

# BERGKNAPPE 2015

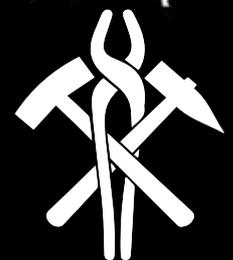


Freunde des Bergbaus in Graubünden, FBG  
Amis da las minieras en il Grischun, AMG  
Amici delle miniere nel Grigioni, AMG

Doppelnummer 126/127  
September  
39. Jahrgang

## TAGUNGSBAND

18. Internationaler Bergbau- und Montanhistorik-Workshop  
in Andeer (Schweiz)  
vom 29. September bis 3. Oktober 2015





**Freunde des Bergbaus in Graubünden, FBG  
Amis da las minieras en il Grischun, AMG  
Amici delle miniere nel Grigioni, AMG  
und die Partnervereine**



# Paperless Caving – Ein elektronisches Höhlenvermessungssystem

Beat Heeb, Zürich und Thomas Arbenz, Matzensdorf

## Zusammenfassung

Das hier vorgestellte Höhlenvermessungssystem besteht aus einem elektronischen Messgerät, kombiniert mit einem Vermessungsprogramm, welches auf einem PDA läuft. Das Messgerät beinhaltet einen Laser-Distanzmesser, einen elektronischen Kompass und einen Neigungsmesser. Es ist in der Lage, auf Knopfdruck gleichzeitig die Distanz, den Azimut und die Neigung zu messen. Mithilfe einer Bluetooth-Verbindung werden die Messwerte unmittelbar nach der Messung an den PDA übermittelt. Die Software des PDA wird benutzt, um die empfangenen Daten zu verarbeiten und zu speichern. Sie zeigt die neu erhaltenen Messzüge zusammen mit bereits vorhandenen auf und ermöglicht es die Höhle direkt auf dem Display zu skizzieren. Zuhause können die Daten und Skizzen in PC-basierte Vermessungs- und Topographieprogramme importiert werden.

Die Vorteile dieses Systems gegenüber herkömmlichen optischen Messinstrumenten und Skizzen auf Papier sind: schnellere und genauere Messungen (vor allem in engen Gängen), weniger Fehlerquellen, mehr Freiheit bei Querschnittsmessungen, genaueres Zeichnen, sofortige Kontrolle von Ringschlussfehlern und einfacher Datentransfer zu PC-basierten Programmen.

Schlüsselworte: Höhlenvermessung, Vermessungsgerät, elektronischer Kompass, elektronischer Neigungsmesser, Höhlenvermessungs-Software.

## 1. Einleitung

Am Anfang der Höhlenforschung waren die Vermessung und das Zeichnen von Höhlenplänen eine Zeit raubende und aufwändige Angelegenheit, die mit viel Handarbeit verbunden war. Sogar die Lage der Messpunkte wurde damals mittels geometrischer Konstruktion aus den Messdaten zu Papier gebracht.

Während den vergangenen Jahrzehnten wurde dieser Prozess mehr und mehr durch Computer gestützte Werkzeuge abgelöst. Heutzutage erledigen die meisten Höhlenforscher ihre «Hausaufgaben» mithilfe von speziell entwickelten Computerprogrammen. Es dauerte lange, bis das digitale Zeitalter auch beim Aufnehmen der Daten in der Höhle Einzug hielt, aber in den letzten 10 bis 15 Jahren wurden mehrere höhlen-taugliche Messmethoden entwickelt. Diese umfassen

sowohl Messgeräte [Melzer (2003), Wookey (2003), Underwood (2007), CaveSniper], als auch Datenverarbeitung auf mobilen Geräten [Melzer (2002), Le Blanc (2003), White (2007), Corvi (2011)].

Das hier vorgestellte System nutzt die neuen technologischen Möglichkeiten um einen Rahmen aufzubauen, der den ganzen Prozess von Anfang bis Ende zusammenführt, von der Erfassung der Daten in der Höhle bis zum fertig gezeichneten Höhlenplan. Es besteht keine Notwendigkeit mehr, Zahlen von Messgeräten abzulesen und manuell einzutippen.

## 2. Das «Paperless» System

Das System besteht aus speziellen Geräten, die in der Höhle eingesetzt werden, um die Daten zu sammeln, und einer Analyse- und Visualisierungssoftware auf dem Computer. Zusammen bilden sie einen zuverlässigen und einfach benutzbaren Datenpfad (Fig. 1).

Der Datensammlungsteil besteht aus zwei Geräten, einem Messgerät und einem PDA mit Datenverarbeitungsmöglichkeit. Die beiden Geräte sind drahtlos über Bluetooth miteinander verbunden. Jedes Gerät ist autonom einsetzbar, ihr volles Potenzial wird aber nur ausgeschöpft, wenn sie zusammen verwendet werden.

Das Messgerät sammelt gleichzeitig alle relevanten Daten: Distanz, Azimut (Kompassrichtung) und Neigung. Der Kompass und der Neigungsmesser sind beides 3-achsige Systeme (x-, y-, z-Achse), das erlaubt ihnen die entsprechenden Werte in jeder Richtung zu

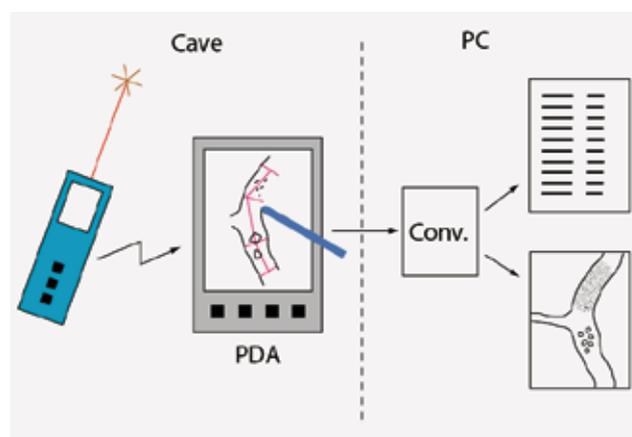


Fig. 1: Datenfluss vom Messgerät via PDA und Konvertierung zu PC-basierten Höhlenanwendungen.

erfassen – unabhängig von der Lage des Messgerätes. Die PDA Anwendung ermöglicht das Verarbeiten und Speichern der erfassten Daten, erlaubt aber auch das Editieren und das Einfügen fehlender Daten, z.B. um die Anschlüsse der Messzüge zu überprüfen und zu ergänzen. Auf dem Touchscreen-Display stellt sie die Daten numerisch und grafisch dar und ermöglicht das direkte Skizzieren auf dem Bildschirm.

Zuhause wird der PDA mit einem PC verbunden und die gespeicherten Daten werden konvertiert und in entsprechende Höhlenvermessungs- und Planzeichnungsprogramme übertragen.

### 3. Das Messgerät

Ein für unser System passendes Messgerät muss verschiedene Voraussetzungen erfüllen und dafür 4 Hauptbauteile aufweisen: einen Laser Distanzmesser, einen elektronischen Kompass, einen elektronischen Beschleunigungssensor (Neigungsmesser) und ein Bluetooth Kommunikationssystem. Zusätzlich muss die mechanische Konstruktion des Gerätes klein und leichtgewichtig sein, aber auch bis zu einem gewissen Grad wasserdicht und robust genug, um in der Höhle brauchbar zu sein. Das ist nicht einfach zu erreichen, denn einerseits brauchen wir mindestens eine einfache Benutzeroberfläche und andererseits enthält der Laser Distanzmesser empfindliche optische Teile.

Das hier vorgestellte Gerät benutzt als Basis einen handelsüblichen Laser «Distometer» der den Anforderungen entsprechend umgebaut wird. Das gewählte Modell ist der *Leica Disto X310*, ein kleines, genaues Messgerät, das zu einem vernünftigen Preis erhältlich ist. Das umgebaute Gerät, jetzt in *DistoX2* umbenannt, und sein Vorgänger *DistoX* (umgebaute *Leica Disto A3*), sind seit mehreren Jahren im Einsatz und werden erfolgreich von Höhlenforschern auf der ganzen Welt benutzt.

#### Umbau des DistoX2

Der *Leica Disto X310* beinhaltet hauptsächlich zwei elektronische Baugruppen: Das Laser Modul mit den nötigen optischen Komponenten für die Distanzmessung und die Hauptplatine, die zuständig ist für die Benutzeroberfläche. Die beiden Teile sowie die LCD Anzeige, die Tastatur und ein separater Neigungssensor sind über kleine Flachkabel miteinander verbunden.

Beim Umbau wird einfach die Hauptplatine gegen eine neue etwa gleich grosse Platine ausgetauscht. Diese implementiert die gleichen Funktionen wie das Original, enthält aber zusätzlich noch drei magnetisch-induktive Kompasssensoren, einen zweiten Neigungssensor und ein Bluetooth-Modul. Sie wird über die bereits vor-

handenen Kabel mit den anderen Teilen verbunden. Ein CortexM0 Mikroprozessor auf der Platine steuert das ganze Gerät und macht die nötigen Berechnungen.

Die Benutzeroberfläche ist ähnlich gehalten wie beim original X310. Zusätzlich wird jetzt aber bei jeder Messung die Kompassrichtung und Neigung gemessen und auf dem Display angezeigt (Fig. 2). Bis zu 1000 Messungen werden im Gerät gespeichert und sofort oder später über Bluetooth an einen verbundenen PDA übertragen. Im Gegenzug wurden einige für Höhlenanwendungen nicht benötigte Funktionen wie Addition von Messstrecken und Dreiecksberechnungen weggelassen, damit die Bedienung nicht zu kompliziert wird. Neu ist es auch möglich, die Programmierung des Mikroprozessors über Bluetooth auszuwechseln. Dadurch kann die Funktionalität des Gerätes später noch erweitert werden.

Der vorhandene Platz im X310 erlaubt zudem einen Lithium Polymer Akkumulator fest im Gerät einzubauen. Dieser ersetzt die AAA Batterien im Batteriefach, hat aber wesentlich bessere magnetische Eigenschaften. Bei Geräten mit Batterien muss der Kompass bei jedem Batteriewechsel neu kalibriert werden. Die Ladeelektronik für den Akkumulator ist auf der neuen Platine bereits eingebaut.



Fig. 2: *Leica Disto* mit zusätzlicher Kompass- und Neigungsanzeige auf dem Standard Display. *Rugged-pda* mit geöffnetem Datenerfassungsprogramm.

### 4. Die PocketTopo-Anwendung

Neben dem PDA brauchen wir primär eine Datenbank um die empfangenen Messungen zusammen mit bereits vorhandenen Daten und zusätzlichen Informationen zu speichern. Weitere notwendige Eigenschaften sind die graphische Darstellung von Höhlenplänen und die Möglichkeit direkt auf dem Bildschirm zu zeichnen.

PocketTopo ist in C# geschrieben und basiert auf dem .NET Compact Framework.

Dadurch lässt sich das Programm auf vielen Geräten und Betriebssystemen installieren, insbesondere auf allen Windows-Varianten. Es können also diverse Geräte vom PDA über Smartphones bis zu einigen Tablets verwendet werden. Für die Arbeit in der Höhle muss das Gerät einen Touchscreen zum Zeichnen und Bluetooth für die Verbindung unterstützen.

Es existieren sehr robuste Windows Mobile Geräte, so genannte RPDA (rugged pda) wie z.B. der TDS Recon (Fig. 3 links), der Juniper Archer oder der Siemens-Fujitsu N560. Eine preisgünstigere Lösung ist die Nutzung eines gewöhnlichen PDA wie z.B. der Hewlett Packard HP iPaq, den man mit einer wasserdichten Palmcase Armor Box (Fig 3 rechts) oder einfach mit einem wasserdichten Outdoor Etui schützt. Smartphones und Tablets mit entsprechenden Schutzhüllen sind ebenfalls eine Option. Eine Android-Version von PocketTopo ist in Entwicklung.



Fig. 3: TDS Recon Outdoor PDA (links) und Palmcase Armor Case (rechts).

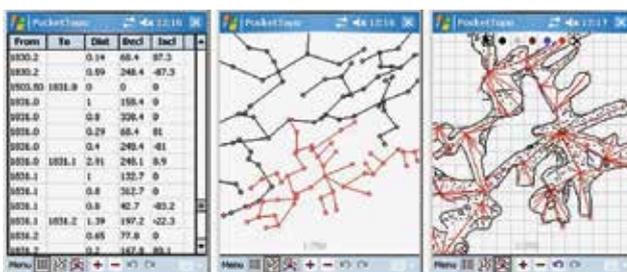


Fig.4: Die drei PDA Display-Ansichten der Vermessungsdaten. Links: Textdarstellung von Messzügen und Querschnitten. Mitte: Höhlenplan mit alten und neuen Gängen. Rechts: Messzüge, Hilfslinien und Skizze.

Die Anwendung empfängt laufend neue Daten vom Messgerät und zeigt sie auf dem Display sobald sie ankommen. Die Benutzeroberfläche besteht aus drei Hauptansichten. Die erste zeigt die Vermessungsdaten in tabellarischer Form mit wählbaren Masseinheiten (Grad ° oder Gon <sup>9</sup>). Sie erlaubt die Kontrolle aller Details jedes beliebigen Messpunktes, sowie ihre Gruppierung in Serien und die Definition der Anschlüsse. Die Werte sind editierbar.

Die anderen Ansichten zeigen graphische Darstellungen der Höhlendaten. Die eine zeigt eine Übersicht über die ganze Höhle. Sie dient dazu, die neu vermessenen Passagen in Relation zu den bereits vorhandenen zu sehen. Ausserdem zeigt sie die jeweilige Gesamtlänge und die Höhendifferenz der Höhle an. Die dritte Ansicht stellt Grundriss und Seitenriss der Höhle dar und beinhaltet neben den Messzügen auch alle Hilfslinien. Sie erlaubt die Details der neu vermessenen Teile direkt auf dem Bildschirm zu skizzieren. Die Skizzen werden als Vektorgrafiken gespeichert damit sie später als Vorlage für den definitiven Höhlenplan verwendet werden können (Fig. 5).

Die grafischen Ansichten unterstützen einfache Zoom- und Verschiebefunktionen.

Die Skizzenansicht erlaubt die Wahl verschiedener Farben für den virtuellen Zeichenstift, Radierfunktion sowie unbeschränktes Rückgängigmachen / Wiederherstellen.

Messdaten und Skizzen können auf dem PDA als Dateien gespeichert und wieder geladen werden. Um einen Datenverlust unter allen Umständen zu vermeiden, sichert das Programm die Daten laufend auf im (nichtflüchtigen) Hauptspeicher und falls vorhanden zusätzlich auch auf einer eingelegten SD-Speicherkarte. Dadurch können die Daten gerettet werden, auch wenn das Gerät stark beschädigt werden sollte. Zuhause wird der PDA mit einem PC synchronisiert,

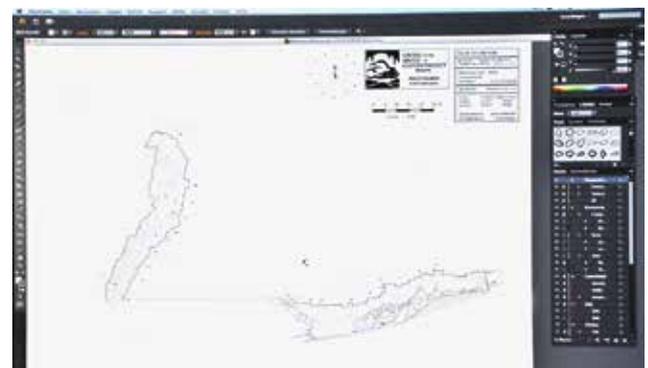


Fig.5: Reinzeichnung im Programm Adobe-Illustrator, als Vorlage ist eine bereits existierende PocketTopo Zeichnung angehängt.

Daten und Skizzen werden übermittelt und für die entsprechenden PC Anwendungen konvertiert. Für die Messungen werden die Datenformate einiger Höhlenprogramme (Toporobot, Therion, VisualTopo) unterstützt. Die Skizzen werden als .dxf-Dateien exportiert, die von allen gängigen Grafikprogrammen wie Adobe Illustrator oder AutoCAD gelesen werden können.

### 5. Die Praktische Anwendung des Systems

Mit einem elektronischen Höhlenvermessungssystem zu arbeiten weist ein paar Unterschiede zur herkömmlichen Höhlenvermessung mit optischen Geräten und Papierskizzen auf. Für die Bedienung des Lasermessgerätes braucht es eine ruhige Hand – es ist aber bequemer als durch ein optisches Instrument zu visieren, speziell in engen Passagen. Im Gegensatz zu einem konventionellen Kompass, der immer waagrecht gehalten werden muss und in steilen Höhlenabschnitten nur mit Abstrichen benutzt werden kann, gibt es keine Einschränkungen bezüglich Ausrichtung und Lage für die DistoX und DistoX2 Geräte.

Für eine effiziente, zügige Vermessung ist ein Team von 2 Personen nötig. Während einer das Lasermessgerät bedient markiert der andere den Messpunkt, und bedient den PDA, wo er die Daten kontrolliert und die Skizzen anfertigt. Optional kann die Stellung der Personen auch umgedreht und «rückwärts» vermessen werden, dazu muss auf dem PDA die entsprechende Umstellung vorgenommen werden.

Zur Optimierung des Ablaufs kann eine zusätzliche dritte Person die Markierung des Messpunktes übernehmen und als «Scout» dienen. Dies verschafft dem Zeichner mehr Zeit und beschleunigt die Vermessung. Die Markierung des Messpunktes erfolgt wie bisher mit rotem Nagellack, bei Abzweigungen und Kreuzungen wird zusätzlich die Serie- und Messpunktnummer



Fig. 6: Messpunkt mit Serie- und Stationsangabe, betont durch die Hand des Marqueurs.

angebracht. Bei längeren Messzügen ist ein zusätzliches betonen des Messpunktes angebracht. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten (Beleuchtung, Zeigefinger, Handschuh). Als ideal hat sich folgendes erwiesen: Der «Marqueur» hält seine Hand so an den Messpunkt, dass dieser in den Winkel zwischen Daumen und Zeigefinger zu liegen kommt. Der Messpunkt wird zusätzlich schwach angeleuchtet (Fig. 6). Für den Marqueur gilt eine wichtige Sicherheitsmassnahme: Direkter Augenkontakt mit dem Laserstrahl ist unbedingt zu vermeiden!

Das Messgerät wird nicht nur für Messzüge benutzt, sondern auch für Querschnittsmessungen. Mit dem Laser können diese schnell und einfach gemacht werden, denn die jeweiligen Endpunkte müssen nicht markiert sein. So werden auch die Querschnitte grosser Räume exakt erfasst. Wo früher die Regel «links, rechts, oben, unten» galt, ist es beim neuen Messsystem ziemlich egal in welcher Reihenfolge die Messungen gemacht werden. Auch die Richtung muss nicht zwingend auf 270°/90°/0°/180° gelegt werden und auch nicht mehr Winkel halbierend zum Messpunkt erfolgen. Vielmehr kann jetzt der Gangquerschnitt so erfasst werden wie er tatsächlich aussieht. Dies ist eine grosse Hilfe um exakte Höhlenpläne zu zeichnen (Fig. 4 und 5). Die Anzahl Messungen kann dabei beliebig sein – eine Einschränkung ist höchstens durch die PC basierte Höhlensoftware gegeben (z.B. Toporobot: 14 Messungen). Trotzdem ist es angebracht, die Devise «weniger ist mehr» zu beherzigen, da zu viele Messlinien beim Zeichnen eher hinderlich sind. Für die Skizze der Gangquerschnitte kann auf der Zeichnungsansicht am Messpunkt ein Untermenü gewählt werden, welches automatisch die Messlinien fächerförmig darstellt. Entlang der Endpunkte kann jetzt der Querschnitt gezeichnet werden (Fig. 7).

Damit das Messgerät zwischen Distanz- und Querschnittsmessung unterscheiden kann, muss eine einfache Regel befolgt werden: Die Distanz wird drei Mal hintereinander gemessen. So erkennt das Messgerät, dass es sich dabei um einen Messzug handelt. Gleichzeitig ermöglicht es uns die Genauigkeit der Messung zu überprüfen und ein versehentliches «Vorbeischießen» zu erkennen, da alle drei «Treffer» in einem Bereich von 5cm/2° liegen müssen, um vom Gerät als Distanzmessung akzeptiert zu werden.

Alle Einzelmessungen interpretiert das Gerät als Querschnittsmessung oder als Hilfslinie, die von einem Messpunkt aus gemacht wird. Natürlich ist es auch möglich, den Typ der Messung manuell zu definieren. Skizzen auf dem Touchscreen zu zeichnen ist anfänglich etwas mühsam, speziell wenn noch Schutzschicht-

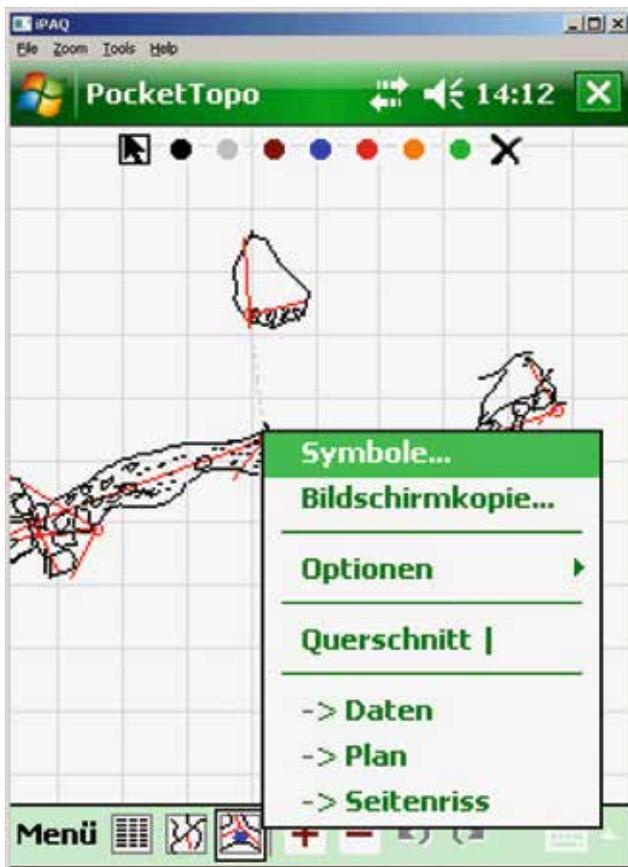


Fig. 7: Untermenü am Messpunkt und Querschnittsskizze.

ten (Folien, Gehäuse) darüber liegen. Mit den vorhandenen Anleitungen, der Möglichkeit das Bild beliebig zu vergrößern und der Tatsache, dass man nie den Rand des «Papiers» erreicht, werden diese Anfangsschwierigkeiten mehr als wettgemacht. Es muss auch betont werden, dass keine Absicht besteht fertige Höhlenpläne zu zeichnen, die Skizzen sollen später lediglich als Vorlagen dienen. Das Zeichnen von qualitativ hochstehenden Höhlenplänen ist eine anspruchsvolle und Zeit raubende Aufgabe, die nicht in der Höhle bewältigt werden kann.

## 6. Zusammenfassung

Das vorgestellte System ist in zahlreichen Vermessungsprojekten in den verschiedensten Höhlen und auch in einigen Bergwerken erfolgreich eingesetzt worden. Die gewonnenen Erfahrungen zeigen viele Vorteile gegenüber der «traditionellen» Messmethode. Die Messungen sind generell schneller, weil nur ein einziges Instrument bedient werden muss und weil kein Bedarf besteht die Werte abzulesen und aufzuschreiben. Der automatische Datentransfer eliminiert auch etliche Fehlerquellen.

Das Zeichnen der Höhle direkt auf dem Bildschirm des PDA ist ein weiterer Vorteil des Systems. Zusammen mit den generierten Hilfslinien ermöglicht es uns in kurzer Zeit exakte Skizzen anzufertigen.

Ein weiterer Vorteil ist der Zugriff auf die kompletten Höhlendaten vor Ort – so können Ringschlüsse überprüft und Fehler in alten Vermessungen korrigiert werden. Mögliche Zusammenschlüsse mit anderen Gängen werden ersichtlich und Anschlussmesspunkte können leichter aufgespürt werden.

## 7. Einschränkung

Wie alle kompassgestützten Messsysteme unterliegt auch dieses dem Einfluss von magnetischen Quellen. So haben z.B. eisenhaltige Gürtelschnallen oder Lampenteile Abweichungen bei den Messwerten zur Folge. Diese «mobilen» Fehlerquellen können (und müssen) vermieden werden, bei ortsgebundenen magnetischen Einflüssen ist dies aber nicht möglich. Die Kompassmessungen werden unzuverlässig oder gar wertlos. Führt eine Höhle z.B. in eisenerzhaltige Schichten oder wird gar ein Eisenerzbergwerk vermessen, sind grosse Kompassabweichungen zwangsläufig. Diese so zu kompensieren, dass die Messungen wieder brauchbar sind, ist (wenn überhaupt) nur mit grossem technischen Aufwand möglich, der die Möglichkeiten dieses Systems mehr als übersteigt.

## Adressen der Verfasser

Beat Heeb  
Stüssistrasse 65  
CH-8057 Zürich

Thomas Arbenz  
Emetstrasse 34  
CH-4713 Matzendorf

## Referenzen

Heeb, Beat (2009), An All-In-One Electronic Cave Surveying Device; CREG Journal 72: p. 8-10; BCRA Cave Radio and Electronics Group.

Heeb Beat (2011), A General Calibration Algorithm for 3-Axis Compass/Clinometer Devices; CREG Journal 73: p. 12-18; BCRA Cave Radio and Electronics Group.

Heeb Beat (2014), The Next Generation of the DistoX Cave Surveying Instrument; CREG Journal 88: p. 5-8; BCRA Cave Radio and Electronics Group.

CaveSniper: <http://www.caveexplorer.eu>; Marco Corvi (2011) TopoDroid.pdf.

