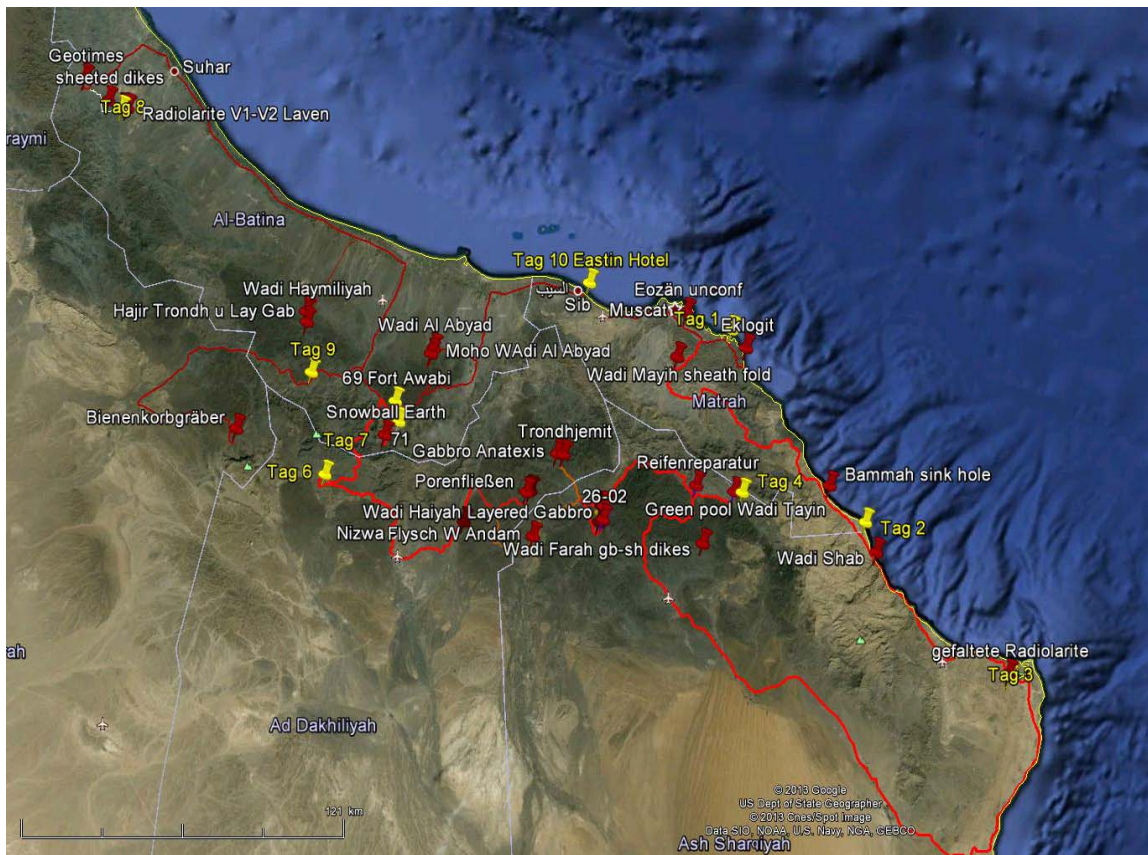


# Protokoll zur geologischen Oman Exkursion der Universität Göttingen 2013

21. Feb. – 5. März 2013

Leitung: Prof. Dr. Siegfried Siegesmund (Uni Göttingen), Prof. Dr. Bernd Lammerer (LMU München)

Gastführer: Prof. Dr. Gösta Hoffmann, German University of Technology (GUTECH), Oman



Fahrtroute. rote Pins = ausgewählte Aufschlüsse, gelbe Pins = Übernachtungsplätze

Studentische Teilnehmer: Alexander Schaaf; Carl Santelmann; Christian Nikolajew; Christopher Pötzl;  
Erika Heinrich; Hannes Räuschel; Jan Tomasek; Janeta Klaus; Kathrin Nuetzmann; Maximilian  
Döhmann; Maximilian Troche; Ninja Braukmüller; Sebastian Eschstruth; Thilo Hartung;  
Tim-Lorenz Schaefer; Tobias Woznitza

## Protokoll Tag 1 (22. 2. 2013) Kathrin Nützmann

### Ca. 13.00 Uhr: Ankunft in Maskat/Oman

Begrüßt von 30°C und purer Sonne empfing uns Nils Frank, Msc- Student an der German University of Technology (GU-Tech) in Oman am Flughafen in Maskat.

Bereits am ersten Stop am Strand von Maskat wird die Gefährdung des Omans durch Hochwasser und Tsunamis deutlich. Die Uferböschung weist eine ca. 3 cm mächtige Schilllage aus Molluskenschalen und Korallenbruchstücken auf, die als Sturm- oder Tsunamiablage interpretiert wird. Die umgelagerten Molluskenschalen wurden auf ein Alter von 35.000 Jahre datiert, die umgebenden Sande auf ein Alter von 32.000 bis 45.000 Jahre.

Aufzeichnungen über vergangene Tsunamis und Unwetter existieren in Oman nicht. Den Forschern der GU-Tech ist es durch Personenbefragungen und Recherchen an indischen Wetteraufzeichnungen jedoch gelungen einen Tsunami aus dem Jahr 1945 zu rekonstruieren, auf den die Schilllage möglicherweise zurückgeht.



*Abb. 1 Strandaufschluss von Al Gubrah nahe Maskat – Diskussion über Sturm- bzw. Tsunamiablagerungen*

Der zweite Stop am Ostrand der Hauptstadt zeigt eine Aussicht über den vorwiegend von indischen Fremdarbeitern bewohnten Stadtteil Ruwi und das um Maskat gelegene Bergland. Die rasant wachsende Bevölkerung sucht Wohnraum, der zunehmend in das Bergland hineinwächst und wofür nicht selten Teile der Berge weggesprengt werden.



*Abb. 2 Blick über Süd-Maskat, das sich in die dunklen Harzburgitberge ausbreitet. Die eozänen Kalke (hellgelblich) fallen landwärts ein, sie sind an listrischen Abschiebungen verstellt.*

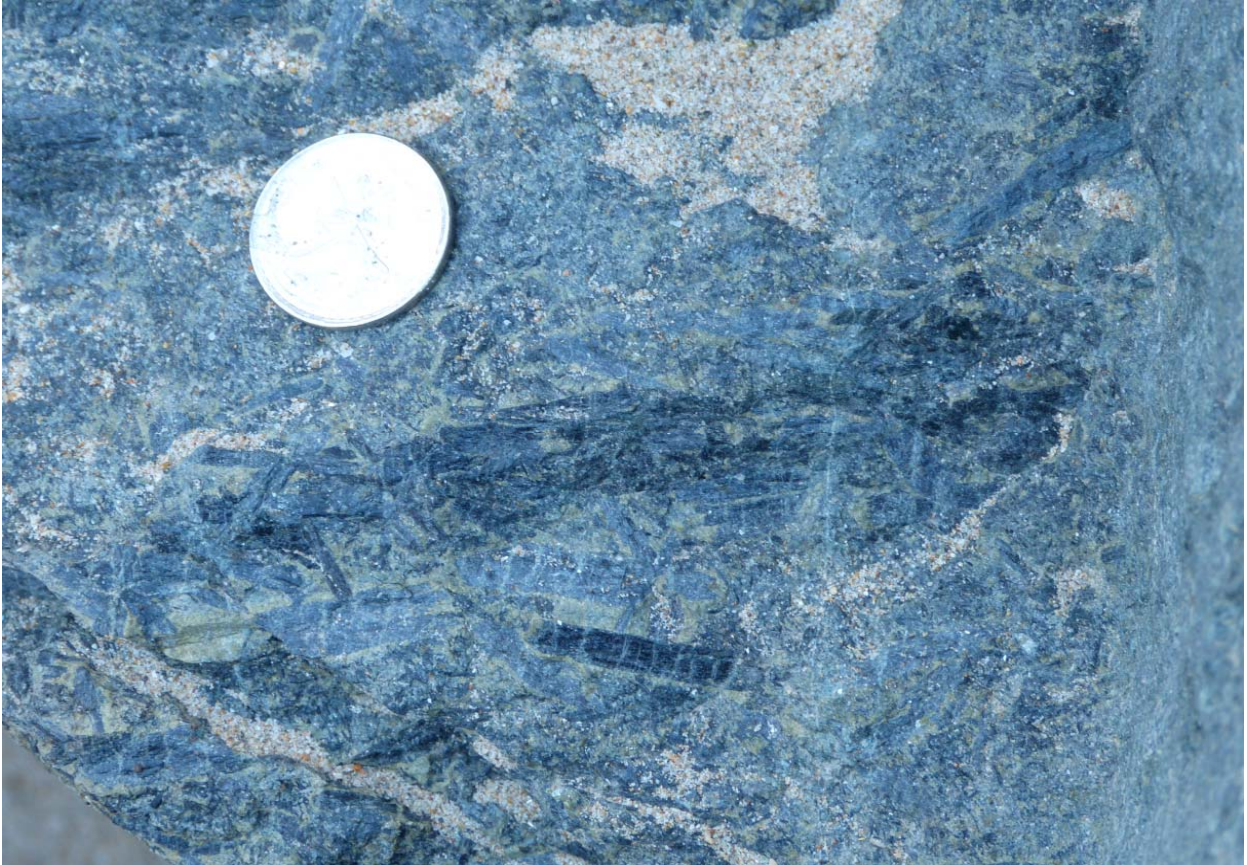
Die Berge bestehen hauptsächlich aus Gesteinen der omantypischen Ophiolitgruppe. Bei dem schroffen und bräunlich-grünen Gestein handelt es sich um Harzburgit – ein Peridotit aus hauptsächlich Olivin und Orthopyroxenen. Die bräunliche Färbung wird durch die Verwitterung des Eisens zu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hervorgerufen. Im frischen Anschlag weist der Harzburgit eine grünliche Färbung auf.

Über dem Harzburgit liegt diskordant ein heller eozäner Kalkstein. Eine aktive Störungszone zieht sich quer durch Maskat und stellt eine Erdbebengefahr dar. Das letzte spürbare Beben wurde 1970 registriert. Die Störungslinie erscheint als listrische Abschiebung mit einer landwärtigen Verkippung und verdeutlicht die komplexe Tektonik an der omanischen Küste, die einerseits gehoben wird (voranschreitende Aufschiebung der ehemaligen ozeanischen Kruste auf die kontinentale arabische Platte??), andererseits in Senkung begriffen ist, wie hier (Folge der Extension am Kontinentalrand??).

Der letzte Aufschluss des ersten Tages befindet sich in einer schwer zu erreichenden, einsamen Bucht bei As Sifah südöstlich von Maskat. Dort aufgeschlossen sind Eklogite mit Granat, Omphazit und teils großen Glaukophankristallen. Blauschiefer- und eklogitfazielle Metamorphite sind ein Zeichen hoher Drücke sowie niedriger Temperaturgradienten und bilden sich bevorzugt an Subduktionszonen. Ausgangsgesteine waren Basalte und marine Sedimente, die bei einer ca. 70km tiefen Versenkung Temperaturen von 520-600°C und Drücken um 23kbar (= 2,3 GPa) ausgesetzt waren. Die Eklogite sind 95Ma alte Reste ozeanischer Basalte.



*Abb. 3 Eklogit in der Bucht nördlich As Sifah*



*Abb. 4 blaue Na-Hornblenden (Glaukophan) im Eklogit – ein typisches Indexmineral für Hochdruckmetamorphose*

## Protokoll Tag 2 (23. 2. 2013) Braukmüller, Ninja

Am Morgen des 2. Exkursionstages schauten wir uns zunächst eine Terrassenablagerung in der Nähe unseres Schlafplatzes (östlich von As Sifah) an. In diesem Gebiet gibt es sehr viele Terrassenstufen, die alle mit Konglomeraten überlagert sind. Um die Entstehung genauer zu verstehen, werden hier seit einigen Jahren Kartierungen durch Masterstudenten vorgenommen. Da es keine genaue topografische Karte des Omans gibt, musste zunächst das gesamte Gebiet mit einem Differential GPS abgelaufen und der Wasserspiegel eingemessen werden. So konnte ein auf Zentimeter genaues Höhenmodell der Region erstellt werden. Bei der Kartierung geht es darum, die Hebungsgeschichte dieser Region genauer zu verstehen und den Übergang zwischen fluviatilen und marinen Ablagerungen zu kartieren.



*Abb. 5 Blick auf die ertrinkende Fjordküste bei Yiti*

Oben auf der Terrasse konnten wir die Küstenmorphologie gut überblicken. Zwischen den verschiedenen Terrassen sind rezente Wadis eingeschnitten und am Strand kleine Wälle aufgeworfen, die aus Beachrock aufgebaut sind.

Der zweite Stop befand sich etwa 10 km nordwestlich von As Sifah. Allerdings hat sich das Landschaftsbild komplett verändert. Hier gibt es viele kleine Buchten und fjordartige Einschnitte, was typisch für eine absinkende Küste ist. Noch ist allerdings nicht klar, welche Rolle aktive Störungen dabei spielen, was interessant in Bezug auf Erdbeben in dieser Region wäre.

Am dritten Stop dieses Tages, im Wadi Mayh, begrüßte uns Prof. Dr. Gösta Hoffmann, der seit 4 ½ Jahren als Professor an der German University of Technology (GUTECH) in Mascat arbeitet. Er gab uns zunächst einen groben Überblick über die Geologie des Omans, und stellte uns in den nächsten zwei Tagen seine aktuelle Forschung in der Quartärgeologie vor.

Im Wadi Mayh konnten wir mehrere Falten sehen. Zunächst eine fast liegende enge Falte in einer Wechsellagerung von schwach metamorphen Schiefnern und Kalkmarmoren.

Wenige Kilometer weiter, immer noch im Wadi Mayh, sahen wir eine großdimensionierte Falte in permischen und triassischen Kalken. Regionale Kartierungen haben ergeben, dass es sich dabei um eine Mega-sheath-fold handelt. Auch bei dieser liegen die Achsenflächen flach und die Scharnierlinie ist stark gekrümmt, was ein Indikator für massive Zerschering ist. Wir befinden uns an der Basis der großen Ophiolith - Deckenüberschiebung. Der Ophiolith wurde mehrere 100 km überschoben und hat dabei die Gesteinen im Liegenden gefaltet und die Falten dann verzerrt.



*Abb. 6 Gefalteter Kalkstein der Hawasina Decke*



Abb. 6a Teil der Mega "sheath fold" im Wadi Mayh. Reste einer künstlichen Wasserführung (Falaj) sind hinter den Autos noch erkennbar.

Im Wadi verläuft auch ein so genanntes Falaj, ein offenes Kanalsystem, das Wasser bei schwachem, gleichmäßigem Gefälle über weite Strecken transportiert. Es soll auf die Perser zurückzuführen sein und wurde, später von den Römern übernommen. Im Oman findet man noch an sehr vielen Stellen dieses alte System. In Persien allerdings ist dieses System wegen der großen Verdunstungsverluste wenig gebräuchlich. Dort wird das Wasser in unterirdischen Kanälen im Grundwasserniveau geleitet, den Qanaten.

Den nächsten Halt haben wir am Bimmah Sinkhole gemacht, einer 30 m tiefen Doline in eozänem Kalkstein. Die Doline steht im hydraulischen Kontakt zum Meer in 600 Metern Entfernung und ist deshalb mit Brackwasser gefüllt, da sich Grundwasser mit Meerwasser mischt. Über dem Kalkstein befinden sich noch 10 m quartäre Schotter. Das Sinkhole ist heute eine touristische Attraktion und von einem kleinen Freizeitpark umgeben. Man trifft neben Touristen auch viele Omanis, die in dem Wasser baden oder sich vom Rand aus in das „Loch“ stürzen.

Von hier aus hat man auch wieder einen schönen Blick auf die gehobenen Terrassen dieses Gebietes, die von den Wadis V-förmig durchschnitten werden. Im Hinterland wechseln sich ebene Flächen mit Steilkanten ab. Dieses Relief kommt durch ein Wechselspiel von



Heraushebung und Meeresspiegelschwankungen zustande. Die Hebung dieses Gebiets beträgt wahrscheinlich wenige mm pro Jahr.



Abb 7 Das Bimmah Sinkhole mit Brackwasserfüllung – beliebter Tummelplatz für kühne Springer und Touristen. Im Wasser leben „toe ticklers“, kleine „Fische, die an den nackten Zehen knabbern.

Der nächste Stop befand sich wieder an der Küste. Hier konnten wir ein sehr gut aufgeschlossenes Profil betrachten. Das Profil besteht aus vier Einheiten. An der Basis befindet sich ein Korallenriff, das erosiv von fluviatilen Ablagerungen mit groben Geröllen, vermutlich eines debris flows, überlagert wird. Darüber befinden sich erneut Kalke in einer Rifffazies und oben drauf eine Deltaablagerung. Diese Abfolge kann erneut durch Meeresspiegelschwankungen bei gleichzeitiger Hebung erklärt werden. Korallenriffe werden im flachmarinen Milieu abgelagert. Danach sinkt der Meeresspiegel und die Erosion beginnt, gefolgt von terrestrischen Ablagerungen. Ein erneuter (postglazialer?) Anstieg des Wasserspiegels, schneller als die Hebung des Landes, führt zu erneuter Überflutung und Riffbildung. Letztlich wird die Region aber von Deltaablagerungen überschüttet. Dieses Profil wurde vermutlich während des Quartärs abgelagert – genaue Datierungen stehen aber noch aus.



Abb 7a Korallenbänke erheben sich über rezenten Strand und sind von terrigenen Ablagerungen (debris flow) überlagert, denen wiederum Korallen aufliegen. dies zeigt die komplexe Wechselwirkung von Hebung und Meeresspiegelschwankungen auf.

Der letzte Stop dieses Tages befand sich in der Nähe von Fins. Im Hinterland erkennt man das Wadi Finns, das in eozänen Kalkstein eingegraben ist. Auf den Kalksteinen befindet sich ein dünner Schleier quartärer kalkiger Ablagerungen. Das graue Gestein fällt durch weißliche Spuren von Kalkalgen auf, die riffähnliche Strukturen bildeten und als Sedimentfänger wirkten. Sie kommen zumeist im distalen Bereich eines Deltas vor.

Wenige 100 m weiter befinden wir uns auf dem Eozänen Kalkstein. Hier lassen sich große Gastropoden finden, die im Sediment gelebt haben und in-situ, in Lebensstellung erhalten sind. Die hier gefundene Art tritt nur im intertidalen Bereich auf.

Letztendlich gilt es, in diesem Gebiet drei Faktoren zu quantifizieren, um die Hebungs- bzw. Senkungsgeschichte zu verstehen: Eustatische Meeresspiegelschwankungen, Isostatische Hebung und Klimaverhältnisse.



*Abb. 7 Blick auf ein gehobenes ehemaliges Strandniveau*



*Abb. 8 dickschaliger Gastropode, der noch in Lebensstellung eingebettet wurde und ein hochenergetisches Küstenmilieu anzeigt.*



*Abb. 9 Grube für Probenahmen zur OSL-Datierung (Optical Stimulated Luminescence) eines Paläo-Strandes*

## Protokoll Tag 3 (24.02. 2013) Jan Tomasek

### Stop 1 - Wadi Shab

Das Wadi ist ganzjährig wasserführend und bildet ein kleines Ästuar aus, das im vorderen Teil durch Flut und Ebbe beeinflusst ist. Das Wasser wird im vorderen Teil durch einen Erddamm gestaut, sodass eine Überquerung nur per Boot möglich ist. Bei Starkregenereignissen kommt es im Wadi zu flash floods. Diese können die aufgebauten künstlichen Terrassen und den gebildeten Boden zerstören. Es ist zwar generell genügend Wasser vorhanden, jedoch muss der Boden danach auf künstliche Art und Weise wieder neu generiert werden (z.B. mit Hilfe von Ziegendung).

Im Wadi Shab sind flachmarine Karbonate des Tertiärs anstehend, die von Styrolithen durchsetzt sind. Mehrere Felsstürze dämmen das Wadi immer wieder ab. Bei Austritten von Wasser an Schichtquellen bilden sich schöne Kalksinter, da aus dem calciumreichen Quellwasser bei Erwärmung an der Luft und Entweichen von CO<sub>2</sub> Calciumcarbonat als Travertin ausfällt. Im Travertin lassen sich inkrustierte Zweige und Wurzeln beobachten.



*Abb. 10 Wanderung im Wadi-Shab*



*Abb. 11 Blick auf eozänen Kalkstein im Wadi-Shab*



*Abb. 12 Abkühlung im Wadi-Shab*

### **Stop 2 Aufschluss am Strand N vom Wadi Shab**

Die hier gut zu sehenden Terrassen stellen fossile Wasserwaagen dar, wobei die unterste Terrasse hier die jüngste ist. Post - Eozän hat sich ein Steilkiff in Konglomerat, eozänem und kretazischem Kalkstein gebildet. Es lassen sich zwei gut ausgebildete Strandwälle beobachten. Am auffälligsten sind große Fragmente von Konglomeraten in Dachziegel – Lagerung. Diese erreichen eine Größe bis über  $50 \text{ m}^3$ , was einem Gewicht von mehr als 100t entspricht. Diese Blöcke liegen auf sandigem Kies in typischer Strandfazies mit Mollusken. Die Dachziegellagerung beweist, dass das Gestein aus dem Osten, also vom Meer her transportiert wurde. Da wegen der Schüttungsrichtung ein debris flow vom Land her ausgeschlossen werden kann, wegen zu geringer Energie auch eine normale Strandwallbildung, gibt es nur noch zwei Möglichkeiten des Transportes: Sturm oder Tsunami.

Bei dem unter den Blöcken anstehendem Konglomerat kann man von zementierten beach rock sprechen. Nach den schweren Stürmen 2007 und 2010 konnte keine Bewegung der Blöcke festgestellt werden. Welche Kraft also bewegt einen Block von  $6 \times 7 \times 1,5 \text{ m}$  und 100t Gewicht ? Zudem war das Strandniveau bei einer angenommenen Bildung vor 50.000 Jahren noch 5 m tiefer gelegen.

Experimente und Berechnungen zeigen, dass reines Meerwasser so große Blöcke nicht bewegen kann, auch nicht bei stärkstem Sturm. Dies kann nur in einer spezifisch dichteren Flüssigkeit geschehen – wie sie bei Tsunamis gebildet wird, wenn zuerst das Wasser weit von der Küste zurückweicht, dabei Unmengen an Schlamm aufwühlt und diese spezifisch

dichtere Suspension die großen Blöcke bewegt. Es kann sich also hier nur um eine Tsunamiablagerung handeln. Dies verwundert nicht, da es sich hier auch um eine tsunamigefährdete Küste handelt. Eine sehr wichtige Fragestellung ist deshalb wann, wo und wie häufig solche Tsunamis auftreten um die Bevölkerung vor einem solchen Ereignis warnen zu können.



*Abb. 13 Dachziegellagerung von Blöcken durch einen Tsunami an Land geworfen*

An einem anderen Block konnten nebst Röhrenwürmern, Bryozoen und Austern auch Lithophagenbohrungen ausgemacht werden. Die Lithophagenreste konnten mit der C14-Methode datiert werden und belegen ein rezentes Alter was auf ein Alter von 1945 oder jünger deutet (Seit dieser Zeit ist das Kohlenstoff 14 System durch die Industrialisierung gestört).

### **Stop 3 - 2 km S Wadi Shab (Tiwi)**

Bei diesem Haltepunkt handelt es sich um einen alten islamischen Friedhof. Die Gräber weisen typischerweise einen Kopf- und Fußstein auf, wobei diese senkrecht zur Richtung nach Mekka ausgerichtet sind, damit der auf der Seite liegende Leichnam nach Mekka schaut. Eine Übereinanderbestattung wie z.B. in Deutschland ist bei Muslimen nicht erlaubt. Die hier anstehenden Blöcke sind wunderbar dachzegegartig imbriert (teilweise auch mit



ophiolithischem Gestein) und liegen auf den Gräbern. Ebenso auf den Gräbern aufliegend sind Strandkiese.

Aus ethischen Gründen konnten keine Grabungen durchgeführt werden. Deshalb wurde dieses Gebiet von der GÜtech mit Georadar vermessen. Nach Straßenbauarbeiten konnte ein Knochenfragment geborgen werden, wobei die Datierung leider nicht erfolgreich war. Es kann im Allgemeinen aber von einem maximalen Alter von 1400 Jahren ausgegangen werden, da es vorher keine „islamtypische“ Bestattung gab. Dies bedeutet, dass Tsunamis in historischer Zeit aufgetreten sind.



*Abb. 14 Dachziegellagerung von Konglomeratbänken über einem islamischen Friedhof: Schüttung vom Meer her durch einen Tsunami*

#### **Stop 4 bei Sur, Blick auf Mangrovenwald und Altstadt von Sur**

Es fällt deutlich auf, dass keine Terrassenstruktur mehr zu erkennen ist. Es handelt sich hier um ein fluviatiles Delta, welches auf miozänem Gestein aufliegt. Das gesamte Gebiet ist am Absinken. Die Altstadt von Sur ist auf einer holozänen Nehrung gebaut, einem Sandstreifen, der die intertidale Lagune abschließt. Nur ein schmaler Zugang zur Lagune ist vorhanden. Eine flächendeckende Muschellage von etwa 20-30 cm Mächtigkeit kann in der Lagune ausgemacht werden, wobei diese als tsunamigene Ablagerung interpretiert wird.



*Abb. 15 Lagune von Sur mit Mangrovenwald, im Hintergrund die Altstadt auf der Nehrung*

Zeitzeugen von 1945 beschreiben, dass das Wasser ohne Vorankündigung aufs Land kam. Man hat außerdem absolute Höhenangaben über den Wasserstand durch Zeugenberichte gewinnen können.

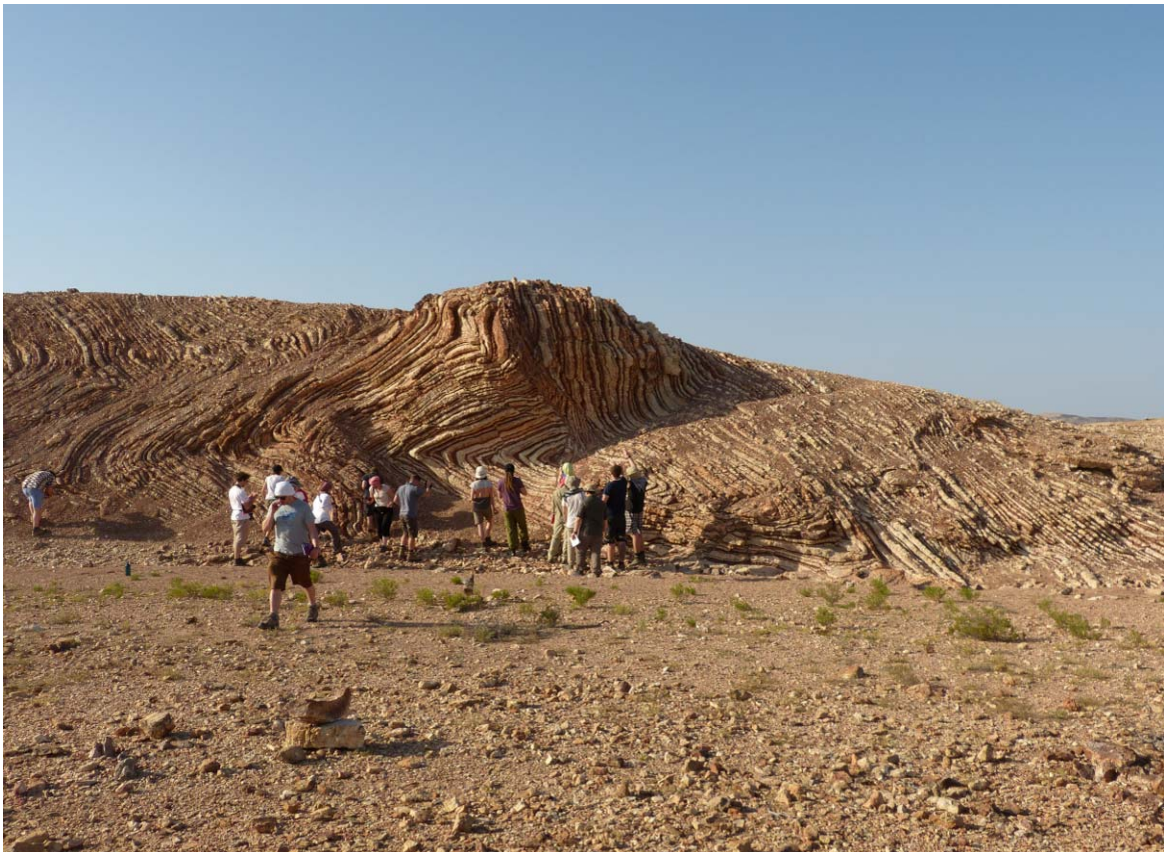
Die Auswirkungen des Tsunamis 1945 waren nicht groß, es gab kaum Schäden und keine Toten im Oman. Die Angaben, dass es in Pakistan 4000 Tote gegeben haben soll, erscheinen stark übertrieben, offiziell liegt die Opferzahl bei 375 Personen. Die Höhe der Tsunamiwelle kann an der omanischen Küste mit etwa 2-3 m Höhe angegeben werden. Es lässt sich aber vermuten, dass die Muschellage nicht 1945 erzeugt wurde, da sie nicht durch die schmale Lagunenöffnung gekommen sein kann. Dies schließt aber nicht einen älteren Tsunami aus, als die Nehrung noch nicht in dieser Größe vorhanden war.

### **Stop 5 - Terrassen bei Sur**

Bei Gezeitenhochstand bildet sich an Steilufern eine Brandungshohlkehle aus. Diese stellen einen Meeresspiegel index point dar, also einen Paläomeeresspiegel. Ein Versuch der Datierung scheiterte, da nur Austern erhalten sind, deren Aragonit sekundär in Calcit umkristallisiert und damit das System gestört ist. Es kann sich aber um keine sehr junge Bildung handeln, sondern wohl um eine der letzten Zwischeneiszeit (Eem) vor 130.000 Jahren. Der karbonatische Sandstein (paleo beach) ermöglicht allerdings eine OSL-Datierung (Optical Stimulated Luminescence) des Quarzes. Die Datierung ist noch in Auftrag.

**Stop 6 - 10 km W von Ras al Hadd (22° 27.514'N 59° 41.905'E).**

Hier anstehend ist heller Radiolarit im Wechsel mit roten Tiefseetonen. Radiolarien mit ihren kieseligen Skeletten reichern sich in der Tiefsee unterhalb der CCD an, da die ansonsten häufigeren Kalkskelette weggelöst werden (vgl. zu Kieselschiefer in Kulm Fazies). Die tonige Hintergrundsedimentation erfolgte äolisch, vergleichbar dem rezenten roten Tiefseeton. Die Sedimentation in solchen Gesteinen erfolgt extrem langsam, nur etwa 10 cm lagern sich in 100.000 Jahren ab.



*Abb. 16 gefaltete Radiolarite und Tiefseetone südwestlich von Sur*

Die Schichtung zeichnet sich durch eine auffällige Regelmäßigkeit aus. Die Lagen haben eine Mächtigkeit von 5-10 cm. Erklärt wird diese Zyklizität durch die astronomisch induzierten Schwankungen in der Einstrahlung, den Milankovic-Zyklen.

Das Gestein ist der Hawasina Group zuzuordnen und fasziniert durch eine spektakuläre Verfaltung, die aber kompliziert wird durch frühe extensionale Störungen aus.

**Stop 7 - kleiner „Schutthügel“**

Laut geologischer Karte wurde vorher dieser isolierte Hügel als Trias kartiert. Bei der Fossilienuche können aber Solitärkorallen, Crinoiden, Brachiopoden, Trilobiten und Graptolithen benannt werden. Die aufgefunden Fossilien lassen darauf schließen, dass das Gestein älter sein muss. Unsere Spekulation, dass es sich um eine permische Ablagerung

handelt (aufgrund eines Fundes von wahrscheinlich *productus horridus*) wurde später von Prof. Hoffmann bestätigt.



*Abb. 17 "Permische Schutthalde"*



*Abb. 18 Fossilien sammeln zum Tagesabschluss*

## Protokoll Tag 4 (25.02.2013) Maximilian Troche

Abfahrt um 8:13 Uhr von Camp 3 (Abb. 1).



*Abb. 19 Camp 3 am Radiolaritaufschluss: der „Morgen danach“. Radiolarite durch extensionale Bruchtektonik gestört*

### **Stop 1: etwa 3 km SE' von Camp 3 (8:22 – 8:36 Uhr)**

Schwarz gefärbte Gesteinsadern verlaufen, umgeben von Radiolariten, an der Erdoberfläche. Die stratiformen Gesteine hoher Dichte stellen Manganerzgänge bzw. Manganknollen dar, wie sie auch heute noch in der Tiefsee gebildet werden. Aufgrund der starken Faltung treten die Mangangänge hier nur in kurzen Bahnen zu Tage und lassen sich im Untergrund nur schwer verfolgen.

Laut Prof. G. Hoffmann war es im Oman bis Ende 2012 jedermann möglich, Lagerstätten ohne Genehmigung abzubauen und an chinesische Firmen, die Großabnehmer omanischer Erze, zu verkaufen. Dies hatte zu wilden und zerstörerischen Raubbauten geführt, denen inzwischen Einhalt geboten wird.



*Abb. 20 Jungkamel begutachtet von Einheimischen*

### **Stop 2: Turtle Bay (9:14 – 10:03 Uhr)**

Eine archäologische Ausgrabungsstätte zeigt die Besiedlung dieses Küstenstreifens bereits vor 6700 Jahren. Diese intensive Besiedlungsphase dauerte bis vor etwa 4000 Jahren an.

In der Ausgrabungsstätte finden sich Hinweise auf die Fertigung von Angelhaken aus den Schalen von Muscheln oder Meeresschnecken (*conus spec.*) und die Verwendung von Steinbohrern. Weiterhin zeigen sich Hinweise auf die Verhüttung von Kupfer. Die Anwesenheit von zweiklappigen Muschelschalenresten und ehemaligen Feuerstätten lassen eine Ernährung auf der Basis von Meeresfrüchten vermuten.

Auffällig sind die Spuren zweier Siedlungsphasen, die von einem schmalen kohligen Band getrennt werden. Die erste Siedlungsphase zeichnet sich durch eine Verwendung von Sandziegeln als Baumaterial aus, wohingegen sich die zweite durch die Verwendung von Lehmziegeln als Bauwerkstoff auszeichnet. Da sich in der kohligen Grenzschicht Muschelüberreste finden, welche in dieser Lage verendeten und auch weit landeinwärts getragen wurden, vermutet G. Hoffmann hier ebenfalls ein Tsunamieignis, welches sich vor etwa 4500 Jahren ereignete. Dieser Tsunami könnte aufgrund seiner verheerenden Zerstörungskraft für das Ende der ersten Siedlungsphase verantwortlich gewesen sein.



*Abb. 21 Verendete Lederschildkröten, die sich in Fischernetzen verfangen hatten*

**Stop 3: ca. 300 m S' des Arabian Sea Hotels (11:30 – 12:32 Uhr)**

Die Exkursionsgruppe ist auf der Suche nach einem Kimberlitaufschluss, der sich während der Kreidezeit explosionsartig mit etwa Schallgeschwindigkeit durch Karbonatite der kontinentalen Kruste gearbeitet haben soll. Die hohen Drücke und die Anreicherung von CO<sub>2</sub>, welches durch Wasserstoff zu Kohlenstoff und Wasser reduziert wurde, stellen den Kimberlit als potentielle Lagerstätte für Diamant und Graphit dar. Etwa 300 m südlich des Arabian Sea Hotels wurde ein brekziöses Gestein gefunden (Abb. 2), welches eventuell den Kimberlit darstellt. Neben den kantigen Gesteinsbruchstücken, die durch den explosiven Aufstieg des Kimberlits erklärt werden können, sind gerundete homogene Komponenten im Gestein eingeschlossen. Deren Entstehung könnte aus rasch erstarrten Schmelztröpfchen hervorgehen, die sich bei plötzlicher Druckabnahme während der Explosion bildeten.



Abb. 22 Vermuteter Kimberlitblock am Strand ca. 300 m S' des Arabian Sea Hotels



*Abb 24a Die Detailaufnahme zeigt schön den breckziösen Charakter, der typisch für Kimberlite ist*

**Stop 4: 14:20 – 14:35 Uhr**

Wir verlassen die Küste und wenden uns wieder nach Westen, wo wir die Gesteine des Basemnts der Arabischen platte erreichen. Halt an einem präkambrischen Granit des



Arabischen Basements. Der feinkörnige, helle Biotitgranit enthält viel Magnetit, was typisch für einen I-Typ Granit, der aus noch älteren magmatischen Gesteinen ausgeschmolzen ist. .

**Stop 5: 17:00 – 17:18 Uhr**

Auf der Fahrt nach Norden Richtung Wadi Tayin erreichen wir die Ophiolit Decken. Wir halten an einer Passhöhe inmitten von Harzburgiten. Ihn durchschlagen gabbroide Ganggesteine aus felsischen und mafischen Mineralphasen. Die mafischen Minerale wachsen vom Harzburgit aus senkrecht in das Ganggestein hinein. Diese sog. Kammstruktur ist ein Hinweis auf eine Bildung unter hohem Fluiddruck. Die Fluide erschweren eine Kristallkeimbildung, sodass die Minerale an der Wand des Ganges als Wachstumsmatrix benützt werden, denen die neu gebildeten Gangkristalle epitaktisch aufwachsen.



*Abb. 25 Gabbrogang mit Kammstruktur im Harzburgit an der Passhöhe*

Mit der Ankunft in Camp 4 um 19:15 Uhr endete dieser Geländetag nach langer Fahrt.

## Protokoll Tag 5 (26.02.2013 ) Sebastian Eschstruth

Wetter: sonnig im Tagesverlauf bis zu 30°C; leichte Cirrusbewölkung

### **Aufschluss 1: Wadi Tayin (8-10 Uhr), N 22.74203° E 58.51781°; Themen: metamorphe Sohle, Obduktion**

Im Wadi Tayin liegt die metamorphe Sohle aufgeschlossen vor, eine Zone an der Basis der Ophiolit- Decken, die durch Wärmeübertragung aus der bis etwa 1000°C heißen Basis der Ophiolite metamorph überprägt ist. Sie ist 230 m mächtig und repräsentiert eine Schuppe ehemaliger ozeanischer Kruste, die an der Basis der Ophiolithdecke mitgeschleift wurde, als diese auf die arabische Platte obduziert wurde.



*Abb. 23 Wadi Tayin mit dem „Green Pool“ und Blick auf die Gesteine der metamorphen Basis der Ophiolitdecken*

Das Wadi Tayin verläuft etwa in NW-SE Richtung. Das nur episodisch wasserführende Flussbett ist von fluviatilen Schottern bedeckt. An der Nordflanke des Wadis studierten wir die amphibolitfaziell metamorphen Gesteine. Mylonitische bis ultramylonitische Amphibolite (Meta-Basalte) und Quarzite (Meta-Radiolarite?) bilden die Hauptmasse, daneben finden

sich vergneiste oder mylonitisierte Metasedimente mit viel Quarz, Glimmer und Plagioklas (Metapelite?).

Um die rasante Entwicklung der Ophiolitgesteine zu erkennen bedarf es nur einen Blick auf die datierten Alter von Zirkonen und Hornblenden der metamorphen Sohle und des Ophiolitkomplexes zu werfen.

jüngstes Ophiolitgestein (Trondhjemit)		Metamorphe Sohle	
Bildungsalter	Zirkon (U/Pb) 980°C 95,3 ± 0,5	94,5 0,3 ± bei Peakmetamorphose 850°C	
Abkühlungsalter	Hornblende (Ar/Ar) 550°C 94,6 ± 0,5	92,6 ± 0,5	

Aufgrund der geringen Differenz von Bildungsaltern aus den Zirkonen und Abkühlungsaltern aus den Hornblenden, müssen wir von schnellen Spreizungsraten und einer sofort anschließenden Überschiebung bzw. Subduktion der Arabischen Platte ausgehen. Die Umwandlung der pelagischen Sedimente in metamorphe Gesteine muss schnell vonstatten gegangen sein und zugleich mit der Überschiebung der ozeanischen Kruste auf die arabische Platte um insgesamt etwa 540 km erfolgt sein. Die Bildung der Metamorphite, die Ozeanbodenspreizung und die Überschiebung auf die kontinentale Platte lief während der Oberen Kreide in nur wenigen Millionen Jahre ab.

**Aufschluss 2: Straßenaufschluss (12:45 -13:30 Uhr), N 23.13777° E 58.13108° Trondhjemit, Aufschmelzen während Überschiebung**

Der Aufschluss verläuft in ± W-E Richtung in einem Wadi neben der Straße Nr. 27. Drei unterschiedliche Lithologien können ausgemacht werden: älterer feinkörniger Gabbro, jüngerer grobkristalliner Gabbro und Trondhjemit.



*Abb. 24 Trondhjemite mit chilled margin*

Das Hauptgestein ist der gleichmäßig feinkörnige und homogene Gabbro, vermutlich Teil der Massiven Gabbrolage innerhalb des Ophiolitkomplexes. Plagioklas und Pyroxene sind nach Inspektion mit dem freien Auge die Hauptbestandteile.

Partienweise finden sich darin Schlieren von grobem Gabbro, der bis 10 cm lange nadelige schwarze Hornblenden enthält. Nadeliger Kristallhabitus entsteht bei sehr schnellem Wachstum von Kristallen, das in diesem Fall nur bei erhöhten Fluidrücken denkbar ist, wenn die Diffusivität durch die Anwesenheit von Wasser stark erhöht ist.

Dieser jüngere Gabbro dokumentiert also ein erneutes Schmelzen unter hohen Fluidrücken und wird als Argument verwendet, dass sich zu dieser Zeit unter den Ophiolitdecken eine Subduktionszone befand, aus der die Fluide freigesetzt wurden.

Ähnliches gilt für die dritte lithologische Einheit, den Trondhjemit (nach Trondheim in Norwegen), zusammen mit Tonalit ein Gestein der sog. Plagiogranite. Dieses jüngste Glied der Ophiolitgruppe ist ebenfalls durch ein Wiederaufschmelzen von Gabbro durch Fluidzufuhr entstanden und findet sich, zusammen mit den ganz hellen und verwandten Anorthositen in Gängen, welche die Gabbros durchschlagen. Durch die starke Anreicherung an Plagioklasen erscheinen sie fast weiß.

In diesem Aufschluss lassen sich somit zwei verschiedene Aufschmelzphasen des Gabbros beobachten. Nebenbei ist noch zu erwähnen, dass die Trondhjemite als jüngstes datierbares Gestein das Mindestalter der Ophiolite angeben.

**Aufschluss 3: Wadi Rad (14:05-15:30 Uhr) N 23.09317° E 58.10359° layered Gabbros,**

Der Aufschluss verläuft von W nach E und besteht aus layered Gabbros. Es wurden drei Modelle für die Genese von layered Gabbros diskutiert.

Das erste Modell nimmt an, dass durch die Spreizung von Ozeanboden zahlreiche Lagergänge in Schwächezonen der Kruste intrudieren und dadurch die lagige Anordnung entsteht.

Das zweite Modell von A. Nicolas (Montpellier) besagt, dass die Minerale am Rand einer Magmakammer schräg bis fast vertikal – je nach Geometrie der Abkühlungsfront - kristallisieren. Zum Top der Magmakammer richten sich die Minerale zunehmend vertikaler aus, was auch in den layered Gabbros des Omans durch sorgfältige strukturelle Kartierung nachgewiesen werden konnte und makroskopisch zu sehen ist.



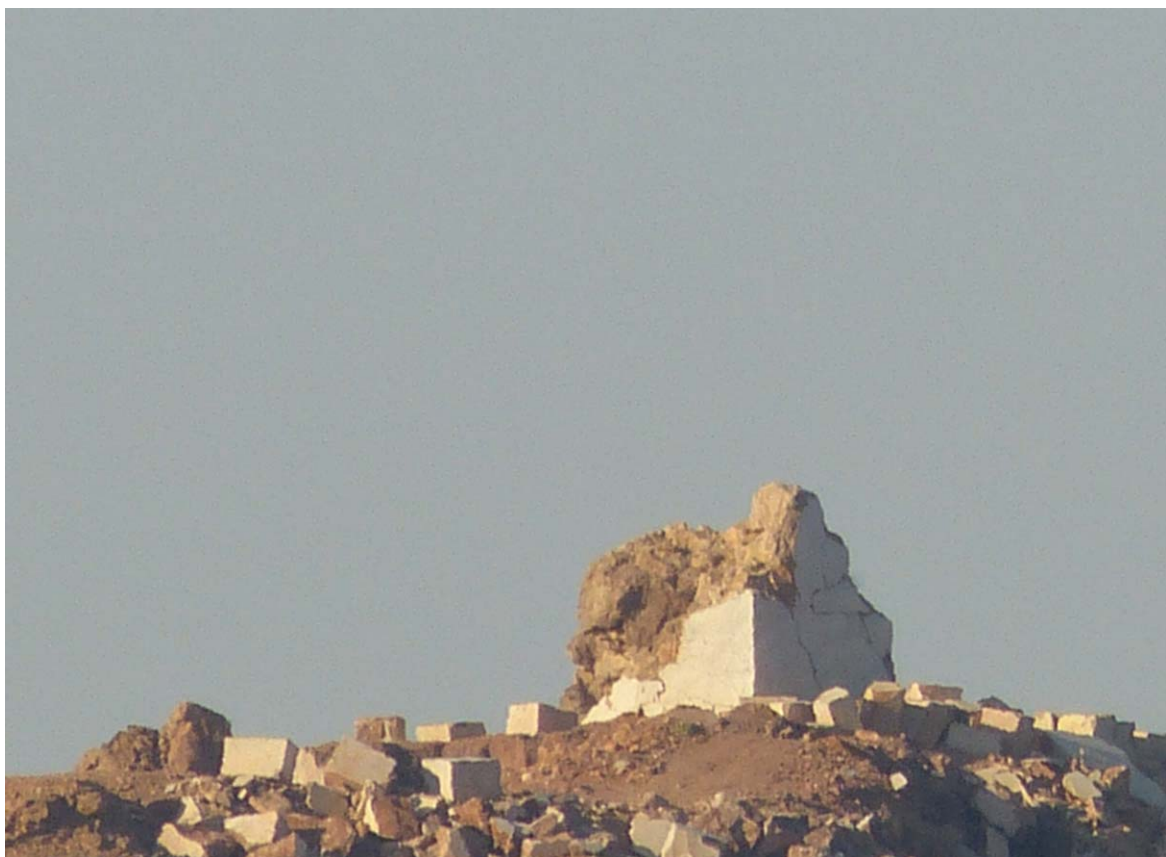
*Abb. 25 Layered Gabbros*

Im dritten Modell saigern Minerale einerseits zum Boden der Magmakammer hin ab und kristallisieren andererseits an den Rand der Magmakammer an. Durch episodische Füllung mit neuer Schmelze entsteht die lagige Struktur, weil sich damit die Zusammensetzung der Magmakammer immer wieder ändert. Dadurch kann auch die häufig zu beobachtende

Gradierung innerhalb der Lagen erklärt werden, wo schwerere, dunklere Minerale zuerst auf den Boden sinken, wodurch sich die Zusammensetzung der Restschmelze ändert und nun Plagioklas zunehmend ausfällt, während gleichzeitig das Wachstum von Olivin und Pyroxen gebremst wird. Mit einem neuen Magmenschub kann dann die Kristallisationsfolge von neuem beginnen.

#### **Aufschluss 4: five o'clock Moho (16:05 – 16:40 Uhr) N 22.9328° E 58.2559° Moho, exotische Plattformkarbonate**

Der etwas flapsige Name wird verwendet, weil um diese Uhrzeit der Aufschluss optimal beleuchtet ist. Im Hintergrund ist die von layered Gabbros überlagerte und von Harzburgiten unterlagerte Moho als markante Linie deutlich zu erkennen.



*Abb. 26 Steinbruch in eozänen Nummulitenkalken östlich der „five o'clock Moho“*

Nahe der Straße anstehend finden sich exotische Blöcke aus einem hellgelben Kalkstein, die den Ozeanbodengesteinen unmittelbar aufliegen. In einem Kalkstein konnten wir Großforaminiferen entdecken, Nummuliten und Assilinen, die ein Unter- bzw. Mitteleozänes Alter belegen.

Es muss sich hier also um Reste der autochthonen Bedeckung handeln, als im Eozän die Region letztmalig überflutet war.



*Abb. 27 "five o'clock Moho"- der Gipfelbereich besteht aus dunklen Gabbros der ozeanischen Kruste, die heller verwitternden Harzburgite darunter gehören dem oberen Erdmantel an.*

**Protokoll Tag 6 (27.02.13) Maximilian Döhmann**



*Abb. 28 Typische Berglandschaft in den Ophiolitserien des Omans*

**Aufschluss 1: Wadi Hajah - Gräberfeld (08:15 – 09:30 Uhr)      N 22,9799° , E 58,2718°E,**

Der am Prallhang des Wadis aufgeschlossene Layered Gabbro wird von Basalt- und Wehrlitgängen diskordant durchschlagen und ist zudem von Plagiogranit und Anorthosit – Lagergängen durchsetzt. Stattgefunden hat hier eine Migmatisierung des ursprünglichen Layered Gabbros, die, wie bereits in früheren Aufschlüssen erläutert, auch hier mit einem Anstieg des Wassergehaltes noch unter hoher Temperatur erklärt werden kann.



*Abb. 29 Wadi Hajah – Gräberfeld ein typischer islamischer Friedhof*





*Abb. 30 Layered Gabbro mit Abschiebungen (rot nachgezeichnet)*

Die Wehrlite dagegen, die den Gabbro diskordant durchsetzen, entstammen einem Harzburgit des Mantels, der durch anhaltende Hebung (Druckentlastung) und Wasserzufuhr zum Teil wieder aufschmelzen konnte. Wehrlite bilden sich erst bei Wassergehalten von über 3% Wassergehalt in der Schmelze, da hier neben Olivin auch Klinopyroxen (statt Plagioklas, wie bei geringeren Wassergehalten) kristallisiert. Abschließend erklärte Herr Räuschel die Unterschiede von Ophioliten aus Ozeanischen Rücken mit schnellem und mit langsamen Spreading.

**Aufschluss 2: Wadi Andam (12:30 – 13:30 Uhr) N28.8895°; E 58.0199°**

Aufgeschlossen ist hier eine Wechselfolge aus Karbonatgesteinen und Sandsteinen. Der Sandstein ist karbonatisch zementiert und rötlich gefärbt. Innerhalb der Schichten ist eine Gradierung erkennbar (fining up). Außerdem weisen sie eine erosive Unterseite mit Strömungsmarken auf. Es handelt sich um Turbidite, in denen Strukturen der Bouma Sequenz erkannt wurden. Dabei überwiegt hier der Turbiditanteil, während der Tonanteil eher gering ausfällt. Dies lässt den Schluss auf relativ proximale Turbidite an einem aktiven Kontinentalhang zu. Im Aufschluss ist ein nach Nordosten abtauchender Sattel erkennbar, dessen Faltenachse ca. parallel zum Flussbett verläuft.



*Abb. 31 Hügelkette südlich des Wadi Andam mit Flyschgesteinen*

### **Aufschluss 3: Mahram (14:10 – 15:00 Uhr) N E**

Das harzburgitische Hauptgestein dieser Lokalität ist sehr dunkel mit mm – cm großen weißen Einschlüssen von Plagioklas. Somit kann man das Gestein als Plagioklasperidotit ansprechen, der sehr selten aufgeschlossen ist, weil im Erdmantel für die Stabilität von Plagioklas meist zu hohe Drücke herrschen. Plagioklas kann sich daher erst bilden, wenn der Peridotit hoch genug aufgestiegen ist. Plagioklasreiche Schmelze bildet sich im Peridotit nur an den Tripelpunkten zwischen Olivin, Orthopyroxen und Klinopyroxen oder einem anderen Aluminiumträger (z.B. Hornblende, Phlogopit, Spinell, Granat).

Normalerweise wird die Schmelze wie aus einem Schwamm ausgepresst, weil das Gestein unter dem Überlagerungsdruck kompaktiert (wie die Molke aus einem Yoghurt sich nach oben absondert). In diesem seltenen Fall war dies jedoch nicht der Fall, und die Plagioklas-reichen Schmelztropfen blieben an Ort und Stelle (zu schnelle Abkühlung oder der Fluidruck sank).

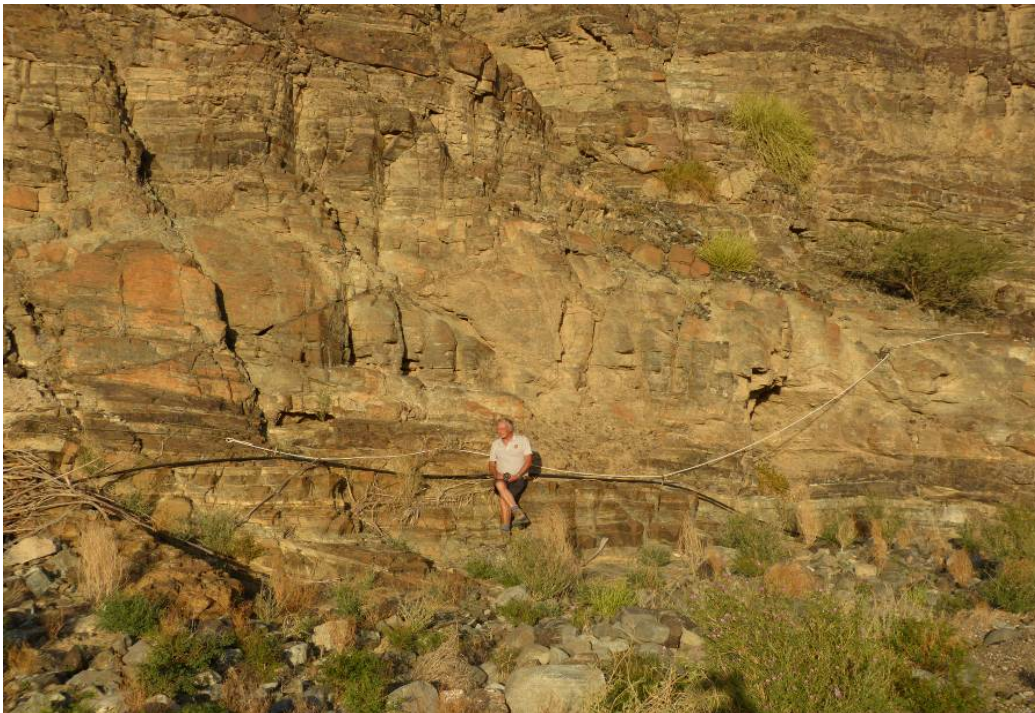
Durch Porenfließen konzentriert sich nicht ausgepresste, plagioklasreiche Schmelze in diffusen Gängen ohne scharfe Grenze (sog. reaktive Gänge) im Peridotit und kühlt dort ab. Gabbrogänge in unmittelbarer Nachbarschaft zeigen aber auch, dass daneben (später?) auch Schmelze entweichen konnte.



*Abb. 32 Kristallisation von Plagioklas im Peridotit #*

**Aufschluss 4: (15:15 – 16:00 Uhr) N 23.0304 E 58.01205**

Der letzte Aufschluss des Tages zeigt uns bei der Ortschaft Masram die Mohorovičić-Diskontinuität kurz: Moho. Im oberen Teil stehen die Layered Gabbros an, darunter liegt der Bereich der Moho und die Peridotite des Mantels. Die Moho wurde von dem serbischen Geophysiker Andrej Mohorovičić aufgrund einer Änderung der Laufgeschwindigkeit von Erdbebenwellen entdeckt. Die P-Wellen werden im Mantel aufgrund der höheren Dichte und höheren Elastizität mehr als 8 km/s schnell (zum Vergleich: tiefe Erdkruste: 6.7 - 7,4),



*Abb. 33 Layered Gabbro, Moho in Kopfhöhe(von Prof. Lammerer. Die Mantelgesteine sind injizierte Harzburgite an der Basis.*

### ***Potokoll Tag 7 (28.02.2013) Tim-Lorenz Schaefer***

Gegen 8:00 Uhr startete die Gruppe nach dem typischen Camp-Frühstück aus Tee, Müsli, Yoghurt und Obst zum Jebel Akhdar (Al Jabal al Akhdar), zu Deutsch: „der grüne Berg“. Dieser ist ein Teil des omanischen Hajar - Gebirges ca. 150 km von Muscat entfernt in süd-süd-westlicher Richtung. Der Jebel Shams bildet mit 3009 m dessen höchste Erhebung. Der grüne Berg ist morphologisch wie eine Schüssel geformt, stellt aber geologisch eine riesige Antiklinale dar.

Zunächst geht die Fahrt von Al Hamra über Dar al Quill von Süden her zum südlichen Rand des Jebel Akhdar durch dunkle Kalke. Beim ersten Stop an einer Kehre der Straße ist ein mikritischer Block mit gut ausgeprägten Drucklösungsstrukturen zu betrachten.



*Abb. 34 Blick ins Tal Jebel Akhdar*



*Abb. 35 Drucklösung*



*Abb. 36 Schratten und Karren#*

Der zweite Stop folgt die Straße bergauf. Der anstehende Kalkstein zeigt hier besonders gut die Auswirkungen von chemischer Verwitterung. Der Tau, der sich auf den Kalkstein legt, löst einen Teil davon und fließt als Kalklösung ab. Dieses kleine Rinnsal erzeugt dabei Strukturen, die auch aus der Schrattenkalk-Formation in der Schweiz bekannt sind. Die Oberfläche bildet kleine, scharfe Grate und Furchen aus, die Schratten und Karren genannt werden.

Bei Hat, auf der Schulter des Jebel Akhdar, angelangt macht die Exkursionsgruppe einen FotoStop um die Aussicht zu beiden Seiten der Schulter zu genießen. Hier endete die asphaltierte Straße und der Hat-Pass wird zur Schotterpiste.

Die Struktur des Jebel Akhdar ist eine riesige Antiklinale, welche durch Erosion die heutige schüsselartige Morphologie erhalten hat. Dadurch wurden Gesteinsschichten von präkambrischen bis zu jurassischen und kretazischen Altern aufgeschlossen.



*Abb. 37 Rampen - Antiklinale im Jebel Akhdar*

Auf der Talfahrt ins Jebel-Akhdar-Fenster wurden mehrere kurze szenische Stops eingelegt und um die umliegenden Kalksteine und Mergel zu studieren, in denen sich Bivalven fanden - typisch für Flachwassergesteine. Die Karbonate sind auffallend dickbankig und mehrere Kilometer mächtig, was auf eine langdauernde gleichmäßige Subsidenz hinweist, wie sie für thermische Subsidenz gekoppelt mit isostatischer Absenkung durch das Eigengewicht der Sedimente typisch ist.

Die Aufmerksamkeit der Gruppe wird unweigerlich auch auf die eindrucksvollen Großstrukturen der Antiklinale und die darin enthaltenen Parasitärfalten gelenkt. Gegen Mittag macht die Gruppe in der Nähe einer kleinen Oase Pause und hört die vorbereiteten Vorträge von Janeta Klaus - „Diapirismus und Salztektonik“, Christian Nikolajew – „Öl in Arabien“ und Tobias Woznitza – „Deckensysteme im Oman“.

In der Senke des Jebel Akhdar liegt ein Aufschluss mit schwach metamorphen Griffelschiefern. Da die diskordant auflagernden permischen Gesteine keine Schieferung oder Metamorphose aufweisen muss dieser Schiefer deutlich älter sein. Nach dem Verlassen des grünen Berges in Richtung NE werden in Al Awabi bei einem „Hypermarket“ (westlich organisierter Supermarkt) die Vorräte aufgefüllt.



*Abb. 38 Schwach metamorphe präkambrische oder altpaläozoische Griffelschiefer mit steil nach rechts einfallender Schieferung und flach nach links einfallender reliktscher Schichtung.*

Der nächste geologische Stop zeigt eine klassisch schöne Winkeldiskordanz zwischen präkambrischen Karbonaten mit Stromatolithen zu hangenden permischen Kalksteinen. Diese Diskordanzfläche, die alte Erdoberfläche, ist mit einer eisenerzreichen, dunklen Kruste von ca. 20 cm Mächtigkeit markiert – einem eisenreichen Hartgrund. Die Größe dieses Aufschlusses ist beeindruckend, da die Wand von über 100 m perfekt aufgeschlossen ist. Im Oman stört auf Grund des trockenen Klimas keine Vegetation den Blick der Geologen, was die Strukturen und Gesteine wie frisch angeschlagen erscheinen lässt



*Abb. 39 Permische Diskordanz mit präkambrischen Stromatolithenkalken im Liegenden (mittelsteil nach links einfallend, am Wandfuß)*



*Abb. 40 Präkambrische Stromatolithenkalke mit gut ausgebildeten Cyanobakterien Polstern*

Der letzte geologische Aufschluss des Tages zeigt den schnellen Wechsel von einem glazial gebildeten Diamiktit (= Tillit, eine verfestigte Grundmoräne) aus einer weltweiten Vereisungsperiode (Kryogen, Snowball Earth) zu Cap-Carbontes, die als Indiz für eine nachfolgende starke Erwärmung gelten und einen rapiden Wechsel von einer Icehouse – zu einer Greenhouse Erde anzeigen. An diesem Aufschluss hält Sebastian Eschtruth der Gruppe seinen Vortrag über „Snowball-Earth“. Da kein Regen bevorsteht wird das Nachtlager direkt im anliegenden Wadi errichtet.



Prof. Siegesmund und die größte Klimakatastrophe der Erdgeschichte vor 700 Ma: Zu seinen Füßen Tillite der globalen Vereisung, darüber die braunen Caprock Dolomite der schnell darauf folgenden Warmzeit



## Protokoll Tag 8 (01.03.2013) Christopher Pötzl und Tobias Woznitza



Abb. Fahrtroute Tag 8

### Stop 1: „Geotimes“ Pillowlaven (ca. 10 km südlich von Sohar, Wadi Jizzi)

Bei sonnigen 28°C und leichtem Wind machten wir, nach längerer Autofahrt, erst gegen 12:00 Uhr am ersten Aufschluss des Tages halt. Der sogenannte ‘Geotimes’ - Aufschluss im Wadi Jizzi erhielt seinen Namen, nachdem er auf der Titelseite des Geotimes Magazins weltbekannt wurde. Die vorhandenen Pillowlaven entstanden durch untermeerisches langsames Ausfließen von Lava. Intern zeigen die Pillows durch Abkühlung induzierte Schrumpfungsrisse, die durch eine sekundäre, fluidgeprägte Mineralisation verfüllt sein können. Bei der Entstehung bläht Lava den Pillow auf, bricht an einer Schwachstelle durch und erzeugt einen neuen Pillow usw.. Durch das Eigengewicht sind die Pillows oben abgeflacht und passen sich nach unten dem Untergrund an, wo sie oft kielförmig die Zwickele zwischen älteren Pillows füllen. In diesem Aufschluss zeigen die Pillows eine normale Lagerung, aber ihre langgestreckte Form zeugt von einer Entstehung auf geneigter Fläche (Paläo-Slope). Weiterhin sprechen Pillows für einen langsamen Magmaausfluss, denn bei großvolumigen, schnellen Eruptionen entstehen massige Lavaschichten. Ein solcher massiger Lavaflow findet sich auch in der Nähe.

Chemisch entsprechen diese Pillowlaven einem normalen Mittelozeanischen Rücken Basalt (N-MORB). Diese [Basalte](#) zeichnen sich durch niedrige Gehalte inkompatibler Elemente und eine [Verarmung](#) der leichten Seltenen [Erden](#) gegenüber den [schweren](#) aus. Die Magmen [entstammen](#) einem bereits verarmten [Mantel](#). Dieser Magmatyp wird hier lokal auch als V1 Lava bezeichnet. Im Oman Ophiolith gibt es über den Pillowlaven einen weiteren, etwas

jüngeren Lavatyp (V2). Dieser besteht aus differenzierten Basalten und Rhyolithen und ist an inkompatiblen Elementen angereichert und insbesondere an solchen, die über Fluide transportiert werden (E-MORB, für enriched MORB). Daher wird angenommen, dass diese Laven durch Fluide aus einer darunter abtauchenden Subduktionszone beeinflusst sind. (Aufschmelzung von Mantelgestein durch Schmelzpunktniedrigung bei Wasserzufuhr).



*Abb. 41 Geotimes Aufschluss, Pillow Laven*

### **Stop 2: sheeted dykes, Wadi Hilti**

Sheeted Dykes bilden die unterhalb der Pillows liegende Schicht der Ozeanischen Kruste. Sie besteht praktisch nur aus zahllosen etwa einen Meter breiten subvertikalen Basaltgängen, welche die darüber liegenden Pillowbasalte förderten.

Das Gestein ist reich an Plagioklas und Pyroxen und zeigt eine Phänokristallgröße von bis zu 0,3 mm wird gegen den Rand hin aber deutlich feinerkörnig. In Abb. 2 ist gut der „chilled margin“ eines in kälteres Umgebungsgestein injizierten Ganges zu sehen. Die Gänge stehen in diesem Aufschluss senkrecht und befinden sich somit in ihrer ursprünglichen Lage. Die Mächtigkeit der einzelnen dykes reicht von 40 cm bis über einen Meter.



*Abb 44 a Sheeted dyke Komplex mit subvertikalen Gängen und teilweise dunklen, glasigen abgeschreckten Randbereichen*

### **Stop 3: Radiolarit.**

In diesem Aufschluss liegt ein dünnes Band von rotem Radiolarit sedimentär auf Pillowlaven auf. Diese Schicht trennt die beiden Vulkanitschichten V1 und V2.

### **Stop 4: Eiserner Hut, Black Smokers.**

Der letzte Haltepunkt des Tages ist der Gossan-Aufschluss (von Studenten gerne zu „Gossip“, engl. der Klatsch oder das Klatschweib verballhornt) im Wadi Hilti. Der Eiserner Hut (Gossan) ist durch hydrothermale Zirkulation von Meerwasser am Ozeanboden entstanden. In diesem Aufschluss zeigen sich stark alterierte und poröse Basalte im Wechsel mit Radiolarit. Das Gestein zeigt intensive Verfärbungen (blau, grün, rot, rosa, gelb, orange) (Abb. 3). Die hohe Porosität und bunte Färbung ist durch eine Auslaugung des Gesteins durch Fluide und Oxidation der Erzminerale zu Malachit, Azurit, Goethit und anderen zu erklären. Die Kilometer tief in die Basalte und sheeted dikes eintretenden Fluide führten lösliche Elemente (Mn, Cu, Fe, Co, Ni, Au, Ca und viele andere) ab und gleichzeitig Na aus dem Meerwasser zu, wodurch der Plagioklas zu Albit umkristallisierte (Spilitisierung). Durch den Kontakt der 300-450°C heißen Fluide mit dem kalten Meerwasser kommt es zu schlagartigen Ausfällung der gelösten Elemente. Dadurch wurden einerseits Black Smoker (Schwarze Raucher) aufgebaut

und andererseits die nahe Umgebung an den Elementen (vor allem Mn, Cu, Co, Ni, Zn, Au und Ar) angereichert. Die hier entstandene Kupferlagerstätte ist dem Sedex Typ (sedimentär exhalativ) zuzuordnen.



*Abb 45 a typische bunte oxidische Erzminerale eines Eisernen Hutes: Malachit, Azurit, Goethit, Limonit und andere. Darunter: ein völlig ausgelaugter Basalt erscheint fast weiß.*



*Abb. 42 Der Eiserne Hut (gossip) über einer Kupferlagerstätte im Morgenlicht*

### Stop 1: (Al-Batina?) coloured Melange

An diesem Haltepunkt lässt sich eine Melange beobachten, eine tektonische Mischung verschiedenster Gesteine. Tektonische Melangen treten etwa in Akkretionskeilen über Subduktionszonen auf und unterscheiden sich von sedimentären Olistostromen durch die tektonischen Kontakte sowohl nach oben, wie nach unten. Eine coloured Melange beinhaltet auch Ophiolitmaterial.



Abb. 43 coloured Melange Aufschluss mit exotischen Karbonatblöcken

In unserem Aufschluss einer coloured Melange finden sich neben exotischen Karbonatblöcken verschiedene Glieder der Ophiolitsuite, wie man an den vielen Farbschattierungen im Gelände erkennt.

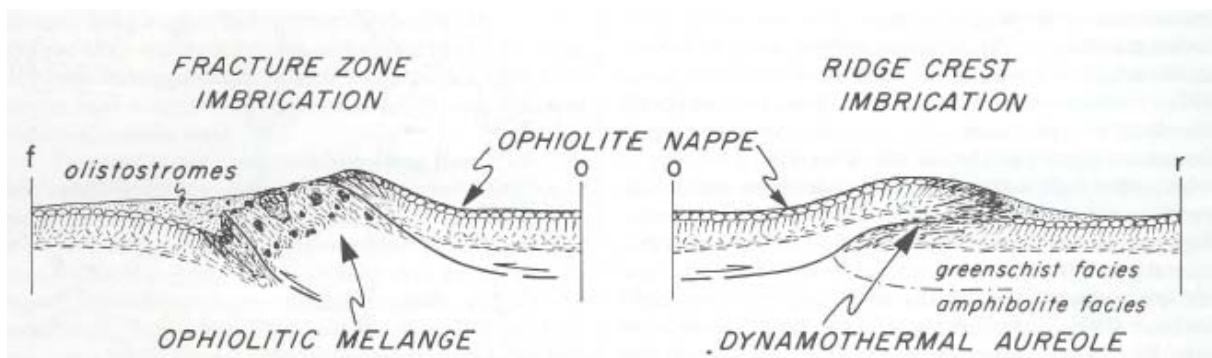


Abb. 44 Ophiolitische Melange nach Saleeby et. al, 1984

Das Alter der Melange entspricht  $\pm$  dem Alter der Ophiolite, während die Karbonate triassischen Alters sind.

### **Stop 2: Straßenanschnitt**

Ein spontaner Halt am Straßenrand zeigte einen feinkörnigen layered Gabbro, der von Störungen mit Myloniten bis Ultramyloniten durchsetzt war. Ein glasig erscheinender Teil des Ultramylonites könnte aufgeschmolzen gewesen sein (Pseudotachylit). Auch fanden sich dm-mächtige Anorthosit Gänge.

### **Stop 3: Serpentin**

Bei der Umwandlung von Peridotiten bilden sich unter Wasserzufuhr bei mäßigem Druck und Temperaturen zwischen 100 und 250°C die faserigen Serpentinminerale Chrysotil und Lizardit (eingerollte Schichtsilikate), die bei höheren Temperaturen (> 250°C) von blättchenförmigem Antigorit verdrängt werden. Die Serpentine des Oman sind meist aus Lizardit aufgebaut.

### **Stop 4: Auf Mehrheitsbeschluss wurde eine kulturelle Fahrt zu den Bienenkorbgräbern durchgeführt.**

Die Bienenkorbgräber von Al-Ayn sind wegen ihrer Einzigartigkeit und ihres guten Erhaltungszustandes und der Lage, die bekanntesten im Hadjar-Gebirge und wurden *1988 in die Liste der Unesco - Weltkulturerbe aufgenommen*, In den Gräbern, die in ihrer Form an Bienenkörbe erinnern, konnten jedoch keine menschlichen Überreste entdeckt werden. Allerdings sind gefundene Keramikteile auf bis zu 5.500 Jahre vor heute datiert. Der zu jener Zeit bereits betriebene Kupferabbau könnte im Zusammenhang mit diesen Gräbern stehen.



*Abb. 45 Bienenkorbgräber von Al-Ayn*

## Protokoll Tag 10 (3. 3. 2013)

### Stop 1: Wadi Al Abiyad (Das weiße Wadi)

Das Wadi läuft fast durch das gesamte Nakhl-Rustaq Massiv und schneidet damit große Teile der Ophiolith-Serie an. Im Süden beginnt sie mit Peridotiten, reicht bis an die Moho und durch die Gabbros und endet schließlich an der Basis der sheeted dykes. Ein Teil der Gruppe hat das Wadi von Süden her zu Fuß bis zur Basis der sheeted dykes durchquert, der Rest ist mit den Geländewagen um das Massiv herum gefahren und erreichte von Norden her das Wadi.

Die hier im Flussbett liegenden Gesteine sind fast ausschließlich weiß. Ganz im Gegensatz zu den anstehenden Gesteinen. Bei diesen handelt es sich um verschiedene Peridotite. Der Flussschotter hingegen besteht aus Kalkstein. Dieser Kalkstein stammt aus dem nahe gelegenen Jabal Akhdar, in welchem das Wadi entspringt. Bevor es jedoch weiter in das Wadi hinein ging gab es einen Vortrag zur Mantelrheologie von Maximilian Troche.



*Abb. 46 Wadi Al Abiyad (Das weiße Wadi). Im Vordergrund zementierte Karbonatgerölle als ältere Terrassen, die Berge dahinter bestehen aus Erdmantelgesteinen*

## Stop 2: Moho im Wadi Al Abiyad

Nach mehreren Stunden Fußmarsch durch Kilometer mächtige eintönige Harzburgite haben wir die Moho erreicht, wo wir auch auf die Nordgruppe treffen.



*Abb. 47 MTZ (Moho Transition Zone) mit injizierten Harzburgiten an der Basis und layered Gabbros darüber*

Hier an der MTZ (Moho Transition Zone) finden sich schwarze Harzburgite, die von weißlichen Trondhjemit Lagergängen durchsetzt sind an der Basis. Verschiedene Doleritgänge, eine grobkörnige Form von Basalt durchschlagen die Harzburgite dagegen vertikal. Einige davon haben chilled margins, schlagen gerade durch, sind aber an subhorizontalen Störungen treppenartig veretzt (alte Flachbahnen von listrischen Abschiebungen?). Eine offenbar ältere Ganggeneration weist keinen chilled margin auf, ist stark gewunden und endet in dem Harzburgit.

Darüber folgt ein etwa 3-5m mächtiger Dunit. In diesem Gestein kommt es zu einer Verarmung an Orthopyroxenen aufgrund durchströmender Magmen, in denen sich der Orthopyroxen löst. Man würde bei diesem Mechanismus einen graduellen Übergang zu Harzburgiten vermuten, hier jedoch ist der Kontakt sehr scharf – allerdings auch tektonisch überprägt.



Den Abschluss bildet ein Vortrag von Tim Schaefer über die regionale Geologie.



*Abb. 48 Fußwaschung an der Moho. Nach Tagen ohne Waschmöglichkeit genoss die erschöpfte Exkursion das frische Nass unterhalb der MOHO*

Von hier ging es zurück nach Seeb ins Hotel Eastin und zur ersten Dusche nach 11 Tagen!

## Tag 11 (4. 3. 2013)

Tag zur freien Verfügung in der Altstadt von Muscat, um 23.00 Uhr Abfahrt zum Flughafen

Bis 1970 war die alte Hafen- und Handelsstadt Muskat die Hauptstadt eines verschlossenen, weltabgewandten Sultanats. Die Stadttore wurden bei Sonnenuntergang geschlossen. Doch von dieser Verschlossenheit ist heute nichts mehr zu spüren, das Leben in der Stadt pulsiert und wir wurden von fast jedem vorbeifahrenden Auto mit lautem Geheupe willkommen geheißen.



*Abb. 49 Alte Stadtfestung nahe Maskat*

Nach einer erholsamen Nacht im Hotel und einer ausgiebigen Dusche haben wir uns auf den Weg zur Großen Moschee von Muskat gemacht, was sich als unser erstes kleines Abenteuer entpuppen sollte. Der Taxifahrer sprach kein Wort Englisch, war aber dennoch sehr bemüht und wollte uns unbedingt zur Moschee fahren. Nach einem Stop an einer Tankstelle und einer Wegbeschreibung des Tankwarts waren wir guter Dinge, ans erhoffte Ziel zu kommen. Allerdings landeten wir an einer riesigen Shopping Mall. Verwirrt umherirrend wurde uns von einem hilfsbereiten Omani angeboten, uns zur Moschee zu fahren. Nach einem netten

Gespräch über die Stadt und ihre Taxifahrer konnten wir endlich die imposante Moschee besichtigen.

Der Taxifahrer, der uns zurück zum Hotel fahren sollte und von dessen Bekannten uns versichert wurde, dass er das Hotel auch kenne, setzte uns dann nach einer langen Irrfahrt an irgendeinem Flughafenhotel aus. Wir konnten ihm noch verständlich machen, dass es sich nicht um unser Hotel handle und nach längerer Diskussion mit etlichen Hotelangestellten konnte die Fahrt fortgesetzt werden. Dank der Hartnäckigkeit des Taxifahrers und mit ein bisschen Hilfe unsererseits erreichten wir dann doch noch das richtige Hotel.



*Abb. 50 Landestypischer Kitsch-Laden*



*Abb. 51 Suq*

Am Nachmittag haben wir uns Richtung Matrah aufgemacht, ein Stadtteil Muskats, der zu den schönsten und lebendigsten der Stadt gehört. Hier liegen der stimmungsvolle Suq und der Fisch- und Gemüsemarkt. Um die Mittagspause auf dem Suq zu überbrücken, haben wir uns in einem traditionellen indischen Restaurant in einer kleinen Seitengasse eingefunden. Auf der Karte gab es nur ein Gericht und einen Löffel bekamen wir erst auf Anfrage, wer sich nicht getraut hat den Gewürz-Hähnchen-Brei mit den Fingern zu essen. Nach dieser köstlichen und scharfen Stärkung genossen wir noch den Anblick der Uferpromenade, bevor wir uns dann in das Getümmel des traditionellen Suqs stürzten. Feilschen gehört hier natürlich zum guten Ton, und so handelten wir wie die Weltmeister. „Best Quality“, „Kaschmir“, „One Rial, two Rial“ hallte es von allen Seiten. Am Ende des Tages hatten wir etliche Tücher, Kaschmirschals, Räucherwaren und Gewürze für die Daheimgebliebenen in den Tüten. Glücklich und erschöpft ging es dann zum Hotel zurück, zum Glück mit einem Taxifahrer, der diesmal perfekt Englisch sprechen konnte und sich auch noch in der Stadt auskannte und unser Hotel auf Anhieb gefunden hat! Den Abend haben wir dann mit einem gemeinsamen Abendessen ausklingen lassen. Ein wirklich toller Tag und ein gelungener Abschluss dieser gelungenen Exkursion!

## Tag 12 (5.3. 2013) Rückreise

### Danksagung

Herrn Prof. J. Köpke (Universität Hannover), Herrn Prof. A. Nicholas (University Montpellier) danken wir für die sehr interessanten Vorträge zur Geologie des Oman. Herr Prof. V. Schenk (Universität Kiel) und Herr Prof. M. Meschede (Universität Greifswald) sei ganz herzlich für die vielen Hilfestellungen und hilfreichen Hinweise im Vorfeld der Exkursion gedankt.

Ein besonderer Dank gebührt dem Universitätsbund Göttingen e.V. und dem DAAD-PROMOS für die Zuschüsse. Ohne diese, hätten viele die Reise nicht verwirklichen können. Es war eine große Bereicherung in geologischer Hinsicht und eine einmalige Gelegenheit das faszinierende Land, seine Kultur und seine freundlichen Menschen kennenzulernen. Vielen Dank für die unvergessliche Zeit.



## ***Oman Exkursion der Universität Göttingen 2013 - Highlights***

Prof. Dr. Bernd Lammerer

Nachfolgend ein kurzer Bericht aus meiner Sicht über die Höhepunkte auf der Exkursion:

Die ersten Exkursionstage waren der Geologie des Küstenstreifens südöstlich der Hauptstadt Muscat gewidmet. Mehrere Aspekte wurden berührt: Quartärgeologie, Hochdruckmetamorphose, Faltung und Verschuppung, metamorphe Sohle, frühe Besiedlung des Oman. In den folgenden Tagen besuchten wir vor allem die einzigartigen Ophiolite, aber auch die große Antiklinale des Djebel Akhdar Massivs mit den Plattform Gesteinen der Arabischen Halbinsel, die Permische Diskordanz, präkambrische Gesteine mit Stromatolithen und einen Aufschluss mit Hinweisen auf die größte Klimakatastrophe der Erdgeschichte – die „Snowball Earth“.

Sehr gut bewährt hat sich, dass die Studenten sich jeweils auf ein Thema vorbereiten und dieses an dem passenden Aufschluss vortragen mussten. Fast alle haben sich sehr gut darauf vorbereitet und zu lebhaften Diskussionen angeregt. Daneben gab es Rückblicke in die Grundlagen verschiedener Themen durch die Exkursionsleiter, zur Magmenbildung an Mineraltripelpunkten, Sammlung und Aufstieg über fraktale Strukturen und Sammlung und Kristallisation in Gängen, zur Tektonik und über die ersten Ursachen der Konvektion (Wärmeausdehnung aus dem Verständnis der Kräfteverhältnisse zwischen Atomen und der asymmetrischen Kurven der potentiellen Energie im Kristallgitter) und über die Rayleigh Zahl, welche bestimmt, ob Konvektion auftritt und wie diese geartet ist. Und vieles mehr.

Das Schlafen auf Feldbetten unter freiem Himmel am verglühenden Lagerfeuer war problemlos, der Blick auf einen nächtlichen klaren Sternhimmel mit Jupiter im Zenith und Saturn am frühen Morgen mag für viele neu gewesen sein und wird sicher lange positiv im Gedächtnis bleiben.

### ***Quartärgeologie***

In die Küstenmorphologie hat uns Prof. Gösta Hoffmann von der German University of Technology in Oman (GUtech) in didaktisch ganz hervorragender Weise eingeführt. Insbesondere zwei Problemgruppen hat er uns vorgestellt:

Problem 1:

Weite Bereiche der omanischen Küste stehen unter Hebung – kenntlich an mehreren gehobenen Terrassen. Da die Hebung vermutlich in den vergangenen 2-3 Millionen Jahren geschahen – einer Zeitspanne mit dramatischen Klimaänderungen und Meeresspiegelschwankungen – wird die Geschichte verkompliziert durch die Überlagerung der Hebung mit den Meeresspiegel Absenkungen während der Perioden maximaler Vereisung. Die Probleme mit der Datierung der Terrassen wurden an mehreren Beispielen erläutert.

Zwischen den gehobenen Abschnitten südöstlich und nordwestlich von Muscat gibt es einen Abschnitt um Muscat, der offenbar abgesenkt wurde – was durch ertrunkene Flusstäler eindrucksvoll dokumentiert wird. Die Frage, warum nur ein kurzer Küstenabschnitt davon betroffen ist, stellt sich hier. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen. Denkbar wäre, dass der abgesenkte Bereich von listrischen Abschiebungen erfasst wird. Eine solche Abschiebung ist in den südöstlichen Ausläufern der Stadt Muscat zu sehen: Hier sind Eozäne Kalke, welche diskordant den Harzburgiten auflagern, rotiert und abschiebend versetzt – genau, wie bei einer listrischen Abschiebung zu erwarten. Hier könnten reflexionsseismische Messungen helfen.

Andererseits waren auch entlang der Post-eozänen Gesteine langwellige Faltungen zu beobachten, die natürlich auch den älteren Sockel erfasst haben könnten, was lokale Hebungs – Senkungs – Tendenzen zur Folge haben könnte.

#### Problem 2:

Große Blöcke von mehreren Tonnen Gewicht finden sich auf dem Strand. Solche Blöcke überlagern feinkörnige Strandablagerungen an mehreren Küstenabschnitten. An einer Stelle sogar einen alten muslimischen Friedhof, auf dem mit Bodenradar und an Erosionsanschnitten die Überlagerung großer verfestigter Konglomeratbänke in Dachziegellagerung eine gewaltsame Schüttung vom Meer her in geschichtlicher Zeit belegen.

Da so große Blöcke nur von einer schwereren Suspension als Wasser transportiert werden können, bleibt als fast einzige Möglichkeit die einer Tsunami Ablagerung.

Dies ist natürlich in einem Land mit bedeutender küstennaher Besiedlung von vitaler Bedeutung! Ein seismologisches Monitoring findet erst in neuerer Zeit im Oman statt, und die Arbeiten werden dazu beitragen, dass hier künftig intensiver geforscht werden wird.

Die sorgfältigen Untersuchungen der Terrassensedimente haben die Gruppe um Prof. Hoffmann auch zu zahlreichen paläo- und neolithischen Streufunden geführt, sodass sich hier eine fruchtbare Zusammenarbeit mit den omanischen Archäologen ergeben hat. Anhand neuer Ausgrabungen hat Herr Hoffmann auch Hinweise entdeckt, dass neolithische Siedlungen ebenfalls durch Tsunamis zerstört wurden. Es sei daran erinnert, dass der Oman nach neuesten archäologischen Forschungen schon vor etwa 100.000 Jahren vom modernen Menschen besiedelt wurde (und nicht erst vor 70.000 Jahren, wie die Genetiker aufgrund von Mutationsraten lange Zeit glaubten).



*Abb.1a Tsunami beds und gehobene Terrassen; 1b: Fjorde an Senkungsküste*

### **Hochdruckmetamorphose**

Am Abend des ersten Tages wurde bei As Sifah ein Eklogit Aufschluss besucht. Ein Teil der Arabischen Platte und der ihr angeschweißten ozeanischen Kruste ist hier in die Mühlen der Subduktionszone geraten und teilweise zu Eklogit umkristallisiert. Diese schönen Hochdruck – Niedertemperatur Gesteine mit roten Granaten und grünen Pyroxenen bilden sich fast nur in Bereichen, wo Krustengesteine an Subduktionszonen schnell in große Tiefen (50 – 100 km) versenkt und ebenso schnell wieder gehoben wurden. Die schnellen Hebungsprozesse sind noch nicht gut verstanden, gehen aber mit plattentektonischen Geschwindigkeiten von mehreren Zentimetern pro Jahr vor sich. Dies bedeutet, dass ein Eklogit, der sich in 50 km Tiefe bildet, innerhalb von einer Million Jahre bereits wieder an oder nahe der Oberfläche sein kann. Das kann nicht durch Erosion geschehen. Diskutiert wird in diesem Zusammenhang meist das sog. „Corner flow Modell“, also das gewaltsame Zurückfließen von Krustenmaterial nahe der Oberplatte während des Subduktionsprozesses, ausgelöst durch das stete Hinabstopfen von Material nahe der Unterplatte.



*Abb. 2: Eklogit von As Sifah mit Granat, Omphazit und glaukophan*

### **Faltung und Verschuppung**

Im Wadi Mayih war der ‚Effekt der großen Deckenüberschiebungen anhand der damit verbundenen Faltung eindrucksvoll zu sehen: neben engen Falten in Karbonatgesteinen sahen wir die gewaltigen Mega – sheath folds – liegende Falten von einer Amplitude im 10er Kilometer Bereich mit stark gekrümmten Scharnierlinien. Solche Falten treten nur im Zusammenhang mit großen Überschiebungen auf. In unseren Fall sind die omanischen Ophiolitdecken weit über 100 Kilometer über diese Region geschoben und haben zu diesem seltenen Faltenbild geführt.

Einen großartigen Faltenaufschluss in Radiolariten erlebten wir am Abend des zweiten Tages: Die auf den ersten Blick höchst komplexe Struktur war auf eine frühe Extensionstektonik mit nachfolgender Einengung zurückzuführen. Bei genauer Betrachtung und Zeichnung im Feldbuch konnte man die beiden Phasen deutlich nachvollziehen.





*Abb. 3: Teil der Mega sheath fold im Wadi Mayih*



*Abb 4: Gefaltete Radiolarite*

### **Metamophe Sohle**

Während der Überschiebung der fast 1000°C heißen Ophiolitdecken auf den kalten Untergrund wurde Wärme übertragen (Bügeleiseneffekt). Dies dokumentiert sich im Oman durch eine nur wenige 100 Meter mächtige Zone metamorpher Gesteine an der Basis der Überschiebungsfläche, die sog. Metamophe Sohle. In dieser hat von oben nach unten ein enormer Temperaturgradient von 3-4°C/m geherrscht (bzw. von 3000 – 4000°C/km statt der sonst in der Kruste üblichen 30°C/km). Im Aufschluss am in der Literatur häufig genannten „green pool“, einem veralgten Tümpel im Wadi Tayin, konnten die Mylonite und Metamorphite gut studiert werden.

## **Ophiolite**

Bei Ophioliten, den Gesteinen des Ozeanbodens, unterscheidet man je nach der Spreizungsgeschwindigkeit an den Ozeanischen Rücken sehr langsame (ultra slow spreading oder Alpen Typ), langsame (slow spreading oder Atlantik Typ) und schnelle (fast spreading oder Pazifik Typ) Typen. Bei den ganz langsamen hat der Erdmante während der Dehnungsphase genug Zeit, um auszukühlen. Es bilden sich praktisch keine oder nur wenige Magmen, der Mantel liegt serpentiniert direkt am Ozeanboden exponiert und wird von Sedimenten überlagert. Diesen Typ findet man etwa im Alpenraum. Langsames spreading erzeugt mehr Magmen, isolierte Gabbrokörper und Gänge in Mantelgesteinen, aber keine durchgehend zonierte Lagen. Der Apennin und die Insel Elba sind gute Beispiele dafür.

Die Ophiolite des Omans sind die vollständigsten und best aufgeschlossenen weltweit und gehören dem Typ mit schnellem spreading an. Hierbei bilden sich sehr viele Magmen und eine große Magmenkammer mit einer Schmelzlinse, in der das Magma vollständig aufgeschmolzen ist. Diese beschickt Gänge, die das Magma an den Meeresboden liefern „sheeted dikes“ und mächtige untermeerische Basalte, meist als Pillowbasalte. Wir konnten dabei einen Blick in die „Gesteinsküche des Erdmantels“ werfen, sahen die ersten, noch isolierten Schmelztropfen im Mantelgestein (Abb. 5), die sich zu Gängen sammelten und nach oben aufstiegen. Wir sahen mehrphasige Schmelzereignisse, weil mit zunehmender Druckentlastung beim Aufstieg immer wieder neue Schmelze gebildet wird – mit immer neuer Zusammensetzung. Auf diese Weise formten sich die dunklen Wehrlitgänge, die Plagiogranite, grobe Gabbros mit Riesenkristallen und weiße Anorthosite, die praktisch nur aus Plagioklas- Feldspat bestehen und als späte Schmelzen sich aus wieder aufgeschmolzenem Gabbro entwickeln. Weil dabei immer ein erhöhter Wassergehalt eine entscheidende Rolle spielt, gibt es zwei Modelle, die im Gelände diskutiert wurden: Entweder, das Wasser stammt aus eindringenden Meerwasser, oder es kommt von unten, wo es etwa bei einer tiefer liegenden Subduktionszone freigesetzt wurde – oder aus beiden Quellen. Hinzu kommen Auslaugungsprozesse in den Basalten, wobei durch aufgeheiztes aggressives Meerwasser Metalle, wie Kupfer und Mangan aus den Basalten gelöst wird und über die erst vor wenigen Jahrzehnten entdeckten „schwarzen Raucher“ am Meeresgrund wieder ausgefällt werden. Auch hiervon konnten wir Spuren entdecken.



*Abb. 5: Schmelztropfen (hell) sammeln sich in Proto-dikes im Harzburgit*



*Abb. 6: Pillow Laven im Wadi Jizzi*

### **Arabische Plattform und die Djebel Akhdar Antiklinale**

Ein weiterer Höhepunkt war die Querung des Djebel Akhdar Massives, vorbei am höchsten Berg des Oman, dem Djebel Schams (3009 m). Auf abenteuerlichen Staubstraßen querten wir eine gigantische Antiklinale aus mächtigen Plattformcarbonaten. Zwischen der Perm- und der Kreidezeit haben sich hier unter dauernder langsamer Senkung mehrere Kilometer mächtige Flachwasserkalke abgelagert, die zu einer riesigen Domstruktur gefaltet wurden. an der Basis waren noch die alten Präkambrischen Ablagerungen zu sehen, darunter eine lehrbuchhaft schöne Diskordanz, wo unter den Permkalken im 45° Winkel verstellte präkambrische Kalke anstanden, die sich durch schöne Polster von Cyanobakterien (Stromatolithen) auszeichneten.

### **Snowball Earth**

In diesen präkambrischen Gesteinen fand sich ein besonders spektakulärer Aufschluss: Mächtige glaziale Sedimente mit viel Feinmaterial und darin Findlingsblöcke grober Geschiebe aus einer Zeit vor etwa 700 Millionen Jahren, als – so die ziemlich eindeutigen Hinweise - die gesamte Erde vereiste. Diese Eiszeit dauerte mehrere Millionen Jahre, die Ozeane müssen bis zum Äquator hin mit einer Kilometer dicken Eisschicht überzogen gewesen sein und die Durchschnittstemperatur der Erde mag bei -50°C gelegen haben. Als Ursache wird neben der damals noch etwas geringeren Sonneneinstrahlung ein sehr geringer CO<sub>2</sub> Gehalt in der Atmosphäre angesehen, weil durch intensive Verwitterung der vorwiegend um den Äquator herum gescharten Kontinente zu viel CaO freigesetzt wurde, das sich mit dem CO<sub>2</sub> zu Kalkstein verbunden hatte.

Weil durch die Vereisung aber die Verwitterung zu Stillstand gekommen war, gleichzeitig aber sich in den Meeren durch untermeerischen Vulkanismus an den ozeanischen Rücken sich CO<sub>2</sub> wieder anreichern konnte und auch auf dem Festland Vulkane Aschen verteilten, die mehr Wärme absorbieren konnten und ebenfalls CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre schickten, kam es nach 5 – 6 Millionen Jahren zu einem Umschlag vom

Eishaus zum Treibhaus Klima innerhalb von wenigen Tausend Jahren. Dieser größte und schnellste Klimawandel der Erdgeschichte wird hier im Oman auch durch die sog. Caprocks dokumentiert, einem Kalk-Dolomitgestein, das aus warmem, Kalkübersättigtem Wasser anorganisch ausgefällt wurde und sich unmittelbar über die glazialen Sedimente (Tillite) legte – ein Phänomen, das man weltweit beobachten kann.



*Abb. 7: Prof. Siegesmund spaziert auf den Spuren der Snowball Earth Ablagerungen. Zu seinen Füßen die glazialen Sedimente der Eiszeit, die braunen Kalke darüber aus der Warmzeit danach.*

### **Oman Gesellschaft**

Naturgemäß haben wir als Gruppe nicht allzu viel Kontakt mit der Bevölkerung gehabt – aber immer wenn doch, dann begegneten wir einer außergewöhnlichen Freundlichkeit und Hilfsbereitschaft. Auch herrscht im Oman eine relativ tolerante und friedliche Richtung des Islam vor, der Ibadismus, und so findet man auch teilweise unverschleierte Frauen – insbesondere in der Stadt. Andererseits trifft man auf dem Land auch vollkommen verdeckte Frauen, die die Außenwelt nur durch das schwarze Tuch wahrnehmen können – was daran erinnert, dass die Landbevölkerung noch sehr patriarchalisch und streng islamisch geprägt ist.



*Abb. 8: Kinder sind, wie überall fröhlich und frei, wie die mit Henna – Tatoos geschmückten Mädchen im Akhdar Gebiet*

### **Fazit**

Insgesamt waren die Ophiolite und die übrigen geologischen Phänomene großartige Lehrbeispiele dafür, dass die Prozesse in der Natur vielfältig, voller Überraschungen und komplex sind und noch viel Raum für weitere Forschungen offen lassen – bei aller Faszination für das bereits erreichte. Keine Vorlesung, und sei sie noch so gut, kann diese unmittelbaren Eindrücke aus dem Gelände so anschaulich und nachhaltig vermitteln. Diese geologische Omanexkursion kann aus meiner Sicht als rundum gelungen bezeichnet werden!

Prof. Dr. Bernd Lammerer, LMU München



Abb. 9: Studentische Pyramide vor der Moho. Die dunkel verwitternden Gesteine im Gipfelbereich sind Gabbros der Ozeanischen Kruste, die heller braunen Harzburgite darunter gehören dem einstigen Erdmantel an. Die Mohrovicic Diskontinuität wird durch die grüne Hemdspitze markiert.