©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

ABHANDLUNGEN DER GEOLOGISCHEN BUNDESANSTALT
Abh. Geol. B.-A. | ISSN 0378-0864 | ISBN 978-3-85316-036-7 | Band 60 | S. 107–113 | Wien, 11.–16. Juni 2007
SCHRIFTENREIHE DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN
GEOTOPE – DIALOG ZWISCHEN STADT UND LAND | ISBN 978-3-932537-49-3 | Heft 51 | S. 107–113 | Wien, 11.–16. Juni 2007
11. Internationale Jahrestagung der Fachsektion GeoTop der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften

„Al Hoota“, ein karst- und höhlenkundliches Forschungs- und Tourismusprojekt im Sultanat Oman

HEINZ A. KOLLMANN, HELMUT SATTMANN & ROBERT SEEMANN*)

9 Abbildungen

Oman
Karst
Höhlenkunde
Geotourismus
Geotopschutz

Inhalt

Zusammenfassung . . . 107
Abstract . . . 107
1. Einleitung . . . 108
2. Geologische Besonderheiten . . . 108
3. Verkarstung und Hydrologie . . . 109
4. Fauna . . . 110
5. Touristische Erschließung . . . 111
6. Schutz . . . 113
Literatur . . . 113

Zusammenfassung

Die Al-Hoota-Höhle ist ein neuer touristischer Anziehungspunkt im trockenen Landesinneren des Sultanats Oman. Die wissenschaftliche Betreuung von den ersten Machbarkeitsstudien bis zur Realisierung erfolgte durch Mitarbeiter des Wiener Naturhistorischen Museums.

Das etwa 5 km lange Höhlensystem befindet sich in oberkretazischen Kalken der Natih-Formation (Wasia Group). Es zeigt bemerkenswerte Tropfsteinformationen und unterirdische Seen. In der Höhle und in den umgebenden Karstlandschaften wurden bislang weit über 100 Tierarten nachgewiesen.

Die Höhle folgt vor allem Schichtflächen und untergeordnet Brüchen, die als Folge der Subduktion der ozeanischen Kruste im NE der Arabischen Platte entstanden sind. Der überwiegende Teil der Tropfsteine und Sinterbildungen ist heute inaktiv. Hauptphasen der Versinterung lagen zwischen 6.000 und 10.000 Jahren sowie zwischen 100.000 und 125.000 Jahren vor heute.

Um die Höhle zu erschließen, wurden Straßenanbindungen und eine örtliche Infrastruktur mit einem Besucherzentrum geschaffen. Die etwa einen Kilometer lange Entfernung zwischen dem Besucherzentrum und der Höhle legt der Besucher in einer Höhlenbahn zurück. Der Eingang in die Höhle erfolgt von einem 130 m langen Tunnel aus über eine Luftschleuse. Der Besucher-Rundweg hat eine Länge von 820 Metern und berührt ca. 7 % der gesamten Höhle. Für die Bauphase und den Betrieb wurden strenge Schutzmaßnahmen erlassen. Dazu gehören die seismische Überwachung und der Staubschutz beim Bau des Eingangsbereichs, eine Minimierung der Verunreinigung des Höhlenwassers und die Beschränkung der Beleuchtungszeiten und -intensitäten. Gitter an den natürlichen Höhleneingängen unterbinden den unkontrollierten Zugang, erlauben aber den Fledermäusen das ungehinderte Passieren.

Al Hoota Cave – A New Touristic Landmark in Oman

Abstract

The Al Hoota Cave is a new touristic landmark in the arid central part of the Sultanate of Oman. The project was scientifically supervised by scientists of the Vienna Museum of Natural History from the feasibility studies to the final realization.

*) Dr. HEINZ A. KOLLMANN, Dr. HELMUT SATTMANN, Dr. ROBERT SEEMANN, Naturhistorisches Museum Wien, Burgring 7, A 1010 Wien.
heinz.kollmann@nhm-wien.ac.at · helmut.sattmann@nhm-wien.ac.at · robert.seemann@nhm-wien.ac.at

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

The cave system which has a length of 5 km is located within limestones of the Late Cretaceous Natih Formation (Wasia Group). It shows a remarkable wealth of dripstone formations and subterraneous lakes. Hitherto, over 100 species of animals have been recorded in the cave and its surroundings.

The cave follows mainly bedding planes and to a minor extent faults which have been formed consequently to the subduction of the oceanic crust NE of the Arabian Plate. Today, the dripstones are mostly inactive. Main phases of sinter deposition have been 5.000 to 6.000 years and 100.000 to 125.000 years ago.

Prior to the opening of the cave to the public, road connections and a local infrastructure including a visitor center have been established. The distance of about 1 km between the visitor center and the cave entrance is covered by a cave train. Visitors enter the cave from a tunnel of 130 m length over a climate control sluice. The visitor circuit has a length of 820 m and touches only 7 % of the total length of the cave.

For the construction phase and the operation of the cave various protection measures have been imposed. They include among others the seismic surveillance and the protection against dust during the construction of the tunnel and entrance, a minimization of water pollution and the limitation of light intensity and the restriction of lighting intervals. The natural entrances were secured with fences to prevent unauthorized access but secure an undisturbed passage for bats.

1. Einleitung

Als Erdöl förderndes Land hat der Oman zwar gute Einkünfte, hinkt aber mit nur 0,9 Millionen Barrel Tagesförderung seinem Nachbarn Saudi-Arabien mit neun Millionen Barrel deutlich hinterher. Um den wirtschaftlichen Aufschwung voranzutreiben, investiert das Land nun vermehrt in den Tourismus. Bislang konzentrierte sich dieser auf die Sandstrände des relativ fruchtbaren Nordens und des Südens. Mit der Erschließung der Al-Hoota Höhle im Hajar-Gebirge (Abb. 1) soll ein zusätzlicher Anziehungspunkt im trockenen Landesinneren, unweit der ehemaligen Hauptstadt Nizwa, der zum Weltkulturerbe zählenden mittelalterlichen Festung in Bahla und des Jebel Shams – dem mit knapp über 3000 m höchsten Berg des Oman – geschaffen werden.

Die vom omanischen Ministerium für Handel und Industrie beauftragten wissenschaftlichen Vorarbeiten wurden durch Geowissenschaftler und Biologen des Wiener Naturhistorischen Museums durchgeführt (MAIS et al., 1995; SEEMANN, 2001). Die in Folge vom Tourismus-Ministerium beauftragte Detailplanung und Bauaufsicht geschah gemeinsam mit dem Architekturbüro „Werkstatt Wien“ im Zeitraum von 2002 bis 2006. Seit November 2006 ist die Höhle für Besucher geöffnet.

2. Geologische Besonderheiten

Die Al-Hoota-Höhle ist die größte und schönste Höhle (Abb. 2) im Osten der Arabischen Halbinsel. Das insgesamt etwa 5 km lange Höhlensystem zeigt bemerkenswert schöne Tropfsteinformationen. Eine zusätzliche Besonderheit ist eine Kette von vier unterirdischen Seen mit einer Gesamtlänge von über zwei Kilometern. Allein der größte der Seen, der „Große Fischsee“, hat eine Längserstreckung von 900 m.

Das Höhlensystem liegt im Nord-Oman auf der Südseite des Jebel Shams. Das umgebende Gestein gehört der Natih-Formation (Abb. 3) der Wasia-Gruppe an (PRATT & SMEWING, 1993; PHILIP et al., 1995). Es besteht aus massigen Packstones, knolligen Wackestones und Mudstones von oberkretazischem Alter (Cenomanium –Turonium nach SIMMONS & HART, 1987; SCOTT, 1990; SMITH, SIMMONS & RACEY, 1990; PHILIP & al., 1995). Das auch in tieferen Zonen meist mit einem Netzwerk von Karsthohlräumen durchzogene Gestein stellt in anderen Bereichen des Oman ein wichtiges Erdölspeichergestein dar.

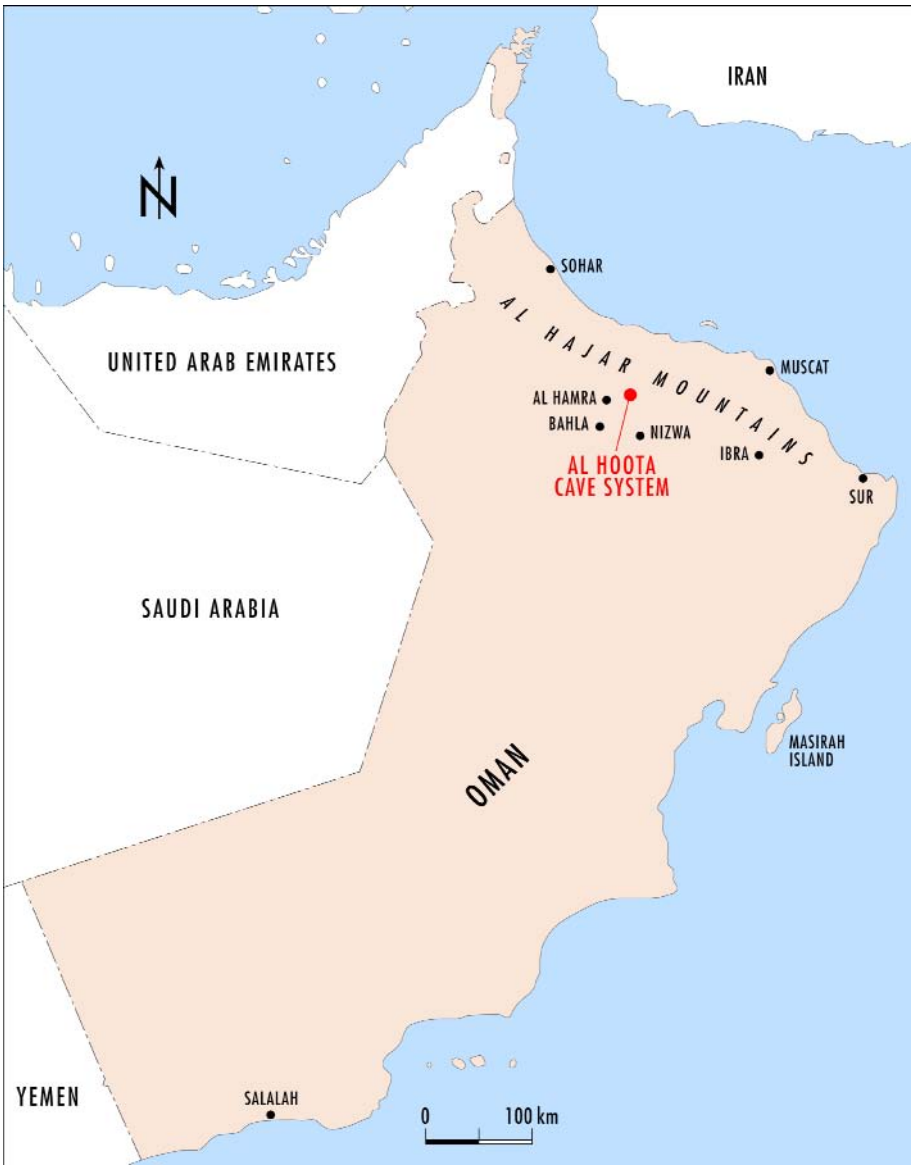

Abb. 1.
Die Al-Hoota-Höhle liegt im Norden des Oman auf Höhe der Hauptstadt Muscat.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

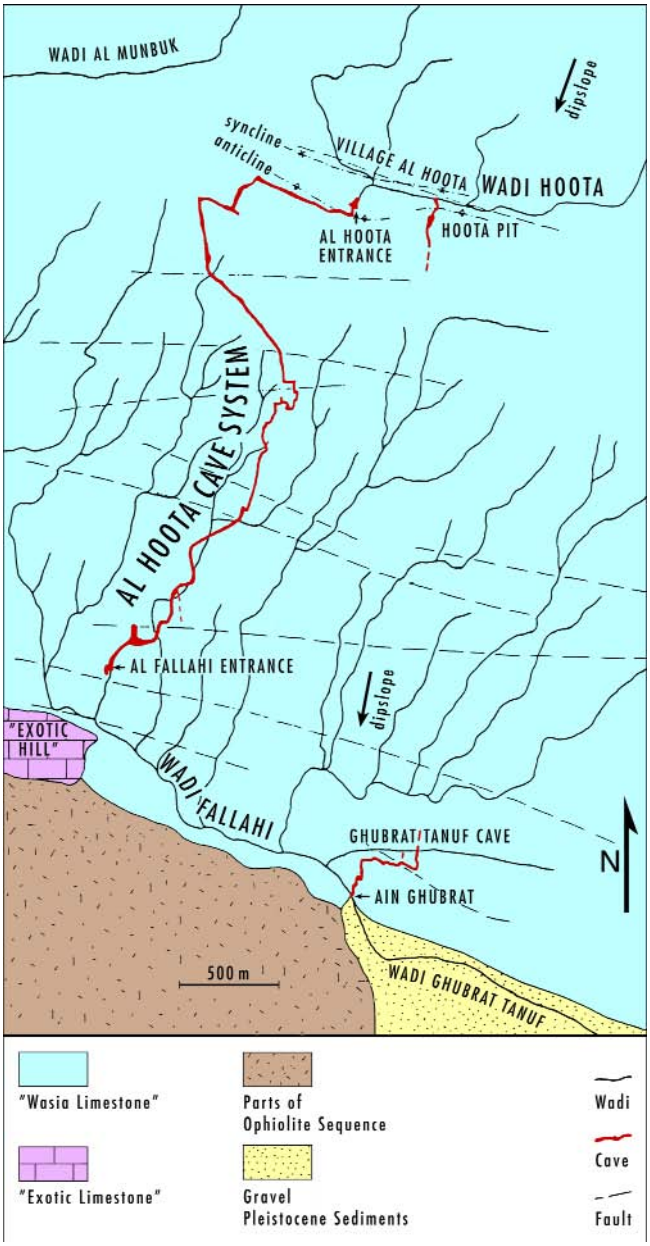

Abb. 2.
Das umgebende Gestein des rund 5 km langen Höhlensystems gehört der Wasia Gruppe an (nach WALTHAM et al., 1985).

Der Kalk bildet eine breite Antiklinale, die im Jebel Shams ihren Scheitel hat (HANNA, 1990). Vor Anlage der Antiklinale kam es in der Oberkreide zu einer Subduktion im NE der Arabischen Platte und damit zu einer Verengung des Samail-Ozeans, der sich zwischen der Afrikanischen Platte und Eurasien erstreckte (siehe: STAMPFLI & al., 2004); die Arabische Halbinsel war damals noch ein kompakter Anteil des Afrikanischen Kontinents. Der Schelf Arabiens wurde dabei an die Subduktionszone herangeschoben. In der Folge kam es aber zu einer Obduktion von ozeanischer Lithosphäre und Erdmantelgesteinen auf den Kontinentalrand („Samail-Ophiolith").

Mittransportierte Gesteinskörper von permischen und triassischen Kalken sind wahrscheinlich bei der Öffnung des Samail-Ozeans vom Kontinentalabhang auf den Ozeanboden abgeglitten oder als ehemalige Inseln mitobduziert. Sie werden als „Exotische Kalke" bezeichnet.

Unmittelbar in der Nähe des Besucherzentrums der Höhle befindet sich ein derartiger triassischer Gesteinskörper, der an der Überschiebungsfläche direkt den kretazischen Kalken der Natih-Formation aufliegt. In der beigefügten Kartenskizze ist er als „Exotic Hill" ausgewiesen. Typisch für den schwach metamorphen „Exotischen Kalk" sind Korallen und Reste dickschaliger Bivalven.

Abb. 3.
Die oberkretazische Natih-Formation stellt in anderen Bereichen des Oman ein wichtiges Erdölspeichergestein dar.

Die großtektonischen Vorgänge führten zu intensiven Bruchbildungen im Gestein. Auf synsedimentären Bewegungen und einer ersten Kompressionsphase nach Ablagerung der Natih-Formation kam es zu einer Expansionsphase. Sie führte zur Erweiterung der Brüche bis auf mehrere Meter Breite. Diese wurden während der Überschiebung durch den Ophiolith hydrothermal mit Calcit aufgefüllt. Eine weitere Generation von nicht mehr so mächtigen Bruchsystemen bildete sich erst deutlich später, im Paläogen, bei der Aufwölbung des Hajar-Gebirges und des Jebel Shams.

3. Verkarstung und Hydrologie

Die Oberflächenverkarstung rund um die Höhle ist sehr intensiv. Die Landschaft ist durch zahlreiche Wadis strukturiert, die Bodenbedeckung äußerst gering. Deutlich ausgeprägte Rillenkarren und Wandkarren wurden in stärker humiden Perioden gebildet. „Mikrokarren" (Abb. 4), im Bereich bis maximal ein Millimeter, sind hingegen charakteristische klimabedingte rezente Korrosionserscheinungen an der Karstgesteinsoberfläche.

Abb. 4.
Karren gehören zu den am weitesten verbreiteten Karsterscheinungen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die erste genaue Höhlenvermessung und Beschreibung erfolgte von WALTHAM et al. (1985). Weitere Details wurden in den internen Berichten von MAIS et al. (1995) sowie von SEEMANN & AL MASKERY (2002) beschrieben. Ein Überblick wird in HANNA & AL-BELUSHI (1996) gegeben.

Die Entwicklung der Höhle folgt in erster Linie Schichtflächen und untergeordnet Brüchen. Besonders in den mächtigeren Bankungen, oberhalb wasserstauender Zonen, wurde die Höhle stark lateral erweitert. Die höher gelegenen älteren Abschnitte wurden in Zeiten gebildet, in denen der Grundwasserspiegel wesentlich höher lag als das Niveau des heutigen Al-Hoota-Plateaus. Im Zuge der relativen Hochhebung der alten Oberfläche wurde durch Abtragung des Geländes und der Eintiefung der Täler der Grundwasserspiegel permanent abgesenkt. Dabei fielen die älteren, höher gelegenen Teile der Höhle trocken. Die heutige Entwässerung findet an Klüften und Schichtflächen im und unterhalb des Niveaus des Großen Fischsees statt.

Die häufigsten sekundären Mineralbildungen in der Al-Hoota-Höhle sind Tropfsteine und flächige Sinterablagerungen. Der überwiegende Anteil der Tropfsteine ist heute inaktiv und durch gelegentliche Überflutungen deutlich korrodiert, erodiert oder oberflächlich in Gips umgesetzt. Nach Isotopen- und Alterbestimmungen (BURNS et al., 1995; NEFF et al., 2001) ist die Hauptmasse der Versinterungen in nur zwei Bildungsphasen zu gliedern. Die jüngste weist ein Alter von 6.000 bis 10.000 Jahren auf, die ältere, deutlich mächtigere Entwicklung ist auf eine Bildungsperiode zwischen 100.000 und 125.000 Jahren beschränkt. Untersuchungen an den die Tropfsteine unterlagernden meterdicken Sinterschichten lassen sogar Alter bis zu 325.000 Jahren zu. In allen Fällen handelte es sich um Pluvialzeiten mit reichlicher Oberflächenvegetation.

Der Durchbruch vom tiefer gelegenen, aktiven Teil der Höhle in den höheren, älteren („fossilen") Abschnitt erfolgte im Zeitintervall zwischen den Hauptversinterungsperioden vor 10.000 und vor 100.000 Jahren. Sämtliche Hohlräume wurden dabei überflutet und mit großen Mengen an grob- und feinkörnigem Material gefüllt. Durch offensichtlich intensive Korrosion stürzten große Abschnitte der Decke, samt alten Tropfsteinformationen auf den Höhlenboden. Großflächig tritt auch Gips auf. Der Schwefel ist zum großen Teil auf charakteristische, Pyrit führende Lagen im umgebenden Gestein zurückzuführen. Die Sulfide oxidierten während der Verkarstung, dabei bildete sich Schwefelsäure, die sowohl mit dem primären als auch mit dem sekundären Kalk reagierte. Entsprechend ist auch der relativ hohe Sulfatgehalt des rezenten Wassers zu erklären.

Die Al-Hoota-Höhle hat zwei Eingänge; der südliche führt in den touristisch genützten Abschnitt, in den etwa 250 m höher gelegenen nördlichen Eingang mündet das Wadi Hoota mit einem Einzugsgebiet von rund 30 km². Unter den derzeit herrschenden klimatischen Bedingungen findet auf der in etwa 1000 m Seehöhe befindlichen Karsthochfläche des Al-Hoota-Plateaus keine oberflächliche Entwässerung über längere Strecken statt. Die durchschnittlich geringen Niederschlagsmengen versickern an Ort und Stelle in den sehr klüftigen Kalkgesteinen. Extreme Wetterbedingungen können aber zu starken Überflutungen, speziell in den Wadis, führen. Nach WALTHAM et al. (1985) konnte in solchen Fällen im zuführenden Wadi Hoota ein Wasserdurchfluss von 100 m³/sec ermittelt werden! Derartige Hochwässer, die im Durchschnitt ein- bis zweimal pro Jahr stattfinden, bewirken auch eine dramatische Flutwelle, die die ganze Höhle durchspült.

Im Großen Fischsee (Abb. 5) sind ca. 15.000 m³ Wasser gespeichert. Über den direkt angeschlossenen Grundwasserkörper werden damit zahlreiche kleine Quellen in der Umgebung gespeist. Die wichtigste – nur knapp 4 km entfernt – ist die Quelle von Tanuf. Sie stellt eine der größten genützten Mineralwasserquellen des Oman dar.

Abb. 5.
Im Großen Fischsee der Al-Hoota-Höhle sind rund 15.000 m³ Wasser gespeichert.

Im Gegensatz zu den extremen Temperaturen an der Oberfläche (im Sommer bis +50°C Lufttemperatur und +70°C Felstemperatur) weist die Al-Hoota-Höhle ein gemäßigtes Klima auf: durchschnittlich 25°C und 40 bis 70 % relativeLuftfeuchtigkeit. Speziell im Bereich der großflächigen Wasservorkommen und im Umfeld der bis 35°C heißen Thermalquelle mitten in der Höhle steigt die relative Luftfeuchtigkeit bis fast 100 % an.

4. Fauna

In der Höhle und in den umgebenden Karstlandschaften wurden bislang weit über 100 Tierarten nachgewiesen. In der Höhle selbst sind es etwa 30 Arten, darunter die im omanisch-westpersischen Raum endemische Mausschwanz-Fledermaus (*Rhinopoma muscatellum*; Abb. 6), eine bemerkenswerte Population blinder Fische, Arthropoden und Mollusken. Die Fischart *Garra barreimiae* ist endemisch für das Hajar-Gebirge. Auffallend ist, dass in den Oberflächenwässern pigmentierte Formen mit sichtbaren und funktionierenden Augen vorkommen, während die Höhlenbewohner derselben Art unpigmentiert und blind sind. Die Augen werden bei diesen Tieren zwar embryonal angelegt und sind bei Jungfischen noch sichtbar, im Laufe des Wachstums werden sie allerdings rückgebildet und sind schließlich bei größeren Fischen äußerlich nicht mehr erkennbar (WEISSENBACHER et al., 2000).

Fische, die durch extreme Trockenheit im Grundwasser von Höhlen isoliert werden, überleben eher, wenn schon

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Abb. 6.
Die Mausschwanz-Fledermaus ist im omanisch-westpersischen Raum endemisch.

einige Voranpassungen vorhanden sind. Dazu gehören gut ausgebildete Sinnesorgane, die Fähigkeit zum Hungern, vom Tageslicht unabhängige Reproduktionsmechanismen, möglicherweise aber auch die Tendenz zum Einsparen nutzloser Strukturen. Die Rückbildung von Augen und Pigmenten können vielleicht als „Sparmaßnahmen" in einem ohnehin nahrungsarmen Lebensraum interpretiert werden. Wie das genau funktioniert, ist nicht ausreichend untersucht (vgl. WILKENS, 2005).

In den Gewässern der Al-Hoota-Höhle findet man auch verschiedene Wasserkäfer, von denen eine Art, *Hydraena putearius,* erst vor wenigen Jahren beschrieben wurde und nur von zwei Örtlichkeiten, beide im Oman gelegen, bekannt ist (JÄCH & DIAS, 2000). Eine auffällige, relativ große Jagdspinne, wurde hier – und bisher nur hier – gefunden und unter dem Namen *Spariolenus secundus* erstbeschrieben (JÄGER, 2006). Auch unter den Urinsekten (Collembolen, Zygentoma) wurden Neuentdeckungen gemacht, die allerdings bislang nicht publiziert sind. Und bereits 1996 wurde die Schnecke *Gulella protruda* aus der Al Hoota-Höhle beschrieben (NEUBERT & FRANK, 1996; FRANK, 1998). Zahlreiche interessante Tier- und Pflanzenarten findet man im Eingangsbereich und in der Umgebung der Höhlen. In den Wadis wächst eine reizvolle Vegetation aus Blütenpflanzen und Gräsern, Lebensgrundlage für Arthropoden, Mollusken und Wirbeltiere. Zu Letzteren zählt auch der Mensch mit seinen Haustieren, in erster Linie Kamelen und Ziegen (SEEMANN & AL MASKERY, 2002).

5. Touristische Erschließung

Um die Höhle für den Besucher zu erschließen, mussten viele Voraussetzungen erst geschaffen und folgende Maßnahmen in die Wege geleitet werden (SEEMANN & AL MASKERY, 2002):

1) **Schaffung der notwendigen Verkehrs-Infrastruktur.**
   Zu diesem Zweck wurden Straßenanbindungen zu den Hauptverkehrsstrecken: Muscat – Nizwa und Salalah, bzw. nach Dubai und Abu Dhabi hergestellt.
2) **Einrichtung der örtlichen Infrastruktur.**
   Diese umfasst das Besucherzentrum (Abb. 7) mit einer Gastronomie, einem Souvenirshop, einem Ausstellungsteil („Al-Hoota-Geo- und Höhlenmuseum") und einem Multimediazentrum. Weiters befinden sich im selben Gebäude die Station der Höhlenbahn sowie die nötigen Werkstättentrakte und Energieversorgungen. Im Vorfeld des Besucherzentrums wurden Parkplätze errichtet. Hier befindet sich auch ein kleines Café samt „Recreation Center" für die Busfahrer. Eine ebenfalls geplante Moschee wurde einstweilen zurückgestellt.
3) **Zugangsweg zur Höhle.**
   Die Distanz zwischen Besucherzentrum und Höhle beträgt knapp einen Kilometer. Die Strecke wird mit einer ebenfalls in Österreich entwickelten und gebauten Eisenbahn (Abb. 8) überwunden – es ist übrigens die erste Eisenbahn im Oman. Der ursprüngliche, natürliche Zustieg in die Höhle liegt in einem mächtigen Felsportal und führt hier zwischen riesigen Versturzblöcken ca. 17 m senkrecht in die Tiefe, ein Umstand, der für den Normaltouristen völlig ungeeignet wäre. Entsprechend musste ein künstlicher Zugang, eine ca. 130 m lange Tunnelstrecke, eingerichtet werden. Der Tourist hat somit jetzt die gute Möglichkeit, mit dem akkubetriebenen Zug vom Besucherzentrum über eine 40m lange Bogenbrücke über das Wadi Fallahi und einer den Hang querenden Obertage-Strecke direkt zum „Höhlenbahnhof" im Tunnel zu fahren. Der Zugang zur Höhle erfolgt dann zu Fuß über eine 20 m lange Luftschleuse.

Abb. 7.
Das Besucherzentrum hat neben einem Gastronomieteil auch einen Shop und einen Ausstellungsteil.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Abb. 8.
Eine in Österreich entwickelte Eisenbahn führt vom Besucherzentrum zum Eingang der Al-Hoota-Höhle.

4) **Die Besucherwege und Beleuchtung der Höhle.**
Der Innenausbau nimmt größtmögliche Rücksicht auf die Höhlenlandschaft. Zudem sind auch nur rund sieben Prozent der gesamten Höhle für Touristen geöffnet. Der als Rundweg konzipierte Besucherweg hat eine Länge von 820 m. Die Bauausführung der Wegstrecke – einschließlich der Brücken, Treppen und Plattformen – erfolgte in Beton und Nirosta-Stahl. Die Beleuchtung wurde ebenfalls von österreichischen Firmen, gemeinsam mit der HTL Wiener Neustadt, hergestellt. Sie besteht aus einer Notbeleuchtung, einer Basisbeleuchtung und der Effektbeleuchtung, welche die eindrucksvollen Tropfsteinformationen (Abb. 9) und sonstige Attraktionen ins „rechte Licht" stellt. Das für die aride Region etwas unerwartete Hauptproblem stellen die schon erwähnten Überflutungen der Höhle dar. Große Teile der Weganlagen und auch der elektrischen Einrichtungen werden dabei massiv unter Wasser gesetzt; eine entsprechende unterwassertaugliche Ausführung der Gesamtkonstruktion – wie auch die Einrichtung einer elektronischen Hochwasserwarnanlage – waren daher unerlässlich.

5) **Personal.**
Der Besuch ist ausschließlich mit Führungen möglich. Das Führungspersonal, das bevorzugt aus den umliegenden Ortschaften stammt, wird in regelmäßigen Abständen zu den Fachthemen, den Pflichten und Rechten wie auch hinsichtlich Sicherheit und Erster Hilfe geschult.

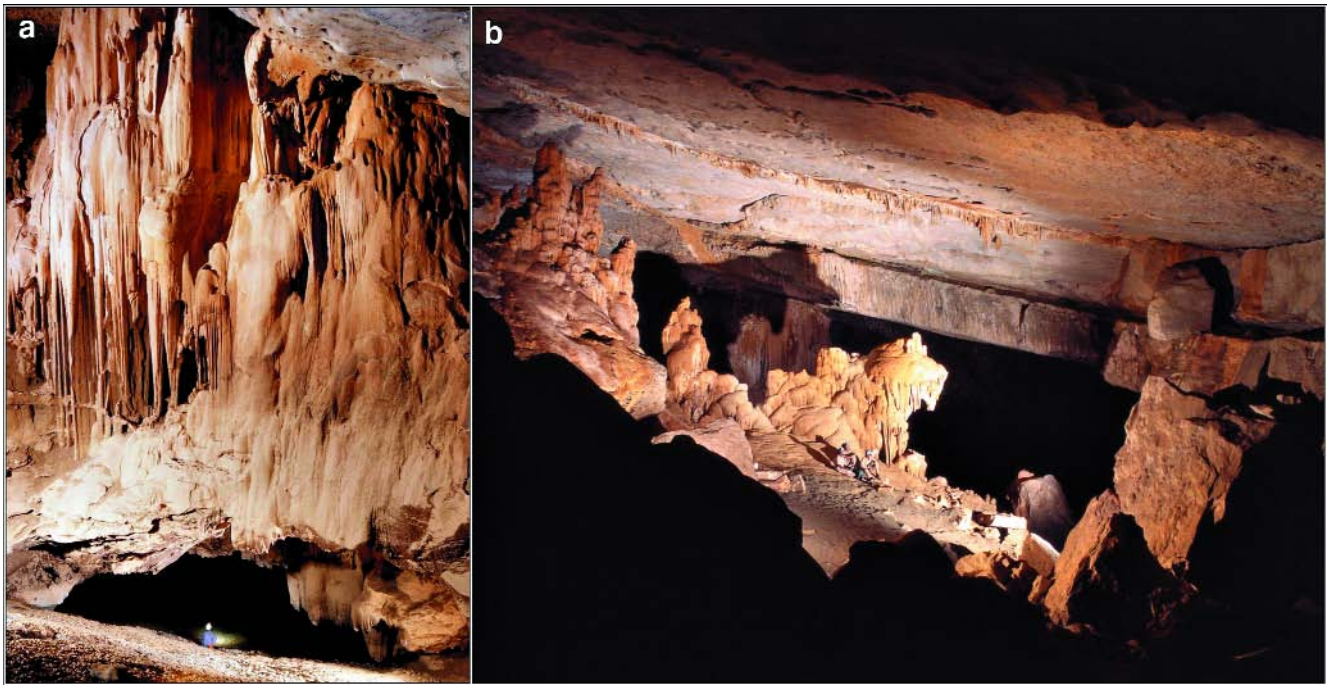

Abb. 9.
Im Inneren der Al-Hoota-Höhle.
a) Die Effektbeleuchtung der eindrucksvollen Tropfsteinformationen wurde von österreichischen Firmen hergestellt.
b) Erst die richtige Beleuchtung zeigt den „Löwen" in der Al-Hoota-Höhle.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

6. Schutz

Höhlen stellen sehr sensible Lebensräume dar. Insbesondere für Schauhöhlen müssen Maßnahmen zum Schutz der Organismen eingeplant und durchgeführt werden (vgl. HAMILTON-SMITH & EBERHART, 2000; JUBERTIE, 2000; EISWIRT, 2001). Entsprechende Empfehlungen wurden für die Ausbauphase und für den Besucherbetrieb formuliert (SEEMANN & AL MASKERY, 2002). Auflagen beim Bau waren unter anderen die ständige seismische Überwachung der Sprengarbeiten im Tunnel und der Schutz vor Staubentwicklung. Das Höhlenwasser durfte nicht zu Bauzwecken verwendet werden und die Luftschleusen mussten rasch angebracht werden, um das Höhlenklima nicht zu verändern. Kontaminationen der terrestrischen und aquatischen Lebensräume wurden und werden möglichst gering gehalten.

Wesentliche Auflagen für den Schaubetrieb waren, den Besucherstrom vom Natureingang fernzuhalten, nur einen kleinen Abschnitt (etwa 7 %) der Höhle für Besucher zugänglich zu machen, weder Schwimmen noch Bootsfahrten auf den Seen zuzulassen und die Entnahme von größeren Wassermengen aus dem unterirdischen Karstwasserreservoir zu unterbinden. Die Kontamination des Höhlenwassers durch Bauarbeiten und jetzt durch die Besucher wurde und wird weitgehend vermieden. Müll und Schutt werden ständig aus der Höhle abtransportiert. Eine Minimierung der Gefahr von Karstwasserverunreinigungen durch den Tourismus ergibt sich auch durch den Umstand, dass sich der gesamte Führungsweg am Ende der unterirdischen Wasserkette, auch nach dem letzten (tiefsten) See befindet.

Weiters sollte zur Vermeidung von Irritationen der Tiere und zur Eindämmung von Algenwachstum („Lampenflora“) nur Licht von geringer Intensität verwendet werden, und das nur punktuell und ausschließlich während der Führungen (MAIS et al., 1995; SEEMANN & AL MASKERY, 2002). Die Führungswege sind so konzipiert, dass sie die Hauptrastplätze der Fledermäuse umgehen. Die natürlichen Höhleneingänge wurden gegen illegale Eindringlinge mit Gittern gesichert, aber großmaschig genug, dass die Fledermäuse passieren können. Jeder unkontrollierte Zugang wird somit vermieden und die Höhle ist nur durch die Klimaschleuse zu betreten. Empfohlen wird weiters ein Schutz der Höhlenumgebung sowie die Ausweisung eines Lehrpfades (SEEMANN & AL MASKERY, 2002).

Literatur

BURNS, S.J., MATTER, A., FRANK, N. & MANGINI, A. (1998): Speleothem-based paleoclimate record from northern Oman. – Geology, **26**, 499–502.

EISWIRT, M. (2001): Bauen im Grundwasser – Umweltverträglichkeiten und Materialanforderungen. – In: Bauen in der Erde – Aktuelle Probleme des Ingenieurtiefbaus und Bauwesens, Veröffentlichungen der Akademie der Geowissenschaften zu Hannover, **19**, 7–16.

FRANK, C. (1998): Gastropoden aus dem Hoti-Höhlensystem (Oman). – Die Höhle, **49**, 42–49, Wien.

HAMILTON-SMITH, E. & EBERHARD, S., (2000): Conservation of cave communities in Australia. – In: WILKENS, H., CULVER, D.C. & HUMPHREYS, W.F. (Eds.; 2000): Ecosystems of the world, **30,** Subterranean ecosystems, 647–667, Amsterdam (Elsevier).

HANNA, S.S. (1990): The Alpine deformation of the Central Oman Mountains. – In: ROBERTSON, A.H.F., SEARLE, M.P. & RIES, A.C. (Eds.; 1990): The Geology and Tectonics of the Oman Region, Geological Society Special Publication, **49**, 341–359.

HANNA, S.S. & AL-BELUSHI, M. (1996): Introduction to the caves of Oman. – Sultan Qaboos University, Ruwi, 128 pp.

JÄCH, M.A. & DIAZ, J.A. (2000): Descriptions of eight new species of Hydraena (Coleoptera: Hydraenidae). – Entomological Problems, **31**(1), 41–58.

JÄGER, P. (2006): A new *Spariolenus* species from caves in Oman – first representative of the Heteropodinae in the Arabian peninsular (Araneae: Sparassidae). – Bull. Br. Arachnol. Soc., **13**(8), 309–313.

JUBERTIE, C. (2000): Conservation of subterranean habitats and species – In: WILKENS, H., CULVER, D.C. & HUMPHREYS, W.F. (Eds.; 2000): Ecosystems of the world, **30,** Subterranean ecosystems, 691–700, Amsterdam (Elsevier).

MAIS, K., PAVUZA, R. & SEEMANN, R., (1995): Show caves in Oman. Feasibility Study. – 91 pp., Wien (Naturhistorisches Museum).

NEFF, U., BURNS, S.J., MANGINI, A., MUDELSEE, M., FLETMANN, D. & MATTER, A. (2001): Strong coherence between solar variability and the Monsoon in Oman between 9 and 6 kyrs ago. – Nature, **411**, 290–293.

NEUBERT, E. & FRANK, C. (1996): A new *Gulella* (*Gulella protruda* n. sp.) from Oman (Gastropoda: Pulmonata: Streptaxidae). – Archiv f. Molluskenkunde, **126**(1/2), 125–127, Frankfurt/Main.

PHILIP, J., BORGOMANO, J. & AL-MASKIRY, S. (1995): Cenomanian–Early Turonian carbonate platform of Northern Oman: stratigraphy and paleo-environments. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **119,** 77–92, Amsterdam.

PRATT, B.R & SMEWING, J.D. (1993): Early Cretaceous Platform Margin, Oman, Eastern Arabian Peninsula. – AAPG Memoir, **56**, 201–212.

SCOTT, R.W. (1990): Chronostratigraphy of the Cretaceous carbonate shelf, southeastern Arabia. – In: ROBERTSON, A.F.H.F., SEARLE, M.P. & RIES, A.C. (eds.): The geology and tectonics of the Oman Region, 89–108.

SEEMANN, R. (2001): Caves in Oman. Al Hoti Cave System. Tourism and Research Project. Preliminary Study. – 55 pp., Vienna (Museum of Natural History).

SEEMANN, R. & AL MASKERY, S.A.J. (2002): Al Hoti Cave System, Final Report, 152 pp., Muscat – Wien.

SIMMONS, M.D. & HART, M.B. (1987): The Biostratigraphy and Microfacies of the Early and Middle Cretaceous Carbonates of the Wadi Mi´aidin, Central Oman Mountains. – In: HART, M.B. (Ed.): Micropalaeontology of Carbonate Environments, 176–207, Chichester (Ellis Horwood).

SMITH, A.B., SIMMONS, M.D. & RACEY, A. (1990): Cenomanian echinoids, larger foraminifera and calcareous algae from the Natih Formation, central Oman Mountains. – Cretac. Res., **11**, 29–69.

STAMPFLI, G.M. & BOREL, G.D. (2004): The TRANSMED transects in Space and Time: Constraints on the Paleotectonic Evolution of the Mediterranean Domain. – In: CAVAZZA, W., ROURE, F., SPAKMAN, W., STAMPFLI, G.M. & ZIEGLER, P.A. (Eds.): The TRANSMED Atlas, The Mediterranean Region from Crust to Mantle, 53–80. Berlin – Heidelberg – New York (Springer).

WALTHAM, A.C., BROWN, D.D. & MIDDLETON, D.C. (1985): Karst and Caves in Jabal Akhdar, Oman. – Cave Science, **12**/3, 69–70.

WEISSENBACHER, T., SATTMANN, H., CHRIST, M., SCATTOLIN, G. & AHNELT, H. (2002): Auf der Spur der blinden Höhlenfische. – Aquaristik Fachmagazin & Aquarium Heute, **164**, Jg. 34 (2), April/Mai 2002, 66–72.

WILKENS, H. (2005): Fish (S. 241–250); Neutral Mutation (S. 411–414). – In: CULVER, D. & WHITE, W.B. (2005): Encyclopedia of Caves, 654 S., Elevier.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 27. April 2007

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt in Wien

Jahr/Year: 2007

Band/Volume: 60

Autor(en)/Author(s): Kollmann Heinz Albert, Sattmann Helmut, Seemann Robert

Artikel/Article: "Al Hoota", ein karst- und höhlenkundliches Forschungs- und Tourismusprojekt im Sultanat Oman 107-113