

# Bericht zur Exkursion Regionale Geologie Oman



09. – 22. Februar 2018

Geowissenschaftliches Zentrum der Georg-August-Universität  
Göttingen

Erstellt von den Exkursionsteilnehmern im April 2018

## Inhaltsverzeichnis

Teilnehmerliste .....	3
Vorwort.....	4
Land und Leute .....	5
1. Exkursionstag, 10.02. – Vertikale Krustenbewegungen .....	11
2. Exkursionstag, 11.02. – Wadi Shab .....	17
3. Exkursionstag, 12.02. – In der tektonischen Melange .....	23
4. Exkursionstag, 13.02. – Wadi Gideah.....	29
5. Exkursionstag, 14.02. – Magmatische Kumulate und Sedimente des Hawasina Beckens .....	33
6. Exkursionstag, 15.02. – Salzstock Quarat Kibrit .....	40
7. Exkursionstag, 16.02. – Fahrt vom Salzdom zum Djebel Akhdar.....	46
8. Exkursionstag, 17.02. – Hawasina Decke .....	51
9. Exkursionstag, 18.02. – Hawasina Basin.....	59
10. Exkursionstag, 19.02. – Eiserner Hut .....	68
11. Exkursionstag, 21.02. – Fahrt über Yiti durchs Wadi Majh und zurück nach Maskat.....	73
Danksagung .....	78
Impressionen .....	79

## Teilnehmerliste

Dozenten:	Prof. Dr. Siegfried Siegesmund	
	Prof. Dr. Bernd Lammerer (LMU München)	
Gastführer:	Prof. Dr. Gösta Hoffmann (Universität Bonn)	
Studenten:	Maxim Bogdanowitsch	Master
	Alena Broge	Bachelor
	Macielle Deiters	Master
	Isabel Detzner	Bachelor
	Dario Fußmann	Doktorand
	Alexandra Kueck	Master
	Calvin Klein	Bachelor
	Falko Malis	Master
	Johanna Menningen	Doktorandin
	Sofia Pascual	Doktorandin
	Nikolas Pollak	Master
	Malte Teipel	Master
	Hildegard Vogelsang	Master
	Theis Winter	Master
	Fabian Zahnow	Master
	Susann Zickler	Master
Kooperationspartner:	Dr. Ruben Doncel Lopez (Universität San Luis Potosi, Mexiko)	
	Dr. Horst Kämpf (GFZ Potsdam)	
	Dr. Angela Ehling (BGR Berlin)	
	Dr. Christina Flechsig (Universität Leipzig)	

## Vorwort

In der Zeit vom 09. bis 22 Februar 2018 führten sechzehn 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. Als Gäste nahmen zudem Dr. Ruben Doncel Lopez, Dr. Horst Kämpf, Dr. Angela Ehling und Dr. Christina Flechsig an der Exkursion teil. Diese Exkursion ermöglichte den Studierenden das direkte Kennenlernen einer sehr komplexen geologischen Geschichte. Das Oman Gebirge zeigt den am besten aufgeschlossenen, deformierten, passiven Kontinentalrand und ist deshalb geeignet, fundamentale geologische Prozesse zu studieren. Neben einer sehr komplexen geologischen Geschichte, ist im Oman die weltweit vollständigste Abfolge einer ozeanischen Kruste und des oberen Erdmantels auf der Erdoberfläche aufgeschlossen. Diese sind als eine halbmondförmige, tektonische Decke von ca. 550km Länge und 50-100km Breite und >10km Mächtigkeit aufgeschlossen. Von besonderem Interesse ist die Sumail Decke, die aus Ophiolithen besteht. Dieser Ophiolith ist weltweit das größte und am besten aufgeschlossene Profil einer ozeanischen Lithosphäre. Strukturell stellt er die höchste Decke eines Stapels aus Resten des ehemaligen Tethysozeans dar. Vor etwa 100 Millionen Jahren riss die ozeanische Lithosphäre des Ozeans, der sich zwischen Arabien und Eurasien erstreckte. Die Obduktion auf den Kontinentalrand begann in der Oberkreide vor etwa 80 Millionen Jahren., wobei die Ophiolithdecke zunächst mehrere hundert Kilometer über ozeanische Kruste überschoben wurde, bevor sie den arabischen Kontinentalrand erreichte.

Die geologische Geschichte des Oman Ophioliths wird weltweit als der beste Modell-Ophiolith diskutiert, in welchem sich mit dem Semail-Ophiolithen eine weltweit einmalige geologische Sensation befindet.

Die Gruppe wurde zu Beginn der Geländeübung von Prof. Dr. Gösta Hoffmann, sowie zwei seiner Studentinnen geführt. Im Verlauf der ersten beiden Tage stellten sie neuere Forschungsergebnisse zur Regionalen Geologie, Sedimentologie, Quartärgeologie und Hazard-Forschung (Tsunamis) vor. Die gesamte Gruppe profitierte von den zahlreichen Diskussionen und Erläuterungen zu petrologischen, paläontologischen, sedimentologischen, strukturgeologischen, geophysikalischen und geodynamischen Fragestellungen. Durch die Anwesenheit von Teilnehmern verschiedener Fachdisziplinen konnten die jeweiligen Themen sehr unterschiedlich beleuchtet werden, was einen enormen Zugewinn für alle Teilnehmer darstellte.



## Land und Leute

*Von Maxim Bogdanowitsch und Falko Malis*

Archäologische Funde wie steinerne Pfeilspitzen und Bienenkorbgräber deuten darauf hin, dass die arabische Halbinsel, und insbesondere auch der Oman seit Menschengedenken besiedelt sind. Dafür gibt es viele Gründe: Durch das Upwelling von nährstoffreichem Tiefenwasser sind die Küsten fischreich, vergleichsweise hohe Grundwasserstände produzieren viele Oasen und Wadis und das warme Klima lässt die Datteln besonders schön süß werden. Die Berge bieten Bodenschätze wie Kupfererze und andere Metalle sowie in heutiger Zeit Erdöl und -Gas. Zudem queren an der Spitze der arabischen Platte viele Handelswege die Region wodurch sie damit auch strategisch wertvoll gelegen ist. So ist es nicht verwunderlich, dass seit vielen tausend Jahren viele verschiedene Einflüsse auf die Kultur einwirken. Zu nennen sind das legendäre Kupferland Magan sowie kulturelle Einflüsse durch die Araber, die Portugiesen, die Osmanen, die Briten und heutzutage Inder, Pakistani und Bangladeschi. Der Oman, ein Land fast so groß wie Deutschland, grenzt im Westen an die Vereinigten Arabischen Emirate und an Saudi-Arabien, im Südwesten an den Jemen. Das islamisch geprägte Land hat sich im Verlauf der vergangenen Jahre westlichen Besuchern immer weiter geöffnet, was vor allem seinem derzeitigen Sultan Qaboos zu verdanken ist. Vor allem für die Abenteuerlustigen hat das Sultanat viel zu bieten: endlose Weiten in der Wüste, grüne Hochgebirge und fruchtbare Oasen sowie kilometerlange Küstenstreifen mit kristallklarem Wasser



*Abbildung 1: Ein echtes Erlebnis ist die Erkundung der Längsdünen in den Wahibi Sands. Die großen Dünen im Norden verlaufen parallel zueinander in Nord-Süd-Richtung, wie selbst auf dem Satellitenbild noch gut zu erkennen ist.*



Abbildung 2: Festung Bahla, UNESCO Weltkulturerbe



Abbildung 3: die einzige Dhauwerft im Oman. Die Dhau ist das traditionelle, hochseetaugliche Schiff im arabischen Raum

Die Offenheit die dieses Land der westlichen Kultur entgegenbringt ist in einem Land, das vor 50 Jahren keine asphaltierten Straßen, keinen Strom, kein Radio kannte ein sehr fortschrittlicher Weg. Der Spagat zwischen Moderne und Tradition scheint gelungen.

Eine kulturelle Sehenswürdigkeit ist die 2001 in Maskat fertig gestellte Sultan-Qaboos-Moschee. Dieses aus Sandstein erbaute Bauwerk ist eine der größten Moscheen der Welt. Im kunstvoll und mit vielerlei Verzierungen gestalteten Innern der Moschee findet man in der Männergebetschalle einen 8 Tonnen schweren prunkvollen Leuchter und einen handgeknüpften, 4293,45 m<sup>2</sup> großen Teppich, der etwa 22 Tonnen auf die Waage bringt. Die räumlich getrennte Frauengebetschalle ist, wenn auch weniger schmuckvoll gehalten und deutlich kleiner, ebenfalls mit kunstvollen Schnitzereien in Holz und Stein verziert. Der Namensgeber Sultan Qaboos gilt als vergleichsweise liberaler Herrscher. Nur wenige arabische Führer fordern und fördern so engagiert die Gleichstellung der Frauen. Der kinderlose Sultan, der einen Teil seiner Zeit in Garmisch-Partenkirchen verbringt, ist ein großer Freund Deutschlands und lässt sich hier auch medizinisch behandeln.



Abbildung 4: Sultan Qaboos Moschee in Maskat

Im Souk von Muttrah, dem größten Basar des Landes, kann es recht voll werden, denn am dortigen Hafen bringen täglich mehrere Kreuzfahrtschiffe tausende von Tagestouristen an Land. Beliebte Reisesouvenirs sind Weihrauch, Datteln, Kaschmirschals und Gewürze, aber auch Gold- und Silberschmuck und die berühmten Krummdolche (*Khajar*) des Oman.





*Abbildung 5: Auch wir hatten unsere Freude an der traditionellen Kleidung*

Die vier Millionen Omanis leben überwiegend in den größeren Städten. Auch die meisten Beduinen sind in den letzten Jahren in Dörfern und Städten nahe der Wüste sesshaft geworden. Vereinzelt sieht man diese mit ihren Ziegen und Dromedaren durch die Landschaft ziehen. Insbesondere die letztgenannten Tiere sind den Omanis eine Herzensangelegenheit: Zwar sind omanische Dromedare etwas kleiner als ihre Verwandten auf der restlichen arabischen Halbinsel, jedoch sind sie etwas schneller und werden deswegen mit großer Hingabe für Kamelrennen gezüchtet.

Traditionell kleidet sich der Omani in sein typisches, weißes Gewand. An den Füßen trägt er Sandalen, auf dem Kopf einen Turban, die Frauen tragen dunkle Gewänder und ein Kopftuch, sind aber nicht voll verschleiert.

Der Lebensstandard ist durch die reichen Öl- und Gasvorkommen hoch. Trotz der 1988 begonnenen Omanisierung, der Ersetzung von Gastarbeitern durch omanische Staatsbürger, werden Positionen un- oder angelernter Arbeit häufig von Gastarbeitern aus Bangladesch, Pakistan oder Indien übernommen. Insbesondere im Staatsdienst sind jedoch vorrangig Omani beschäftigt. Auch wenn arabisch Amtssprache ist, sprechen viele Einwohner ein gutes Englisch, da diese die Handelssprache darstellt. Die Beschilderung ist zumeist auf Arabisch und Englisch ausgeführt, was eine Orientierung auch ohne arabische Schriftkenntnisse ermöglicht.:

Insbesondere in den Städten ist der Wohlstand vielerorts augenscheinlich und die durch künstliche Bewässerung erzielte Kilometer weite Begrünung des Stadtbildes erscheint in Anbetracht der geringen Niederschläge und hohen Durchschnittstemperaturen bizarr. Autobahnen sind auch in entlegenen Bereichen beleuchtet, wobei die Laternen insbesondere in der Hauptstadt Maskat durch ihre prunkvolle Art und Aufstellungsdichte auffallen. Der Umgang mit diesen Rohstoffen scheint vereinzelt unverhältnismäßig.



*Abbildung 6: Ein gar nicht so seltener Anblick sind Kamele. Auf der Autobahn, neben dicht befahrenen Wüstenpisten, in menschenleeren Wüsten: überall sind die Wüstenschiffe zu sehen.*

Der Wadi Shab gehört zu einem der Highlights im Oman. Das, im Gegensatz zu vielen anderen Wadis ganzjährig wasserführende, tief in den Fels eingeschnittene Flusstal wird landwirtschaftlich genutzt und kann bis zu einem gewissen Grad zu Fuß erkundet werden. Deutlich angenehmer allerdings gestaltet sich der stellenweise schwimmende Besuch in Badehose oder Bikini. Wer sich traut, kann ganz am Ende in eine Höhle mit Wasserfall schwimmen (oder tauchen, wenn das Wasser zu hochsteht). Auf dem Rückweg dann kann man sich mit einem leckeren Karak-Tee (sehr süßer, schwarzer Tee) mit viel Milch) und einem arabischen Fladenbrot stärken.

Alles in allem ist der Oman ein Land im Wandel. Es bleibt abzuwarten, was in den nächsten Jahren aus dem Land wird. Was wird geschehen, wenn der Sultan stirbt? Wenn das Öl eines Tages mal nicht mehr so sprudelt? Schafft das Land den Sprung in die Moderne? Fragen, auf die vermutlich noch keine Antwort gefunden ist, aber die hoffentlich noch gelöst werden.





*Abbildung 7: Erfrischender Sprung ins kühle Wasser*



*Abbildung 8: Sternenhimmel über dem Salzdom Kibrit. Fernab von größeren Städten kann man sternklare Nächte erleben und unzählige Sternschnuppen beobachten.*

# 1. Exkursionstag, 10.02. – Vertikale Krustenbewegungen

*von Calvin Klein*

Nach dem Zusammentreffen der Studenten und Dozenten am Morgen des 10. Februars begann die Exkursion mit der Fahrt von Muscat aus in Richtung Sur. Auf etwa der Hälfte der Strecke nach Sur befand sich der erste Haltepunkt. Die Führung am ersten Tag der Geländeübung übernahm Prof. Gösta Hoffmann von der Universität Bonn/GUtech Muscat, der zunächst die aktuellen Projekte und Forschungsbereiche im Nordosten des Landes vorstellte, eine kurze Einführung in den Oman sowie einen Ausblick auf die kommenden Exkursionstage gab. Dieser Tag sollte thematisch von vertikalen Krustenbewegungen bestimmt sein.

## **Stop 1: Hawiyat Najim „Das Loch der Sterne“**

Der erste Aufschluss der Exkursion ist eine etwa 18 m tiefe Doline, die im Liegenden aus dick gebanktem Kalkstein und im Hangendem aus unverfestigtem Sediment besteht (Abbildung 9). Es handelt sich um relativ helle, die Landschaft dominierende, eozäne Kalksteine und um quartäre Schotter, die eine sehr schlechte Sortierung und eine leichte Rundung aufweisen. Die Doline ist durch den Einsturz von Deckgesteinen in eine Höhle, die sich durch Lösung des Kalksteins in Wasser gebildet hatte, entstanden. In der Doline befindet sich auf etwa Meeresspiegelhöhe Salzwasser, was auf eine Verbindung zum Meereswasser hindeutet. Allerdings sind keine Gezeiten zu beobachten.

Die sich im Hangenden befindenden Schotter sind schlecht geschichtet, schlecht sortiert und schlecht gerundet. Dies ist typisch für Fanglomerate arider Gebiete, wo ein Transport der Sedimente nur während der seltenen, zum Teil aber katastrophalen Starkregenereignisse stattfindet. Der Jahresniederschlag ist mit 80 mm in Muscat etwa ein Zehntel des Niederschlags in Göttingen. Daraus resultiert eine sehr spärliche Vegetation. Südlich des Hadschar-Gebirges, im Regenschatten, ist bei weniger als 50 mm Jahresniederschlag fast keine Vegetation zu finden.



Abbildung 9: Doline Hawiyat Najm.

## Stop 2: Aussicht auf die Terrassenlandschaft

Wenige Kilometer Landeinwärts und etwa 300 m höher befindet sich der zweite Haltepunkt mit Aussicht auf die Terrassenlandschaft entlang der Küste. Prof. Hoffmann gab hier eine Einführung in das plattentektonische Setting der arabischen Halbinsel. Diese wird im Westen durch eine divergierende Plattengrenze im Roten Meer begrenzt, wobei die Spreizungsrate von Nord nach Süd von 2 cm/a auf 4 cm/a zunimmt. Daraus resultiert eine Rotation der arabischen Platte gegen den Uhrzeigersinn gegen Eurasien.

Eine Extension im Perm erzeugte ein intrakontinentales Becken, in dem sich Karbonate bis zur mittleren Kreide bilden konnten. Im Cenoman kam es zu einer intraozeanischen Subduktion in der Neo-Tethys mit anschließender Obduktion der ozeanischen Platte auf den arabischen Kontinentalrand vor ca. 90 Ma. Während des Paläo- und Neogens fanden hauptsächlich orogenetische Prozesse statt. Das Hadjar Gebirge hob sich heraus und es kam seither zu einer verstärkten Verwitterung und Erosion. Das notwendige Wasser für die chemische Verwitterung war aufgrund der Klimaschwankungen periodisch vorhanden. Die zunehmende Verkarstung des Kalksteins führt aufgrund der geringeren Dichte lokal zur isostatischen Hebung der Kruste.

Von unserem Aussichtspunkt aus sind mehrere Küstenterrassen zu sehen. Insgesamt gibt es zwölf Stück. Die Kanten der Terrassen werden durch mechanische Abrasion des Meeres hervorgerufen. Beim Sinken des Meeresspiegels oder Hebung des Landes werden die alten Plattformen trockengelegt. Der



Aussichtspunkt befindet sich auf einer solchen marinen Terrasse 362 m über NN. Da der Meeresspiegel nie so hoch war, kommen nur vertikale Bewegungen der Erdkruste dafür in Frage. Aus dem Quotienten der Höhe und des Alters von Paläostränden lässt sich die Hebungsrate berechnen, die im Oman kleiner als 1mm/a ist – mit abnehmender Tendenz.



*Abbildung 10: Aussicht auf die Terrassenlandschaft.*

### **Stop 3: Mittagspause im Wadi nahe Fins**

Während der Mittagspause in einem Wadi nahe Fins (Abbildung 11) konnten neben den Kalkgeröllen auch peridotitische Gerölle gefunden werden. Die Mantelgesteine zeigten eine Serpentinisierung der Olivine. Diese hat zur Folge, dass die Dichte des Gesteins geringer wird. Eine großflächige Serpentinisierung wie im Semail-Ophiolith führt aufgrund der Abnahme der Dichte zu einem isostatischen Ausgleich, sodass eine Hebung der Kruste daraus resultieren kann. Neben der Verkarstung des gesamten Kalksteinkomplexes ist die Serpentinisierung somit der zweite Prozess, der zu einer Krustenhebung durch isostatischen Ausgleich beiträgt. Ein weiterer Prozess der die vertikale Krustenbewegung beeinflusst, ist das Schwanken des Meeresspiegels, das durch den hydrostatischen Ausgleich eine Hebung bzw. Senkung der Kruste zur Folge haben kann.



Abbildung 11: Wadi nahe Fins.

#### Stop 4: Feuersteinkeile auf der Schulter eines Wadis

Auf der Schulter des Wadis sind keine weiteren Ophiolith Gerölle zu finden. An den Hängen lässt sich für die eozänen Kalksteine ein scheinbares Einfallen nach Osten mit etwa  $10^\circ$  abschätzen. Diskordant darüber liegen quartäre Schotter, die durch thermischen Stress an der Oberfläche scharfkantig zerplatzt sind. In den anstehenden Schottern sind aber auch Korallen zu finden, die ein marines Milieu anzeigen. Das gemeinsame Vorkommen mariner und alluvialer Sedimente belegt, dass es sich um ein Flussdelta handelt. Um das Alter zu bestimmen wird datierbares Sediment benötigt. Thermolumineszenzanalysen an Quarz ergaben ein Sedimentationsalter von etwa 120 000 Jahren (Eem-Interglazial). Zu dieser Zeit war das Klima wärmer als heute und der Meeresspiegel etwa 5 m höher. Der aktuelle Meeresspiegel ist etwa 55 m unterhalb der besuchten Lokation. Daraus ergibt sich eine Hebungsrate von etwa 50 m in den letzten 120 000 Jahren.

Eine Besonderheit dieses Ortes sind die etwa 9000 Jahre alten Feuersteinkeile, die in großen Stückzahlen gefunden werden konnten. Das Alter dieser Artefakte wurde anhand von Vergleichen mit anderen Funden abgeschätzt. Vom unbearbeiteten Ausgangsgestein bis hin zum Endprodukt sind alle Verarbeitungsstadien der Feuersteinkeile zu finden (Abbildung 12).



Abbildung 12: Feuersteinkeile in verschiedenen Verarbeitungszuständen.

### Stop 5: Küstenaufschluss an der jüngsten Terrasse

Der letzte Stop am ersten Tag der Exkursion ist ein Küstenaufschluss an der jüngsten marinen Terrasse mit einem gut erhaltenen Korallenriff, das von einem schlecht sortierten, schlecht gerundeten Konglomerat überlagert wird (Abbildung 13). Oberhalb dessen befindet sich eine weitere Schicht mit Korallen, die ebenfalls von Konglomeraten überlagert ist. Es sind verschiedene Arten von Korallen zu finden, die vor allem zur Gattung *porites* gehören. Da diese Korallen warmes und klares Wasser präferieren, jedoch eine hohe Schlammsedimentation im Hintergrund vorherrschte, waren die Korallen bestrebt, aus dem Schlamm heraus zu wachsen. Die Konglomerate sind im Gegensatz zu den Korallenriffen, die sich im subtidalen, flachmarinen Meer in der photischen Zone gebildet haben, erneut die terrestrischen, alluvialen Schutfächer. Die unterschiedlichen Fazies lassen sich wahrscheinlich durch kurzfristige Meeresspiegelschwankungen in Folge der Paläoklimaschwankungen während des Eem-Interglazials erklären. Bislang wurde allerdings keine Datierung der Sedimente durchgeführt.



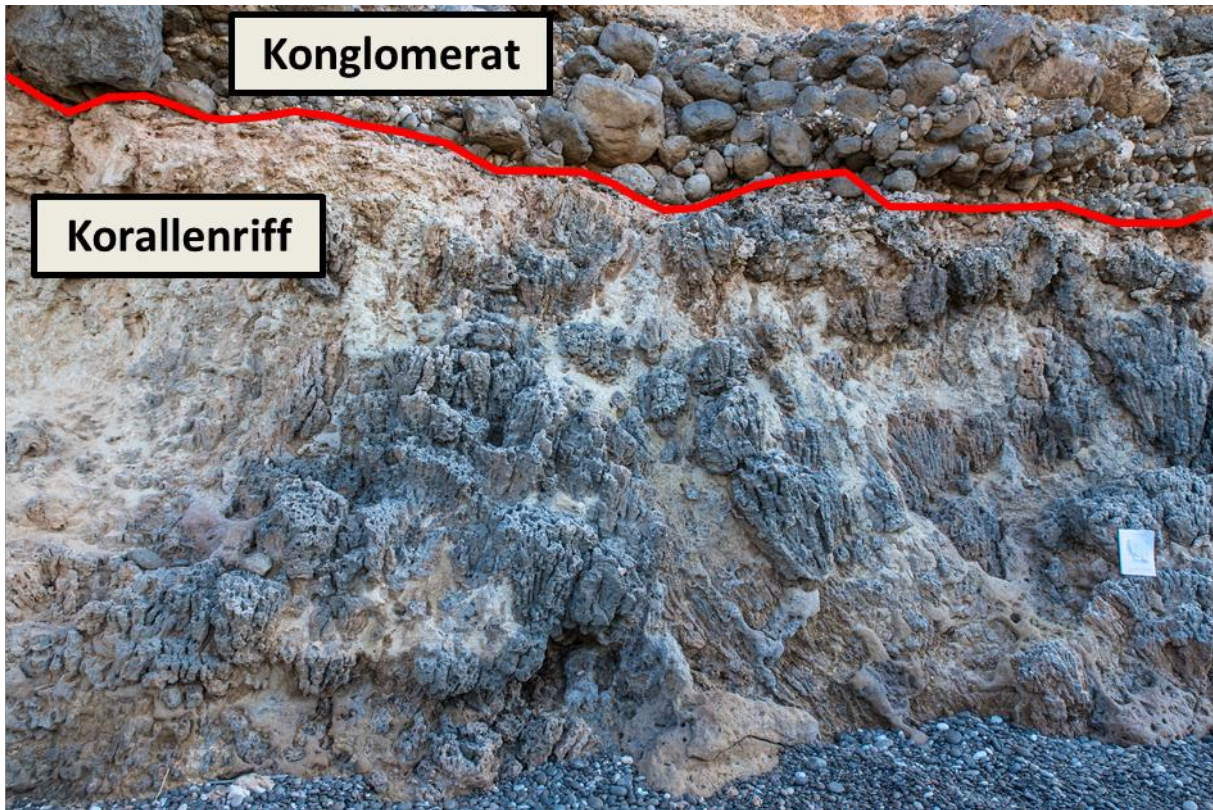


Abbildung 13: Von terrestrischen Konglomeraten überlagerte Korallenriffe.

## 2. Exkursionstag, 11.02. – Wadi Shab

von Alena Broge

### Stop 1: Wadi Shab

Das Wadi Shab ist ein bei Touristen und Einheimischen beliebtes Ausflugsziel, da es im Gegensatz zu vielen anderen Wadis ganzjährig Wasser führt und Erfrischung bietet. Etwa zweieinhalb Kilometer Fußmarsch in das Wadi hinein gibt es eine Möglichkeit zum Schwimmen, die auch auf dieser Exkursion genutzt wurde. Wenn man dem Wasserverlauf schwimmend eine kurze Zeit folgt, erreicht man eine Höhle mit einem Wasserfall. Aus dem Wadi führt eine Trinkwasserleitung in das nahe gelegene Dorf Tiwi. Während die Flanken des Wadis an der Mündung ins Meer nur etwa 55m hoch sind, können sie tiefer im Wadi bis zu 1000m hoch werden.

Der Verlauf des Wadis führt durch die für die Gegend typischen eozänen Kalksteine im Mündungsbereich, entlang einer dextralen Strike-slip Störungszone, die im Eingangsbereich die normalerweise dicke Bankung der Kalksteine zerstört. Tiefer im Wadi stehen die dickbankigeren Schichten an, in denen Bioturbation und Hartgründe zu erkennen sind. An den Flanken des Wadis sind weiße „Tapeten“, die sich über die Kalksteine ziehen, zu erkennen. Sie entstehen durch die Lösung und Fällung des Kalkes.

Durch die ganzjährige Wasserzufuhr wird seit langer Zeit im Wadi Landwirtschaft betrieben. Im Wadi werden Dattelpalmen, Rucola, Getreide, Limettenbäume und Bananenstauden angebaut.



Abbildung 14: Eingang ins Wadi Shab.

Der Dattelpalme begegnet man im Oman sehr häufig. Sie ist anspruchslos und benötigt wenig Wasser. Ihre Früchte sind sehr süß und nahrhaft und können sowohl frisch als auch getrocknet gegessen werden.

Datteln verderben aufgrund ihres hohen Zuckergehalts beim liegen lassen nicht, sondern entsaften und können so Jahrzehnte gelagert werden. Da die männlichen Dattelpalmen keine Früchte tragen, sind die meisten Dattelpalmen im Oman weiblich. Zum Bestäuben werden Blütenstände der männlichen Dattelpalmen in die weiblichen gehängt. Die Pflanze ist komplett verwertbar. Aus ihren Blättern lässt sich Stoff weben oder ein Haus decken und ihre Stämme können zum Bauen genutzt werden.

Beim Anbau in Wadis gibt es jedoch einige Probleme: durch die steilen Wände bleibt wenig Platz für den Anbau und Flash Floods bedrohen nicht nur die Ernte, sondern verhindern auch die Bildung jeglichen Bodens. Bei starken Regenfällen wird in den wenig bewachsenen Gebieten kaum Wasser von der Vegetation zurückgehalten und fließt in großen Mengen als Flash Flood gemischt mit Schutt in den Wadis ab. Um diesen Problemen beizukommen, wurden im Wadi Terrassen angelegt und organisches Substrat wie Ziegenmist zum Anbau der Pflanzen genutzt. Wie auch in anderen Teilen des Landes wird zur Bewässerung der Felder auf diesen Terrassen das Falatsch-System -ein offenes Kanalsystem, das durch Gefälleunterschiede Wasser transportiert- genutzt. Ein Falatsch-Meister überwacht dieses und sorgt dafür, dass jedes Feld das ihm zustehende Wasser bekommt und die Kanäle durchlässig und intakt bleiben. Das CO<sub>2</sub>-übersättigte Wasser bildet bei der Fällung des Kalkes den Süßwasserkalk Travertin, der die Kanäle zusetzen kann.

Besonders bedroht ist der Anbau im Wadi durch Extremereignisse wie den Kategorie 5 Wirbelsturm Gonu, der am 5. Juni 2007 hier wütete. Dieser zerstörte Jahrhunderte alte Felder und stellenweise auch die Falatsch-Kanäle. Dattelpalmen, die im Einflussbereich der folgenden Flash Flood standen, zeigen seitdem einen Knick in ihrem Stamm der dieses Ereignis markiert. Ein weiterer Wirbelsturm 2010 richtete weniger Schaden an. Ein mit Gonu vergleichbares Sturmereignis wird für 1891 vermutet. Um dies zu bestätigen, müssten Bohrungen in der Mündung des Wadis durchgeführt werden.





Abbildung 15: Route durch das Wadi Shab.

## Stop 2: Tsunamiablagerungen an einer Steilküste nahe Wadi Shab

Die Gefahr eines Tsunami ist der Bevölkerung im Oman trotz der im Arabischen Golf gegenüberliegenden Makran-Subduktionszone kaum bewusst. Dies liegt vor allem an der im Oman bis 1970 fehlenden schriftlichen Überlieferung. Ein 3-5m hoher Tsunami 1945 konnte durch Berichte britischer Spione rekonstruiert werden. Diesen hielten die Omanis jedoch für das Resultat britischer Atombombentests im Golf und durch die fehlende Infrastruktur an der Küste wurde kaum Schaden angerichtet. Ein weiterer Tsunami 2013 war nur 1m hoch und richtete keinen Schaden an. Prof. Gösta Hoffmann (Universität Bonn) und seine Studenten versuchen zu rekonstruieren, ob der Tsunami 1945 bereits die maximalen Ausmaße eines möglichen Tsunami im Oman erreicht hat oder ob es Hinweise auf noch größere Tsunamis gibt.

Obwohl der größere Tsunami von 1945 kaum Schäden angerichtet hat, wäre dies heute nicht mehr unbedingt der Fall, da seit dem Machtwechsel 1970 die Infrastruktur und Industrie stetig gewachsen ist. Da viele Industriestandorte am Meer liegen, ist die Frage nach einem „worst case“ Szenario für den Oman wichtig. Etwa 80% des BIP des Landes werden durch die an einem Strand liegende Ö Raffinerie erwirtschaftet, die großen Städte und Flughäfen liegen am Meer und ebenso die Strom produzierenden Gaskraftwerke.

Bei der Suche nach Hinweisen auf vergangene Tsunamis stellt sich als Schwierigkeit heraus, dass Tsunamis und Stürme sich in ihren Ablagerungen weitgehend gleichen. Es gibt das Beispiel eines indischen Strandes, auf dem sich zwei Sandlagen finden, wobei die eine von einem Sturm und die andere von einem Tsunami verursacht wurde und die nahezu identisch sind. Anstatt sicher von Tsunami- oder Sturmablagerungen zu sprechen gibt es daher den Begriff „extremer Welleneignisse“. Da sie verschiedene Auslöser haben, unterscheiden sie sich in ihrem Verlauf. Während bei einem Tsunami die ganze Wassersäule bewegt wird und sich das gesamte Ereignis auf 3-5 Wellen innerhalb weniger Stunden beschränkt, dauern Stürme mitunter Tage an und lösen viele Wellen innerhalb einer Minute aus, die nur bis zur Sturmbasis ins Wasser vordringen. An der Steilküste in der Nähe des Wadi Shab



Abbildung 16: Tsunamiablagerungen

liegen Blöcke, deren Größe zum Meer hin zunimmt. Der Ozean liegt an der Klippe etwa 10-15m niedriger als der Rand der Klippe.

Etwa 50m vom Meer weg befindet sich eine ehemalige Kiesgrube, in der Schalen von terrestrischen und marinen Schnecken in Wechsellagerung zu erkennen sind. Die marinen Schalen werden als Ablagerung einer auf das Land laufenden Welle (onwash) interpretiert und die terrestrischen als Rücklaufen der Welle ins Meer

(backwash). <sup>14</sup>C Messungen an den Schalen ergeben ein Alter von 5 ½ Jahren im oberen Teil des Aufschlusses und 45000 Jahren im unteren Teil. Dieses Alter ist jedoch unwahrscheinlich, da vor 45000 Jahren der Meeresspiegel aufgrund der Weichsel-Eiszeit 80m tiefer lag.



Weiter zum Meer hin, in etwa 10m Entfernung von der Abbruchkante liegt ein 7x7x1,5m großer Block. Der Block ist ein sogenannter „beachrock“ der im Spray-Bereich der Wellen schnell zementiert. In anderen Blöcken ist teilweise Müll mit zementiert. Eine schnelle Beispielrechnung mit der Dichte 2,5 für das Gestein ergibt ein Gewicht von ca. 150t. Genauere Messungen mit Drohnen oder Laserscanner und anschließender Auswertung in einem Programm wie „structure from Motion“ ergeben ein genaueres Gewicht von 120t. Bei Betrachtung der Umgebung fällt auf, dass die Klüfte in dem Block relativ zu den Klüften im ihn unterliegenden Gestein um 90° verdreht sind und eine passende Ursprungsstelle für diesen Block etwa 10m entfernt liegt. Modellierungen legen nahe, dass der Block durch einen Sturm eher nicht bewegbar ist. Dies zeigte auch der Kategorie 5 Wirbelsturm Gonu 2007, der den Block nicht bewegte. Ein Tsunami ist daher die plausible Erklärung.

Im Vergleich zu dem Tsunami von 1945 müsste der Tsunami weitaus stärker gewesen sein z.B. durch ein stärkeres Erdbeben, größere vertikale Versätze des Bebens oder ein näheres Epizentrum. Es wird eine Höhe von 15m vermutet, da dies in etwa dem Höhenunterschied des Wasserstandes und der letzten abgelagerten Blöcke entspricht.



Abbildung 17: Block aus Beachrock.

Einige Blöcke am Strand enthalten marine Organismen wie Austern, Lithophagen und Bryozoen. Unter der Annahme, dass diese Organismen vor der Umlagerung auf den Strand durch einen Tsunami noch lebten, kann über ihr  $^{14}\text{C}$  Alter bestimmt werden, wann der Tsunami stattfand. Die Datierung von 80 Proben aus verschiedenen Blöcken ergab ein Alter von 1945 für einige Blöcke übereinstimmend mit

einem Tsunami- und ein Alter von 1000 Jahren für einige andere. Bücher aus Persien bestätigen einen Tsunami um 1008. Einige wenige Blöcke sind älter als 1000 Jahre, es sind aber zu wenige, um eine Statistik erstellen zu können.

### **Stop 3: Dhau-Werft in Sur**

Eine Dhau ist ein Typ kleinen Bootes, der vor allem in den Ländern, die den indischen Ozean umgeben, gebaut werden. Auch im Oman und der gesamten Arabischen Halbinsel werden traditionell Dhaus gebaut. Die besuchte Dhau-Werft in Sur ist die älteste im Oman und stellt ihre Dhaus aus tropischem Hartholz nach Augenmaß ohne Konstruktionspläne her. Mit den Dhaus reisten die frühen Händler bis nach Indien, China und Sansibar. Die Kunst des Schiffbaus war fast vergessen, wurde aber auf Anregung von Sultan Quaboos wieder etabliert und gefördert.



*Abbildung 18: Dhau-Werft in Sur.*

### 3. Exkursionstag, 12.02. – In der tektonischen Melange

von Hildegard Vogelsang

#### Stop 1

Im ersten Aufschluss des Tages wurde eine Halde mit Mudstone innerhalb einer vorwiegend aus Radiolariten bestehenden tektonischen Melange besucht. In den Mudstones wurden Trilobiten, Echinodermen, Gastropoden (Bellerophon), spiriferide Brachiopoden, Schwämme, solitäre Korallen und Bryozoen gefunden (Abbildung 19). Aus dem Trilobitenfund (Abbildung 20) lässt sich ein paläozoisches Alter des Gesteins ableiten, Bellerophon und die spiriferiden Brachiopoden sind außerdem typisch für das Perm, so dass dies als das wahrscheinlichste Alter angenommen wird.



Abbildung 19: Beispiele der im Aufschluss gefundenen Fossilien, wobei es sich hier im Wesentlichen um spiriferide Brachiopoden und solitäre Korallen handelt.





Abbildung 20: Abdruck eines Trilobiten im Gestein.

Die zerbrochenen Brachiopoden und die dickschalige Bellerophon weisen beide auf ein höher energetisches Strömungsregime hin. Die Fossilien sind zudem meist in Schilllagen zusammen gespült, was einerseits durch Sturmereignisse, oder durch die vermuteten höheren Strömungsgeschwindigkeiten passiert sein könnte. Es handelt sich bei dem Gestein um eine Taphozönose, eine Grabgemeinschaft der gefundenen Fossilien.

### Stop 2:

Nach den Mudstones wurde nun das Hauptgestein in der tektonischen Melange, die Radiolarite angesteuert. Der mit „mother of all outcrops“- betitelte Aufschluss besteht aus jurassischen Radiolariten und roten Tiefseetonen, die in der Kreide nach Platznahme des Ophioliths durch die dextrale Bewegung der östlichen Plattengrenze als Batain- Decke auf den Kontinent obduziert wurden. Die ursprünglichen Sedimente wurden in der Tiefsee unterhalb der CCD abgelagert, wo typische Sedimentationsgeschwindigkeiten im Bereich von mm/1000 Jahre liegen. Daraus lässt sich für die zyklische Abfolge der Schichten ein regelmäßiger Wechsel im 10.000 bis 100.000 Jahre Bereich erkennen. Die Abfolge spiegelt demnach vermutlich zyklische Klimaschwankungen, z.B. durch die Milankovitch- Zyklen wider.



Der Deckenstapel wurde verfaultet und deformiert (Abbildung 21). Falten scheinen teils vor den Brüchen angelegt worden zu sein, teils danach. Insgesamt wurde eine Reihenfolge von zunächst einer bruchhaften Verformung, danach folgender Faltung und erneuter bruchhafter Verformung abgeleitet. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die roten Schichten bei der Verformung noch weniger fest waren, da sie im Scheitelbereich der Falten verdickt sind. Die hellen Schichten waren außerdem schon bei der Faltung geklüftet, was auch ein plastischeres Verhalten der roten Schichten belegt.



Abbildung 21: Der Aufschluss zeigt eine komplexe Abfolge von Deformation, Faltung und erneuter Deformation.



Abbildung 22: Der „mother of all outcrops“- Aufschluss war einer der letzten in Gösta Hoffmanns Programm und wurde für ein abschließendes Gruppenfoto genutzt

### **Stop 3:**

Der dritte Stop war ein auflässiger Steinbruch innerhalb von radiolaritischem Nebengestein, in dem Manganerze abgebaut wurden. Es handelte sich um eine stratiforme Lagerstätte, erkennbar daran, dass gezielt eine Gesteinsschicht abgebaut wurde. Manganlagerstätten bilden sich in der Tiefsee entlang von MORs an black smokers. Die hydrothermale Aktivität im Bildungsgebiet der Gesteine ist auch an einzelnen Gängen senkrecht zur Schichtung der Radiolarite zu erkennen. Typischerweise sind in den Manganerzen weitere Elemente wie Antimon, Kupfer, Kobalt, Nickel und teilweise Gold enthalten. Beim Erzabbau im Oman wird üblicherweise das Gestein nur oberflächlich abgegraben und als Roherz verkauft.

### **Stop 4:**

Der letzte Stop mit Gösta Hoffmann war ein neu angelegter Mangrovenwald ganz im Nordosten des Omans (Abbildung 23). Mangrovenwälder sind als Ökosystem typisch für das Intertidal. Im Oman ist die einzig verbleibende Mangrovenart die *avicennia marina*, bzw. graue Mangrove. Zur Anpassung an den Lebensraum mit hohem Salzgehalt und starker Erosion durch das Meerwasser hat die Pflanze ein gutes Wurzelgefüge mit Pneumatophoren, also Wurzeln die an die Oberfläche wachsen. Über diese nimmt die Mangrove Wasser aus dem umgebenden Meerwasser auf, wobei Salz durch osmotischen Druck außerhalb der Wurzel gehalten wird. Überschüssiges Salz aus der Pflanze wird über Salzdrüsen an den Ober- und Unterseiten der Blätter abgegeben (Abbildung 24). Über die Pneumatophoren kann auch Sauerstoff aufgenommen werden, weshalb diese auch als Atemwurzeln bezeichnet werden.





*Abbildung 23: Im neu angelegten Mangrovenwald sind die senkrecht nach oben wachsenden Wurzeln gut zu beobachten.*



*Abbildung 24: Durch die Abgabe des Salzes über Poren in den Blättern kann man auf der Blattoberfläche Salzkrusten beobachten.*

Mangrovenwälder werden seit dem Miozän im indopazifischen Raum beobachtet und können anhand von Foraminiferen und Pollen, sowie vor 1945 am Holz datiert werden. Paläomangrovenhorizonte können als Anzeiger für den Meeresspiegel herangezogen werden, da sie nur im Intertidal vorkommen.

Sie lassen zudem einen Rückschluss auf den weiteren limitierenden Faktor Klima zu, da sie nur im tropischen und subtropischen Bereich vorkommen und es lässt sich somit die Verlagerung der innertropischen Konvergenzzone mit der Zeit rekonstruieren.

#### **Stop 5:**

Auf Wunsch der Studenten dieser und der vorangehenden Exkursionen wurde mit Stop 5 ein Abstecher in die Wüste gemacht, die gemessen an ihrer weiten Verbreitung im Oman eine sehr kleine Rolle während der Exkursion gespielt hat. In der Wahiba Sands Wüste konnten 100te km lange Längsdünen beobachtet werden (Abbildung 25).



*Abbildung 25: Blick auf einige der typischen Längsdünen in der Wahiba Sands Wüste.*



## 4. Exkursionstag, 13.02. – Wadi Gideah

*Von Macielle Deiters*

### Stop 1 – Wadi Gideah

An diesem Morgen wurde sich intensiv mit dem Gideah-Aufschluss beschäftigt (Abbildung 26 & 28). Am Abend zuvor hatten die Studenten bereits die Möglichkeit, den Aufschluss zu begehen und sich die Gesteine anzuschauen und eine Skizze anzufertigen. Es handelt sich bei diesem Aufschluss um die ehemalige Schmelzlinse eines schnell spreizenden Mittelozeanischen Rückens, die zwischen den Sheeted Dykes und unterlagerndem Gabbro positioniert war. Es stehen an: ein variabel texturierter Gabbro mit Resten von poikilitischen Klinopyroxenen. Dieser wurde durchdrungen von massigen Quarzdioriten und Tonaliten, welche Überreste von assimilierten Sheeted Dykes in Schollen beinhalten und ihrerseits von Trondhjemiten durchschlagen werden. Als Jüngstes finden sich basaltische Gänge mit abgeschreckten Rändern (Abbildung 27). Bei der Entstehung an einem schnell spreizenden Rücken ist besonders der Einfluss von  $H_2O$  entscheidend, da durch Wasser der Solidus erniedrigt wird und es zu partiellem Aufschmelzen kommen kann. Die Resultate der experimentellen petrologisch – geochemischen Untersuchungen (Müller et al. 2017) wurden diskutiert. Fraktionierte Kristallisation einer MORB-Schmelze mit 0.4 - 0.8 %  $H_2O$ , Teilschmelze von Sheeted Dikes und Aufschmelzen des verarmten Mantels in einer zweiten Phase der Ozeanbildung spielten wohl eine Rolle. Ähnliche Verhältnisse findet man in Bohrkernen aus dem Ost-Pazifischen Rücken.



*Abbildung 26: Übersicht des Aufschlusses Wadi Gideah mit einer Länge von etwa 30 m und einer Höhe von ca. 10 m. Deutlich erkennbar sind die dunklen basaltischen Gänge.*



Abbildung 27: Detailansicht eines Basaltganges zwischen Gabbro und Quarzdiorit.

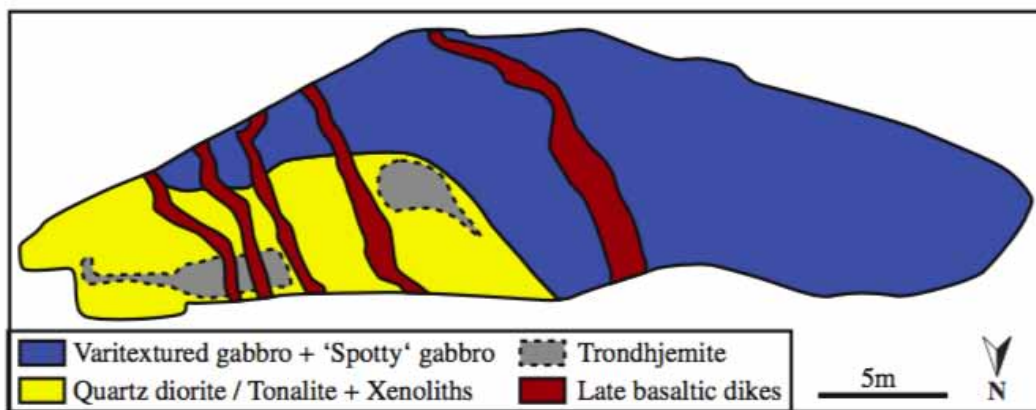


Abbildung 28: Skizze des Wadi Gideah Aufschlusses mit den einzelnen Sektionen (Müller et al ( 2017))



## Stop 2 - Dunitbänder

Die Fahrt führt nun aus den Gabbros raus in den oberen Erdmantel. An Haltepunkt 2 sind Dunitbänder in Peridotit zu sehen, die sehr variabel aussehen, beim Anschlagen jedoch eine schwarze Farbe aufweisen (Abbildung 29). Diese entsteht durch Magnetit, welcher an den Korngrenzen ausgefällt wird. Dunit kann als Olivin-Kumulat in einer Magmenkammer entstehen, oder, als Gänge zeigt er die Migration von Basaltschmelzen durch Harzburgite an, in welcher sich der Orthopyroxen gelöst hat – sodass fast nur Olivin übrigbleibt.



*Abbildung 29: Peridotit mit typischen Magnetiteinschlüssen.*

## Stop 3 – Metamorphe Sohle

Bei dem dritten Stop ist die metamorphe Sohle an der Basis des Semail Ophioliths aufgeschlossen (Abbildung 30). Die bis zu 230 m mächtige Hochtemperatur Scherzone. An einer innerozeanischen Überschiebung nahe oder am Ozeanischen Rücken wurde heißer Erdmantel (1300°C) über kalte ozeanische Basalte geschoben, die durch den Bügeleisen-Effekt kontaktmetamorph zu Hochtemperatur-Amphiboliten und Granuliten umgewandelt und gleichzeitig zerschert wurden. In den Amphiboliten findet sich nur direkt am Kontakt Granat, in entfernteren Lagen dann niedriger temperierte Minerale wie Epidot und andere Kalksilikate. Die obersten 50 m bestehen aus grob- bis mittelkörnigem Amphibolit mit nur geringen Quarz- und Karbonatgehalten. Die darunterliegende Schicht mit einer Mächtigkeit von etwa 30 m ist charakterisiert durch quarzitisches Gesteine und gefolgt von einer erneuten Amphibolit Schicht. Diese ist jedoch sehr feinkörnig und von quarzitischen und kalksilikatischen Lagen durchzogen und weist eine Mächtigkeit von 150 m auf. Des Weiteren können an diesem Aufschluss Scherzonengesteine beobachtet werden, bei denen man auch von Ultramyoniten spricht (Abbildung 31).



Abbildung 30: Übersicht der Metamorphen Sohle.



Abbildung 31: Blick auf typische Scherzonengesteine: Ultramylonite.



## 5. Exkursionstag, 14.02. – Magmatische Kumulate und Sedimente des Hawasina Beckens

von Dario Fußmann

Nachdem wir die Nacht vom 13. auf den 14.02. im nordwestlichen Teil des Wadi Tayin Blocks verbrachten, machten wir uns am Morgen des 14.02. um 08:30 auf den Weg in den westlich befindlichen Semail Block.

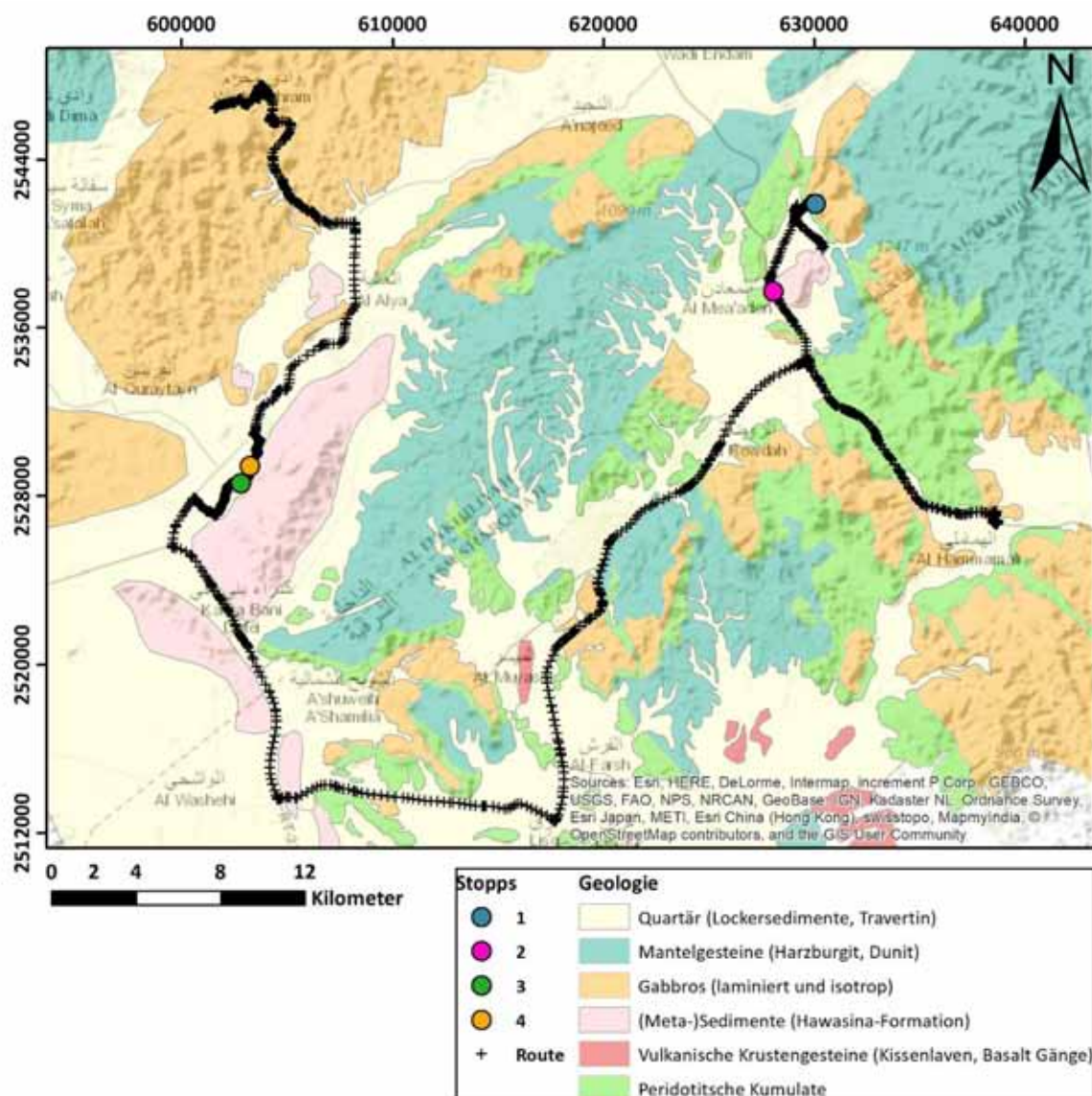


Abbildung 32: Route des fünften Exkursionstages. Geologie vereinfacht nach Kartenblatt Samad (Blatt NF40-7C, „Ministry of Petroleum and Minerals,“ 1986)

### Stop 1: Magmatische Kumulate - Lokation (X, Y UTM Zone 40 Q): 630077, 2541892

Die plutonischen Gesteine dieses Aufschlusses sind durch einen sehr auffälligen Wechsel von hellen und dunklen Lagen gekennzeichnet.

Es handelt sich um einen magmatischen Lagenbau, wobei die dunkleren Bereiche ihre Farbgebung durch einen erhöhten Gehalt an Pyroxenen und zu Magnetit und Serpentin verwitterten Olivinen erhalten, was mit Hilfe eines Magneten und einer zehnfach vergrößernden Lupe nach zu weisen ist. Die helleren Lagen zeigen hingegen einen deutlichen Mehranteil von (mutmaßlich) Calcium reichen Feldspäten, weswegen ihre Zusammensetzung als „anorthositisch“ zu benennen ist.

Für das Zustandekommen des Lagenbaus gibt es zwei Modelle: Entweder hat eine anorthositische Magmenkammer eine gabbroide intrudiert oder die magmatische Schichtung ist das Produkt fraktionierter Kristallisation. Dabei sinken früh ausgeschiedene Kristalle größerer Dichte in der Magmenkammer ab, sodass eine weniger dichte, stofflich veränderte Restschmelze verbleibt. Im vorliegenden Fall stellen somit die Pyroxene und verwitterten Olivine die abgesunkenen Kristalle dar, wogegen die Feldspäte aus der Restschmelze auskristallisierten. Durch einen erneuten Zufluss von frischer Schmelze wiederholt sich dieser Vorgang, sodass mehrere Lagen entstehen.

Außerdem ist im zentralen Bereich des Aufschlusses eine Horst-Grabenstruktur erkennbar, die auf eine einsetzende Extensionstektonik nach der Obduktion der Semail-Decke hinweist (Abbildung 33B).

Etwas trivialer aber auch vorstellbar ist, dass Wasser aus dem angrenzenden Wadi nach einem Starkregenereignis den Aufschluss unterspült und so das Herabsinken des Blocks herbeigeführt hat.

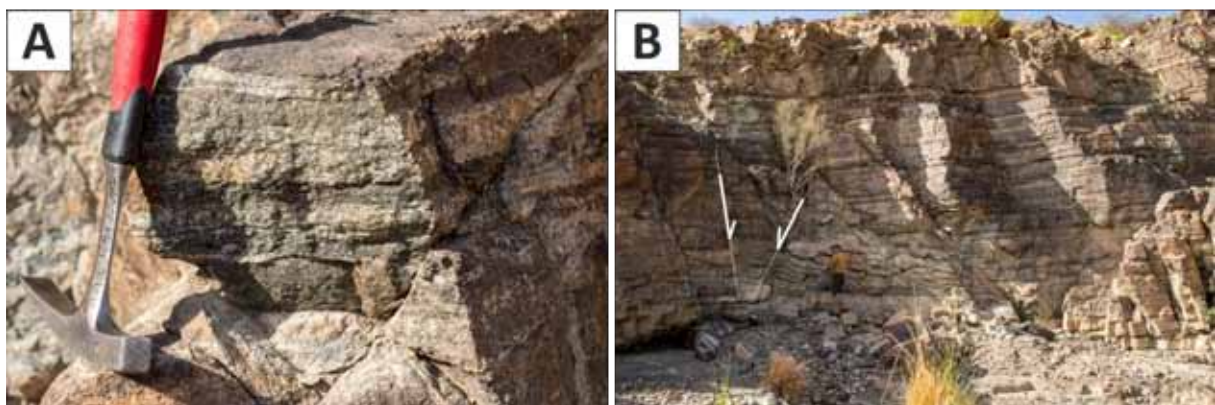


Abbildung 33: Magmatischer Lagenbau in großem (A) und kleinerem Maßstab (B). Der abgesenkte Block ist mit weißen Pfeilen kenntlich gemacht.

## Stop 2: Allochthone Karbonate - Lokation (X, Y UTM Zone 40 Q): 628065, 2537728

Dieser Aufschluss zeichnet sich durch Gesteine verschiedener karbonatischer Fazies aus und liegt nur wenige Kilometer von Stop 1 (Abbildung 32) entfernt.

Dabei fallen zunächst längliche, „hörnchenförmige“ Fossilien auf, die in massigen, ungeschichteten Kalksteinen zu finden sind (Abbildung 34B). Diese versteinerten Lebensreste können den Rudisten zu geordnet werden. Jene Bivalven fungierten vor allem in der Kreide als Riffbildner, wodurch die massigen Kalke als kretazische Riffkalke zu identifizieren sind. Des Weiteren sind karbonatische Breckzien zu beobachten, die im Bereich des „Hinterriffhangs“ zur Ablagerung kamen.

Außerdem sind knubbelige und lagige Fossilien zu finden, die als fossile Algenmatten (Stromatolithen) interpretiert werden. Diese bilden sich jedoch bevorzugt in flachen intertidalen oder subtidalen, küstennahen Bereichen, wodurch sie einem anderen Milieu als die häufiger beobachteten Rudisten entsprechen.

In feinkörnigen Varietäten der Kalke finden sich fossile Cephalopoden (Abbildung 33A), die ein tiefer marines, küstenfernes Ablagerungsmilieu anzeigen. Des Weiteren zeichnen sich jene Ammoniten durch eine einfache Lobenlinie aus, die sie mit großer Sicherheit als pre-kretazisch und somit älter als die Rudisten identifiziert.

Das Auftreten einer solchen Vielzahl an verschiedener Fazies und Alter in geringer lateraler Entfernung, kann durch die Überschiebung der Semail-Decke auf den Arabischen Kontinentalrand erklärt werden. In dem dazwischenliegenden Meeresbecken befanden sich Karbonatplattformen und ältere karbonatische Tiefseesedimente, die mit dem Ophiolithen auf die Arabische Platte obduziert und miteinander verschuppt wurden.

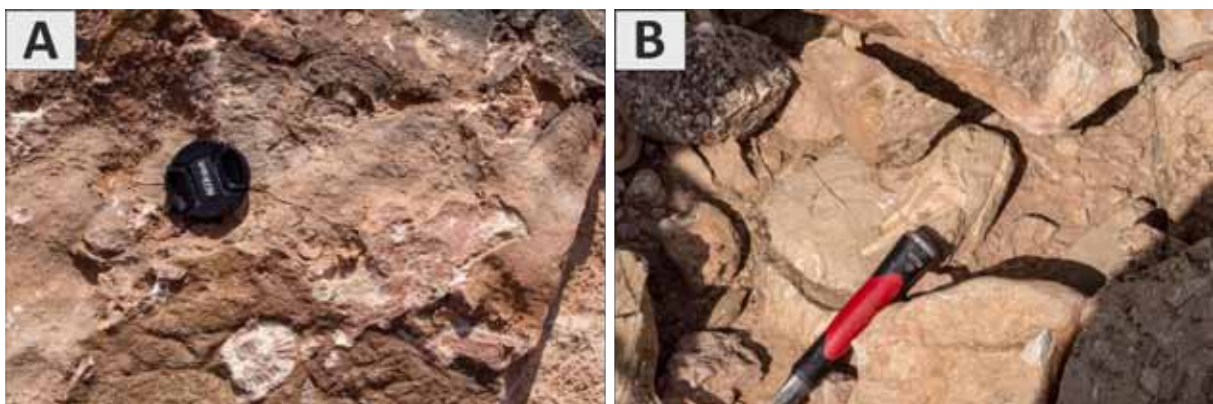


Abbildung 34: Fossile Cephalopoden (A) und Rudisten (B) in allochthonen Kalksteinen

### Stop 3: Sedimente des Hawasina Beckens - Lokation (X, Y UTM Zone 40 Q): 602799, 2528590

Auf den ersten Blick fallen in diesem Aufschluss Rippelstrukturen auf, die sich deutlich auf diversen Schichtflächen klastischer Sedimente abzeichnen. Aufgrund Ihrer asymmetrischen Form sind diese als Strömungsrippel zu identifizieren.

Bei der Betrachtung der Schichtanschnitte sind massige und gradierte, parallel laminierte und von jenen Rippeln gekennzeichnete, bis zu 10 cm mächtige Bänke zu erkennen. Diese können einzelnen Bouma Sequenzen (A-C) zu geordnet werden, mit deren Hilfe die Turbidite (Trübestrome) beschrieben werden.

Die massigen und gradierten Bereiche repräsentieren demnach Einheit A, die entsprechend der sedimentären Strukturen durch eine turbiditische Anschwemmung gekennzeichnet ist. Die parallele Lamination hingegen grenzt Einheit B ab, die sich durch schießendes Wasser auszeichnet und somit eine erste, aber noch geringe Geschwindigkeitsabnahme des Trübestroms markiert. Einheit C ist von den bereits erwähnten Strömungsrippeln geprägt, die wiederum einem niedrigeren Strömungsregime zu geordnet werden als Einheit B („unteres Strömungsregime“ nach William Froude (1810-1879)). Die Einheiten D und E einer kompletten Bouma Sequenz (feine Lamination im unteren Strömungsregime und Hintergrundsedimentation) fehlen hier gelegentlich und sind mutmaßlich Erosion durch nachfolgende Turbidite zum Opfer gefallen. Zusätzlich unterscheiden sich einzelne Schichten in Ihrer Farbe (rötlich oder grünlich), was auf unterschiedliche Liefergebiete hinweist.

Jene klastischen Sedimente sind als prä- und syntektonische Bildungen zu interpretieren, die vor und während der Obduktion (des den Semail Ophiolith umfassenden Deckenstapels) in das zwischen Arabischem Kontinentalrand und Ophiolith befindlichen Hawasina Tiefseebecken geschüttet wurden. Somit ist die Schüttungsrichtung der Trübestrome von großem Interesse, die sich mit Hilfe der Strukturdaten der Schichtflächen und der Strömungsmarken (als Lineare gemessen) und der im Gelände bestimmten Polarität ermitteln lässt (Abbildung 35): Dabei ergibt sich eine südöstliche Schüttungsrichtung von 162°.

*Tabelle 1: Strukturdaten der Schichtflächen*

Dip(°)	Dip Direction (°)
64	295
62	292
60	294
60	296
55	302

*Tabelle 2: Strukturdaten der Strömungsmarken*

Dip(°)	Dip Direction(°)
22	15
23	18
10	15
18	30
16	22



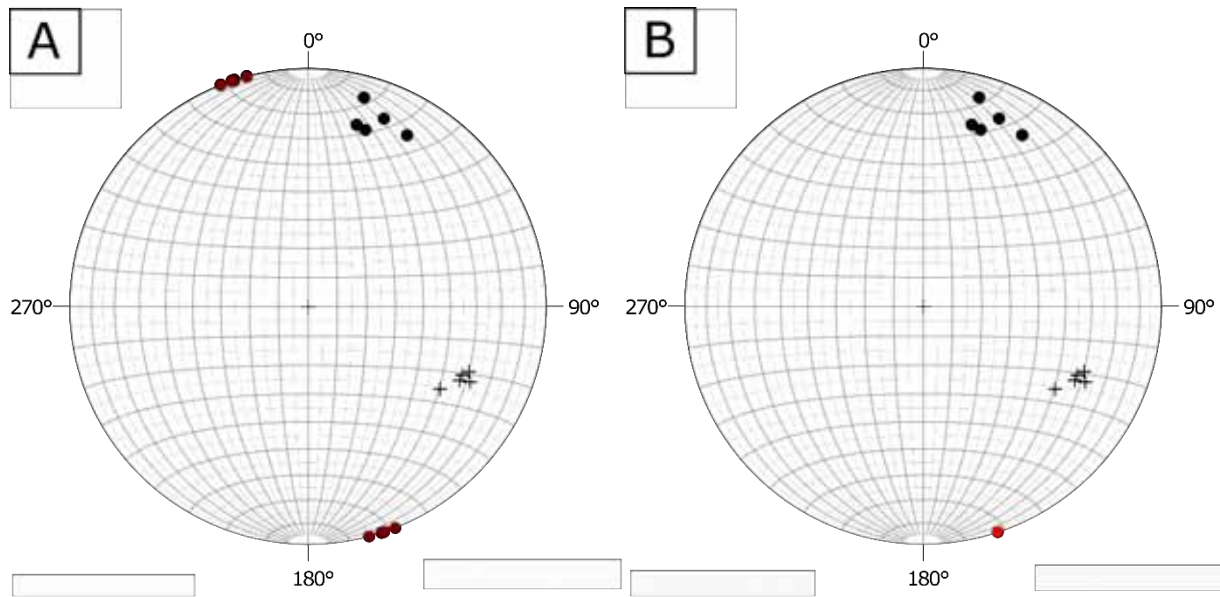


Abbildung 35: A: Projektion der Flächenpole der Schichten (+), Lineare (●) und der in die Peripherie rotierten Lineare (●) zur Ermittlung der in B zu sehenden Schüttungsrichtung (●)

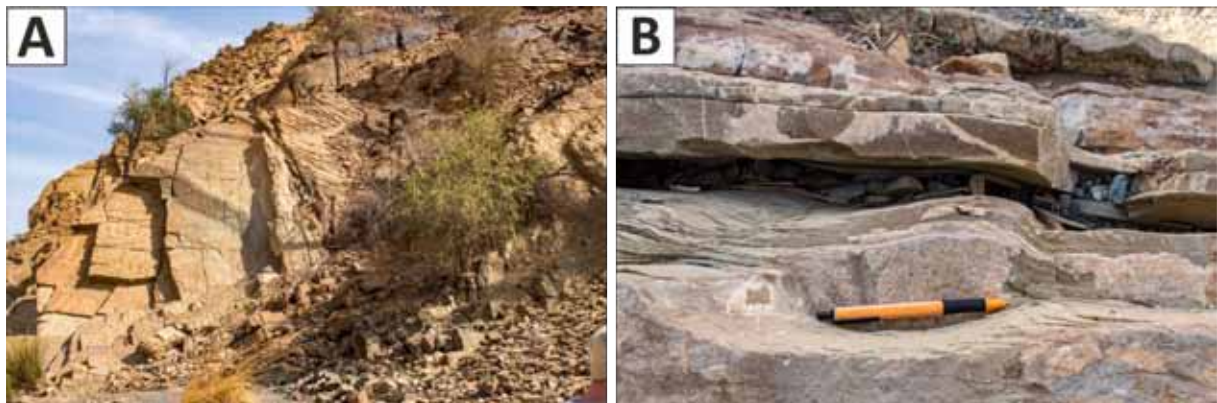


Abbildung 36: A: Strömungsrippeln auf Schichtoberflächen B: Strömungsrippel (Bouma C-Bereich) im Anschnitt einer Turbiditlage, darüber sind die Bouma Sequenzen D (feinlaminiert) und E (toniges Hintergrundsediment, rückgewittert) zu erkennen.

#### Stop 4: Kongruente Falten in Hawasina Sedimenten - Lokation (X, Y UTM Zone 40 Q): 603227, 2529406

In diesem Aufschluss treten Wechsellagerungen von dünnbankigen Radiolariten und kieseligen Schiefertonen auf. Die Mächtigkeit der jeweiligen Lage beläuft sich meist nur auf wenige cm, wobei die Radiolarite grünlich und die Tone meist rötlich erscheinen. Diese Sedimente kamen zwischen dem arabischen Kontinentalrand und Semail Ophiolith befindlichen Hawasina Meeresbecken, unterhalb der Kalk-kompensationstiefe zur Ablagerung. Somit bestehen sie nahezu ausschließlich aus Kieselalgen (Radiolarien) und Tonmineralen.

Das Besondere in dieser Aufschlusslokalität ist ein ausgesprochen enger Faltenbau, wie er nur in gebankten Gesteinen möglich ist, da in diesen die weicheren Tone als Schmiermittel für die Faltenscharniere fungieren.

In diesem Aufschluss wurden Strukturdaten von jeweils zwei Faltenschenkeln aufgenommen, die an einer Radiolarit-Schicht gemessen wurden (Tabelle 3, Abbildung 36 A und B). Die Faltenachse taucht etwa nach Nordwesten ab, somit können jene Radiolarite über die südöstlich befindlichen, jüngeren Flysch-Sedimente aus Stop 3 projiziert werden. Eine solche Verschuppung von älteren auf jüngeren Gesteinen ist häufig innerhalb der allochthonen Hawasina-Formation zu beobachten.

*Tabelle 3: Strukturdaten der in Aufschluss 4 gemessenen Schichtflächen*

Nummer	Dip/Dip direction
1	60/011
1	50/011
2	72/241
2	75/230
3	55/021
3	74/043
4	78/256
4	73/257

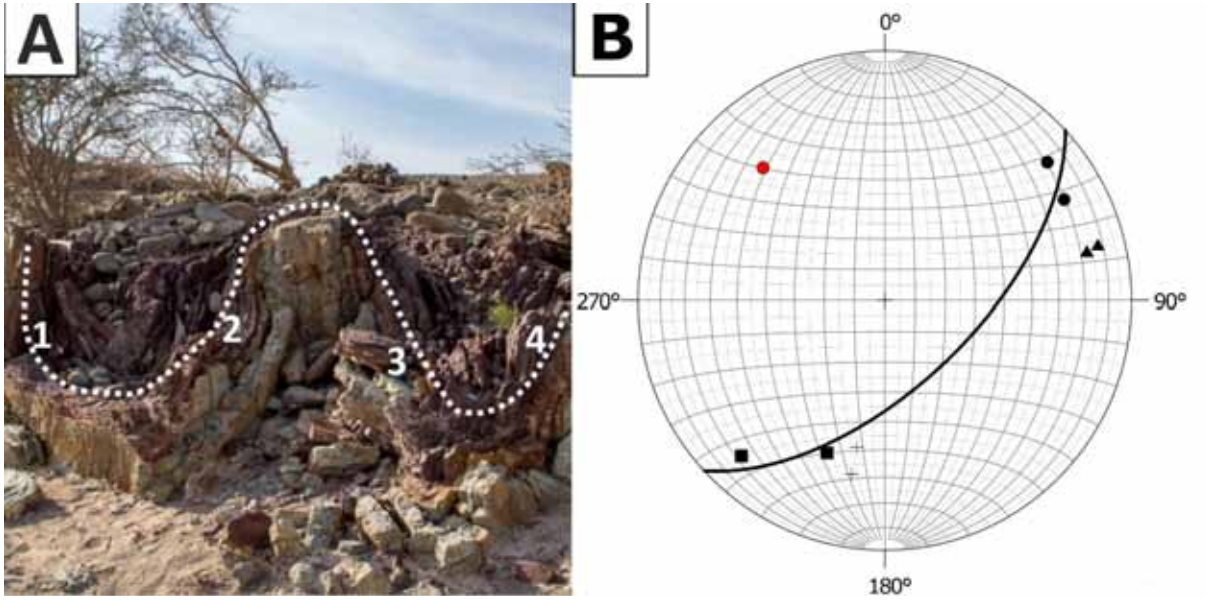


Abbildung 37: A Lokalität der in Tabelle 4 aufgeführten Messungen, B Flächenpole der Messungen(+=1, ●=2, ■ = 3, ▲=4) und der Faltenachse (●)



## 6. Exkursionstag, 15.02. – Salzstock Quarat Kibrit

*von Isabel Detzner*

### **Stop 1: Layered Gabbro - N 25.4721°; E 60.3813°**

Die zwischen Moho und Sheeted Dikes liegenden und 3-4km mächtigen Layered Gabbros bestehen aus einer gradierten Serie von hellen, plagioklasreichen und dunklen mafischen Mineralen (Olivin, Klinopyroxen) in flacher Lagerung. Die Entstehung des Lagenbaus kann durch zwei Theorien beschrieben werden:

#### **Gletscher Modell**

In dem von A. Nicolas beschriebenen Modell, befindet sich am Top einer diapirförmigen Magmakammer eine gering viskose Schmelzlinse. Im Bereich dieser Linse kristallisieren Minerale durch Abkühlung an den Randlagen in orientierter, subvertikaler Richtung aus. Durch laterale Extension des MOR, duktiles Fließen und gravitatives Absinken der Minerale innerhalb der Magmakammer wird die ursprüngliche vertikale Foliation in die Horizontale gezogen. Produkt dieses Prozesses ist ein stark und mit zunehmender Tiefe unterschiedlich ausgerichteteter folierter Gabbro.

#### **Sill-Modell**

J.Köpke führt den Lagenbau dagegen auf die Entstehung magmatischer Kumulate zurück. Die Gradierung der Minerale geht dabei auf fraktionierte Kristallisation zurück. Die Periodizität wird durch wiederholte Sillintrusionen herbeigeführt. Unterstützt wird diese Idee durch die Beobachtung einer Kompositionellen und größenmäßigen Gradierung innerhalb der einzelnen Lagen.



*Abbildung 38: Layered Gabbros direkt über der MOHO (linker Bildteil, markiert durch 3 Büsche knapp über dem Wadi). Lok: Dorf Mahram/Oman.*

## **Stop 2: Plagioklasperidotit - N 25.4649°; E 60.2319°**

Der im Dorf Mahram, unterhalb der Moschee gelegene Aufschluss, zeigt ein sehr dunkles harzburgitisches Grundgestein, das an manchen Stellen oberflächlich serpentinisiert und geringfügig von karbonatischen Krusten überzogen ist. Auffallend sind mm bis cm große, weiße Einschlüsse, die unregelmäßig im Gestein vorkommen. Hierbei handelt es sich um einen Plagioklasperidotit, der im Gegensatz zu Spinell- oder Granatperidotiten, die in großer Tiefe und unter hohen Drucken stabiler sind, viel seltener aufgeschlossen ist. Der Plagioklasperidotit kann auf zwei Weisen entstehen. Einerseits könnte der primäre Peridotit mit einer Schmelze reagieren, indem er wie ein Schwamm ein Fluid aufsaugt und sich Plagioklas in den Poren ausscheidet. Andererseits könnte der Peridotit teilweise aufschmelzen, indem sich an den Tripelpunkten zwischen Olivin, Orthopyroxen und Klinopyroxen neue plagioklasreiche Schmelzen bilden und in situ auskristallisieren, oder an Korngrenzen entlang migrieren. Letzteres scheint hier der Fall zu sein. Lokal sammeln sich diese plagioklasreichen Schmelzen und führen schließlich zu gabbroiden Gängen die vertikal verlaufen. Wir befinden uns hier also inmitten der „Gesteinsküche“ für Basalte!



Abbildung 39: : Plagioklasperidotit bei Mahram: die Plagioklase kristallisierten aus ersten Schmelztröpfchen, die sich isoliert an Tripelpunkten Olivin - Orthopyroxen - Klinopyroxen bildeten.

### Stop: 3: Salzdiapir Kibrit - N 23.7851°; E 51.5434°

Nach einer langen Fahrt durch vegetationsarme, flache Steppe und vorbei an Erdölfeldern mit Bohrtürmen, Tanklagern und Pipelines erreichen wir der Salzstock Quarat Kibrit. Der zentral im Fahud Salt Basin gelegene Salzdiapir erstreckt sich oberflächlich über einen Durchmesser von ca. 500 km. Die Evaporite, v.a Steinsalz, Kalisalz und Gips, werden durch Eisenhydroxide und Eisenoxide unterschiedlich weiß, grau, oder rot bis pink gefärbt. Feuchtigkeit und Niederschläge führen zur oberflächlichen Salzsollenablösung und der Bildung von Karren. Im Salzkörper sind einzelne große Xenolithe von Kalkstein oder anderen Nebengesteinen enthalten.



Das im späten Ediacarium und Kambrium abgelagerte mächtige Salz der Ara Gruppe geriet durch die kretazische Verfaltung des Deckgebirges und den damit einhergehenden Druckdifferenzen im Untergrund in Bewegung. Rund ein Dutzend Diapire stiegen an Störungen aus ca. 5km (in anderen Angaben bis 10km) Tiefe an die Oberfläche. Die karbonatischen Xenolithe (sog. Stringer) wurden beim Aufstieg des Diapirs aus dem Nebengestein herausgelöst und in den Salzkörper eingeschlossen und reicherten sich wegen ihrer geringen Löslichkeit an der Oberfläche an.

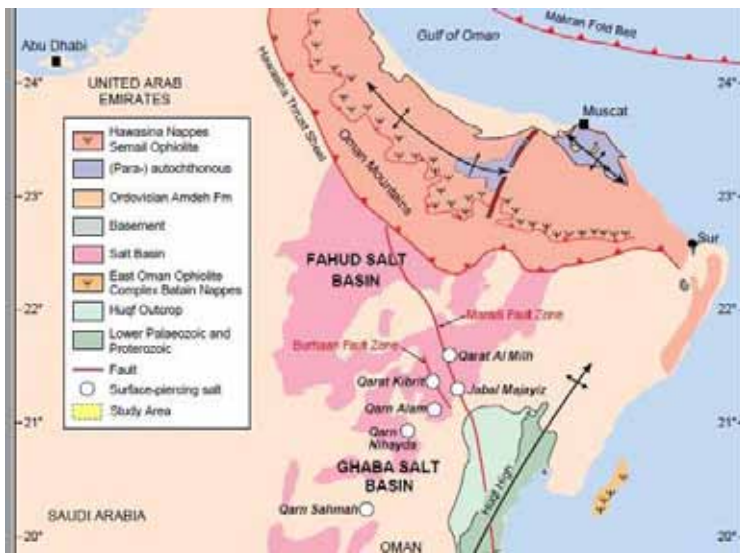


Abbildung 41: Kambrische Salzbecken im Oman.



Abbildung 40: Qarat Kibrit Salzdom (Google Earth).

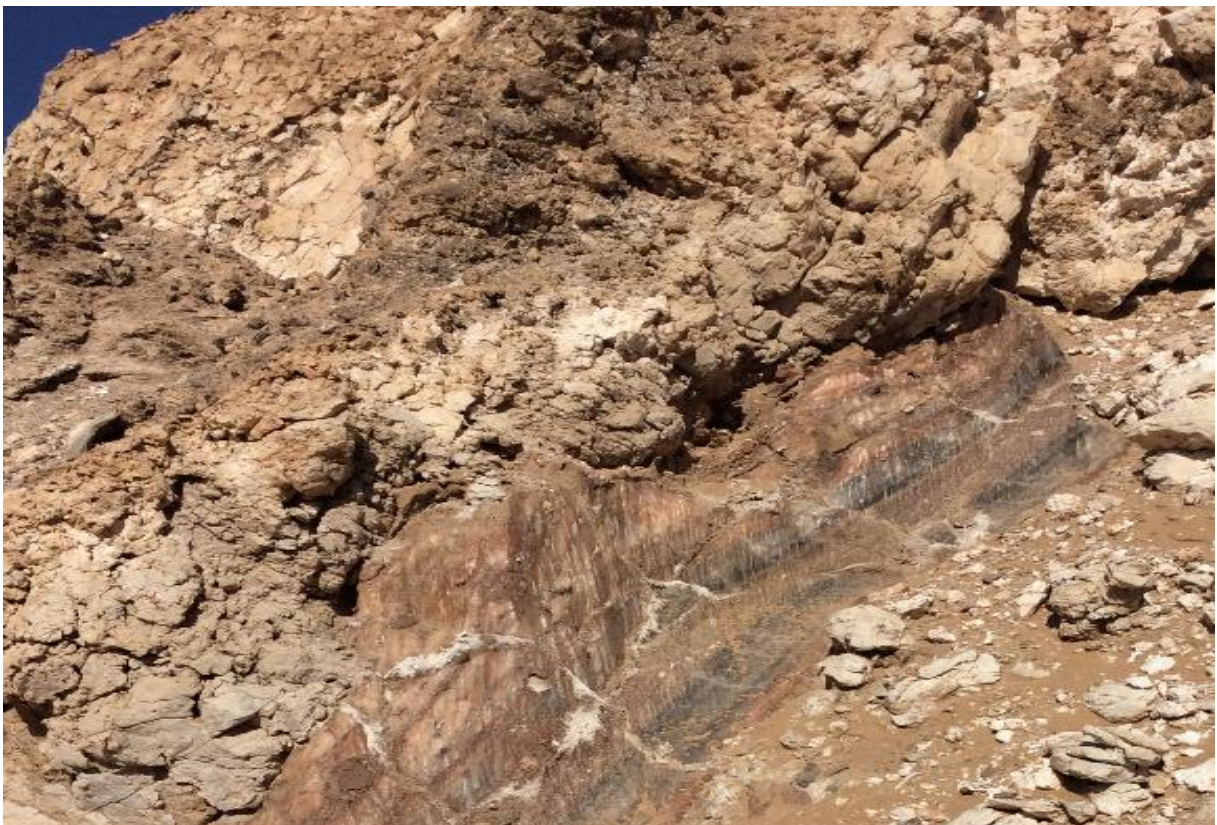


Abbildung 42: gebändertes Salz mit Gipshut. Gipsanreicherungen („caprock“). Als Größenmaßstab: Prof. Siegesmund.





*Abbildung 44: Härtlinge aus Nebengestein im Salz.*



*Abbildung 43: Steinsalz mit Netzwerk von Klüften, am Top*



## 7. Exkursionstag, 16.02. – Fahrt vom Salzdom zum Djebel Akhdar

von Alexandra Kück

### Stop 1: Einführung Djebel Akhdar - 23.09189597; 57.33611897

Der Djebel Akhdar (deutsch: "grüner Berg") ist Teil des Al Hajar Gebirges im Oman und mehr als 3000m hoch. Er besteht aus dem Parautochthon des arabischen Kontinentalrandes und bildet eine Antikline in einem tektonischen Fenster. Der Djebel Akhdar durchbricht die allochthonen Decken der Hawasina Einheit und des Semail Ophioliths, sodass die Karbonate von Perm bis Kreide aufgeschlossen sind (Abbildung 45). Die Permo-Kretazischen Karbonate lagern diskordant auf dem Präkambrium, welches ebenfalls am Djebel Akhdar aufgeschlossen ist.



Abbildung 45: Aussicht vom Djebel Akhdar mit Blick auf Peridotite des Semail Ophioliths (vorne) und Sedimente der Hawasina Decke (hinten).

### Stop 2: Mikritische Mudstones - 23.10422097; 57.356963

In der Oberkreide wurden Beckensedimente abgelagert, die bei geringer Ozeanzirkulation entstanden sind. Bei warmen Klimata und eisfreien Polen fehlt der Antrieb für Tiefenwasserströmungen und die Ozeane geraten in Stillstand. Durch die anoxischen Bedingungen wurde viel organisches Material in die Kalksteine eingebaut, das für eine schwarze Farbe sorgt. Die Gesteine werden als mikritische Mudstones oder „Stinkkalke“ bezeichnet. Sie sind feinkörnig und plattig und weisen Karrenstrukturen auf

(Abbildung 46). Diese sind ein Verwitterungsphänomen, das durch Drainage von Wasser bei Regenfällen entsteht. Des Weiteren sind große Erosionsrinnen (Canyons) zu sehen. Die Gesteine zeigen Spuren von Bioturbation und verschiedene Fossilien sind zu finden. Unter anderem sind Foraminiferen, Seeigel, Gastropoden, Arthropoden und Korallen (Abbildung 46) zu finden. Seeigel kommen in flachem Wasser vor, Gastropoden sind dickschalig und zeigen hohe Wellenenergie an (küstennahe Bereiche). Von endobentonischen Arthropoden (Gliedertiere, hier vermutlich Krabben) wurden Grabgänge gefunden. Foraminiferen und der hohe organische Anteil der Karbonate sind allerdings eher ein Anzeiger für tiefe marine Bereiche. Durch wiederholte Transgression und Regression im Mesozoikum wurden tiefmarine und flachmarine Ablagerungen durchmischt.



Abbildung 46: Karrenstrukturen durch Drainage Verwitterung in mikritischem Mudstone (oben links), Gastropoden (*Nerinea*) (oben rechts), fossile Seeigel (unten links), Koralle in mikritischem Kalkstein (unten rechts).

### Stop 3: Orbitolinenkalk - 23.13779997; 57.41196396

In der Mittelkreide wurden Orbitolina Kalksteine abgelagert. Sie sind älter als die mikritischen Kalksteine, sind aber topographisch höher aufgeschlossen, da die Schichten etwas steiler einfallen, als der Hang. Die Gesteine zeigen besonders große Foraminiferen, Muscheln und Ooide (Abbildung 47). Die namensgebenden Orbitolina sind in Ooidkalken zu finden, die mit Sparit verwachsen sind. Außerdem sind Serpuliden (kalkabscheidende marine Würmer) zu finden (Abbildung 47), diese zeigen hohe Salinität an. Die Ablagerung erfolgte vermutlich in einer Lagune mit terrigenem Eintrag und hoher Salinität.





Abbildung 47: Oolitischer und bioklastischer Kalkstein aus der Mittelkreide.



Abbildung 48: Orbitolina im Kalkstein



#### **Stop 4: Oolithische Kalke - 23.14674899; 57.42436901**

Weitere Oolithische Kalke sind ein Stück weiter die Straße hoch aufgeschlossen. Sie enthalten kontinentale Klasten, Foraminiferen, Ooide und Pelloide (Kotpillen von Krabben oder Würmern). Das Bildungsmilieu ist eigentlich nicht typisch für Ooide, sie bilden sich normalerweise in bewegterem Wasser. Hier wurden sie vermutlich bei Stürmen von der Lagunenfront in das Becken geschwemmt.

#### **Stop 5: Aptychen Kalk - 23.16602997; 57.42088096**

Im Jura wurden dunkle feinbankige Kalke mit Aptychen (= Klappen bzw. Kauwerkzeuge von Ammoniten) abgelagert. Die Anwesenheit von Calpionellen zeigt die Grenze zwischen Jura und Kreide an. Die Gesteine weisen Rutschfalten auf (enge Falten in harten Schichten). Da die Schieferung steiler ist, als die Schichtung, befindet sich der Aufschluss an der Südflanke des Sattels und in aufrechter Position. Die Schieferung entstand durch Aufwölbung und Rücküberschiebung unterhalb der jurassischen Riffe. Im Jura gab es Perikontinentalmeere mit viel organischem Material durch hohe Bioproduktion. Die Gesteine mit hohem organischem Anteil sind oftmals Erdölmuttergesteine.

#### **Stop 6: Trias Kalke - 23.173299; 57.429806**

Die triassischen Kalke des Djebel Akhdar sind dickbankig, während die jurassischen Kalke eher feinbankig bis mergelig sind. Die triassischen Kalke sind oft dolomitisiert und laminiert bzw. rekristallisiert. Sie enthalten Megalodonten (herzförmige Muscheln).

#### **Stop 7: Permische Kalke - 23.17270104; 57.42190297**

Permische dunkle Kalke bilden hier eine kleine Rampenantiklinale (Abbildung 49), die durch die tektonischen Prozesse bei der Aufschiebung des Ophioliths und der Überschiebung der Hawasina Decken in der Oberkreide entstand – ein kleines Modell für die Bildung der großen Antiklinale des Djebel Akhdar.

#### **Stop 8: Grenze Perm-Kambrium - 23.20218497; 57.39157003**

Die Grenze zwischen permischen Kalksteinen, kambrischen Kalksteinen und Glimmerschiefern ist in Abbildung 50 zu sehen. Das Perm lagert horizontal diskordant auf den steil einfallenden kambrischen Gesteinen. Die Diskordanz repräsentiert eine Zeit der Nichtablagerung bzw. Erosion.



Abbildung 49: Rampenantiklinale in permischem Kalkstein



Abbildung 50: Permische Kalke liegen diskordant auf kambrischen Kalcken und Glimmerschiefern

## 8. Exkursionstag, 17.02. – Hawasina Decke

von Fabian Zahnw

### Snowball Earth – Perm-Präkambrium-Diskordanz – Hawasina-Decke

Der sonnige, zumeist wolkenlose Tag begann um 8 Uhr mit einer kleinen Wanderung auf einen Hügel am Rand des Wadi Mistal in der Jabal Akhdar Region.

#### Stop 1: Snowball Earth Aufschluss - 23°19'79" N, 57°49'34" E

Im ersten Aufschluss stehen Gesteine des „Cryogenium“ (eine Kälteperiode des späten Präkambriums) an. Er ist einer der wenigen bekannten Lokationen, anhand welcher die „Snowball Earth“ These abgeleitet wurde. Die kambrischen, schwarzen Karbonate in der Umgebung fallen vom Aufschluss weg ein und überlagern diesen.

Zu beobachten ist im unteren Bereich des Aufschlusses ein Diamiktit, also ein Gestein mit feinkörniger Matrix, in die sehr grobe Komponenten eingelagert sind. Blöcke bis zu 40 cm Größe schwimmen in einer feinkörnigen, siliziklastischen Umgebung (Abbildung 51). Sie werden als „dropstones“ interpretiert, welche von einem Gletscher an die Küste transportiert wurden und dann von abtauenden Eisbergen in das feinkörnige Sediment des Meeresbeckens gefallen sind.

Den Diamiktit scharf überlagernd, stehen braune und gelbbraune, plattige Karbonate an (Abbildung 52). Diese als „Cap Carbonate“ bezeichneten Gesteine finden sich weltweit über den glazialen Ablagerungen. Es handelt es sich um anorganisch ausgefällte Kalke und Dolomite einer globalen hoch transgressiven Phase, nach dem Abschmelzen des immensen Eisvolumens.





Abbildung 51: Dropstones unterschiedlicher Größe im Diamiktit (Fotos: a. Fußmann, b. Broge).



Abbildung 52: Übergang von Diamiktit zu überlagernden Cap Carbonates; die Füße der Personen markieren die Grenze (Foto: Fußmann).

Am Aufschluss hielt Susann Zickler einen Vortrag zum Thema „Snowball Earth“. In der anschließenden Diskussion wurde herausgestellt, dass es sich bei dem vom Paul F. Hoffmann postulierten, globalen Event um die größte Klimakatastrophe der Erde handelt. Die Durchschnittstemperatur der Erde variierte zwischen  $-50^{\circ}\text{C}$  und  $+50^{\circ}\text{C}$ . Des Weiteren wurden andere Argumente für die Hypothese erläutert. Dazu zählt die Paläomagnetik, mit Hilfe welcher die äquatoriale Lage der glazigenen Gesteine im Cryogenium bestätigt wurde. Abschließend wurde die Rolle von  $\text{CO}_2$  im Vereisungs- (Bindung in  $\text{CaCO}_3$ ) und Abschmelzprozess ( $\text{CO}_2$ -„blow out“) diskutiert.

### **Stop 2: Perm-Präkambrium-Diskordanz - $23^{\circ}23'87''$ N, $57^{\circ}54'58''$ E**

An diesem eindrucksvollen Aufschluss kann eine Winkeldiskordanz an einer mächtigen Felswand beobachtet werden (Abbildung 53). Im Liegenden der Diskordanz stehen präkambrische (500-540 Ma) Kalksteine an, welche zum Großteil aus Stromatolithen bestehen (Abbildung 54). Oberhalb der Schichtlücke liegen permische (ca. 290 Ma) Flachwasserkarbonate vor. Die geologische Geschichte dieses Aufschlusses gliedert sich in: Ablagerung der präkambrischen Stromatolithenkalke und Umgebungssedimentation, Faltung, Hebung und Erosion sowie die anschließende Absenkung und Ablagerung der permischen Kalke.

Am Aufschluss werden Aufbau und Bedeutung von Stromatolithen hervorgehoben. Diese Strukturen bilden Matten aus Cyanobakterien, welche konvex in Richtung Oberfläche in einem Flachwasser-Setting wachsen. Stromatolithen stellen die ersten erkennbaren Fossilien der Erde dar und sind darüber hinaus rezent anzutreffen (z.B. Shark Bay, Australien). Cyanobakterien spielen zudem eine äußerst wichtige Rolle in der Entwicklung der Erde, genauer der Erdatmosphäre. Aufgrund fehlender Konkurrenz konnten sich in der frühen Erdgeschichte große Stromatolithen-Riffe ausbilden, welche die ersten Photosynthese betreibenden Organismen in großer Zahl enthielten. Infolgedessen wurde die  $\text{CO}_2$  haltige Paläo-Atmosphäre mit Sauerstoff verschmutzt und schließlich umgewandelt.





Abbildung 53: Perm-Präkambrium-Diskordanz im Aufschluss (Foto: Fußmann).



Abbildung 54: Präkambrischer Kalkstein mit gut erkennbaren Stromatolithen (Foto: Fußmann).



Zwischen Stop 2 und Stop 3 sollte ein weiterer Aufschluss im Wadi Al Abyad angefahren werden. Da sich die Anfahrt über ein Flussbett mit Blockwerk über 30 cm Durchmesser jedoch als unüberwindbares Hindernis darstellte (Abbildung 55), wurde der Ort lediglich zur kurzen Katzenwäsche in einem kleinen Bachlauf genutzt, ehe die Reise gen Stop 3 fortgesetzt wurde. Das nicht besuchte Profil kann im Exkursionsführer auf Seite 195-196 nachgeschlagen werden.



Abbildung 55: Unüberwindbares Flussbett im Wadi Al Abyad (Fotos: a. Pollak, b. Broge).

### Stop 3: Turbiditserie am Wadi Hawasina - 23°52'41" N, 56°89'91" E

Nach einer längeren Fahrt in das Gebiet des Wadi Hawasina wurde eine jurassische Einheit der Hawasina-Decke begutachtet. Es handelt sich um Beckensedimente, welche unterhalb des überschobenen Ophioliths und der metamorphen Sohle liegen. Im Aufschluss stehen steil einfallende, turbiditische Sedimentgesteine mit siliziklastischer als auch karbonatischer Zusammensetzung an (Abbildung 56). Die vorliegenden turbiditischen Karbonate werden als allodapische Kalke angesprochen. An den Schichtgrenzen sind typische Belastungsmarken, so genannte „load cast“ Strukturen zu erkennen.

Das Gestein enthält diverse Fossilien. Dazu gehören unter anderem Arthropoden in Form von Spurenfossilien, einzelne Grabgänge von Würmern sowie eine große Anzahl von Pflanzen und Pflanzenresten. Die Anwesenheit von Neohamites, Stammreste eines kleinen Baumes, bestätigt das jurassische Alter der Gesteine.

Das Sedimentgestein wurde in einer marinen Randfazies gebildet. Herauszuheben ist ein hoher Eintrag an organischem Material und kontinentaler bzw. fluviatiler Einfluss im Sediment. Das Auftreten von Hellglimmer im Gestein bestätigt diese Annahme.



*Abbildung 56: Steil einfallende Schichten einer jurassischen Turbiditserie (Foto: Fußmann).*

#### **Stop 4: Flyschabfolge am frischen Straßenaufschluss nahe Stop 3**

Der spontane Stop an einem frisch angeschnittenen Straßenaufschluss bot einen exzellenten Blick auf die stark gefalteten und zerscherten Hawasina-Sedimente im Bereich der Überschiebungsschuppen (Abbildung 57). Im Aufschluss ist eine rhythmische Flyschabfolge aufgeschlossen, welche Silt-, Kalk-, Tonstein und Mergel beinhaltet. Die gut erkennbare, pendelnde Schieferung fällt flacher als die Schichtung ein, der Aufschluss befindet sich im Bereich eines überkippten Schenkels.

Das Sediment wurde in einem sehr proximalen Bereich, eventuell deltaisch in einem großen Fluss abgelagert. Es handelt sich um ruhige sedimentäre Wellenablagerung, welche einen wechselnden marinen (dünnbankige Kalke) und kontinentalen (dickbankige Sandsteine) Einfluss widerspiegelt.



*Abbildung 57: Komplex gefaltete und zerschnittene Flyschabfolge (Foto: Fußmann).*

Die Faltung sowie Scherung ist auf die Überschiebung des Semail-Ophioliths zurückzuführen. Die Gesteine wurden im Bereich der Überschiebung mitgeschleppt, disharmonisch gefaltet, rotiert sowie sehr komplex und hochgradig zerschnitten. Die Störungen treten vor allem im Scharnierbereich der Falten auf (Abbildung 58).



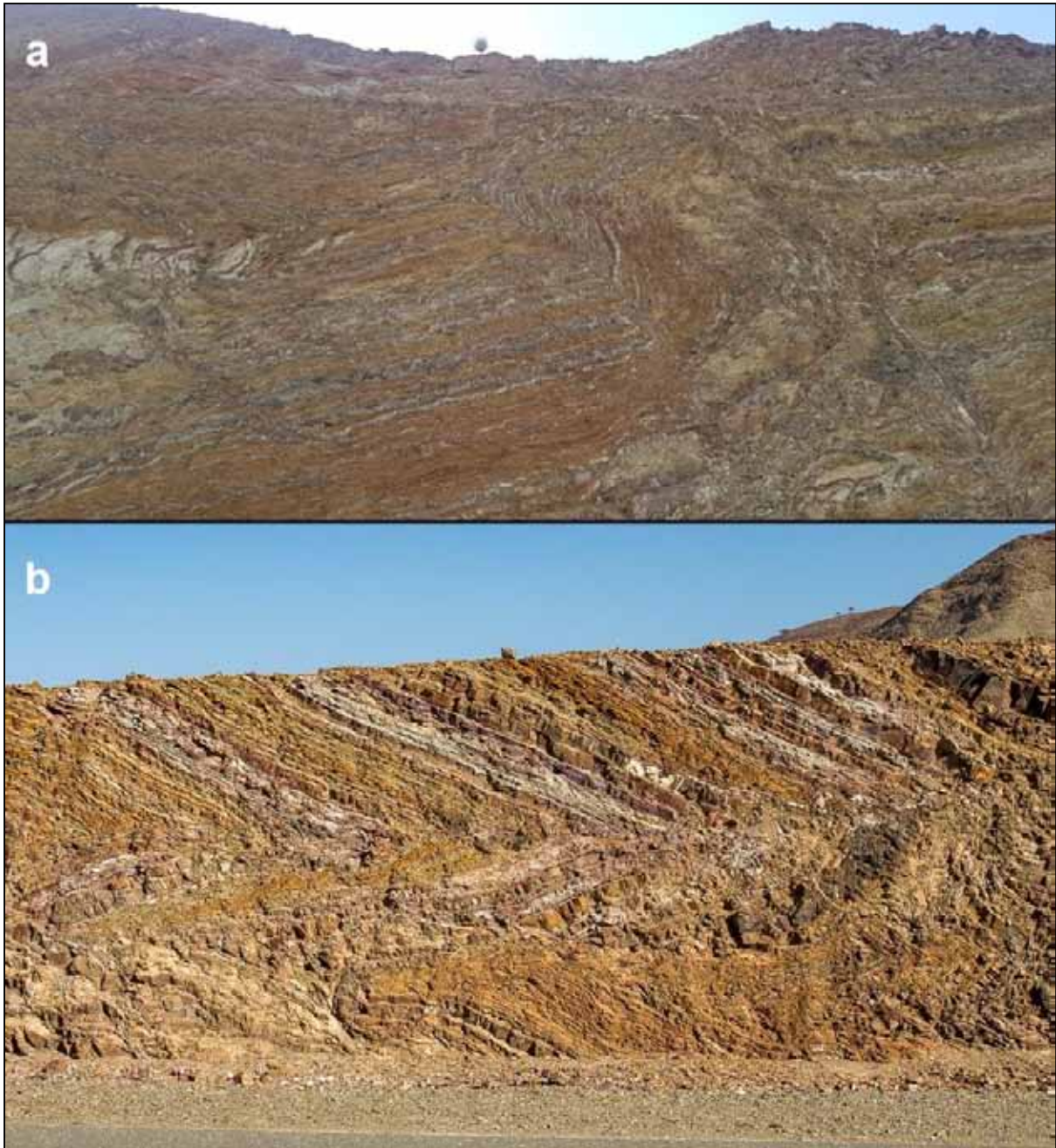


Abbildung 58: Gefaltete und teilweise zerscherte Bereiche des Flysch. a) Disharmonische Falten mit gestörten Scharnierbereichen (Foto: Broge) b) Liegende Knickfalten (Foto: Fußmann).

Am Abend wurden, nach der Reparatur einer Reifenpanne, folgende vier Vorträge gehalten: Sofia Pascual: Plate tectonic scenarios in the Arab region, Hildegard Vogelsang: Petrologische Bildungsbedingungen zur Entstehung von Duniten, Wehrliten, Mantle Transition Zone (MTZ) und Chromite, Macielle Deiters: Charakteristika und Bildung von Listveniten und Theis Winter: Paläogeographie der Hawasina-Decke

## 9. Exkursionstag, 18.02. – Hawasina Basin

*von Sofia Pascual*

### **Stop1: Hawasina basin - Lat 23,6703°, Long 56,9173°**

Very close from where we slept, we found sediments of the Hawasina basin layered and folded by overturned folds. Also fossils can be found, such as thalassinoides galleries and wood. The gradation in grain size can be seen in sandstone layers, above fine grain and below coarse grain. In one layer we could see some small ripples that could be showing the polarity of the layer. Cleavage is steeper than folds.



*Abbildung 59: Folds in Hawasina basin.*





*Abbildung 60: Fossilized wood.*

**Stop 2: Hawasina basin - Lat 23,6737°, Long 56,9127°**

In this location we can find a very thick laminated layered rock, where these layers have different thicknesses (>1mm, <1mm, <0,1mm), the reason is not clear but could be a metamorphic effect.

Some layers present a green coloration, the reason is not clear, but could mean some process as chloritization or oxidation. Some layers show also current marks what is a proof of transportation. Cleavage is steeper than stratification.





*Abbildung 61: In the photo it is possible to distinguish various layers of different thicknesses. (Foto: D. Fußmann).*

### **Stop 3: Hawasina basin - Lat 23,6633°, Long 56,9098°**

In this outcrop we can see a coarse grained sandstone (almost gravel), which is gradated, above coarse grain and below fine grain.

Also is possible to appreciate different types of deformation, such as boudinage, paleo-desiccation cracks which could indicate the polarity direction of the layer, and the most important feature in this outcrop are the re-folding folds. This feature involves two folding events and rotation.



Abbildung 62: Boudinage in this outcrop.



Abbildung 63: Paleo-desiccation cracks.



At 10:50 a.m. we made a technical stop to fix a van-wheel, do some shopping and also time was used to plot the structural data taken on day 5 (14.02.) into a Schmidt net, the purpose was to review the topics: insertion of planes and lines and rotation.



*Abbildung 64: The group plotting structural data on the roadside. (Foto: N. Pollak).*

#### **Stop 4: „Geotimes“ pillow lavas - Lat 24,2848°, Long 56,3919°**

In Wadi Jizzi we can find the so called „Geotimes“ outcrop (due to a famous cover of the homonym Magazine) which consists of pillow lavas created by underwater slow flow of lava, lavas V1. These pillows are overlaid by other basalts, lavas V2.





Abbildung 65: Pillow lavas from the "Geotimes" outcrop. (Foto: N. Pollak).



Abbildung 66: Detail of a pillow lava. (Foto: N. Pollak).



The pillow lavas are crosscut by two green dikes of about 1m width, which are a boninite gang with chilled margins. One of these dikes shows a dike-in-dike structure, what means that a dike was intruded by a younger one. It is assumed that the older dike was still hot during this event.



Abbildung 67: Dike-in-dike structure with chilled margins.



*Abbildung 68: Detail of the dike-in-dike structure with chilled margins.*

After a short pause for lunch, we heard the presentations of Isabel Detzner – „Ein kleiner Exkurs in die Besiedlungsgeschichte“ and Calvin Klein – „Vom MORB zum Boninit-Vulkanismus der extrusiven Kruste des Oman Ophioliths“.

#### **Stop 5: Antike Kupferlagerstätten - Lat 24,3476°, Long 56,4125°**

Near to Wadi Jizzi there is an abandoned open-pit of VMS copper deposits. These deposits are formed by the transportation through hydrothermal fluids in basalts and precipitate when get in contact with the seawater. This deposit is rich in chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ ) and malachite as secondary mineral. Due to pyrite oxidation acid iron solutions are produced (gossan).





*Abbildung 69: Abandoned open-pit copper mine. (Foto: N. Pollak).*

After camping in the vicinity of the „black smoker“ outcrop, the following presentations took place:  
„Entwicklung von Black-Smoker-Lagerstätten. Entwicklung von Eisernen Hüten“ by Falko Malis and  
„Hydrothermale Alteration der Ozeankruste im Oman“ by Fabian Zahnow.

## 10. Exkursionstag, 19.02. – Eiserner Hut

*von Theis Winter*

**Stop 1 Eiserner Hut Koordinaten: Lat: 24.19 °N Lon: 56.52 °E**

Der erste Aufschluss am zehnten Tag führte uns zu einem Eisernen Hut (engl. Gossan) (Abbildung 70). Bei einem Eisernen Hut handelt es sich um die bräunliche Verwitterungszone über einer Sulfidlagerstätte. In unserem Fall hat wohl ein Feld von Black Smokern am Meeresgrund das umliegende Gestein mit Erz imprägniert und alteriert. Das Umgebungsgestein ist in diesem Fall ein Pillow-Basalt.



*Abbildung 70: Wanderung zum Eisernen Hut. Einer Kupferlagerstätte in einem durch Black Smoker alterierten Basalt.*

Durch die hydrothermale Aktivität und eine tiefgreifende Zirkulation heißer Fluide mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung, wurde der Komplex vollständig alteriert. Der weniger zersetzte Basalt außerhalb der Kernzone hat eine grünliche Farbe und am Rand der einzelnen Pillows befindet sich ein glasiger Bereich. In der Kernzone ist ein Großteil des ursprünglichen Mineralbestands ausgelaugt, so dass nur ein weißes und sehr poröses Gestein übrigbleibt, das mit Basalt keine Ähnlichkeit mehr aufweist. Darin kam es auch lokal zur Bildung von Epidot und Calcit (Abbildung 71).



Abbildung 71: Alterierter Pillow-Basalt mit Epidot und Calcit.

Die hydrothermale Alteration geschieht durch das Einpressen von Meereswasser in den Basalt durch den Druck der Wassersäule. Im Basalt erwärmt sich das Meerwasser und löst Bestandteile aus dem Basalt. Die Fluide zirkulieren durch Druck- und Temperaturunterschiede im Gestein und können wieder aufsteigen, insbesondere, wenn sie sich der kritischen Temperatur von 364°C (bei 22 MPa, also etwa 2km tief im Gestein) nähern, wo das Wasser stark an Volumen zunimmt. Kommt es am Meeresboden in Kontakt mit dem kalten Bodenwasser, können sich Black Smoker bilden. Es fallen die gelösten Minerale wieder aus und können Erzlagerstätten bilden (Abbildung 72). Durch den unterschiedlichen Chemismus und pH-Wert der Fluide entstehen verschiedenartige Lagerstätten. In diesem Fall handelt es sich um eine Kupferlagerstätte die überwiegend aus Kupferkies besteht, von dem man im Eisernen Hut aber heute nur die Umwandlungsprodukte Malachit und Azurit findet. Eine Höffigkeitsabschätzung hat einen Erzkörper von 250 x 100 m Ausdehnung ergeben, mit einem Kupfergehalt von etwa 2,8%. Die Lagerstätte begrenzt sich lokal auf den Eisernen Hut, wobei es in der näheren Umgebung weitere Eiserne Hüte gibt. Insgesamt erscheint der Abbau nicht rentabel.





*Abbildung 72: Alterierter Basalt mit Kupfererzen und Calcit (Foto: Nikolas Pollack).*

Neben dem Basalt kommen noch Radiolarite vor, die von schwarzen Mangankrusten überzogen sind. Stellenweise kommen Manganknollen vor.

**Stop 2 Basaltsäulen Koordinaten: Lat: 24.18 °N Lon: 56.53 °E**

Am zweiten Stop des Tages fanden sich Säulenbasalte (Abbildung 73). Basaltsäulen entstehen durch die Volumenabnahme eines Lavaflusses. Die Schrumpfungsriffe liefern gute Wegsamkeiten für Oxidation und deszendente Wässer, welche die Entstehung von Eisernen Hüten, wie im Stop 1; begünstigen können.



*Abbildung 73: Basaltsäulen mit Schrumpfungsrissen am Stop 2.*

Nach dem zweiten Stop ging es nach Sohar an der Küste um dort einen kaputten Reifen zu wechseln und die Auswertung der Flysch-Falten und Strömungsmarken mit dem Schmidt'schen Netz nachzuholen. Danach ging es zu einer langen Fahrt durch den omanischen Verkehr über Muscat in Richtung Yiti, wo bei einem malerischen Sonnenuntergang erstmals nach langer Zeit im indischen Ozean gebadet werden konnte. An dem Strand wurde auch das letzte Camp der Exkursion aufgebaut (Abbildung 74Abbildung 74).



*Abbildung 74: Letztes Camp mit Ausblick auf den indischen Ozean.*



## 11. Exkursionstag, 21.02. – Fahrt über Yiti durchs Wadi Majh und zurück nach Maskat

von Susann Zickler

Der elfte Exkursionstag startete am Strand von As Sifah, ca. 35 km südöstlich von Maskat. Von dort ging es nach einem stärkenden Frühstück zu Fuß zum ersten Aufschluss des Tages. Der Strandaufschluss befindet sich nördlich in einer Bucht neben dem Strandabschnitt an dem das Nachtlager aufgeschlagen wurde, so dass festes Schuhwerk notwendig war um über die Sturzmassen, am Fuße der Klippe, zu gelangen.

### Stop 1: Hochdruckgesteine - Lat.: 23.454; Lon.: 58.780

Nach der ca. 15-minütigen Kletterei um die Klippe herum, wurde die Exkursionsgruppe mit einigen Krebsen und einem fantastischen Aufschluss belohnt.

Der Aufschluss befindet sich im Saih Hatat Fenster. Unterteilt wird das Saih Hatat Fenster in drei Einheiten, die durch flache Überschiebungen voneinander getrennt sind. Die aufgeschlossenen Gesteine werden zu der As Sifah- (Diqdah-) Einheit gezählt und werden als hochgradig metamorphe Blauschiefer und Eklogite beschrieben. Untersuchungen konnten den Gesteinen eine spätere retrograde Metamorphose nachweisen, die vermutlich während einer mehrphasigen Exhumierung stattfand.

Der Mineralbestand der aufgeschlossenen Gesteine kann wie folgt beschrieben werden. Auffällig sind fast idiomorphe Granate unterschiedlichster Größe, die eine bräunlich-rötliche Verwitterungsfarbe und oft einen retrograden Kelyphitsaum zeigen (Abbildung 75). Die Matrix ist phengitreich (Hochdruckphase des Muskovits) und enthält grünliche Omphazite, die farbgebend sind sowie vereinzelt Glaukophan



Abbildung 75: Eklogit mit fast idiomorphen Granaten (grt).



Abbildung 76: Glaukophan (gln) in Gesteinen der Blauschieferfazies.

(Abbildung 76). Neben diesen Mineralen wurde auch Biotit und Epidot als retrograde Phase gefunden, sowie auf Quarzklüften kleine Mengen von Rutil und Hämatit (Abbildung 77).



Abbildung 77: In diesem Gesteinsstück wurde neben Rutil vereinzelt Hämatit gefunden.

Dieser Aufschluss stellt einen Schlüssel zur Platznahme des Semail-Ophioliths dar. Die Gesteine des arabischen Kontinentalrandes wurden bis zu 70 km tief nach Norden unter die Obduktionsdecke des Semail-Ophioliths versenkt und erfuhren dort ihre hochdruckmetamorphe Umwandlung und durch die nachfolgende rasche Exhumierung eine retrograde Überprägung. Der genaue Zusammenhang zwischen Obduktion des Semail-Ophioliths und der Bildung und Exhumierung der Hochdruckgesteine, konnte jedoch noch nicht eindeutig geklärt werden.

An diesem Aufschluss wurden noch zwei Vorträge von Studenten gehalten. Die Themen beschäftigten sich mit den aufgeschlossenen Hochdruckgesteinen sowie mit der Geochronologie des Semail-Ophioliths.

## Stop 2: Alte Dorfstruktur

Am Straßenrand des Wadi Majh lag ein altes Dorf. Hier ist die ursprüngliche Struktur vor 1970 erhalten. Gut erkennbar ist die Aufgabe von alten, sanierungsbedürftigen Häusern. Statt die alten Häuser zu renovieren wurden neue daneben gebaut (Abbildung 78).



Abbildung 78: Altes Dorf im Wadi Majh.

**Stop 3: sheath fold (Zungenfalte) - Lat.: 23.502; Lon.: 58.626 und Lat.: 23.427; Lon.: 58.542**

Der dritte Stop des Tages befindet sich im Wadi Majh und wurde von der Gruppe auf der Rückfahrt nach Maskat angefahren.

Die aufgeschlossenen Kalksteine zeigen eine Mächtigkeit von mehreren hundert Metern, in die sich das Wadi Majh einschneidet. Im Aufschluss sind sie spektakulär in liegende, enge Falten gelegt.

Geologisch befindet sich der Aufschluss ebenfalls im Saih Hatat Fenster, allerdings in einem deutlich niedrigeren Bereich der Metamorphose. Das Besondere am Wadi Majh ist, dass hier viele mächtige und weitreichende Faltenstrukturen sichtbar sind. Dabei handelt es sich um die weltgrößten sheath folds (Abbildung 79). Charakteristisch für diese Strukturen sind stark gekrümmten Faltenachsen die über mehrere Kilometer, hier bis 27 km, verfolgbar sind. Gebildet werden diese Faltenstrukturen bei großen Überschiebungen, wenn das unterliegende Material nicht gleichmäßig mitverfrachtet wird und es so zu einzelnen Verzerrungen kommt. Anhand der Faltenstrukturen ist erkennbar, dass die Überschiebung vom Meer ins Landesinnere erfolgte. Neben diesen besonderen Großstrukturen der sheath folds konnten auch Scharnierkollapse (hinge collapse) und der untere Teil eines überkippten, liegenden Sattels betrachtet werden (Abbildung 80 & 81).





*Abbildung 79: Liegende Falten in Kalken des Wadi Majh.*

Unter einer augenförmig-konzentrischen Form einer solchen sheath fold wurde der letzte Vortrag zum Thema Wasserwirtschaft im Oman gehalten. Mit diesem Vortrag in der beeindruckenden Kulisse geht auch der geologische Teil der Exkursion zu Ende. Im Anschluss an den letzten Vortrag erfolgte die Rückfahrt nach Maskat. Im Hotel angekommen haben sich alle nach der erfolgreichen Rückgabe der Autos auf das Hotelzimmer mit seinen sanitären und räumlichen Einrichtungen gefreut. Nach einer ausgiebigen Dusche haben sich besonders die weiblichen Exkursionsteilnehmerinnen auf einen Besuch im Hotelpool gefreut. Da gerade Frauenbadetag war, war der Zugang allen männlichen Hotelgästen untersagt. Nachdem alle Exkursionsteilnehmer nun wieder frisch waren, konnte der letzte Exkursionsabend bei einem gemeinsamen Abendessen, zu dem Prof. Dr. Lammerer einlud, in einem indischen Restaurant unweit des Hotels ausklingen.



Abbildung 80: Scharnierkollaps.



Abbildung 81: Faltenstruktur im Wadi Majh.

## Danksagung

Das eigentliche Labor für die Studierenden der Fachrichtung Geowissenschaften ist die Erde. Exkursionen sind daher ein wesentlicher und unabdingbarer Bestandteil des Lehrprogramms der Geowissenschaften.

Für die großzügige Unterstützung dieser Geländeübung durch die Fakultät für Geowissenschaften bedanken sich alle Studenten sehr. Alle Studierenden und Promovierenden sind zusätzlich aus zentralen Studienqualitätsmitteln (SQM) durch die Abteilung Göttingen international gefördert worden. Insbesondere danken wir Herrn Prof. Siegfried Siegesmund für diese großartige, interessante und lehrreiche Exkursion, die nur durch einen hohen Aufwand der Organisation seinerseits möglich war und nicht mit der Vorbereitung endete. Unser besonderer Dank gilt ebenfalls Herrn Prof. Bernd Lammerer der eine große Bereicherung für die unzähligen Diskussionen im Gelände und Hilfestellungen in der Vor- und Nachbereitung war. Herrn Prof. Gösta Hoffmann danken wir für die bereichernden ersten zwei Exkursionstage, die durch die lebendige und sehr anschauliche Präsentation seiner langjährigen Forschungen im Oman einen wesentlichen Beitrag für eine schnelle Ankunft in Land und Geologie unsererseits beitrugen.



## Impressionen



Prof. Dr. Gösta Hoffmann





Ein seltener Moment, in dem der Schatten für einen Vortrag genutzt werden konnte





Wechsel von Korallenriff, terrestrischem Konglomerat und erneut Korallenriff





Dr. Horst Kämpf im Gespräch mit einer Studentin





Auch Dinge, die nur von weiter Entfernung zu sehen sind, werden von Prof. Lammerer erklärt





Trotz der starken Hitze begibt sich die Gruppe in Richtung der Längsdünen der Whabi Sands





Das typische Nachtlager



Notizen machen unter der prallen Sonne



Dr. Christina Flechsig





Kurze Pausen wurden genutzt, um die atemberaubende Landschaft zu genießen





Ein seltener Anblick: das kühle Nass





Der Geotimes Aufschluss der Pillow-Basalte wurde als Fotomotiv mehrfach ausgenutzt





Nicht nur die Frauen, sondern auch die Männer nutzen den Aufschluss fürs Fotoshooting





Prof. Dr. Siegfried Siegesmund



Typische Auto-Formation für das Nachtlager





Prof. Dr. Bernd Lammerer





Eine wohltuende Erfrischung nach 7 Tagen





Anschauliche Erklärungen von Prof. Siegesmund





Dr. Ruben Doncel Lopez beim Frühstück





Sonnenaufgang über den Bergen



Die Damen der Gruppe am letzten Tag der Exkursion im Hotel