

## Einführung in die Unterwasser-Höhlenvermessung

von

RAINER STRAUB

### Kurzfassung

Die Dokumentation und Vermessung von Unterwasserhöhlen stellt besondere Anforderungen an den Taucher und die angewendete Technik der Datenaufnahme. Der Beitrag erläutert die typische Vorgehensweise zur Vermessung von Siphonen und gibt Hinweise zur speziellen Vermessungsausstattung.

### Abstract

Surveying underwater caves requires special skills of the diver and techniques of data collecting. This paper describes a common way how to survey water filled passages (sumps) and gives recommendation for suitable survey equipment.

### Unterwasser-Höhlenvermessung

Die Vermessung einer Höhle und die Erstellung eines Höhlenplans dienen nicht nur der Orientierung des Höhlenforschers. Der Höhlenplan ist neben der Höhlenbeschreibung, Fotos und Filmaufnahmen der wichtigste Bestandteil einer Höhlendokumentation und beschreibt zeichnerisch die Höhle und ihre Inhalte. Höhlenpläne stellen meist die erste und wichtigste Arbeitsgrundlage für weitere Betrachtungen und Aussagen dar. Sie sind wichtig für weitere Forschungsarbeiten und werden für Untersuchungen zur Geologie, Hydrogeologie, Biospeläologie, Archäologie usw. als Grundlage benötigt. Werden z.B. Proben von Gesteinen, Tieren oder anderen Objekten entnommen, so wird deren Lage im Höhlenplan präzise

vermerkt. Werden komplexe Gänge erforscht oder gar miteinander verbunden, dient der Höhlenplan zur Orientierung und Basis für neue Verbindungsmöglichkeiten und Aussagen zum Verlauf der Höhle. Des Weiteren sind Höhlenpläne eine notwendige Planungs- und Orientierungshilfe bei Rettungseinsätzen und Unfällen. Der Höhlenplan sollte daher von allen Höhlenforschern gelesen und interpretiert werden können.

Ziel ist die Darstellung der Höhle in einer Ansicht von oben (Grundriss) und in einer Ansicht von der Seite (Längsschnitt oder Aufriss). Zusammen mit in regelmäßigen Abständen aufgenommenen Schnitten quer zur Gangachse (Profile) soll dem Planbetrachter ein möglichst realistischer Eindruck der Höhlengänge vermittelt werden.

Wer Unterwasserhöhlen vermessen möchte, sollte bereits über die ausreichende Praxis in der Vermessung von Trocken- und Flusshöhlen verfügen. Die beiden Hauptprobleme bei der Vermessung von wassererfüllten Hohlräumen stellen die eingeschränkte Kommunikation und die häufig schlechten Sichtbedingungen dar. Verständlicherweise sind Unterwasservermessungen nicht mit der Qualität von Vermessungen in Trockenhöhlen zu vergleichen. Gute Höhlenpläne können unter Wasser jedoch entstehen, wenn die Ausrüstung speziell für den Unterwassereinsatz vorbereitet ist, eine perfekte Führungs-, bzw. Messleine verlegt wurde und ein strukturiertes Vorgehen mit vollständiger Datenerhebung erfolgt. Um sich völlig auf die



Abb. 1: Höhlentaucher – am Boden die verlegte Führungsleine, die auch zur Vermessung dient; Foto K. Gessert

	Grundriss	Längsschnitt	Gangprofil
Zwei Messpunkte	X	X	X
Länge zwischen zwei Messpunkten	X	X	
Richtung zwischen zwei Messpunkten	X		
Wassertiefe an beiden Messpunkten		X (1)	
Neigung von Punkt 1 nach 2		X (1)	
Entfernung vom Messpunkt nach rechts	X		X
Entfernung vom Messpunkt nach links	X		X
Entfernung vom Messpunkt nach oben		X	X
Entfernung vom Messpunkt nach unten		X	X

Tabelle 1: Charakterisierende Werte für die jeweilige Darstellung einer Messstrecke im Höhlenplan

Arbeit unter Wasser konzentrieren zu können, muss der Umgang mit der Höhlentauchausrüstung trainiert und perfektioniert werden. Das Tauchen wird während der Vermessung zur gefährlichen „Nebensache“, bei der Sicherheits- und Kontrollroutinen nicht vernachlässigt werden dürfen.

Die Vermessung eines Höhlengangs lässt sich zwei Phasen unterteilen: Die Aufnahme der Hilfsmesslinie, des sog. Polygonzugs (= Mess-/Führungsleine), und die Aufnahme der Raumdimensionen. Der Polygonzug wird durch die drei Parameter Länge, Richtung und Neigung einer bestimmten Strecke zwischen zwei definierten Messpunkten charakterisiert. Im Gegensatz zur Vermessung von trockenen Höhlen, wo die Ermittlung der Neigung mit einem Neigungsmesser erfolgt, wird bei der Unterwasservermessung durch die Ermittlung der Wassertiefen die Neigung zwischen zwei Punkten konstruiert. Hierbei bildet das Niveau der Wasseroberfläche den benötigten Bezugspunkt.

Die Raumformen werden durch die Aufnahme der Abstandswerte nach rechts, links, oben und unten an jedem Messpunkten ermittelt, wobei die beiden letzten Werte wiederum aus der Ermittlung der Wassertiefe entstehen. Generell gilt: Je kürzer die Messstrecken, umso höher ist die Genauigkeit hinsichtlich Details und Darstellung.

Es empfiehlt sich, bei Vorstoß-Tauchgängen bereits eine gut markierte Führungsleine zu verlegen, die als Polygonzug für die nachfolgende Vermessung geeignet ist. Ansonsten muss die Leine später aufwändig getauscht werden.

### Längenermittlung

Die Verwendung einer genau markierten kombinierten Führungs- und Messleine hat sich immer mehr zum Standard entwickelt. Sie dient somit als Lebensversicherung des Tauchers bei schlechter Sicht als Orientierung sowie als Polygonzug für die Vermessung des Unterwassersiphons.

Die Leine sollte möglichst frei im Gang verlaufen und keinen Wand- bzw. Bodenkontakt haben, da die Ablenkung die Richtung der Stre-

cke negativ beeinflusst. Jede Befestigung stellt einen Messpunkt dar. Es ist darauf zu achten, dass die Messstrecken so im Raum liegen, dass ein freies Ablesen der Richtung ermöglicht ist. Deckenmesspunkte sind wenn möglich zu vermeiden. Zur Befestigung der Leine können Gummiringe verwendet werden, die als Loop um die Leine geschlungen an Felsböcken und Vorsprüngen an Wand und Boden fixiert werden. Fehlen Befestigungsmöglichkeiten, z.B. in stark schlammigen Passagen ohne Felsbefestigungen, können PVC-Abflussrohre zu zwei Dritteln in den Boden gerammt werden, an denen sich die Leine ebenfalls gut befestigen lässt. Die Leine sollte mit fortlaufenden Entfernungsangaben gekennzeichnet sein. Abhängig von der Gangdimension sollte die Einteilung in 1 - 5-Meter-Schritten erfolgen. In kleinräumigen Siphonen und aufgrund der Genauigkeit hat sich die 1-Meter-Einteilung (umlaufender Strich mit wasserfestem Filzstift, je 1 m) und alle 5 m eine kurze Fahne aus Textilklebeband mit Längenangabe bewährt. Bei Bedarf schützt ein Knoten in Strömungsrichtung hinter der Fahne diese vor dem Ver-

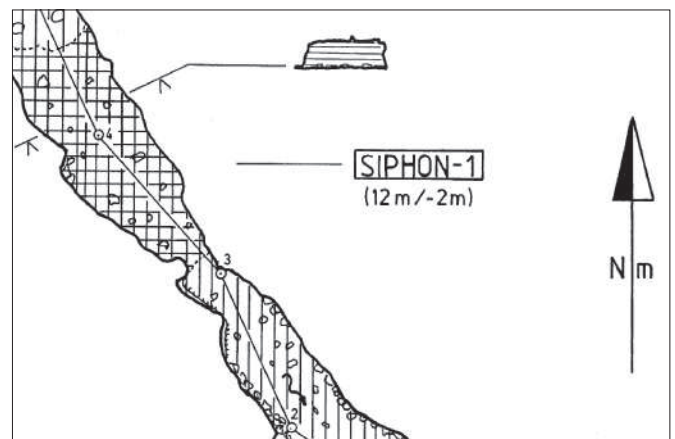


Abb. 2: Grundrisszeichnung einer See- bzw. Siphonstrecke (See = Schraffur) – kurz nach MP 3 beginnt der Siphon; an MP 4 Gang-Querschnittsprofil

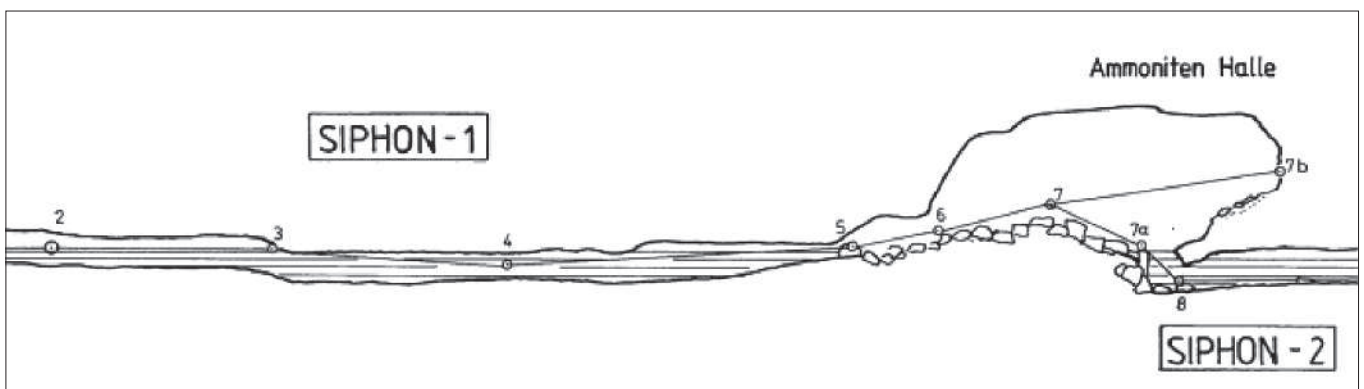


Abb. 3: Längsschnittzeichnung zweier Siphonstrecken und einer luftgefüllten Halle; an MP 3 geht der See in den Siphon über

schieben durch die Wasserströmung. Bewährt haben sich mehrfach geflochtene Leinen aus Nylon mit einem Durchmesser von 3 - 4 mm. Es wird empfohlen, helle Leinen zu verwenden, auf denen die Strichmarkierungen gut zu erkennen sind.

Werden dickere Leinen (> 5 mm) verwendet, können PVC-Schilder in 5- oder 10-Meter-Schritten aufgenäht werden. Jedoch sollten auch bei dicken Führungsleinen die Zwischen-Metermarkierungen nicht fehlen.

An jedem Messpunkt wird nun die Längenangabe auf der Führungsleine abgelesen und notiert. Später kann die Länge der Messstrecke aus der Differenz der an den beiden Messpunkten abgelesenen Werte ermittelt werden.



Abb. 4: Mit Klebeband markierte 3 mm-Führungsleine; unter der Entfernungsfahne befindet sich noch eine Farbmarkierung

### Raumwerte

Die Aufnahme der Raumwerte nach rechts, links, oben und unten erfolgt an jedem Messpunkt. In kleineren Siphonen können die Werte mit einiger Übung geschätzt werden. Ist eine höhere Genauigkeit gewünscht und lassen die Sichtverhältnisse dies zu, ist ein ausklappbarer Meterstab mit einer Länge von 2 m hilfreich. Bewährt haben sich Glieder-Meterstäbe aus unzerbrechlichem Kunststoff, die im Gegensatz zu Holz beim Kontakt mit Wasser nicht aufquellen.

Bei größeren Raumdimensionen oder auch zur Längenmessung kann ein Maßband eingesetzt werden. Hier ist jedoch ein zweiter Taucher erforderlich, der an die entsprechenden raumbegrenzenden Punkte schwimmt. Empfehlenswert sind Kunststoffmaßbänder von max. 30 m Länge. Nicht gekapselte Maßbänder sind eingekapselten vorzuziehen, da diese sich nach dem Tauchgang leichter von Lehm und Schmutz reinigen lassen und nach dem Tauchgang gut trocknen.

Ist der Abstand zur Decke zu groß, kann die obere bzw. unterste Maximaldistanz des Unterwasserganges (Raumdimension) mittels Tiefenmesser und der Differenz zur Wassertiefe am Messpunkt ermittelt werden. Es muss jedoch die Gefahr der Eintrübung beim Verlassen der Führungsleine berücksichtigt werden.

### Richtungsermittlung

Die Aufnahme der Richtung erfolgt durch eine Peilung mittels Tauchkompass entlang der straff (!) gespannten Leine. Diese lassen Messungen bis auf zirka fünf Grad genau zu. Anliegende Leinen führen zur Ablenkung der Messstrecke und damit zu Fehlerquellen und Ungenauigkeiten. Der Einfluss von Metallteilen sollte soweit möglich vermieden werden. Vorsicht bei Lampen in Kompassnähe! Es hat sich bewährt, den Kompass nicht am Arm zu befestigen, damit ein leichtes Ablesen und Peilen möglich ist. Vorteilhaft ist es, wenn der Kompass fest und genau ausgerichtet auf eine rechtwinklige Messplatte montiert ist. Dadurch kann die Längsseite der Messplatte parallel an die Messleine angelegt werden.

Bei größeren Räumlichkeiten oder längeren Strecken kann es hilfreich sein, zu zweit zu arbeiten, wobei der erste Taucher durch sein Licht den Messpunkt markiert und der zweite Taucher dieses Licht ansteuert. Dazu ist jedoch ein eingespieltes Team mit klarer Signalabsprache erforderlich, das auch weitgehend ohne Kommunikation funktioniert. Eine zusätzliche kleine Schreibtafel kann für kurze Textbotschaften eingesetzt werden.



Abb. 5: Messplatte, angelegt an die Führungsleine

### Tiefenermittlung

Die Tiefe am Messpunkt wird mit dem elektronischen Tiefenmesser des Tauchcomputers hinreichend genau bestimmt. Weiterhin kann die Tiefenmessung dazu eingesetzt werden, die obere bzw. unterste Maximaldistanz des Unterwasserganges (Raumdimension) zu bestimmen.

### Schreibtafeln

Um unter Wasser entsprechende Messdaten zu notieren, können dünne Platten von 2 - 5 mm Stärke aus hellem Kunststoff (PVC, PP o.ä.) in Größe A 4 oder kleiner verwendet werden. Diese lassen sich einfach zurechtschneiden und in die benötigte Form als Arm- oder Zeichenbrett bringen. Es empfiehlt sich, die Kunststoffoberfläche mit Sandpapier leicht anzurauen, um eine bessere Haftung der Beschriftung zu erreichen. Eine eingeritzte und mit wasserfestem Filzstift vorbereitete Tabelle erleichtert die Eintragung der Daten unter Wasser. Die Rückseite kann mit einem Quadratraster versehen werden (z. B. 20 x 20 mm). Sie kann für Skizzen oder zur Aufnahme der Raumprofile verwendet werden, die die spätere Zeichnung des Gangverlaufs erleichtern.

Alle Messdaten müssen korrekt notiert werden, um später am Schreibtisch die Berechnung und exakte Konstruktion des Polygonzuges zu ermöglichen.

Zum Schreiben unter Wasser eignet sich ein Fallminen-Bleistift oder ein ummantelter Holzbleistift, wobei jeweils häufiger Wechsel nötig ist (Korrosion bzw. Aufquellen und Zerfallen).



Abb. 6: Beispiel für eine Unterwasser-Messplatte zur Datenaufnahme mit Kompass, Tabelle und Bleistift in Halterung

### Aufnahmetechnik

Im Gegensatz zu trockenen Höhlen, wo sich ein Vermessungsteam aus meist zwei bis drei Personen bestens bewährt hat, ist es in Un-

Messpunkt	Länge [m]	Richtung [°]	Tiefe [m]	Neigung [°]	Rechts [m]	Links [m]	Oben [m]	Unten [m]	Bemerkungen
1			0		1,2	2	6	0,5	MP 1 Leinenbefestigung an Block
	7,50	150		-27,8					
2			3,50		1,00	3,00	1,5	0,3	Block Boden
	8,00	220		-10,8					
3			5,00		4,50	7,00	2,5	2,3	Wandzacke rechts
	5,60	180		-26,5					
4			7,50		2,00	6,50	2	2	
5									

Tabelle 2: Datentabelle auf der Unterwasser-Messplatte

terwasserhöhlen meist sinnvoll, allein oder – sofern aufgrund der Raumdimensionen erforderlich – zu zweit zu vermessen. Wichtig ist, dass bereits vor dem Vermessungstauchgang der Gangabschnitt bekannt ist und eine gut markierte Führungs- und Messleine verlegt wurde.

### Solo-Vermessung

In sehr engen Siphonen oder bei extrem schlechter Sicht muss hinsichtlich der Vermessung ein Kompromiss zwischen Genauigkeit und den bestehenden Möglichkeiten getroffen werden. Der Taucher notiert an allen Befestigungs- bzw. Messpunkten die erforderlichen Daten. Die Richtungspeilung erfolgt entlang der Führungsleine zum nächst sichtbaren Messpunkt. Die Raumwerte werden geschätzt bzw. mittels Meterstab gemessen. Gangprofile werden an den Messpunkten aufgenommen und die Raumformen skizziert. Durch ein strukturiertes Vorgehen bei der Vermessung von Punkt zu Punkt entgegen der Strömung bleibt die Sicht meist klar genug.

### Vermessung im Zweierteam

Besonders in großen Unterwasser-Passagen, deren Dimension und Sichtverhältnisse den Einsatz von zwei Tauchern erlaubt, kann diese Technik Verwendung finden. Vor dem Tauchgang werden Vorgehen und Rollenverteilung genau besprochen. Wichtig ist, dass beide Taucher sich auf derselben Distanz befinden um die Eintrübungen zu verringern. Es wird empfohlen, dass alle Daten nur durch einen Taucher (Taucher 1), an der Leine, notiert werden. Taucher 2 unterstützt zur Entfernungsermittlung der Raumdimensionen. Dazu schwimmt er mit dem Nullpunkt des Maßbandes an die Wandbegrenzung, signalisiert durch kurzes zweimaliges Ziehen sein OK, sodass der Wert am Maßband und Messpunkt durch Taucher 1 abgelesen werden kann. Danach schwimmt Taucher 2 mit dem Maßband wieder in Richtung Leine zurück, während Taucher 1 gleichzeitig das Maßband einrollt. Auf Sichtkontakt und gut abgesprochene Signale ist zu achten, um Missverständnisse und unnötige Eintrübungen sowie Verwicklungen zu vermeiden.

### Von den Messwerten zum fertigen Höhlenplan

Nach dem Tauchgang werden die Messwerte beider Taucher sofort zusammen abgeglichen und in einer Tabelle notiert. Eventuelle Abweichungen können gemittelt bzw. korrigiert werden. Die Planerstellung erfolgt nach dem gleichen Vorgehen wie bei der von trockenen Höhlen, lediglich die Neigung jeder Messstrecke muss noch aus der Entfernung und der Differenz der Wassertiefen bestimmt werden. Die Umrechnung erfolgt am einfachsten über folgende Formel:

$$\text{Neigung MP 1 - MP 2} = \arcsin \left( \frac{\text{Wassertiefe MP 1} - \text{Wassertiefe MP 2}}{\text{Länge}} \right)$$

Beispiel: Wassertiefe an MP 1                      6,0 m  
Wassertiefe an MP 2                              9,0 m  
Länge Messzug MP 1 - 2                        8,0 m

Somit:

$$\text{Neigung MP 1 - MP 2} = \arcsin \left( \frac{6\text{ m} - 9\text{ m}}{8\text{ m}} \right) = -22^\circ$$

Realistisch ist die Angabe der Neigung ohne Nachkommastellen. Auf Vorzeichenfehler ist zu achten.

Im Gegensatz zur Messstreckendarstellung im Längsschnitt muss die Messstrecke im Grundriss entsprechend ihrer Neigung verkürzt dargestellt werden. Besonders bei stark abfallenden Gängen und Unterwasser-Schächten mit großer Neigung ist dies zu berücksichtigen. Die verkürzte Länge errechnet sich nach der Formel

$$L_{\text{verkürzt}} = \text{Länge} \times \cos(\text{Neigung})$$

Heute übernimmt die Berechnung der Messdaten meist ein Höhlen-Computerprogramm (z. B. WIN Compass o. a.), auf das hier nicht näher eingegangen werden soll.

Nach Ermittlung der Neigung kann der Polygonzug nun auf Millimeterpapier neu konstruiert bzw. ausgedruckt werden und mit den Raumdimensionen, Profilen etc. ergänzt werden. Als Maßstab haben sich Darstellungen in 1:100 oder 1:200 bewährt, es werden jedoch auch die Maßstäbe 1:500, 1:1000 und 1:2000 eingesetzt. Es gibt keine Regeln und Normen für die Darstellung von Höhlenplänen, es sollten jedoch die gängigen Symbole, Darstellungsrichtlinien sowie die Empfehlungen der UIS eingehalten und auf eine saubere und übersichtliche Darstellungsform geachtet werden. Sinnvoll ist die Erstellung dieser Rohzeichnung möglichst zeitnah zur Datenaufnahme, da hier noch frische Erinnerungen einfließen können. Aus der Rohzeichnung auf Millimeterpapier, die in dieser Form archiviert wird, kann die computergestützte Reinzeichnung mittels den gängigen Programmen (z.B. CorelDRAW, Therion, CaveRender, CAD o.a.) erstellt werden.

### Literatur

- BURGE, J. (1987): Basic Underwater Cave Surveying. – In: Cave Diving Section of the National Speleological Society, Inc., S. 267 ff., Branford  
BURGE, J. (2001): Introduction to surveying. Chapter 16. – In: NSS Cave Diving Manual. The Cave Diving Section of the National Speleological Society, Inc., Tallahassee  
CASATI, L. (2007): Manuale di Speleologia Subacquea. – Editoriale Olimpia. Sesto Fiorentino  
CAVE DIVING GROUP (2008): Underwater Cave Surveying. – In: The Cave Diving Group Manual. S. 86 ff., b.h. graphics Solutions Ltd.  
MÜLLER, R. (1980): Höhlenvermessung und Plandarstellung; Signaturen zum Zeichnen von Höhlenplänen. – Tagungsunterlagen SPELÄO-SÜDWEST 1980, Mahlstetten  
STRAUB, R. (1995): Grundlagen der Höhlenvermessung. – Unveröff. Vortragsmanuskript, Speleo Aquanauten Team e. V., Neu-Ulm

### Autor

Rainer Straub, Referent für Höhlentauchen im VdHK, Höhlenforschungsgruppe Ostalb-Kirchheim e. V. (HFGOK), Uhuweg 7, 70794 Filderstadt, Rainer.straub@gmx.de, www.germancavediving.de, www.hfgok.de