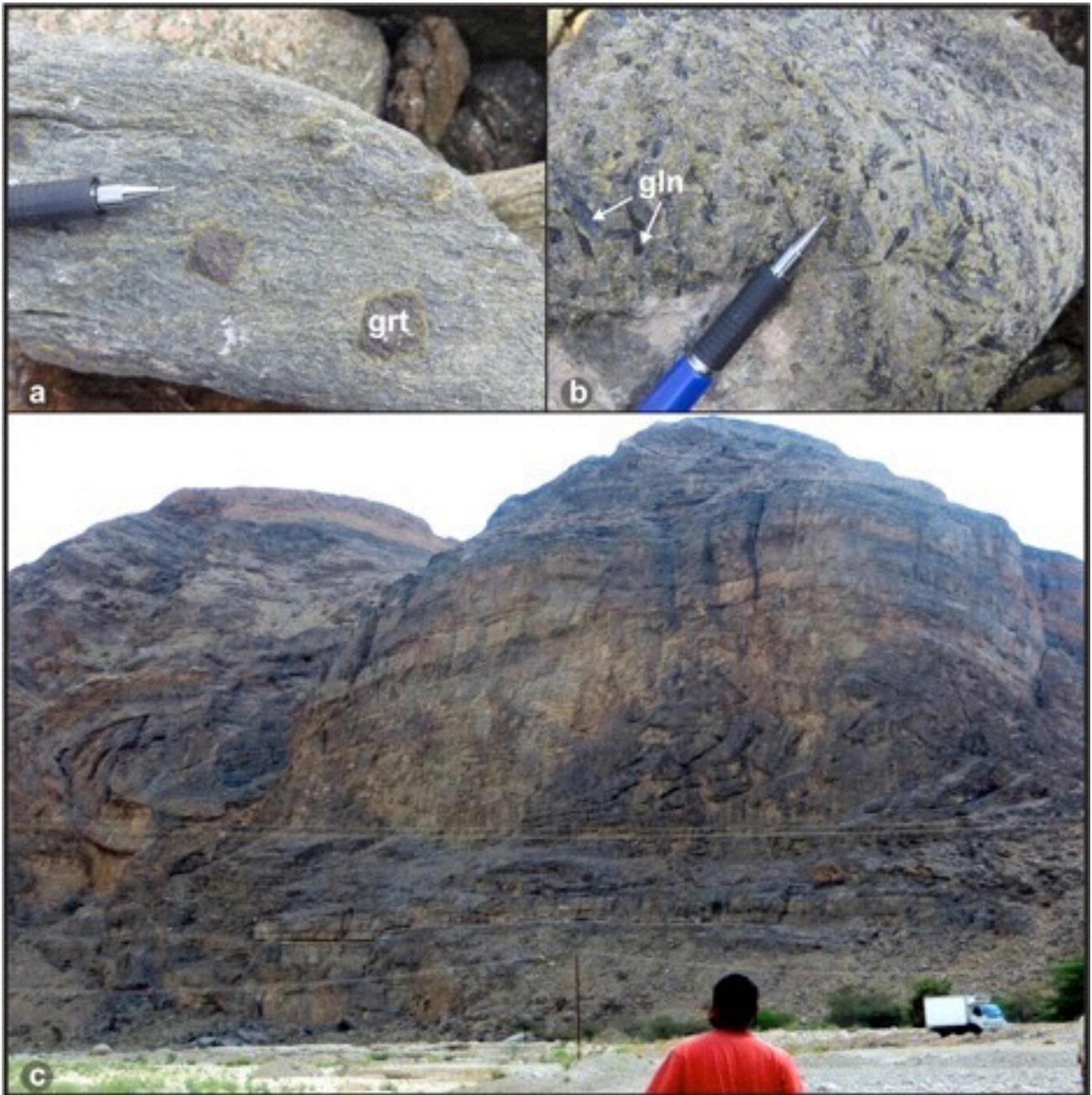


Abb. 69: a) cm-große Granate (grt) im Eklogit. b) Glaukophane (gln) in Blauschiefer-faziellen Gesteinen. c) Querschnitt einer mächtigen Zungenfalte.

12. Exkursionstag, 25.2. - Muskat

Den letzten Tag verbrachte die Gruppe gemeinsam in der omanischen Hauptstadt Muskat. In dem als „Capital Area“ bezeichneten Großraum um die als 2006 von der UNESCO als Kulturhauptstadt der arabischen Länder ausgezeichnete Stadt leben rund eine Millionen Menschen – ein Drittel der Gesamtbevölkerung des Landes. Muskat liegt im Nordosten des Omans am Golf von Oman, der ein Teil des Arabischen Meeres ist, welches wiederum ein Randmeer des Indischen Ozeans darstellt.

Die omanische Studentin Noora Balushi, die gemeinsam mit Dr. Gösta Hoffmann von der „German University of Technology in Oman“ die Exkursion einige Tage begleitet hatte, zeigte uns an unserem letzten Tag Muskat.

Nach einer halbstündigen Taxifahrt waren alle deutschen Studenten um 9 Uhr morgens an der *Sultan Qaboos Grand Mosque* angekommen. Dort erwartete uns bereits die an dem Tag in traditionelle Gewänder gekleidete Noora, die daher zunächst niemand erkannte. Nachdem auch alle Deutschen ausreichend mit langen Hosen und Blusen sowie die Frauen mit Kopftüchern bedeckt waren, betraten wir die Moschee. Sie ist eine von derzeit drei Ausnahmen in den arabischen Ländern, die auch von Nichtmuslimen besucht werden darf. Das 40.000 m² große Gelände wurde binnen 6 Jahren, von 1995 bis 2001, errichtet und bietet Platz für 20.000 Gläubige. Dominiert wird die Moschee von dem großen Kuppelbau der Männergebetschalle sowie den fünf Minaretten, von denen das höchste 91,5 m hoch ist.



Abb. 70: Große Moschee des Sultan Qaboos

Zunächst zogen wir die Schuhe aus und haben uns die Frauengebetschalle angeschaut. Diese ist deutlich kleiner als die der Männer und das Freitagsgebet wird hier über Leinwände aus dem Hauptsaal übertragen. Über die sehr gepflegte und mit poliertem Marmor ausgelegte Außenanlage gingen wir barfuß vorbei an blühenden Beeten weiter in die Männergebetschalle. Hier fällt als erstes der in der

Kuppel hängende imposante Kronleuchter auf. Der Saal ist mit einem über 4000 m² großen Teppich in bläulichen Farben ausgelegt, der im Iran von 600 Frauen geknüpft wurde und der zweitgrößte der Welt ist.



Abb. 71: Männergebetshalle der Großen Moschee

Auf dem Gelände befinden sich zudem Räume für die Körperreinigung, die Noora uns vorstellte, sowie eine Bibliothek und ein islamisches Informationszentrum. In dem Informationszentrum wurden wir von zwei Frauen begrüßt, die uns omanischen Tee (*Chai Karak*), Kaffee und Datteln anboten. In einem kleinen Raum sitzend, erzählte uns eine der Frauen etwas über den Islam und das Leben als Moslem. Bevor wir gingen wurden noch Korane und Informationsbroschüren an alle verteilt.

Kurz danach verabschiedete sich Noora vorerst von uns, gab uns jedoch noch Karten und Tipps für unseren Tag in Muskat.

Als erstes sind wir ins Regierungsviertel im historische Zentrum von Muskat zum Palast des Sultans „*Qasr Al Alam*“ gefahren. Wieder waren wir mit dem Taxi unterwegs, da es im Oman keine öffentlichen Verkehrsmittel gibt. Von dort haben wir anschließend unseren Spaziergang entlang der als *Corniche* bezeichneten Uferpromenade in Richtung des Stadtteils *Mutrah* begonnen. Wir verließen die Altstadt durch das *Muskat Gate* und steuerten vorbei an dem *Großen Weihrauchbrenner* zunächst einen Aussichtspunkt direkt an der Küste an. Dieser ermöglichte uns einen Blick auf die Bucht von *Mutrah* mit den alten, weißen, portugiesischen Wohn- und Handelshäusern im Hintergrund. In der Bucht selbst liegt die riesige Yacht des Sultans neben kleineren omanischen Dhaus, traditionelle Schiffe, die komplett aus Holz gebaut werden und ohne jegliches Metall auskommen.

Der Corniche weiter folgend passierten wir den *Riyampark* und die alte portugiesische Festung, bevor wir dann im alten Hafen mit Blick auf das Meer eine Mittagspause einlegten.



Abb. 72: Bucht von Mutrah mit portugiesischen Wohn- und Handelshäusern

Ab 16 Uhr öffnet der größte Basar des Omans, der *Mutrah Souq*, seine Tore. Hier reihen sich in engen Gassen kleine Geschäfte mit omanischen Produkten – Tücher, Gewürze, Schmuck, Duftstoffe, Antiquitäten – aneinander. Neben einigen Touristen sind hier hauptsächlich Männer, meist in eine traditionelle *dishdasha* gekleidet und mit einem Turban (*ammama*) oder einer *kumah*, einer bestickten Kappe, zu sehen. Frauen sind meist zu zweit oder zu dritt unterwegs und zum Teil voll verschleiert.



Abb. 65: Muttrah Souq

Hier teilten wir uns dann in Kleingruppen auf. Die Händler stehen meist vor ihren kleinen Läden, die manchmal nur wenige Quadratmeter groß sind, und preisen den Passanten ihre Ware an, wodurch ein buntes Treiben entsteht. Uns haben sie in der Regel auf Englisch angesprochen, was ein Großteil der Bevölkerung beherrscht. Nach den ersten schüchternen Verhandlungsversuchen wurde das ein oder andere Kaschmirtuch gekauft – oftmals auch mit Mengenrabatt. Den Männern wurden zudem die traditionellen Gewänder angezogen, woraufhin auch *dishdashas* und *kumahs* gekauft wurden.

Am Abend war die ganze Gruppe bei Noora und ihren Eltern zum Essen eingeladen. Als wir mit einer dreiviertel Stunde Verspätung in der edlen Wohngegend angekommen waren, erwartete uns ihr Vater, ein Geophysiker, bereits freudig vor dem Haus. Drinnen begrüßten uns Noora und ihre Mutter sehr herzlich und führten uns durch das Haus hinaus in den sehr schön angelegten Garten.

In der Küche war ein Buffet mit omanischen Speisen aufgebaut, welches Noora gemeinsam mit ihrer Mutter vorbereitet hatte, während wir durch Muskat geschlendert waren. Neben zwei Thunfischen gab es noch Hähnchen und Kalbfleisch. Zudem gab es in Weinblätter gewickelten Reis, eine Gemüsepfanne mit Auberginen und Zucchini, Linsen, verschiedene Salate und Babaganoush, eine Crème aus Auberginen. Und natürlich wurden dazu die typischen Teigfladen gereicht. Als Nachtisch hatte Nooras Mutter einen Dattelkuchen gebacken, zu dem es Chai Karak und Kaffee gab. Uns allen hat es sehr gut geschmeckt.

Damit war der Abend ein perfekter Abschluss für die Exkursion in den Oman mit Einblicken in das omanische Leben, bevor wir uns dann auf den Weg zum Flughafen machten.



Abb. 66: Omanisches Buffet bei Nooras Familie



Abb. 67: Die Gastgeber, Nooras Eltern, am Buffet. Der Vater trägt eine *dishdasha* und einen *kumah* (Foto: Bernd Lammerer)



Abb. 68: Tafel auf Nooras Gartenterasse

Danksagung

Die von allen Teilnehmenden als rundum gelungen wahrgenommene Exkursion wäre nicht möglich gewesen ohne die vielen Dozenten und Gäste, die uns mit vollem Einsatz zur Seite standen.

An erster Stelle ist hier Herrn Prof. Dr. Siegfried Siegesmund zu nennen: Seine Planung im Vorfeld und Führung im Gelände sicherten der gesamten Gruppe einen reibungslosen Exkursionsverlauf, nicht zuletzt dank seiner Durchsetzungsfähigkeit gegenüber einheimischen Mietwagenverleihern.

Großer Dank gebührt ebenso Herrn Prof. Dr. Bernd Lammerer, der zusammen mit Herrn Prof. Dr. Siegesmund die Exkursionsleitung übernahm. Seine Einladung zum Abschlussessen in Muskat nahm die Gruppe gerne wahr.

Bedanken möchten wir uns weiterhin bei Prof. Dr. Claudia Trepmann und Prof. Dr. Stefan Schmid, die uns über die volle Länge der Exkursion begleiteten und als Außenstehende viele Diskussionen anstießen und geduldig unsere Fragen beantworteten.

Besonderen Dank möchten wir Dr. Gösta Hofmann und Noora Al-Balushi (B.Sc.) für ihren unterhaltsamen wie lehrreichen Einblick in die jüngste Forschung der RWTH Aachen/GUtech Muskat und die omanische Kultur aussprechen.

Gleiches gilt für Prof. Dr. Françoise Boudier und Prof. Dr. Adolphe Nicholas, die uns an ihrem enormen Wissen und ihren Erfahrungen aus vielen Jahrzehnten Forschung in Oman teilhaben ließen.

Für die finanzielle Unterstützung bedanken wir uns beim Deutschen Akademischen Austauschdienst, der durch PROMOS-Stipendien die Teilnahme an der Exkursion wesentlich vereinfacht hat.

Ebenfalls bedanken möchten wir uns bei dem Universitätsbund Göttingen e.V., der diese Exkursion unterstützte und damit die finanzielle Belastung aller Teilnehmer reduzierte.

Impressionen



Prof. Dr. Boudier bei der Einführung

Prof. Dr. Nicholas erklärt die Gabbros der Unterkruste



Prof. Dr. Nicholas und Prof. Dr. Boudier erklären den Erdmantel





Prof. Dr. Siegesmund und Prof. Dr. Schmid diskutieren im Wadi Al Abyad

Prof. Dr. Lammerer untersucht mit Prof. Dr. Nicholas den Aufschluss





Prof. Dr. Trepmann erläutert einen Aufschluss

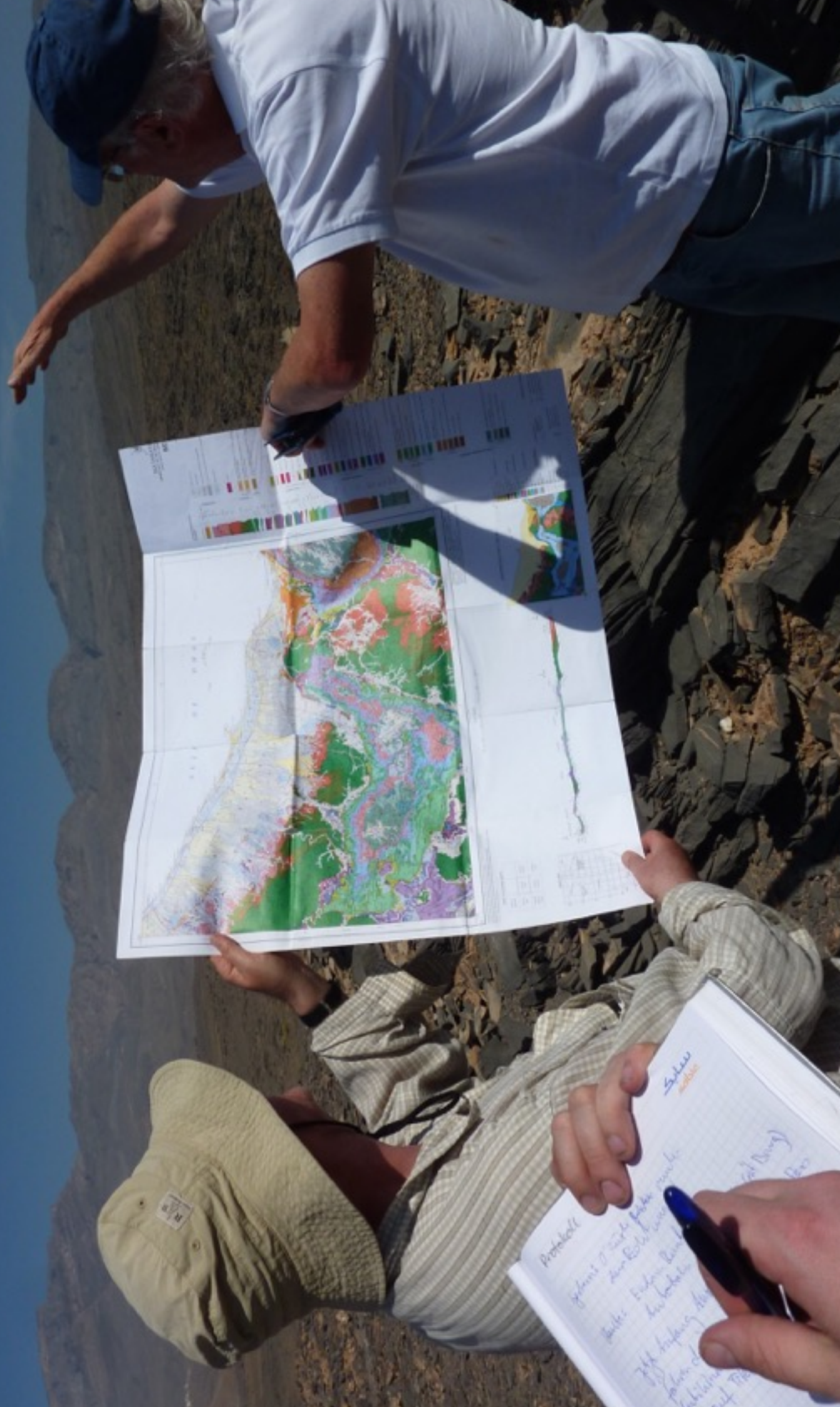
Gemeinsame Verabschiedung von Prof Dr. Boudier und Prof. Dr. Nicholas



Prof. Dr. Schmid zeigt die Faltung im Aufschluss



Prof. Dr. Schmid veranschaulicht mit Prof. Dr. Siegesmund die Aufdomung des Jebel Akhdars



Die Zubereitung des Abendessens wurde im Verlauf der Exkursion perfektioniert



Ein Einheimischer nutzt die Gelegenheit zum Fotoshooting



Zum Schutz vor starkem Wind wurde kurzerhand eine Wagenburg errichtet



Unverhoffter Kontakt mit der omanischen Tierwelt







Die Grenze zwischen Erdkruste (oben) und -mantel (unten) zum Anfassen



Die erste Waschmöglichkeit seit Tagen im indischen Ozean

Das paradiesisch am indischen Ozean gelegene letzte Camp





Aufklärungsarbeit zum Islam mit Getränken und Datteln

Unsere Sängerin, Köchin, Führerin und Freundin Noora



Auf Wiedersehen, Oman!

