

## Tauchgang in die Totenwelt Prospektions- und Dokumentationsmethoden zur archäologischen Erforschung gefluteter Höhlen- systeme auf der Halbinsel Yucatán, Mexiko

### EINLEITUNG

Charakteristisch für die mexikanische Halbinsel Yucatán sind das weitestgehende Fehlen oberirdischer Süßwasserressourcen wie Flüsse oder Seen und der Mangel an ertragreichen Böden. Das Grundwasser findet sich vorwiegend in den über 3.000 bekannten Einsturzdolinen, sogenannten Cenoten, sowie den weitverzweigten unterirdischen Höhlensystemen des stark verkarsteten Bodens<sup>1</sup>. Seit 1999 werden diese potenziellen Fundstellen durch das Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) (National Institute of Anthropology and History) im Rahmen des Projektes „Underwater Archaeological Atlas“ untersucht<sup>2</sup>.

Ziel ist die Erfassung, Erforschung und Erhaltung von archäologischen und paläontologischen Funden und Befunden unterschiedlicher Zeitstellung aus den Cenoten und Höhlensystemen der Bundesstaaten Yucatán und Quintana Roo<sup>3</sup>. Seit Beginn der Untersuchungen konnte bereits reichhaltiges Fundmaterial dokumentiert werden, darunter Knochen der pleistozänen Fauna, prähistorische Feuerstellen und Bestattungen sowie sakrale und profane Hinterlassenschaften der Maya.

Von 2009–2011 waren bis zu sechs Mitglieder der Arbeitsgruppe für Maritime und Limnische Archäologie (AMLA) an den Untersuchungen beteiligt<sup>4</sup>. Sie sind die ersten deutschen Wissenschaftler, die zusammen mit mexikanischen Kollegen komplexe Untersuchungen in den gefluteten, labyrinthartigen Höhlensystemen durchführten und die nötige Spezialausbildung und -ausrüstung für solch aufwendige Tauchgänge mitbringen<sup>5</sup>.

Während des Untersuchungszeitraumes wurde versucht, Fundplätze in Cenoten und Höhlen möglichst umfassend zu lokalisieren, zu dokumentieren, zu datieren und zu charakterisieren. Darüber hinaus wurde seitens der AMLA versucht, für diese diffizile Arbeitsumgebung zielgerichtete Prospektions- und Dokumentationsverfahren sowie die damit verbundenen Tauchtechniken zu entwickeln, um bei maximaler Tauchsicherheit effizient und systematisch arbeiten zu können. Dies beinhaltete darüber hinaus, von den unter Wasser gelegenen Fundstellen, sofern möglich, ein digitales 3-D-Modell anzufertigen, welches auch auf Standardrechnern darstellbar ist; hier handelt es sich um eine Technik, die derzeit von der Arbeitsgruppe Multimedia Information Processing (MIP) am Institut für Informatik der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel sowie am Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung GEOMAR entwickelt wird (siehe Beitrag „Ein digitaler Abguss der Welt: 3-D-Rekonstruktion unter Wasser“ von T. Kwasnitschka und A. Jordt). Im Laufe des Projekts konnten in insgesamt 331 Tauchgängen 23 Cenoten und daran angeschlossene Höhlenpassagen zum Teil systematisch prospektiert und untersucht werden.

### ARBEITSGEBIET

Das Arbeitsgebiet liegt im nordöstlichen Teil der Halbinsel Yucatán in Mexiko, rund um die Ortschaft Tulum im Bundesstaat Quintana Roo. Die physiografische Einheit Yucatáns liegt zwischen 22 und 16°N sowie 89 und 91°W und umfasst ein Gebiet von ca. 300.000 km<sup>2</sup>. Im Nordwesten und Norden bilden die Schelfkante im Golf von Mexiko, im Osten das Karibische Meer und im Süden der Gebirgszug Arco de Libertad natürliche Grenzen Yucatáns. Im Südwesten wird Yucatán durch die mexikanisch-guatemalteckische Landesgrenze sowie durch die Grenze zwischen den mexikanischen Bundesstaaten Tabasco und Campeche begrenzt. Die seit der Trias andauernde geringe tektonische Aktivität insbesondere im nördlichen Teil der Region hinterlässt eine weitgehend ungestörte Abfolge nahezu horizontal liegender Schichten meso- und känozoischer Sedimente<sup>6</sup>. Infolgedessen besitzt Yucatán ein flaches Relief mit maximalen Erhebungen von 300 m im östlichen Teil des Bundesstaates Campeche. Das Bodengefälle liegt unter 2 % in nord-nordöstlicher Richtung. Das Vegetationsbild wird im nordwestlichen Teil im Bundesstaat Yucatán mehrheitlich durch regengrünen Trockenwald bestimmt, der an der Küste vielfach in eine niedrigere Dornbuschsavanne übergeht. In östlicher Richtung im Bundesstaat Quintana Roo wird der Trockenwald mit zunehmender Jahresniederschlagsmenge von einem regengrünen Feuchtwald bzw. einem immergrünen Regenwald abgelöst<sup>7</sup>. Je nach Region erreicht die bodendeckende Humusschicht nur wenige Zentimeter bis maximal 50 cm Höhe. Der Großteil der von den Pflanzen produzierten Biomasse wird direkt wieder umgesetzt. Das Klima ist tropisch und heiß und wird von Regen- und Trockenzeiten bestimmt. Die Niederschlagsmengen variieren regional zum Teil stark und nehmen prinzipiell von Norden nach Süden zu.

Abb. 1  
Im Arbeitsgebiet rund um die kleine Stadt Tulum konnten 23 Cenoten und daran anschließende Höhlensysteme prospektiert werden.



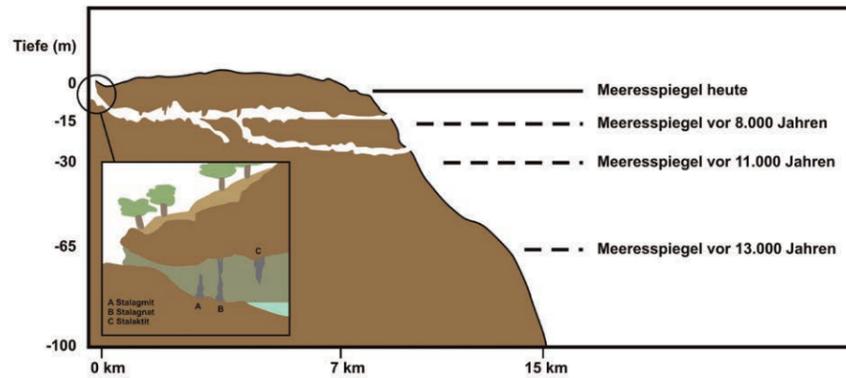


Abb. 2 Transgression des Meeresspiegels im Arbeitsgebiet.

Mit dem Rückgang des Meeresspiegels während periglazialer Phasen des Pleistozäns (ca. 2,5 Millionen Jahre–ca. 9660 v. Chr.) und der Freilegung des neogenen Karbonatgesteins an subaerische Bedingungen setzte eine intensive Verkarstung der Halbinsel Yucatán ein<sup>8</sup>. Diese Verkarstung erklärt das fast völlige Fehlen von Flüssen und Seen im nördlichen Teil der Halbinsel. An den wenigen Stellen, an denen es Seen und Sümpfe gibt, ist das Wasser schlammig und nicht genießbar. Die Drainage der Niederschläge erfolgt hier ausschließlich unterirdisch durch weitverzweigte Höhlensysteme. An der Oberfläche ist die Verkarstung weithin sichtbar und durch zahlreiche Einsturzdolinen, die Cenoten, gekennzeichnet. Der Begriff „Cenote“ leitet sich von dem Maya-Wort „tʰonot“ ab und bedeutet „heilige Quelle“<sup>9</sup>. Durch diese Einstürze werden die unterirdisch fließenden Wasserströme zugänglich. Auf Yucatán sind derzeit weit über 3.000 Cenoten bekannt. Diese Süßwasser führenden „Brunnen“ waren bereits in vorspanischer Zeit ausschlaggebend und essenziell für menschliche Ansiedlungen, was auch der spanische Bischof de Landa im 16. Jahrhundert erkannte und in seinem Bericht über Yucatán festhielt: „Bezüglich der Flüsse und Quellen verhält sich die Natur hier sehr eigenartig. Während überall in der Welt die Gewässer auf der Erdoberfläche fließen, benutzen sie in diesem Land geheime Wege im Untergund“. Diego de Landa (1524–1579) ließ in missionarischem Eifer viele Aufzeichnungen in der Maya-Schrift und damit wertvolle, zeitgenössische Dokumente zur Geschichte und Kultur der Maya verbrennen. Später verfasste er seine Rechtfertigungsschrift „Bericht über die Dinge von Yucatán“ (Relación de las cosas de Yucatán) und versuchte u. a., das Maya-Alphabet mit Hilfe von einheimischen Gelehrten zu rekonstruieren<sup>10</sup>.

Der Grundwasserspiegel des heutigen Interglazials liegt wenige Meter unter der Gesteinsoberfläche und führt zu einer kompletten Überflutung des größten Teils der hier anzutreffenden Karsthöhlensysteme. Sowohl geologische Berechnungen<sup>11</sup> als auch Verkarstungserscheinungen (Stalaktiten, Stalagmiten und Stalagnaten), die in Tiefen von bis zu 100 m unter NN nachgewiesen wurden, legen einen deutlich niedrigeren Meeres- und Grundwasserspiegel während der Vereisungsperioden nahe<sup>12</sup>.

Auf Grundlage von Betrachtungen des Korallenwachstums, speziell dem der Steinkoralle *Acropora palmata*, die charakteristisch für wellenbewegte Bereiche von Korallenriffen ist und sich in den fossilen Ablagerungen des Festlandssockels der Küste von Yucatán findet, gelang es, unterschiedliche Meeresspiegelhöhen zwischen dem Pleistozän und heute zu rekonstruieren<sup>13</sup>. *Acropora palmata* ist eine der dominierenden Arten an rezenten Riffen der Karibischen See und kommt in Flachwasserbereichen bis ungefähr 17 m vor<sup>14</sup>. Auswertungen von Ablagerungen, die durch das Wachstum von *Acropora palmata* entstehen, lassen zudem Rückschlüsse

bezüglich der Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs zu. Basierend auf diesen Beobachtungen kann ein starker Anstieg des Meeresspiegels am Ende des Pleistozäns zwischen 13000 und 7600 BP, ausgelöst durch das Abschmelzen der Gletscher, wie auch in anderen Teilen der Welt für diesen Zeitraum dokumentiert, festgestellt werden. Der heutige Meeresspiegelstand wurde um 8400 BP erreicht<sup>15</sup>. Infolgedessen konnte eine Transgression des Meeresspiegels zwischen 13000 BP und heute von 65 m errechnet werden.

## CENOTEN

Bei Cenoten handelt es sich um Einsturzdolinen, die entstehen, wenn das Steindach einer unterirdischen Höhle einbricht. Laut Quintana Roo Speleological Survey (QRSS) sind derzeit 1.004 Cenoten alleine im Bundesstaat Quintana Roo bekannt und die Länge der bislang von Tauchern vermessenen Höhlensysteme beträgt mehr als 1.000 km.

Die durchschnittliche Tiefe der Cenoten liegt bei etwa 25 m, im Nordwesten Yucatáns gibt es aber auch sogenannte Monstercenoten von bis zu 150 m Tiefe. Dort sind die Höhlen an den durch vor 65 Millionen Jahren verursachten Einschlag des Chicxulub-Meteoriten an geologischen Brüchen und Verwerfungen orientiert<sup>16</sup>. Die überwiegende Mehrheit der Cenoten steht mit dem möglicherweise größten zusammenhängenden

Abb. 3 Form und Größe der Cenoten kann sehr unterschiedlich ausgeprägt sein.





Abb. 4 Im Zentrum der Tempelanlagen von Chichén Itzá befindet sich die als el Castillo bezeichnete 30 m hohe Stufenpyramide. Etwa 400 m geradewegs nördlich der Pyramide liegt die Cenote Sagrado, die Edward Thompson Anfang des 20. Jahrhunderts untersuchte.

Unterwasserhöhlensystem der Erde in Verbindung. Die derzeit längsten Systeme sind Sistema Ox Bel Ha mit 232 km Länge und 137 zugehörigen Cenoten sowie Sac Actun mit 215 km Länge und 162 zugehörigen Cenoten<sup>17</sup>.

Die Höhlensysteme haben Verbindung zum Meer und enthalten daher in den tiefer gelegenen Abschnitten wärmeres Salzwasser. Süßwasser, das als Niederschlag durch den porösen Kalkstein sickert, lagert sich in Meeresnähe innerhalb der Höhlengänge auf dem schwereren Salzwasser ab und es entsteht eine Süßwasserlinse. Die Grenze zwischen der Süß- und Salzwasserschicht wird durch eine Sprungschicht markiert, die sogenannte Halokline. Die Tiefe der Halokline variiert von wenigen Metern in Meeresnähe kontinuierlich bis zu etwa 30 m im Landesinneren<sup>18</sup>.

Was Mineralgehalt, Oberflächentemperatur und Alkalität anbelangt, sind Cenoten sehr homogen. Unterschiede entstehen durch ihr Volumen, ihre Morphologie und ihre Wassertiefe, verbunden mit bestimmten karstischen Erscheinungen. Biotische Zersetzung entsteht durch die Wasserflora sowie durch die Mikro-, Meso- und Makrofauna<sup>19</sup>. Die guten Erhaltungsbedingungen, vor allem für Knochen, spielen bei der taphonomischen und anthropologischen Auswertung sowie bei DNA-Analysen eine entscheidende Rolle.

Berichten von spanischen Eroberern aus dem 16. Jahrhundert zufolge opferten die Maya dort u. a. Menschen, indem sie die Körper in die Cenoten warfen – ein häufig praktiziertes Ritual, bei den Maya unter „Chen Ku“ bekannt<sup>20</sup>. Anfang des 20. Jahrhunderts untersuchte der Amerikaner Edward Thompson die „heilige Cenote“ in Chichén Itzá, zwischen dem 7. und 12. Jahrhundert ein bedeutendes religiöses, ökonomisches, soziales und politisches Zentrum der Halbinsel Yucatán<sup>21</sup>. Er fand menschliche Überreste und konnte somit beweisen, dass die Maya Männer, Frauen und manchmal auch Kinder geopfert hatten<sup>22</sup>. Aber Cenoten dienten nicht nur als Opferplätze, sie wurden als geografische Grenzen benutzt und waren essenziell für die Versorgung mit Frischwasser. In einem Gebiet, das keine oberirdischen Wasserquellen besitzt, war und ist dies überlebenswichtig<sup>23</sup>.

Als Eingang in die Unterwelt („Xibalbá“) könnten diese heiligen Quellen jedoch auch als natürliche Bestattungsstätten gedient haben<sup>24</sup>. Die Nutzung von trockenen Höhlen als Begräbnisstätte konnte in Yucatán bereits archäologisch nachgewiesen werden<sup>25</sup>.

## HÖHLENFORSCHUNGSTAUCHEN: VORAUSSETZUNG FÜR DIE UNTERSUCHUNGEN

Tauchen bzw. das Arbeiten in unter Wasser liegenden Höhlensystemen und Cenoten erfordert den Einsatz von erfahrenen Forschungstauchern, die über die entsprechende Zusatzausbildung verfügen und mit entsprechender Ausrüstung ausgestattet und vertraut sein müssen. Anders als bei Taucheinsätzen im Freiwasser können die Wissenschaftler bei etwaigen Notfällen nicht direkt an die Oberfläche zurückkehren, sondern müssen zur Einstiegsstelle (Cenote) zurücktauchen, die unter Umständen mehrere Kilometer entfernt liegt.

Hinzu kommt ein erhöhtes Gefahrenpotenzial aufgrund von Engstellen, schlechter Sicht durch Aufwirbelung von Sediment, Stickstoff- bzw. Sauerstoffvergiftung, Fehlfunktion der Ausrüstung sowie Verlust der Orientierung im Höhlensystem. All diese Gefahrensituationen müssen vom Tauchteam vermieden bzw. unter Wasser bewältigt werden können. Entsprechende Tauchpartner sind ebenso obligatorisch wie die redundante Ausführung der Tauchausrüstung<sup>26</sup>.

Durch die begrenzte Gasmenge in den Flaschenpaketen und die Erfordernis, mindestens zwei Drittel dieser Gasmenge für Rückweg, Dekompression und Notfälle vorzuhalten, bleibt in der Regel nur wenig Zeit für die Arbeit an den Funden und Befunden vor Ort. Darüber hinaus ist die Zeit am Arbeitsplatz abhängig von den jeweiligen Gegebenheiten im Höhlensystem wie der maximal erreichten Tauchtiefe oder der Fundlage und dem daraus resultierenden Rückweg bzw. der Entfernung zum nächsten Ausgang. Aus diesen Gründen erfordern die einzelnen Arbeitsabläufe wie Auffinden der Fundstelle, Dokumentation, Einmessung, Probennahme oder auch Bergung in der Regel mehrere Tauchgänge bzw. Tauchtage. Sämtliche Ausrüstungsgegenstände und Arbeitsmaterialien müssen täglich zur jeweiligen Cenote transportiert werden, was auch logistisch gesehen eine enorme Herausforderung darstellt und im Vorfeld der Untersuchungen organisiert werden muss. Um die Effektivität der Tauchgänge und der Arbeiten vor Ort zu gewährleisten, ist eine exakte Tauchgangsplanung sowie Durchführung der Arbeitsabläufe unabdingbar. Weiterhin werden Zusatzflaschen, sogenannte Stages, sowie spezielle Atemgase wie Nitrox, Trimix oder Sauerstoff zur Verlängerung der Nullzeit bzw. zur Reduzierung der Stickstoffnarkose verwendet, um zum einen die Arbeitseffizienz und zum anderen die Tauchsicherheit zu erhöhen. Die Verwendung der richtigen Dokumentationstechnik sowie eine fundierte Ausbildung und der sichere Umgang mit der Spezialausrüstung sind somit Grundvoraussetzungen für unterwasserarchäologische Untersuchungen dieser Art.



Abb. 5 Täglich müssen eine Vielzahl von Flaschen und andere Ausrüstungsgegenstände zum Tauchplatz und zurück transportiert werden.

## AUSRÜSTUNGSKONFIGURATION

Tauchen und Arbeiten in einer nach oben geschlossenen Umgebung (Overhead Environment) erfordern neben der bereits genannten Zusatzausbildung eine speziell adaptierte Ausrüstungskonfiguration. Wichtig hierbei ist eine redundant ausgelegte Ausrüstung, d. h. nahezu jedes Ausrüstungsteil (Flaschen mit Absperrbrücke, Atemregler, Lampen, Auftriebsmittel, Masken, Schneidwerkzeug, Bottomtimer und Seilrollen) wird doppelt mitgeführt. Bei Ausfall des Hauptsystems kann auf ein identisches, redundantes System zurückgegriffen werden, was letztendlich die Sicherheit enorm erhöht und nach heutigen Standards unverzichtbar ist.

Zusätzlich muss die Ausrüstung der jeweiligen Arbeitsumgebung bzw. dem Ziel des Tauchgangs angepasst werden. Für die Einsätze während der Tauchuntersuchungen kamen zwei unterschiedliche Konfigurationen, wie sie beim Höhlentauchen üblich sind, zum Einsatz: Backmount-Konfiguration und Sidemount-Konfiguration.

Backmount bedeutet die Befestigung der Tauchflasche(n) auf dem Rücken des Tauchers. Über ein Schraubsystem ist das Flaschenpaket mit einer trapezförmigen Rückenplatte (Backplate) mit durchgehender Vergurtung (Harness) sowie dem Auftriebsmittel (Wing) verbunden. Über Fixierungspunkte und sogenannte D-Ringe aus Edelstahl können weitere Ausrüstungsgegenstände wie Lampen, Stages, Argonflasche, Reels sowie Arbeitsmaterialien usw. befestigt und mitgeführt werden. Der Vorteil der Backmount-Konfiguration ist die weite Verbreitung und die Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten. So gut wie alle gängigen Forschungstauchereinsätze werden mit diesem System – wenn auch in abgewandelter Form – durchgeführt, was eine große Routine mit sich bringt.

In Bezug auf die mexikanischen Höhlen ergibt sich bei diesem System jedoch der Nachteil, dass man es unter Wasser nicht abnehmen kann bzw. einige Gänge, Passagen und Fundorte so eng sind, dass man aufgrund des hohen Profils dieser Ausrüstung stecken bleibt bzw. bestimmte Abschnitte nicht betreten kann.

Bei solchen Einsätzen kommt daher die Sidemount-Konfiguration zum Einsatz. Dabei werden die Flaschen mittels einer speziellen Tragevorrichtung (Harness) links und rechts seitlich unterhalb der Achseln befestigt, um somit ein möglichst flaches Profil zu erreichen. Die Ventile liegen dabei seitlich auf Brusthöhe, was von Vorteil ist, da sie so geschützt und jederzeit griffbereit sind. Die seitlich befestigten Flaschen können bei Bedarf an extremen Engstellen (Restrictions), durch die nur der Taucher passt, abgenommen und per Hand durchgeschoben werden. Jede am Körper befestigte Ausrüstung würde in solchen Engstellen stören oder gar das Weitertauchen verhindern. Deshalb werden z. B. Lampen am Helm des Tauchers befestigt und weitere Ausrüstungsteile in kleinen Taschen mitgeführt.

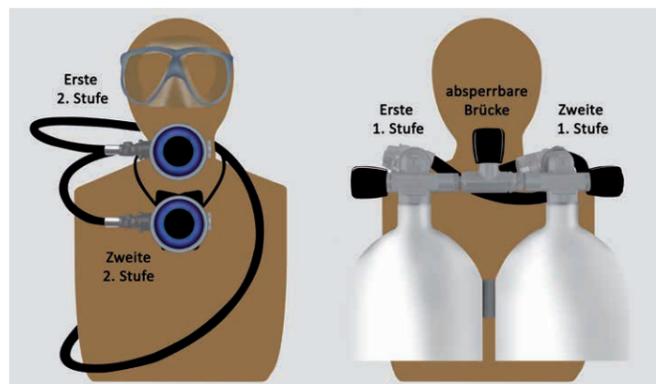


Abb. 6 Redundante Tauchausrüstung – zwei getrennte Flaschen, verbunden über eine absperrebrücke, sowie je eine erste und eine zweite Stufe.

Neben den in den Untersuchungen eingesetzten offenen Systemen (Sidemount und Backmount) wäre auch der Einsatz halbgeschlossener (SCR = Semiclosed Rebreather) oder geschlossener Kreislauftauchergeräte (CCR = Closed Circuit Rebreather) denkbar. Dabei wird die Ausatemluft des Tauchers nicht in das Wasser abgegeben, sondern in einem flexiblen Behälter (Gegenlunge) aufgefangen. Das ausgeatmete Gas wird chemisch in einem Atemkalkbehälter gebunden und der metabolisierte Sauerstoff ersetzt. Atemgeräte dieser Art, die die Ausatemluft von CO<sub>2</sub> reinigen und das restliche Gas teilweise oder komplett zum Einatmen aufbereiten, haben eine ausgesprochen hohe Gaseffizienz. Der Gasverbrauch dieser Geräte beträgt nur einen Bruchteil des Verbrauchs von offenen Systemen und könnte die Prospektionszeit bzw. die Zeit am Arbeitsplatz stark erhöhen. Darüber hinaus entstehen keine für die Höhlendecke schädlichen Ausatemblasen, die dafür verantwortlich sind, dass die Sicht am Arbeitsplatz durch herabrieselndes Sediment getrübt wird.

## MISCHGASE

Der Einsatz von reiner Druckluft erschließt dem Taucher einen relativ begrenzten Tiefenbereich, da es in größeren Tauchtiefen zu einem Tiefenrausch oder zu einer Sauerstoffvergiftung kommen kann. Druckluft darf bei Forschungstauchereinsätzen nach den Regeln für den „Einsatz von Forschungstauchern“ BGR/GUV-R 2112 bis maximal 50 m eingesetzt werden. Mit einem Tiefenrausch (Stickstoffnarkose) ist jedoch schon bereits ab 30 m zu rechnen<sup>27</sup>. Hinzu kommt die Tatsache, dass sich in größerer Tiefe die Nullzeit (= Zeit, die der Taucher ohne Dekompressionsstopps unter Wasser verbringen kann) drastisch reduziert und es aufgrund der erhöhten Dichte der Luft zu einem Essoufflement (Atemlosigkeit) kommen kann. Da Stickstoff ein Inertgas ist, reagiert es so gut wie gar nicht im menschlichen Körper;

Tabelle 1: Vorteile beim Einsatz von Mischgasen.

Risiken des Tauchens mit Druckluft	Abhilfemöglichkeiten
Stickstoffnarkose (Tiefenrausch)	Stickstoff reduzieren, z. B. durch ein Gas ohne narkotische Wirkung wie Helium
Sauerstoffvergiftung (Hyperoxie)	O <sub>2</sub> -Anteil reduzieren, z. B. mit einem hypoxischem Trimix (weniger als 18 % O <sub>2</sub> )
Atemlosigkeit (Essoufflement)	Helium verwenden = geringere Dichte
Dekompressionsunfall	Stickstoffanteil reduzieren (z. B. Einsatz von Nitrox)
Kopfschmerzen und Ermüdung nach Tauchgängen	Tauchgänge mit Nitrox und/oder Dekompressionsstopps mit Nitrox oder reinem Sauerstoff durchführen

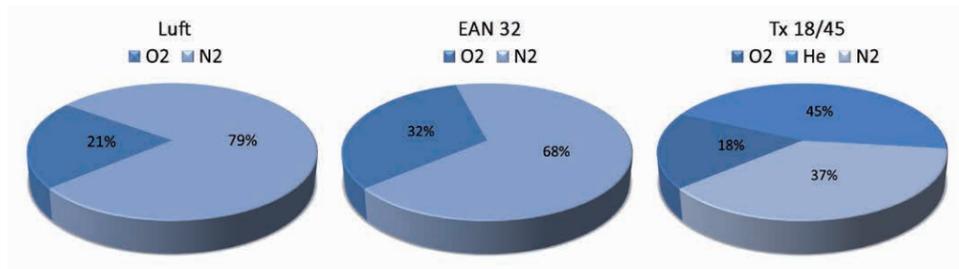


Abb. 7 Zusammen-  
setzung von Luft,  
Enriched Air Nitrox  
(EAN) 32 und  
Trimix 18/45.

unter Druck reichert es sich jedoch im Gewebe des Tauchers an. Diese Inertgassättigung ist der Grund, warum der Taucher Dekompressionsstopps einhalten muss. Die maximale Zeit, die man in einer bestimmten Tiefe ohne Dekompressionsstopp (= Nullzeit) arbeiten kann, hängt also vom Stickstoffgehalt im Gasgemisch und der daraus resultierenden Sättigung im Gewebe ab<sup>28</sup>. Aufgrund dieser gesundheitlichen Risiken bzw. des ineffizienten Arbeitspensums unter Wasser wurden während der Tauchuntersuchungen in Mexiko anstatt Druckluft ausschließlich unterschiedliche Mischgase wie Nitrox und Trimix bis in eine Tiefe von knapp 70 m verwendet; als Dekompressionsgase kamen Nitrox und Sauerstoff zum Einsatz.

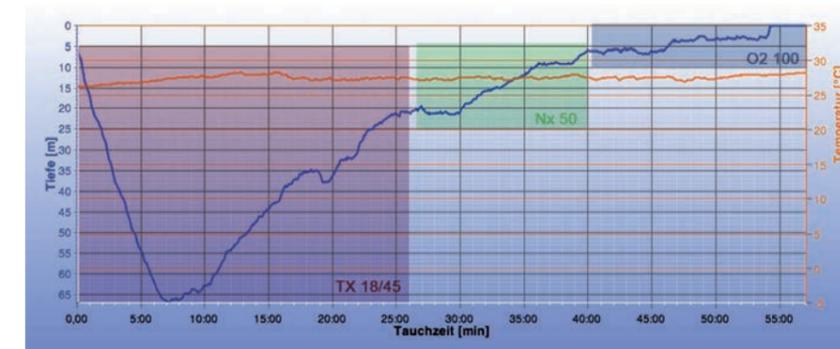
## KOMMUNIKATION

Effektive Kommunikation innerhalb des Tauchteams in den Höhlensystemen ist essenziell. Zum einen müssen sicherheits- und tauchtechnisch relevante Fragen jederzeit geklärt werden können, zum anderen müssen die wissenschaftlichen Arbeitsabläufe koordiniert und je nach entstehender Situation modifiziert werden. Vollgesichtsmasken (VGM) mit drahtloser, akustischer Unterwasserkommunikation, Bojen bzw. Blubbs und Signalleinen, wie sie bei klassischen Forschungstaucheinsätzen und archäologischen Grabungen im Freiwasser eingesetzt werden, sind aufgrund der geologischen Verhältnisse in den weitverzweigten Höhlensystemen Yucatáns nicht anwendbar und würden darüber hinaus zu einer erhöhten Gefährdung des Tauchers führen. Um die vielfältigen, unterschiedlichen und komplizierten Situationen während der Taucheinsätze sicher zu gestalten, wurde deshalb auf eine Kombination von Lichtsignalen, Handzeichen sowie Schreitafeln zurückgegriffen<sup>29</sup>. Neben diesen Hilfsmitteln ist aber vor allem eine absolut exakte Tauchgangsplanung inklusive aller geplanten Arbeitsabläufe vorab durchzuführen.

## DIVER PROPULSION VEHICLE (DPV)

In erster Linie dienen diese Fahrzeuge einer schnelleren Fortbewegung unter Wasser. Kann ein Taucher mit normalem Flossenschlag ungefähr 20 m/min zurücklegen, erreicht er mit einem DPV je nach Umgebung bis zu 70 m/min, was in etwa 4 km/h entspricht. Der technische Aufbau eines DPV wird generell sehr einfach und robust gehalten. Er besteht aus einem von einer Batterie betriebenen Elektromotor, der den Propeller antreibt, umgeben von einem Gehäuse aus Plastik, Karbon oder Metall. Auf Getriebe und elektronische Steuerung wird bewusst verzichtet, um

Abb. 8 Grafische  
Darstellung eines  
Tauchgangsprofils  
mit den verwendeten  
Atemgasgemischen.



Ausfälle auf ein Minimum zu reduzieren. Propellerschutz, Griff mit Fahrschalter, Systemgriff, Verschlussystem sowie doppelte O-Ringe zum Abdichten des Systeminneren vervollständigen die Konstruktion<sup>30</sup>.

Der Vorteil bezüglich einer schnelleren Fortbewegung wurde bereits erwähnt. Auch in Bezug auf Dekompression und Gasverbrauch entstehen Vorteile. Durch verringerte Anstrengung und durch die verkürzte Tauchzeit sinken Gasverbrauch und Dekompressionsverpflichtung, was sich wiederum positiv auf die (Stickstoff-)Aufsättigung auswirken kann. Nicht zuletzt kommen die Forschungstaucher schneller an die gewünschte Fundstelle und können dementsprechend länger am Arbeitsplatz verweilen. Darüber hinaus können die DPV auch dazu dienen, Arbeitsmaterialien wie beispielsweise Kamertechnik zur Fundstelle zu befördern. Beim Einsatz von Scootern ist darauf zu achten, dass Trimm und Auftrieb optimal bzw. neutral sind, um ohne Kraftanstrengung zu steuern. Beim Erstellen der Gefährdungsanalyse und der Tauchgangsplanung ist weiterhin darauf zu achten, dass ein DPV ausfallen kann. Es muss also entweder ein redundanter Backup-DPV mitgeführt werden und/oder die Gasmengen sind so zu berechnen, dass der Rückweg mit der üblichen Flossenschlagtechnik sicher bewältigt werden kann. Darüber hinaus soll die Batterielaufzeit des DPV nur zu einem Drittel für den Hinweg genutzt werden; somit bleiben zwei Drittel der Batteriekapazität für den Rückweg<sup>31</sup>.

## TAUCHGANGSPLANUNG

Eine umfangreiche und akkurate Tauchgangsplanung ist Grundvoraussetzung, um effiziente Arbeitsergebnisse bei maximaler Sicherheit für die Taucher zu erzielen. In die Planung, die vom Taucheinsatzleiter durchzuführen ist, müssen folgende Faktoren einfließen:

- Ziel des Tauchgangs
- Arbeitsumgebung
- Gefährdungsanalyse nach BGR/GUV-R 2112
- Ausrüstungskonfiguration (Sidemount/Backmount, Stages, Scooter)
- Logistik über und unter Wasser
- Gasplanung (Travelgas, Bottomgas, Dekogas, Minimum Gas)
- Zeit für den Abstieg/Hinweg (Travelgas)
- Zeit am Arbeitsplatz (Bottomgas)
- Benötigte Arbeitsmaterialien
- Aufgabenverteilung im Team
- Zeit für Aufstieg/Rückweg (Dekogas)

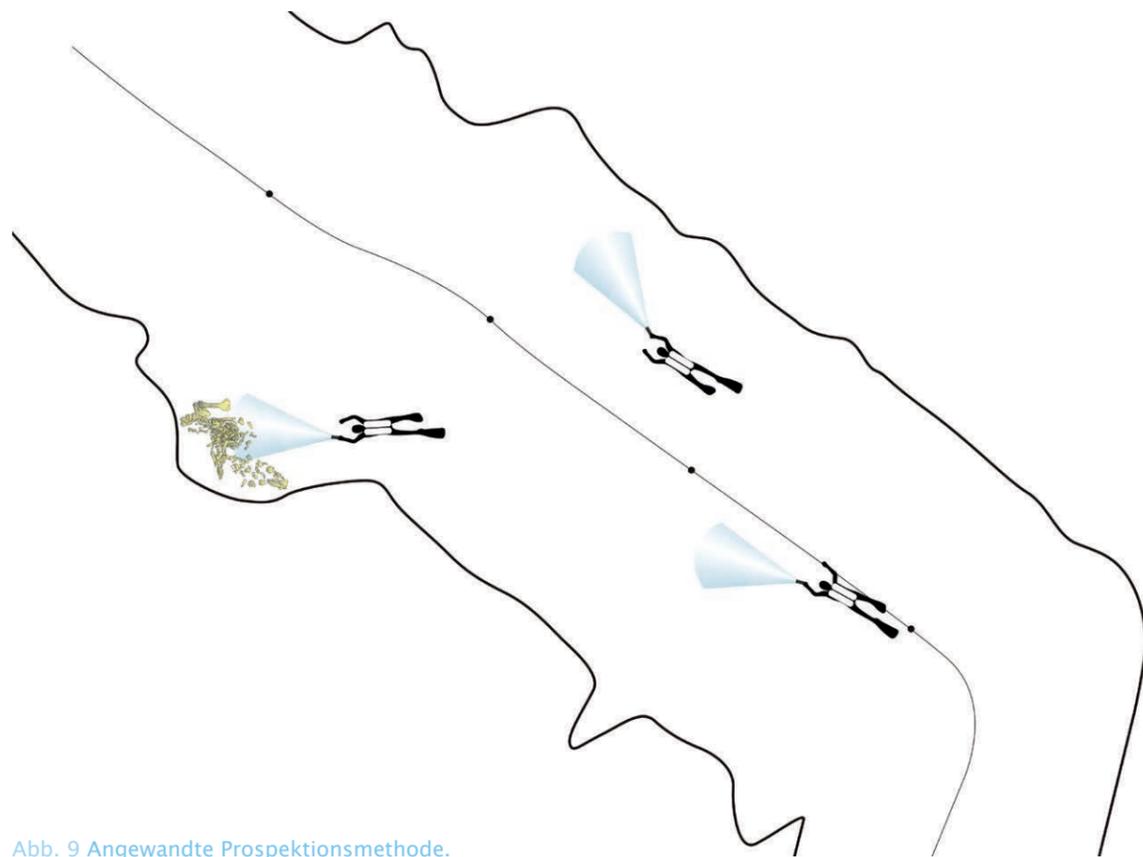
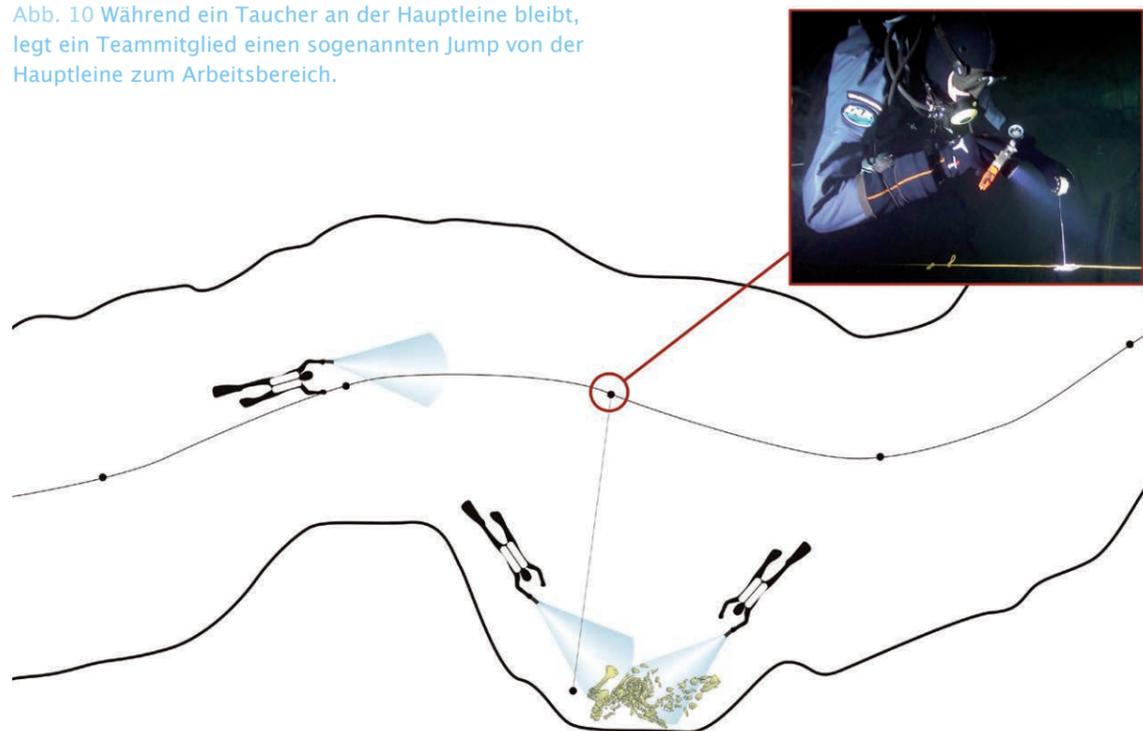


Abb. 9 Angewandte Prospektionsmethode.

Abb. 10 Während ein Taucher an der Hauptleine bleibt, legt ein Teammitglied einen sogenannten Jump von der Hauptleine zum Arbeitsbereich.



Für die Berechnung des Tauchgangs bzw. der Dekompression und der Gaslogistik stehen spezielle Tauchtabellen zur Verfügung. Es kommen aber auch Dekompressionsprogramme wie Deco Planer oder V-Planer zum Einsatz<sup>32</sup>. Während des Tauchgangs dienen z. B. Runtimetables, auf Wetnotes (Unterwasserzeichenblock) geschrieben, und Tauchcomputer/Bottomtimer zur Überwachung des jeweiligen Dekompressionsstopps und der Gaswechsel. Die Informationen des Computers über Basisdaten und Tauchgangsprofil können anschließend ausgelesen und grafisch dargestellt werden.

## PROSPEKTIONSMETHODEN

Im Gegensatz zu subaquatischen Fundstellen ohne Overhead Environment, die zusätzlich auch mittels Fernerkundungsmethoden wie Side-Scan- oder Sedimentsonar aufgespürt werden können, sind potenzielle Fundstellen in Höhlen ausschließlich taucherisch zu erfassen. Dabei gestaltet sich die systematische Prospektion von tausenden von Cenoten und hunderten von Kilometern Höhlen aufgrund der reinen Quantität als äußerst schwierig. Die Untersuchungen der Taucher der AMLA konzentrierten sich daher auf Cenoten und Höhlenabschnitte rund um die Stadt Tulum, wobei vor allem Hinweisen von Höhlentauchern nachgegangen wurde, die die Systeme erforschen, um stetig neue Höhlenpassagen zu entdecken, und dabei nicht selten auf archäologische und paläontologische Fundstellen stoßen<sup>33</sup>.

Grundsätzlich werden sämtliche (Prospektions-)Tauchgänge immer im Team durchgeführt. Nach vorheriger Tauchgangsplanung, die neben den üblichen Sicherheitsvorkehrungen auch Art und Umfang der geplanten Prospektion beinhaltet, werden die passende Ausrüstung und das Atemgas für die maximale Tiefe ermittelt. Anschließend werden die genauen Aufgaben im Team verteilt.

Der Teamleader überwacht den Tauchgang und bewegt sich permanent in unmittelbarer Nähe der Hauptleine. Diese Leine wurde von den ersten Entdeckern der Höhle an Steinen, Stalaktiten oder Stalagmiten im Abstand von jeweils maximal 10 m fest installiert und dient als Orientierung im Höhlensystem. Darüber hinaus dient sie dazu, den Eingang/Ausgang wiederzufinden. Während, wie bereits beschrieben, der Teamleader an der Hauptleine bleibt, prospektieren die restlichen Teammitglieder links und rechts der Leine und kommunizieren dabei über Lam-pensignale. Wird eine potenzielle Fundstelle lokalisiert, legt ein Teammitglied einen sogenannten Jump von der Hauptleine zum Arbeitsbereich. Dies geschieht, indem eine mitgebrachte kleine Seilrolle (reel) mittels Höhlenpfeil – der in Richtung Ausgang zeigt – in die Hauptleine eingehakt wird. So wird sichergestellt, dass jederzeit eine durchgehende Verbindung von der Fundstelle zum Eingang/Ausgang besteht. Der Teamleader verbleibt am Jump und dient den anderen Teammitgliedern als Referenz und Sicherheitstaucher. Nun erfolgt eine erste Begutachtung und Einordnung der Fundstelle, um in weiteren Tauchgängen die Dokumentation eben dieser durchzuführen. Je nach Struktur, Ausdehnung und Größe der Höhle können nur die Hauptbereiche prospektiert werden. Kleinere und kleinste Abschnitte müssen aus Zeitgründen oftmals unberücksichtigt bleiben. Hierbei gilt es, ein ausgewogenes Verhältnis von Aufwand, Zeit und vermutlichem Erfolg abzuschätzen.

## VERMESSUNGSMETHODEN

Wie bereits beschrieben, folgen die Taucher fest installierten und durchgehenden Leinen, die von den ersten Entdeckern in der Höhle verlegt wurden. Sie verbinden darüber hinaus den Eingang/Ausgang mit dem archäologischen Befund. Diese



Abb. 11 Einzelne Arbeitsschritte der Vermessungsarbeiten.

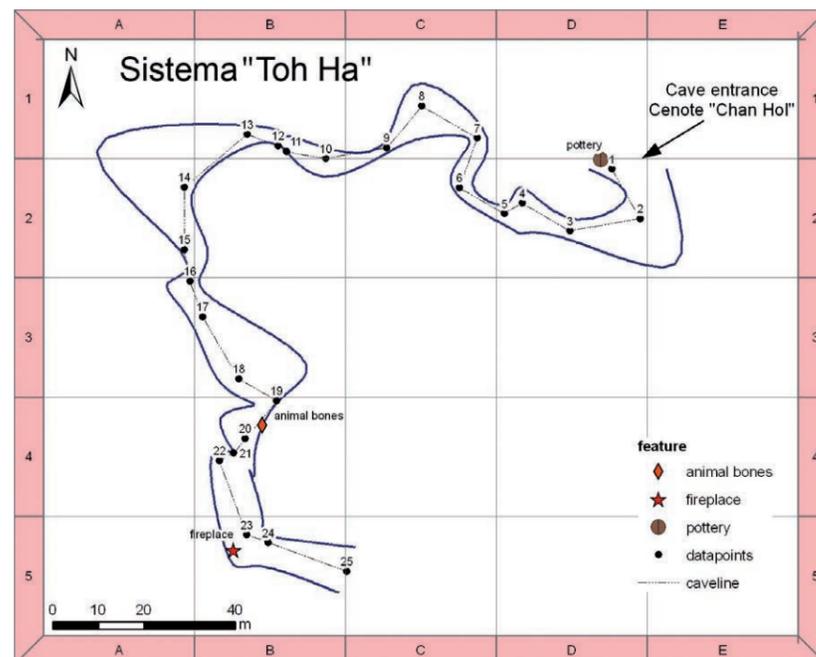


Abb. 12 Ergebnis der Vermessungsarbeiten 2009 im Höhlensystem Toh Ha.

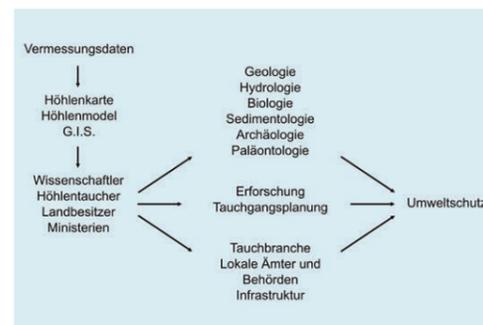


Abb. 13 Von den Ergebnissen der Vermessungsarbeiten kann eine Vielzahl von Personen, Institutionen und Disziplinen profitieren.

Leinen sind gleichzeitig als Polygonzüge anzusehen, die später der Kartierung dienen<sup>34</sup>. Am Eingang/Ausgang kann ein GPS-Punkt genommen werden, sodass über die Leinen die jeweilige Fundstelle georeferenziert werden kann<sup>35</sup>. Die Leinen dienen außerdem als Referenz, um den Höhlenverlauf mit Maßband, Zollstock, Kompass und Wetnotes zu vermessen. Dabei bilden Neigung (Tiefe), Länge und Azimut (Kompasswinkel) einen sogenannten Polygonmesszug<sup>36</sup>. Bei der Vermessung werden entsprechend viele Polygonzüge aneinandergereiht, die anschließend auf einen Plan übertragen werden. Anhand dieser Rohdaten können der Verlauf sowie die Breite und Höhe der Höhle ermittelt werden. Mittels eines Geografischen Informationssystems (z. B. ArcGis oder ArcScene) können hinterher dreidimensionale, georeferenzierte Karten erstellt und archäologische Fundstellen im Höhlensystem genau verortet werden. Karten von Unterwasserhöhlen dienen selbstverständlich nicht nur der Visualisierung in der Archäologie, auch Geologen, Hydrologen, Landbesitzer und Höhlentaucher nutzen sie zu unterschiedlichen Zwecken<sup>37</sup>.

#### DOKUMENTATIONSMETHODEN

Die Sichtverhältnisse in den Höhlen können in Sekundenschnelle abnehmen, wenn feiner Schlamm durch schlechte Tarierung oder falsche Flossenschläge aufgewirbelt wird oder die Ausatemluft des Tauchers feine Ablagerungen von der Höhlendecke löst, die dann in Form von „Schnee“ über dem Arbeitsplatz herabrieseln und die Fundstelle unnötig mit Sediment bedecken.

Bei der Wahl der Dokumentationsmethode muss also zum einen auf ein schnelles Verfahren zurückgegriffen werden, um überhaupt genügend Sicht an der Fundstelle zu haben. Zum anderen muss der ausführende Taucher perfekt Tarieren und diverse standardisierte Flossenschlagtechniken (Frog Kick, Modified Frog Kick, Flutter Kick, Modified Flutter Kick, Back Kick, Helicopter Turn) beherrschen, um ein unnötiges Aufwirbeln von Sediment oder gar die Beschädigung eines Fundes zu vermeiden. In einigen Höhlen kann es Stunden oder Tage dauern, bis die Sicht wieder ein erneutes Arbeiten zulässt, insbesondere wenn leichte Strömung fehlt, die das feine Sediment wegtreibt<sup>38</sup>. Darüber hinaus ist der Gasvorrat der Taucher stark limitiert, sodass langwierige Untersuchungen in Form von Dokumentation mittels Zeichenrahmen o. ä. Techniken absolut unpraktikabel wären.

Abb. 14 Bei der Vermessung diffiziler Fundstücke wie diesem prähistorischen Schädel muss der Taucher perfekt auf seine Tarierung achten, um Beschädigungen zu vermeiden.



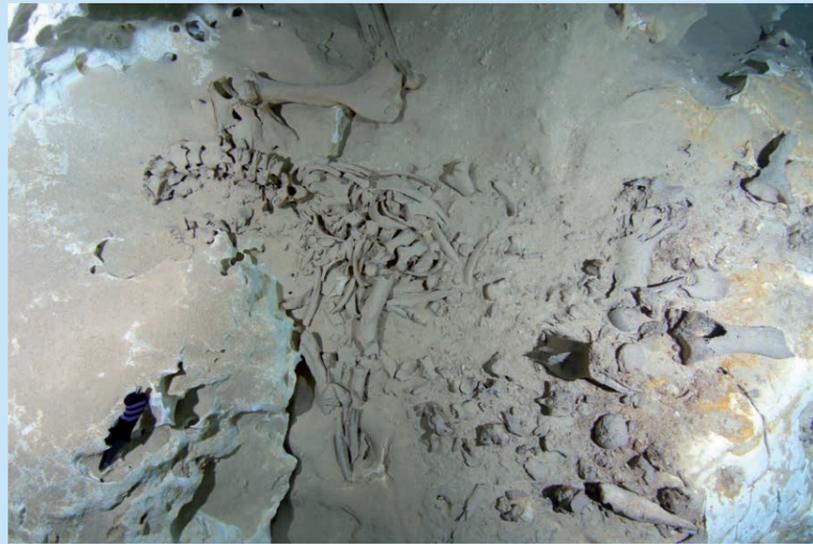


Abb. 16 Bildbasierte 3-D-Szenenrekonstruktion eines mayazeitlichen Schädels. Die Kameras zeigen die Position des Tauchers während der Aufnahmen.



Abb. 17 Bildbasierte 3-D-Szenenrekonstruktion eines mayazeitlichen Keramikgefäßes.



Aus diesen Gründen wurden im Vorfeld der Untersuchungen in Zusammenarbeit mit Vertretern der INAH Vorbereitungen für eine umfangreiche Foto- und Videodokumentation getroffen, in die auch Fotomosaik, Fotogrammetrie und bildbasierte 3-D-Szenenrekonstruktion einfließen sollen.

#### FOTO- UND VIDEODOKUMENTATION

Die schnellste und effektivste Methode, archäologische Fundstellen in Höhlen zu erfassen, ist die Foto- bzw. Videodokumentation mit hochauflösender Kamertechnik. Sie stellt jedoch höchste Ansprüche an die Taucher, da gegenüber der Landfotografie eine Vielzahl komplexer Faktoren zu beachten sind (siehe Beitrag „Unterwasserfotografie in der Wissenschaft – Motivation und Herausforderung“ von U. Kunz). Entscheidend ist die Tatsache, dass die Kamera nicht in dem Medium eingesetzt wird, für das sie ursprünglich konzipiert wurde, sondern im Wasser. Wasser hat gegenüber Luft einen höheren Brechungsindex, was vereinfacht gesagt zu einer scheinbaren Brennweitenverlängerung führt, die durch speziell für das verwendete Objektiv (in der Regel Weitwinkel) berechnete Domeports verhindert werden soll. Schwebstoffe im Wasser schränken die Sicht im Vergleich zu Luft auffällig ein und zusätzlich absorbiert Wasser in Abhängigkeit der Tauchtiefe bestimmte Wellenlängen des Lichts, sodass künstliche und vor allem starke Lichtquellen in Form von Blitzern und Lampen unabdingbar sind. Da in den Höhlen

Abb. 15 Fotogrammetrische Aufnahme und anschließende Umzeichnung eines möglichen Faultiersskeletts.

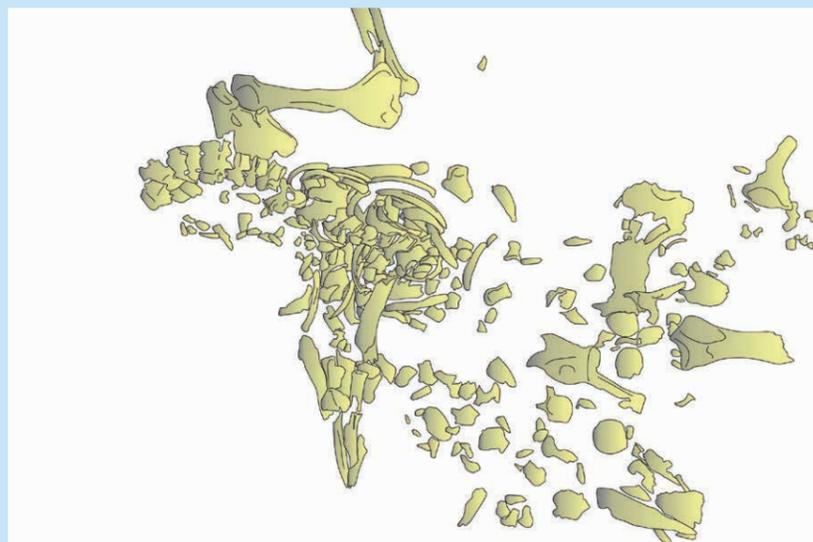




Abb. 18 An der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel wurden Holzkohlereste dieser prähistorischen Feuerstelle mittels  $^{14}\text{C}$ -Analyse auf etwa 6400 v. Chr. datiert.

absolute Dunkelheit herrscht, ist die richtige Wahl künstlicher Lichtquellen sowie deren effektiver Einsatz die Grundlage für eine erfolgreiche unterwasserarchäologische Foto- und Videodokumentation.

### PROBENNAHME

Die Sedimentschichten in den Höhlensystemen Yucatáns sind generell sehr dünn und bedecken Fundstellen nur teilweise. Dennoch kann sich die Sicht bei einem gezielten Eingriff wie Probennahme oder beim Abbergen eines Fundes in Sekunden drastisch verschlechtern. Um Funde freizulegen, wird generell eine Pipette verwendet, um mit leichtem Wasserdruck das feine Sediment zu entfernen. Für die Probennahme wurden kleine, verschließbare und wassergefüllte Kautexgefäße verwendet. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die geochemische Zusammensetzung des Wassers unverändert bleibt, wenn man z. B. Proben aus salzwasserhaltigen Schichten zurück durch süßwasserhaltige Schichten transportiert. Freilegen, Abbergen und Probennahme werden am Ende des Tauchgangs bzw. nach der Foto- und Videodokumentation durchgeführt.

### ERGEBNISSE

Der Amerikaner Edward Thompson war der Erste, der Anfang des 20. Jahrhunderts das unterwasserarchäologische Potenzial Yucatáns erkannte und die Cenote in Chichén Itzá u. a. taucherisch untersuchte<sup>39</sup>.

Erst seit 1999 werden diese potenziellen Fundstellen – sowohl Cenoten als auch daran anknüpfende Höhlensysteme – durch das INAH im Rahmen des Projektes „Underwater Archaeological Atlas“ systematisch untersucht<sup>40</sup>. Prinzipiell kann zwischen mayazeitlichen Fundstellen im Cenotenbereich sowie prähistorischen und paläontologischen Fundstellen innerhalb der Höhlensysteme unterschieden werden.

Aufgrund der hervorragenden Erhaltungsbedingungen unter Wasser ermöglicht die Erforschung von Cenoten und gefluteten Höhlen die Erfassung von einzigartigen Befunden, die aufgrund der speziellen geochemischen und geomorphologischen Bedingungen oberirdisch bereits vergangen sind. Diesem Umstand ist es geschuldet, dass man generell oberirdisch keine Funde, die älter als 2.000 BP sind, in der dünnen Humusschicht des Arbeitsgebietes lokalisieren kann<sup>41</sup>. Jüngste Funde aus dem späten Pleistozän und frühen Holozän aus den Höhlensystemen werfen nun ein völlig neues Licht auf den bisherigen Forschungsstand sowie die Besiedlungsgeschichte der Halbinsel Yucatán.

Abb. 19 In der Cenote Las Calaveras wurden bislang 126 mayazeitliche Schädel dokumentiert. An der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel konnten Schädelfragmente mittels <sup>14</sup>C-Analyse ins 2. bzw. 3. Jahrhundert n. Chr. datiert werden.



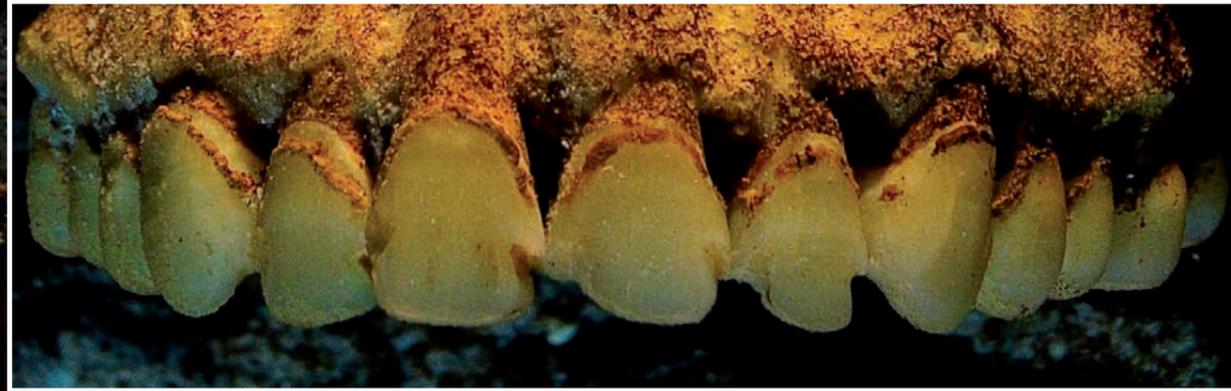


Abb. 20 Deutlich ist hier zu erkennen, dass die oberen Schneidezähne angefeilt wurden.

#### PRÄHISTORISCHE BEFUNDE

Höhlen sind zunächst ein geologisches Phänomen. Entstehungsgeschichtlich werden dabei primäre und sekundäre Höhlen unterschieden. Während primäre Systeme unmittelbar mit der Gesteinsbildung in Zusammenhang stehen (z. B. Lava-Höhlen), entstanden die Hohlräume in sekundären Systemen nach der Gesteinsbildung durch unterschiedliche Prozesse, wie korrosionsfördernde Vorgänge in löslichen Formationen (z. B. Kalk oder Gips). Mit dem Auftreten des Menschen gewannen Höhlen jedoch auch kulturgeschichtlich an Bedeutung<sup>42</sup>. Sie dienten als Aufenthalts- und Zufluchtsort, Vorratskammer oder waren Plätze für magisch-rituelle Handlungen. Im Vordergrund der archäologisch orientierten Erforschung steht die Suche nach der jeweiligen Intention einer Höhlennutzung.

Die fast vollständig erhaltenen menschlichen Überreste aus den Höhlen von Naharon, Las Palmas, El Templo und Chan Hol (Abb. 14) gehören zu den ältesten bekannten Funden Südmexikos und Zentralamerikas und könnten möglicherweise zu den ältesten des ganzen amerikanischen Kontinents zählen<sup>43</sup>. Sie sind von außerordentlicher Bedeutung, um Einwanderungs- und Migrationsrouten der ersten Amerikaner zu rekonstruieren. Wie und wann die ersten Siedler den amerikanischen Kontinent betraten, ist eine fortwährend kontrovers diskutierte Frage, an der sich Archäologen, Paläoanthropologen, Geologen, Sprachwissenschaftler, Paläontologen und Genetiker beteiligen, die zum Teil sehr unterschiedliche Theorien (z. B. „Clovis first“-Theorie) vertreten<sup>44</sup>.

Neben den vier menschlichen Skeletten, die aufgrund ihrer anatomischen Lage als intentionelle Bestattungen gedeutet werden<sup>45</sup>, belegen auch die Feuerstellen bzw. Holzkohlekonzentrationen in Chan Hol, Carwash/Aktun Ha und La Chimenea, dass Yucatán bereits im späten Pleistozän oder frühen Holozän von Menschen besiedelt war<sup>46</sup>. Dabei wurden die zu diesem Zeitpunkt trocken gelegenen Höhlensysteme zumindest zeitweise als Lagerstätte aufgesucht. Ob und wie die Höhlen in einen kultischen oder religiösen Kontext zu bringen sind, muss derzeit offen bleiben.

## PALÄONTOLOGISCHE BEFUNDE

Darüber hinaus konnte in den tiefer gelegenen Höhlenabschnitten auch eine Vielzahl an paläontologischen Fundstellen dokumentiert werden. Neben den auffällig häufig vertretenen möglichen Faultierskeletten (Megatheridae, Mylodontidae, Megalonychidae) aus Calimba, White River, The Pit (Abb. 15) oder Jailhouse wurden auch Rüsseltiere (Gomphotheriidae, Mastodontoidea), Tapir (Tapirus bairdii), Pferd (*Equus conversidens*), Kamel (*Hemiauchenia* sp.), Gürteltier (*Glypotherium* cf. *G. Floridanum*) und Hase (*Sylvilagus* sp.) lokalisiert<sup>47</sup>. Während eines gewaltigen Massentiersterbens (Overkill) am Ende des Pleistozäns verschwanden diese Tierarten 13300–12900 BP vom amerikanischen Kontinent<sup>48</sup>. Ob dafür endogene Gründe wie die exzessive Bejagung durch den Mensch oder exogene Gründe wie Klimaschwankungen verantwortlich sind, ist derzeit Gegenstand der Diskussion<sup>49</sup>. Ein Hinweis auf Bejagung und somit auf die gleichzeitige Anwesenheit von Mensch und Tier in den Höhlen wird in der Fundstelle La Chimenea gesehen<sup>50</sup>. Dort wurden in der bereits erwähnten Holzkohlekonzentration Knochen und Molare eines Kamels (*Hemiauchenia* sp.) beobachtet, die partielle Brand- und mögliche Schnittspuren aufwiesen. Die Fundstelle wird deshalb als Kochstelle interpretiert, an der Menschen das Tier zerlegt, gekocht und verspeist haben.

Die paläontologischen Funde sind darüber hinaus ein Indikator für ein deutlich trockeneres Klima während des späten Pleistozäns. Durch Vergleichsfunde auf dem amerikanischen Kontinent werden diese Arten mit offenem Grasland und Buschvegetation in Verbindung gebracht – ein auffälliger Unterschied zur heutigen Vegetation Yucatáns<sup>51</sup>.

## MAYAZEITLICHE BEFUNDE

Für mayazeitliche Opferpraktiken und Bestattungsbräuche sind insbesondere die Befunde aus den Cenotenbereichen von großem Interesse. Wie bereits erwähnt, berichten historische Quellen von der bewussten Versenkung geopferter Menschen in Cenoten. E. Thompson konnte das am Beispiel der Cenote Sagrado in Chichén Itzá nachweisen<sup>52</sup>. Im Gegensatz dazu könnte die Cenote Las Calaveras als Bestattungsplatz gedient haben<sup>53</sup>. Dort wurden 126 mayazeitliche Schädel dokumentiert. Es gab also mindestens zwei verschiedene Intentionen für bewusste Niederlegungen in den Cenoten. Um diese unterschiedlichen Niederlegungsvarianten zu erkennen, ist es aus unterwasserarchäologischer Sicht äußerst wichtig, Methoden zu entwickeln, die eine genaue Unterscheidung ermöglichen. Denkbar ist jedoch auch eine variable Nutzung zu unterschiedlichen Zeiten, weshalb auch die Datierung der Befunde eine wichtige Rolle spielt. Auch müssen Sekundärbestattungen, Krankheiten, Seuchen und Kriege in Betracht gezogen werden. Einige der in der Cenote Las Calaveras gefundenen Schädel zeigen zudem Deformationen und Zahnmanipulationen. Diese Beobachtungen liefern wichtige Informationen zu mayazeitlichen Schädeldeformations- und Zahndekorationspraktiken<sup>54</sup>.

Auffällig häufig ist die Deponierung von ein bis zwei Keramikgefäßen in Cenoten wie White River, Chan Regina oder Chan Hol. Diese Regelmäßigkeit kann mit großer Wahrscheinlichkeit mit rituellen Niederlegungen in Verbindung gebracht werden. Ob die Gegenstände dabei ins Wasser geworfen oder aufgrund eines möglicherweise niedrigeren Wasserspiegels in der Cenote gezielt platziert wurden, muss gegenwärtig offen bleiben.

In einem weiteren Schritt müssen nun die Befunde aus den Cenoten sowie die Cenoten selbst in einen räumlichen und zeitlichen Kontext zu vorhandenen oberirdischen Siedlungsstrukturen gebracht werden. Sollten künftig Isotopen- und

aDNA-analytische Methoden erfolgreich sein, können die Vorstellungen von Opferkulten und Bestattungssitten der Maya auch vor dem Hintergrund verwandtschaftlicher Beziehungen bewertet werden.

## FAZIT

Potenzielle Fundstellen in gefluteten Höhlensystemen können ausschließlich taucherisch erfasst und dokumentiert werden. Einige Fundstellen sind eine Stunde und mehr vom Eingang entfernt, zusammen mit Rückweg und Dekompression bleiben so oftmals nur wenige Minuten an der Fundstelle, welche dementsprechend oft aufgesucht werden muss, bis die nötigen Arbeitsschritte (Dokumentation, Probenahme, Fotos usw.) fertiggestellt wurden. Umso höher sind die Ergebnisse aus diesen extremen Umgebungsbedingungen zu bewerten, auch wenn die quantitativen Ergebnisse dieser Datensammlung oftmals konträr zum wirklichen Aufwand der Untersuchung stehen.

Wissenschaftliches Arbeiten in einer nach oben geschlossenen Umgebung (Overhead Environment) erfordert den Einsatz von erfahrenen Forschungstauchern, die über entsprechende Zusatzqualifikationen und taucherische Erfahrung verfügen müssen. Physische und psychische Fitness der Taucher sowie gesteigerte Teamfähigkeit sind Grundvoraussetzung. Darüber hinaus ist eine speziell angepasste und redundante Ausrüstung notwendig. Bestimmte Höhlenabschnitte erfordern bestimmte Ausrüstungskonfigurationen; tief in den Höhlen gelegene Fundstellen müssen durch den Einsatz von Scootern aufgesucht werden. Neben der umfangreichen Ausrüstung müssen auch sämtliche Arbeitsmaterialien wie Kameras und Lampen zum Fundplatz gebracht werden, was die Bewegungsgeschwindigkeit in den Höhlen durchaus behindern bzw. verlangsamen kann. Diese komplexe Logistik muss sowohl über als auch unter Wasser gewährleistet sein.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die unterwasserarchäologischen Untersuchungen einen bedeutsamen Beitrag zur allgemeinen Landesaufnahme sowie zur Besiedlungsgeschichte Mexikos durch prähistorische und paläontologische Funde aus den Höhlensystemen leisten. Neuartige Einblicke in mayazeitliche Opfer- und Bestattungssitten sind durch die Auswertung der Befunde aus den Cenoten möglich. Letztendlich erlaubt die Forschung in diesem Arbeitsgebiet einen einzigartigen Einblick in die Wechselwirkungen von Mensch und Umwelt zu unterschiedlichen Epochen. Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass diese bedeutsamen Fundstellen und vor allem die Fundzusammenhänge durch die Zunahme des Tauchtourismus stark gefährdet sind. Hinzu kommt eine durch den Tourismus vermehrte Bautätigkeit sowie die Tatsache, dass sämtliches Abwasser ungefiltert in die Höhlensysteme eingebracht wird<sup>55</sup>. Hier ist dringender Handlungsbedarf gegeben!

Abb. 21 Forschungstaucher  
beim Vermessen eines  
mayazeitlichen Keramik-  
gefäßes.

