

## Tauchen in das Erdaltertum – Höhlentauchexpedition in mexikanischen Unterwasserhöhlen beleuchtet Evolution der Crustacea neu

**BJÖRN M. VON REUMONT**

Besonders im DARWIN-Jahr 2009 rückt das Thema Evolution in das Blickfeld eines breiten Publikums. Die enorme Vielfalt der Arten, die wir heute kennen, ist das Resultat der evolutionen Prozesse, die immer noch nicht ganz verstanden sind. Eine der artenreichsten und wohl vielfältigsten Gruppe auf der Erde sind die Gliederfüßer, die Arthropoda. Die Evolutionsgeschichte dieser Gruppe ist immer noch unklar und wird seit dem 19. Jahrhundert diskutiert. Diese Diskussion begann schon zu Zeiten DARWINS. Die Monophylie der einzelnen Arthropodengruppen, der Hexapoda, Crustacea, Myriapoda, Chelicerata (=Euarthropoda) und der Onychophora und Tardigrada sind im Allgemeinen anerkannt. Wie diese Gruppen phylogenetisch zu einander stehen, ist jedoch weiterhin unklar. Die momentan existierenden Hypothesen zur Evolution der Arthropoda stehen zueinander im Widerspruch, eine allgemein anerkannte Phylogenie der Arthropoda steht daher zurzeit nicht in Aussicht.

Eine Schlüsselrolle in der Evolution der Arthropoda spielen die Krebse (Crustacea), die über 52.000 Arten umfassen. Einige Krebsgruppen, wie die Rankenfüßer (Cirripedia) waren bereits Studienobjekt von CHARLES DARWIN in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Die Crustacea sind eine extrem diverse Gruppe und umfassen so kleine Arten wie die *Mystacocarida (Derocheilocaris typicus)* von nur 0.3 mm Körpergröße und so große Arten wie die Japanische Riesenkrabbe (*Macrocheira kaempferi*) mit fast vier Meter Spann-

weite. Allgemein anerkannt sind sechs Großgruppen der Crustacea, die Malacostraca (LATREILLE, 1802), Branchiopoda (LATREILLE, 1817), Remipedia (YAGER, 1981), Cephalocarida (SANDERS, 1955), Maxillopoda (DAHL, 1956) und Ostracoda (LATREILLE 1802). Die Monophylie einiger Gruppen der Crustacea, wie z. B. der Malacostraca und Branchiopoda ist allgemein akzeptiert, für die meisten Gruppen jedoch noch immer unklar. Die Crustacea sind zusätzlich von großem Interesse, um die Frage zu beantworten, wie die Arthropoda so erfolgreich das Land besiedeln konnten. Neuere Ergebnisse von molekularen und neuroanatomischen Studien unterstützen ein Szenario, in welchem die Hexapoda von den Crustacea abstammen. Eng verbunden mit dieser Frage ist die teilweise noch immer diskutierte Stellung der Crustacea innerhalb der Arthropoda. Einige neuroanatomische und morphologische Daten weisen darauf hin, dass speziell eine Gruppe der Krebse, nämlich die Remipedia, mit den Tracheata nah verwandt sind. Daher lag einer der Schwerpunkte meiner Dissertation, in welcher ich die Evolution der Crustacea molekular untersuche (betreut von Prof. WÄGELE und Prof. MISOF) auf dem Sammeln der faszinierenden Gruppe der Remipedia, um diese molekular noch fast unbearbeitete Gruppe zu analysieren. Die Analysen der meisten Studien zur Phylogenie der Crustacea basieren auf einer relativ kleinen Artauswahl mit Einzelgenen oder "Multigenanalysen" mit nur wenigen Genen. Ribosomale RNA Gene wurden besonders häufig hierfür

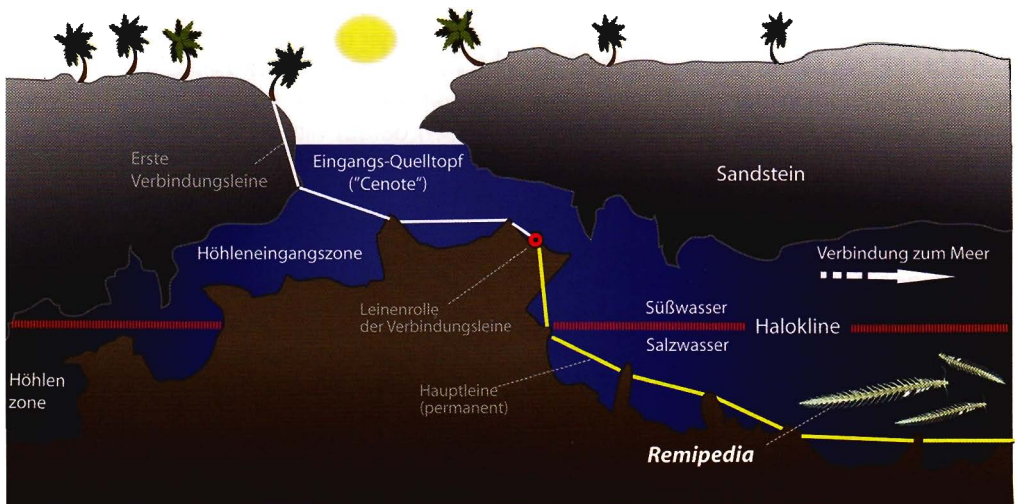
verwendet. Allerdings erfolgte nur in den wenigsten Studien auch eine Analyse bezogen auf Qualität der Daten und im Besonderen der alignierten Sequenzen. Hinzu kommt, dass eine komplexe Modellierung der Daten in den meisten Analysen fehlt. Die komplexen Analysen werden in enger Zusammenarbeit mit der Bioinformatikgruppe am ZFMK durchgeführt. Vor der hierfür notwendigen Laborarbeit und anschließenden bioinformatischen Auswertung der gewonnenen Sequenzen, steht das Sammeln von Tieren.

Die Remipedia sind durch ihre Lebensweise in unterirdischen Unterwasserhöhlen der Bahamas (Grand Bahama Island) erstmals Ende der 70er Jahre entdeckt und Anfang der 80er Jahre beschrieben worden (YAGER, 1981). Der Lebensraum (Habitat) dieser Gruppe sind sogenannte „anchialine Höhlensysteme“ (HOLTHUIS 1973), die oberirdischen Zufluss durch Süßwasser erfahren und unterirdisch mit salzhaltigem Meerwasser verbunden sind.

Dadurch entsteht in diesen Höhlensystemen eine Durchmischungsschicht dieser zwei Wassersäulen, die sogenannte „Halokline“.

Die Remipedia wurden bisher stets unterhalb dieser Halokline in der Salzwassersäule nachgewiesen. In den letzten Jahren wurde die Biogeographie der Remipedia eingehender untersucht und es wurden drei „hot-spots“ bisher gefunden: Nordwest Australien, der Bereich Karibische See – Golf von Mexico (Bahamas, Kuba, Mexico) und die Kanarischen Inseln (Lanzarote).

Unsere Sammelreise führt uns an die Ostküste der Yukatan Halbinsel, da hier Höhlensysteme existieren, die eine enorme Individuenanzahl von nur einer Art aufweisen. Die einzige Remipedia Gattung, die für Yucatan beschrieben wurde, ist *Speleonectes*. Da für die molekularen Untersuchungen einige Individuen gesammelt und fixiert werden müssen, bieten sich die Höhlensysteme des Yukatan am besten an, um dort gezielt zu tauchen. Ein Abenteuer, das nicht ganz ungefährlich ist, denn beim Höhlentauchen agiert man in einer natürlicherweise dunklen Umgebung, die überdies im Notfall ein direktes Auftauchen verhindert. Grundsätzlich wird das Tauchen in Höhlen nur an einer Orientierungsleine durchgeführt. Diese ist wie der Faden der Ariadne, welcher dem Taucher den Ausgang aus dem Labyrinth



**Abb. 1.** Anchialines Höhlensystem: Oberirdisch besteht Süßwasserzufluss, unterirdisch ist das System mit dem Meer verbunden. Die Remipedia kommen nur unterhalb der Halokline vor.



**Abb. 2.** Der Autor im November 2008 zusammen mit TOM ILLIFFE (re.) und der Kollegin JOEY PAKES aus Berkeley vor der Cenote „Crystal Clear“.

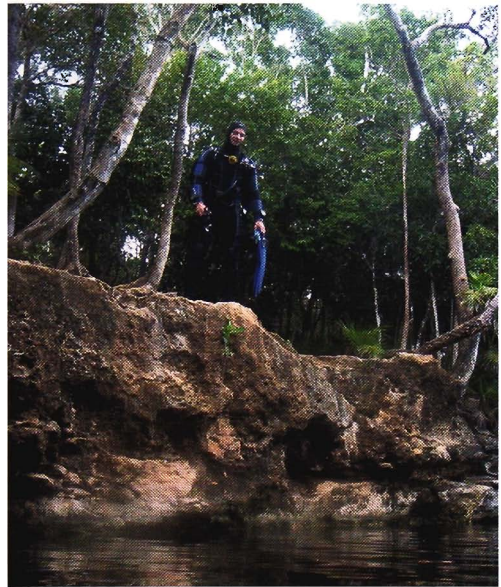
zeigt. Notfalls auch blind bei Lichtausfall, ein immer wieder trainiertes Szenario. Eine gute und spezielle Ausbildung sowie eine aufwendige, mindestens zweifach redundante Ausrüstung sind beim Höhlentauchen unabdingbar. Nach einer entsprechenden Ausbildung und mit der notwendigen Ausrüstung ging es dann zusammen mit TOM ILLIFFE und einigen seiner Kollegen der Texas A & M University (TAMUG) nach Mexiko.

TOM ist seit über 30 Jahren Höhlentaucher und kennt die meisten Höhlensysteme des Yukatans wie seine Westentasche. Seine Arbeitsgruppe und die um STEFAN KÖNEMANN in Hannover arbeiten seit einigen Jahren an den Remipedien, um die Evolution und die noch immer weitgehend unbekannte Lebensweise dieser Tiere zu erforschen. Eine enge Kooperation mit beiden Gruppen wird es uns vielleicht ermöglichen, Licht in dieses Dunkel zu bringen, im wahrsten Sinne des Wortes.

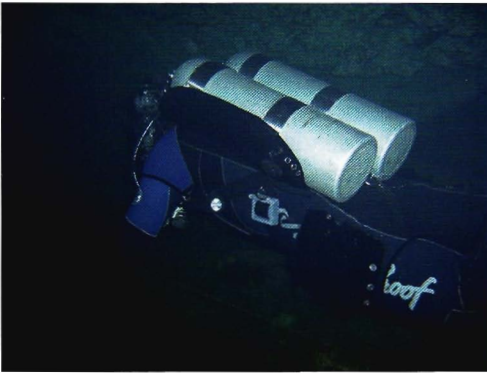
Begeben wir uns zusammen auf eine Zeitreise in das alte Reich der Maya, denn schon

zu Zeiten der Maya waren die unterirdischen Höhlensysteme der Yucatan Halbinsel von größter wirtschaftlicher und religiöser Bedeutung. Die Quelltöpfe (Cenotes), der sich darin anschließenden Höhlensysteme waren als Wasserreservoir wichtig, da es auf der Yucatan Halbinsel so gut wie keine oberirdischen Wasserzuflüsse gibt. Parallel waren sie aber auch der Zugang zum Jenseits, der spirituellen Unterwelt der Maya.

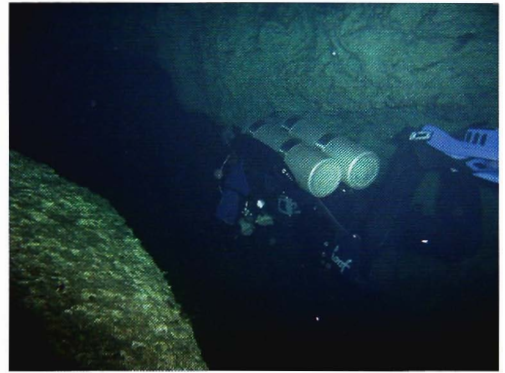
Noch heute findet man in diesen Unterwasser-Höhlensystemen Zeugnis und Relikte des Totenkults dieser alten Zivilisation, viele Fragen diesbezüglich sind noch offen. In der heutigen, modernen Zeit sind viele Cenoten von den Mexikanern als Freibad und Fischquelle zugleich genutzt. Es mutet manchmal etwas seltsam an, wenn ein hochgerüsteter Höhlentaucher mit gut 50 Kilogramm Aus-



**Abb. 3.** Ausrüstung gecheckt, dann hinein in den Quelltopf. Der Autor vor dem Sprung in die Cenote, diese Höhe ist allerdings keinerlei Rede wert, in viele Cenoten muss man sich kompliziert abseilen. Das Springen macht aber trotzdem Spass. Diese Höhle wurde zu Übungszwecken und zum speziellen Training betachtet, um den Autoren auf das System vorzubereiten, wo die Remipedien später gesammelt wurden.



**Abb. 4.** Im Gangsystem der Cenoten, im Vordergrund ist die Orientierungsleine zu sehen. Der Zustand dieser Leine war leider schlecht, sie riss während des Tauchgangs konnte dann aber mit eigenen Leinenstücken repariert werden. Auch aus diesem Grund befinden sich immer genügend Leinenrollen am Mann oder an der Frau bzw. in geschlechtsneutralen Beintaschen (siehe Bild).



**Abb. 5.** Eintauchen in einen Unterwasser-canyon im Höhlensystem. Die absolut waagrechte Tarrierung und verschiedene Flossenschlagtechniken müssen sitzen, damit kein Sediment aufgewirbelt wird oder Ausrüstung beschädigt wird. Nicht sichtbar hier die Orientierungsleine an der insbesondere in unbekanntem Höhlen dicht getaucht wird.

rüstung an spielenden Kindern und einer mexikanischen „Barbecue-Fiesta“ vorbeistapft, um in den Quelltopf einzusteigen. Gerade in letzter Zeit sind die Cenoten auch in das Interesse der Touristenbranche gerückt und viele Cenoten sind nun kommerziell erschlossen, um Tauchern die Möglichkeit zu bieten, diese Höhlen relativ bequem zu betreten. Diese zunehmende Aufmerksamkeit ist auch dringend notwendig, denn das Habitat "Cenote" ist durch die Abwässer auch aus der extrem stark zunehmenden Touristenbranche immens gefährdet. Bisherige Erforschungen der Höhlensysteme zeigten eine hochgradige Vernetzung der Systeme. Wird ein System verschmutzt durch Einbringen von Abwasser jeglicher Art, ist das Ausmaß der Katastrophe auf die gesamte Unterwelt des Yucatans (inklusive der Remipedien) nur zu erahnen.

Das System, in welchem wir die Remipedien sammeln, liegt jedoch weit abseits der Touristenpfade, und zwei Stunden Anfahrt vom Quartier müssen eingeplant werden. Ein Fußmarsch vom obligatorischen, im Feld geparkten GMC Van dauert gut 20 Minuten

und dies bei über 35 °C Temperatur mit der schweren Ausrüstung und Doppel-12 Flaschen auf dem Rücken. Man tut gut daran, den Neoprenanzug vorher anzuziehen. Das sorgt zwar dafür, dass einem noch heißer wird, allerdings hält dies die Schwärme von Mücken zurück, die aus den umliegenden Sumpf und Buschland aufsteigen, als hätten sie geradezu auf schwitzende Taucher gewartet. Auch der Ein- und Ausstieg in die Cenote gestaltet sich als etwas aufregender als sonst, die Flaschen und schweres Equipment müssen ein kurzes Stück abgeseilt werden, um sie in die Cenote zu bringen. Die Taucher springen dann hinterher und gehen zum letzten Mal die Equipment Konfiguration durch. Eines fällt sofort auf: Das Wasser dieser Cenote ist extrem trüb, brackig und stinkt extrem. Dies steht in starkem Kontrast zu den berühmten kristallklaren Wassern der meisten mexikanischen Höhlensysteme. Nach den beim Höhlentauchen lebensnotwendigen festen Prozedere „Ausrüstungscheck und Ausrüstungs-Demonstration“ an der Wasseroberfläche und der „Simulation von Luftausfall“ unter Wasser im Quelltopf geht es an der Orientierungsleine

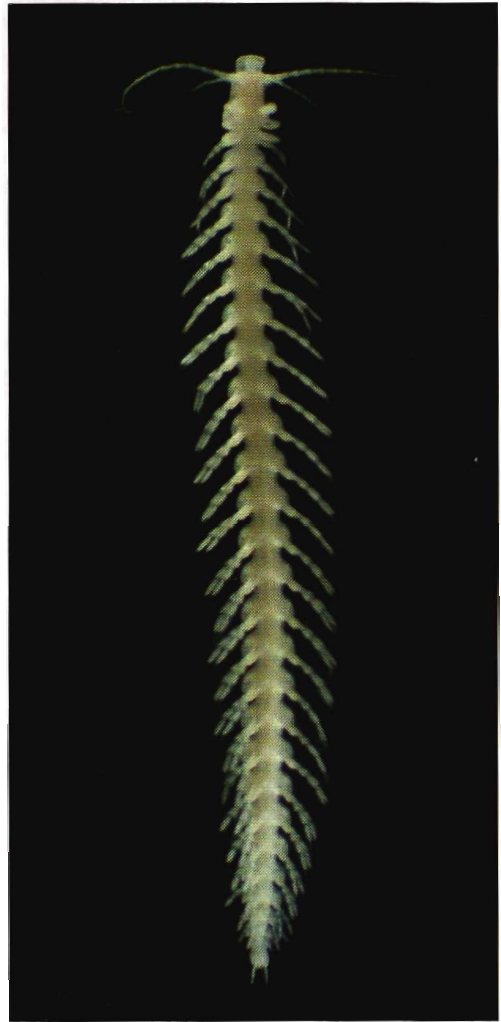


**Abb. 6.** Ein Juwel im Busch. Eine typische „Einsturz-Cenote“, wie man sie sehr häufig findet. Das Bild drückt leider nur annähernd die Faszination aus, die von diesen Orten ausgeht. Es wird sofort eindrücklich klar, warum dies heilige Orte für die Maya waren.

auf fünf Meter Tiefe in das Höhlensystem. Die Sicht im Quelltopf beträgt ca. 50 Zentimeter, trotz Tageslichts und der starken Akkutanklampensysteme. Die Orientierungsleine ist überlebenswichtig, der erste Taucher legt diese beim Eintauchen. Das besondere dieser Höhle ist, dass im Quelltopf abgestorbene Bäume und Büsche herausragen, man muss sehr vorsichtig agieren und tarieren, da man sonst schon beim Eintauchen in die Höhle scheitert. Oder bereits beim Hineinspringen.

Nach ca. 25 Minuten Tauchzeit in einem recht großen Gangsystem auf 22 Meter Tiefe zweigt nach links ein Stollensystem ab, das einem Hohlweg ähnelt, allerdings findet man rechts und links in ca. 30 Meter Tiefe große Gewölbe mit bizarren Stalagmit- und Stalaktitformationen vor. Das Sediment ist

extrem feiner Sandstaub und der geringste falsche Flossenschlag hinterlässt eine sich schnell ausbreitende Staubwolke. Nach wenigen Metern in diesem Gang treffen wir auf die ersten Remipedien. Mitten in der Wassersäule kreuzen die Tiere im Lichtkegel der Lampen unsere Wege. Sie schweben mit metachronem Beinschlag „krabbelnd“ durch die Wassersäule. Diese Beschreibung trifft es am besten. Sehr grazil schlängeln sie sich dabei ruhig aber doch zügig vorwärts. Beim Versuch, sie einzufangen und in das Sam-



**Abb. 7.** Das Objekt wissenschaftlicher Begierde: *Speleonectes tulumensis*. (Foto: STEFAN KÖNEMANN)

melgefäß zu bugsieren, ist man erstaunt, wie schnell diese Tiere flüchten können. Ebenso erstaunlich ist, dass die Öffnungen von Sammelgefäßen unabhängig von ihrer Größe irgendwie immer zu klein sind. Nach einigen Versuchen klappt es dann aber.

Nach dem Sammeln und ausreichender Zeit zum Bestaunen und Betrachten dieses Phänomens beginnt das langsame Austauschen aus der Höhle, natürlich mit obligatorischem Sicherheitsstopp. Um ganz sicher zu gehen zehn Minuten, denn der Rückweg aus der Cenote zum Fahrzeug wird noch recht anstrengend. Daher wird nach dem Auftauchen im Quelltopf noch ein Weilchen auf der Oberfläche gedümpelt. Dies ist eine gute Gelegenheit für das „Debriefing“ (abschließende Tauchgangsbesprechung) und man kann die Eindrücke und den Tauchgang als ganzes noch mal Revue passieren lassen.

Zurück im Quartier beginnt dann nach dem letzten dieser Tauchgänge schon wieder viel zu schnell das Packen, um zurückzufliegen und diese eindrucksvolle Umgebung unter und über Wasser zu verlassen. Allerdings nicht, ohne am letzten Abend gebührend die erfolgreiche „Mission“ zu feiern. Jetzt darf wieder etwas getrunken werden, da nicht mehr getaucht wird. Und der Tequila in Mexiko schmeckt doch einfach am besten. Ein

herzliches Dankeschön am Ende an alle Beteiligten dieser Expedition, TOM LUFFE und seinem Team. Die Finanzierung wurde dankenswerterweise von der Raiffeisenbank Rhein Sieg übernommen, vermittelt von der Alexander-Koenig-Gesellschaft (AKG). Die ersten Ergebnisse aus dem Molekularlabor liegen jetzt schon vor. Es gibt Hinweise von Hämocyanin Untereinheiten, die auf eine enge Verwandtschaft von Remipeden und Hexapoda hinweisen. Dies ist ein sehr spannendes und neues molekulares Ergebnis, dem hoffentlich bald weitere folgen werden, um die Evolution der Crustacea und die Stellung der „Schlüsselgruppe“ Remipedia innerhalb der Krebse näher zu beleuchten. Ein weiteres Ergebnis ist jetzt schon sicher: Die enge Zusammenarbeit mit KAREN MEUSEMANN, die in ihrer Dissertation bei Prof. MISOF (Universität Hamburg) "basale" Hexapoden untersucht, ist unabdingbar. Gerade die neuen Erkenntnisse zu den Remipeden zeigen, wie wichtig diese relativ unbekanntes, ursprünglichen Insektengruppen sind, insbesondere, um die Evolution der Crustacea zu beleuchten.

Dipl. Biol. BJÖRN M. VON REUMONT, Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig, Molekularlabor, Adenauerallee 160, D-53113 Bonn; E-Mail: [bmvr@acor.de](mailto:bmvr@acor.de).