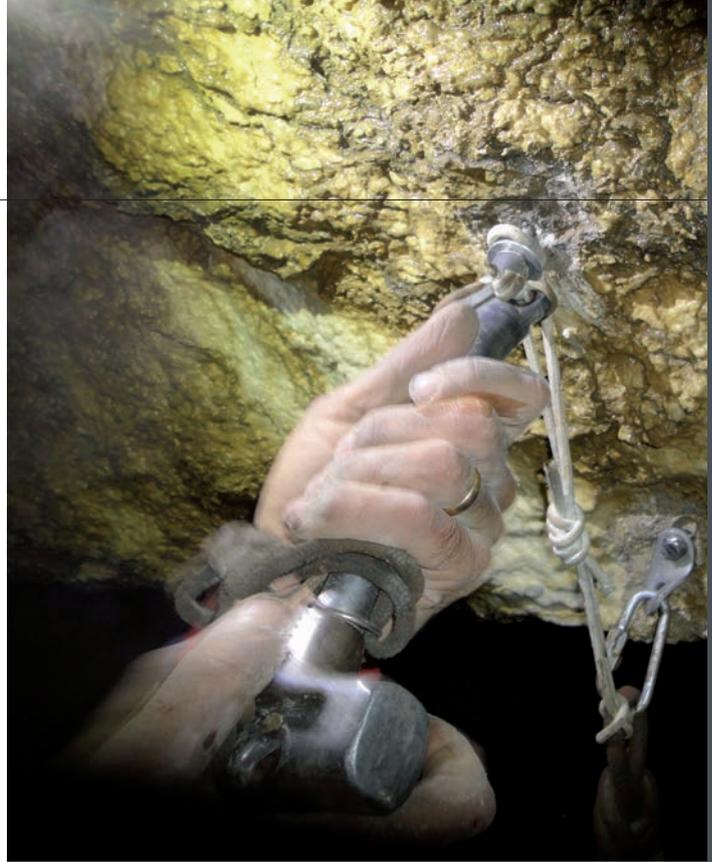


Einsatz von Betonschrauben in der Höhlenforschung

Utilisation des vis à béton en spéléologie

Florian Hof (SCVJ) & Rolf Siegenthaler (SGH Bern)



Einführung

Oben im Schacht, der gerade ausgerichtet werden soll, entdeckt der Höhlenforscher eine Sechskantschraube. Also rasch den üblichen 13er-Schlüssel zur Hand und ausschrauben... ausschrauben, ausschrauben. Das Ding ist komisch lang...und viel dünner als normal! Was soll das jetzt wieder? Und welche Last hält dieses dünne Stück Metall?

Ungefähr so gingen vermutlich die Gedanken von einigen, die zum ersten Mal eine „Betonschraube“ in der Höhle angetroffen haben. Seit einigen Jahren sind diese Schrauben aufgetaucht und wurden in verschiedenen Höhlen eingesetzt. Die Meinungen darüber gehen auseinander, aber fundierte Informationen fehlen bislang. Wir haben Nachforschungen und Tests unternommen, um diese Wissenslücke zu schliessen.

Vorstellung

Die wohl passendste Benennung ist „Betonschraube“. Manche Hersteller haben alternative Namen, beispielsweise „Schraubanker“. Diese Schrauben werden einfach in ein vorgebohrtes Loch im Fels eingedreht. Das für den Halt nötige Gewinde wird dabei automatisch von der speziell gestalteten Schraubenspitze in den Fels gefräst, vom Prinzip her gleich wie bei einer Holzschraube. Nach dem Entfernen bleibt nichts als ein kleines Loch zurück, und die Schraube kann wieder verwendet werden. In der nachfolgenden Synthese werden der Anwendungsbereich und die Grenzen dieses Materials aufgezeigt.

Dieser Artikel präsentiert theoretische Informationen aus vertrauenswürdigen Quellen und die Resultate von unseren selbst ausgeführten statischen und dynamischen

Introduction

En haut d'un puits à déséquiper, un spéléologue voit une vis à six pans. Il sort sa clé habituelle et dévisse, dévisse, dévisse. C'est drôlement long ... et aussi plus fin que normal ! Mais qu'est-ce que c'est que ça ? Et quelle charge tient ce mince bout de métal ?

Telles furent les pensées de certains à la première rencontre d'une «vis à béton». Depuis quelques années, ces vis sont sorties du bois (ou plutôt de leur boîtes) et se sont ancrées dans diverses cavités. Les avis sur cet ancrage divergent, mais les informations fondées manquaient. Nous avons entrepris des recherches et des tests afin de combler cette lacune.

Présentation

La dénomination la plus précise est «vis à béton». Certains fabricants ont d'autres noms, par exemple «vis d'ancrage». Elle se visse dans un trou foré à cet effet. Le vissage creuse une rainure grâce à laquelle la vis tient, à l'instar d'une vis à bois. Après l'avoir enlevée, il ne reste qu'un petit trou, sans corps étranger, et la vis peut être réutilisée. Les champs de prédilection et limitations de cette vis sont mentionnés dans la synthèse qui suit.

Cet article présente des informations théoriques de sources fiables, des tests statiques et dynamiques effectués par nos soins et des retours de nos expériences in situ. Nous terminons par une synthèse qui orientera le spéléo équipeur.

Valeurs théoriques

Les fabricants livrent bien évidemment des valeurs théoriques de résistance. Ces valeurs sont données pour du béton, matériau normé contrairement aux roches dans



Belastungstests sowie unsere Erfahrungen in der Höhle. Die Erkenntnisse sollen als Orientierungshilfe für alle dienen, die Höhlen einrichten.

Theoretische Werte

Die Fabrikanten liefern natürlich theoretische Werte zur Belastbarkeit ihres Materials. Diese Werte gelten für Beton, der ganz im Gegensatz zu unserem Höhlenfels normiert ist. Einige Fabrikanten verkaufen auch Expansionsanker (Schwerlastanker), was einen direkten Vergleich erlaubt [Hilti 2016].

Damit diese Angaben korrekt interpretiert werden können, müssen einige Fachbegriffe erläutert werden :

- Zugkraft / Scherkraft

Dabei wird die Richtung der auf die Verankerung einwirkenden Kräfte angegeben. Eine Verankerung in der Decke wird typischerweise „auf Zug“ belastet – also in Längsachse. Bei einer Verankerung an der vertikalen Wand wirkt hingegen generell eher eine Scherkraft ein – quer zur Längsachse.

- Arbeitslast / Bruchlast

Hier kommen wir zum potenziellen Missverständnis zwischen der Welt der Industrie und derjenigen der Kletterei und Höhlenforschung. Die Arbeitslast entspricht derjenigen Kraft, die im Alltag und unter Wiederholung auftreten darf [Wikipedia 2018]. Die Bruchlast ist diejenige Kraft, die während einem oder mehreren Vorfällen noch gerade akzeptierbar ist. Das typische Maillon Edelstahl 7 mm (Ref MRGOI07.0), das mit 4'000 kg / 40 kN bezeichnet ist, darf tagtäglich nur unter 800 kg arbeiten [Peguet 2014].

- Gerissener / Ungerissener Beton

Wir betrachten hier nur die Werte in ‚Ungerissenem Beton‘, welcher normalem Kalkstein entspricht. Beim ‚Gerissenen Beton‘ handelt es sich klar nicht um einen Beton, dessen Festigkeit unter Rissen leidet, sondern um einen Beton, der unter solchen Umständen (Zugzone, z.B. bei einer Betondecke) eingesetzt wird, dass Mikrorisse auftreten können [Bati 2014].

Die Dokumentation von Hilti sagt aus, dass Betonschrauben widerstandsfähiger auf Scherkraft als auf Zugkraft seien. Der dünne Durchmesser von 6 mm der Schrauben wirkt sich bei Scherbelastungen, verglichen mit einem Expansionsanker von 8 mm, nicht ungünstig aus. Die auf eine Schraube einwirkende Zugkraft verteilt sich auf die ganze Länge des Gewindes, und die dort theoretisch auftretenden Werte sind dabei erstaunlich gering. Im Vergleich mit den Expansionsankern braucht es bei den Schrauben mehr Länge, um auf Zugkraft gleich gut zu sein. Das Aushalten einer Arbeitslast von 3 kN reicht aus für eine Fixeinrichtung in gutem Beton. Wir schätzen einen guten Kalk härter und resistenter ein als Beton. Bezüglich Sturzbelastungen zertifiziert keiner der betrachteten Fabrikanten ihre Schrauben [Hilti 2016, Heco 2016], wohingegen Hilti diese Angaben für Expansionsanker macht.

les grottes. Certains fabricants vendent aussi des ancrages à expansion (goujons), ce qui permet une comparaison directe [Hilti 2016].

Pour une interprétation correcte, il convient de distinguer quelques notions techniques :

- charge en traction / charge en cisaillement

Désigne la direction de la force par rapport à l'ancrage. Un ancrage au plafond travaille typiquement en traction, tandis qu'en paroi verticale, il subit généralement un cisaillement.

- charge de travail / charge de rupture
C'est le gros qui-proquo entre le monde de l'industrie et celui de l'escalade ou de la spéléo. La charge de travail correspond à la force qui peut être infligée au quotidien et à répétition [Wikipedia 2018]. La charge de rupture est la force acceptée lors d'un (ou quelques) événement(s). Par exemple, le maillon typique inox 7 mm (Réf MRGOI07.0) donné à 4'000 kg / 40 kN n'est fait pour travailler à longueur de journées que sous 800 kg [Peguet 2014].

- béton fissuré / béton non fissuré
Nous ne considérons ici que les valeurs dans du béton «non fissuré», qui correspond à un calcaire normal. Pour information, le béton «fissuré» ne souffre pas de lézarde, mais seulement de micro-fissures apparaissant lors de sa mise en œuvre en raison de contraintes spécifiques [Bati 2014].

Selon la documentation de Hilti, les vis d'ancrages sont plus résistantes au cisaillement qu'à la traction. Le faible diamètre 6 mm n'est pas défavorable sous cisaillement par rapport à un goujon de 8 mm. A la traction, répartie le long de tout le pas de vis, les valeurs théoriques sont étonnamment faibles. Par rapport à un goujon, il faut une longueur de vis bien supérieure pour concurrencer en traction. La résistance au travail de 3 kN suffit

cependant pour un équipement en fixe dans du bon béton. Nous estimons qu'un bon calcaire est plus dur et résistant que du béton. Concernant les chutes, aucun des deux fabricants passés sous la loupe ne certifie leur vis au choc [Hilti 2016, Heco 2016]. Par contre, Hilti l'a fait pour ses goujons.

Une vis à béton n'induit pas de force d'écartement et peut ainsi être installée assez proche d'une autre vis, d'un bord ou d'une fracture, tant qu'il ne s'agit pas d'un surplomb brusque. L'intuition nous pousse à éviter ces endroits, mais Hilti spécifie une distance minimale de seulement 35 mm pour les vis de 6 mm. Cela n'est pas le cas des chevilles à expansion (goujons) et chevilles auto-foreuses (spits), car elles provoquent une force d'écartement permanente dans la roche.

La réutilisation suscite des craintes. Les deux fabricants étudiés proposent des gabarits de vérification, mais malheureusement qu'à partir d'un diamètre 10 mm [Heco 2016]. Les diamètres 6 mm ne bénéficient que de peu d'attention du monde industriel. La réutilisation des trous n'est abordée dans aucune des notices techniques.

Autre aspect pratique, le trou à forer est plus petit qu'avec les ancrages actuellement répandus, soit 8 mm pour les goujons et 12 mm pour les spits. Par rapport aux spits, la surface de forage est 4 fois moindre, le couple de force au perçage également 4 fois moindre. Les perforateurs compacts



Verschiedene Betonschrauben umgeben von einigen Schwerlastankern.

Diverses vis à béton entourées de quelques goujons.



Typische Anwendung auf einer Baustelle.

Utilisation typique sur chantier.

Eine Betonschraube entwickelt im Bohrloch keine Spreizkräfte und kann daher sehr nahe bei einer anderen Schraube, an einer Felskante oder einem Bruch gesetzt werden, ausser bei einem abrupten Überhang. Unsere Intuition gibt uns zwar vor, solche Situationen seien gefährlich, aber Hilti spezifiziert für die 6 mm-Schrauben einen Mindestabstand von nur 35 mm. Dies ist ein grosser Unterschied gegenüber Expansionsankern und Selbstbohrdübeln (Spit), da diese im Fels eine permanente Spreizkraft entwickeln.

Auch bezüglich der Wiederverwendbarkeit der Schrauben bestehen Vorbehalte. Die beiden hier betrachteten Hersteller bieten zwar Prüfschablonen an, aber nur ab einem Durchmesser von 10 mm [Heco 2016]. Die 6 mm Schrauben finden nur wenig Beachtung bei industriellen Anwendern. Die Wiederverwendbarkeit der Bohrlöcher findet in keiner technischen Dokumentation irgendwelche Beachtung.

Ein anderer praktischer Aspekt ist, dass die zu bohrenden Löcher kleiner sind als mit den jetzt am meisten verbreiteten Ankern, sei dies 8 mm für die Expansionsanker oder 12 mm für die Spits. Im Vergleich zu den Spits ist die Bohrlochfläche 4 Mal geringer und ebenso das

Tabelle 1, Theoretische Werte: / Tableau 1, valeurs théoriques:

Produit Produkt	Ø [mm]	P T	Mat	Charge de travail Nutzlast [kN]	Charge de rupture Bruchlast 1kN ≙ 100kg [kN]
Hilti HUS3-H 6	6	55	g	→	3.6
				↓	6.0
Hilti HUS-HR 6	6	55	A4	→	3.1
				↓	8.1
Hilti HUS-HR 8	8	50	A4	→	3.6
				↓	11.2
				↕	6.3
				↕	12.4
Hilti HST3 M8	8	47	g	→	5.7
				↓	7.9
Hilti HST3-R M8	8	47	A4	→	5.7
				↓	9.0
Peguet maillon rapide Zicral, 49g Inox, 52g	10	7	alu	↕	5.0
				↕	8.0
Hilti HUS...				Vis à béton	Betonschraube
Hilti HST...				Cheville à expansion	Expansionsanker
	Ø			maillon rapide	Schraubglied
	P/T			diamètre	Durchmesser
	Mat			profondeur d'ancrage	Verankerungstiefe
	g			matériel	Material
	A4			galvanisé / zingué	galvanisch verzinkt
	alu			acier inoxydable	nichtrostender Stahl
				Zicral	Zicral
				→ traction	Zug
				↓ cisaillement	Quer
				↕ traction	Zug

apprecieront. La profondeur de perçage, supérieure à un spit, joue un rôle moindre dans l'énergie dépensée. Dans un essai dans du calcaire jurassique, avec équipement et énergie identiques, nous avons pu percer 60 % de plus de trou à 6 mm que 8 mm. Et sans perforatrice, un forage manuel avec un tamponnoir SDS+ prend un temps raisonnable, s'approchant du spit.

Tests statiques

Particulièrement avec les techniques de secours spéléo (palan, tyrolienne, etc.) les forces statiques agissent sur nos ancrages. Où sont les limites des vis à béton par rapport aux ancrages classiques [SSS 2005] avec des goujons (21 kN en traction, 20 kN en cisaillement) et spits (18 kN en traction, 16 kN en cisaillement)?

Nous avons testé le comportement de différentes vis en cisaillement avec une force progressive. La roche est un calcaire du Gemmenalp compact. La force a été mesurée par l'appareil Rock Exotica

Enforcer avec 2 % de tolérance (pas calibré par nous-même) et exercée à l'aide d'un treuil (Habegger HIT 16) manipulé manuellement. Lors d'au total 13 essais, nous avons varié les différents facteurs.

Nous avons constaté que les vis inox étaient largement plus résistantes que leurs sœurs non-inox. Les inox rompent vers 20 kN tandis que les



Die Schrauben dürfen nah von Kanten eingesetzt werden, jedoch nicht an einem abrupten Überhang.

Les vis peuvent être utilisées proches d'arêtes non surplombantes.



Photo: Michael Hötti

Vergleich 6 mm vs. 8 mm-Bohrung mit demselben kleinen Akku.

Comparaison de perçage à 6 mm et 8 mm avec le même petit accu.



Einrichtung eines Tests.

Mise en place d'un test.

nötige Drehmoment. Die kompakten Bohrmaschinen werden das honorieren. Die grössere Bohrtiefe, mehr als ein Spitz, spielt dagegen eine geringere Rolle bei der aufgewendeten Energiemenge. Wir konnten in einem Praxisversuch in Jurakalk mit demselben Equipment und Energiemenge 60 % (sic!) mehr 6 mm-Löcher bohren als 8 mm. Und ohne Bohrmaschine, sondern mit einem SDS+Handbohrer, kommt es zeitlich vernünftig in die Nähe eines Spits.

Statische Tests

Statische Kräfte belasten unsere Verankerungen insbesondere bei in der Höhlenrettung verwendeten Techniken (Flaschenzug, Seilbahn, etc.).

Wo liegen diesbezüglich die Limits der Betonschrauben im Vergleich zu unseren klassischen Verankerungen [SSS 2005] mit Dübeln (21 kN Zug, 20 kN Scherkraft) und Spitz (18 kN Zug, 16 kN Scherkraft)?

Wir haben in kompaktem Gemmenalp-Kalk das Verhalten diverser Betonschrauben bei kontinuierlich ansteigender Scherkraft untersucht. Dabei wurde ein Rock Exotica Enforcer mit 2% Messtoleranz (nicht selbst geeicht) als Messgerät verwendet, und für den Kraftaufbau brauchten wir einen simplen Habegger (Modell HIT 16), manuell bedient. In insgesamt 13 Versuchen haben wir alle Faktoren variiert.

Wir haben festgestellt, dass die Inox-Schrauben den Nicht-inox deutlich überlegen sind. Inox bricht um die 20 kN, während die Nicht-inox schon um 10 kN brechen können. Der Faktor Material (inox oder nicht-inox) ist sogar bedeutender

Die Edelstahlschrauben verformen sich spektakulär.

Les vis inox se déforment de façon spectaculaire.

non-inox peuvent se rompre vers 10 kN. Le matériel (inox ou non) joue un rôle plus important que la longueur des vis. Nous avons comparé les trous aux diamètres 6 mm et 6,35 mm (1/4 de pouce) sans constater de différence notable au cisaillement. Cet aspect nous intéresse, car les vis sont plus faciles à installer dans un trou plus large. Dès 8 kN, les vis commencent à se déformer, devenant difficile ou impossible à réutiliser. On les met ainsi automatiquement au rebut, ce qui est une bonne chose.

Nous n'avons effectué nous-mêmes que deux tests en traction. Dans un cas dans du grès fissuré, l'ancrage a arraché un morceau de rocher vers 15 kN. Cela montre l'évidence que la roche doit être bien testée quel que soit l'ancrage. Dans le second cas dans un calcaire parfaitement compact (Schrattenkalk supérieur), avec une tenue jusqu'à 20 kN, le test

a été arrêté par manque de force supplémentaire. La plaquette inox s'est déformée, mais la vis est restée de marbre. Des propres tests supplémentaires ne nous paraissent pas nécessaires, car ce résultat rassure pleinement et on en trouve suffisamment dans des publications.

Considérons encore les séries de tests d'autres publications. D'abord celles de Olivier Gola [Gola 2007]. Les vis 6 mm Hilti zinguées ont failli au cisaillement entre 7 et 14 kN. Ceci est inférieur à nos tests et décevant. Espérons que cela est dû à l'ancien modèle utilisé: HUS-S 6 versus HUS3-H 6. A la traction, les ruptures étaient entre 11 et 14 kN, ce qui est dans les attentes. C'est mieux qu'au cisaillement, contrairement aux valeurs postulées par Hilti et que nous avons mentionnées précédemment. Ensuite,

Tabelle 2, statische Tests: / Tableau 2, tests statiques:

Produit Produkt	Ø [mm]	P T	Mat	Remarque Bemerkung	Charge de rupture Bruchlast 1kN = 100kg [kN]
1 Hilti HUS3-H 6	6	40	g	—↓	11.0
2 Hilti HUS3-H 6	6	40	g	—↓	13.0
3 Hilti HUS-HR 6	6	45	A4	—↓	25.0
4 Hilti HUS-HR 6	6	70	A4	—↓ vis abîmée beschädigte Schraube	10.0
5 Hilti HUS-HR 6	6	70	A4	—↓	23.0
6 HECO MMS A4 7.5x50	6	50	A4	—↓	16.0
7 HECO MMS A4 7.5x50	6	50	A4	—↓ ✓ vis déjà utilisée gebrauchte Schraube	20.0
8 MUNGO MCSr-S 6x60	6	60	A4	—↓	20.0
9 Hilti HUS3-H 6	6	40	g	—↓ ✓ avec Dyneema mit Dyneema	9.0
10 Hilti HUS-HR 6	6.35	70	A4	—↓ ✓	20.0
11 HECO MMS A4 7.5x50	6.35	50	A4	—↓ même trou qu'au 10 gleiches Loch wie 10	>10.0
12 HECO MMS A4 7.5x50	6.35	50	A4	—↓ vissé & dévissé 5x 5x ein- & ausgeschraubt	17.0
13 Hilti HUS3-H 6	6	60	g	—↓	14.0

Ø	P/T	diamètre du trou profondeur d'ancrage	Bohrloch Verankerungstiefe
Mat		matériel	Material
g		galvanisé / zingué	galvanisch verzinkt
A4		acier inoxydable	nichtrostender Stahl
—↓		cisaillement	Quer
✓		la vis a tenu	Schraube hat gehalten



Das Material nach den Scherkrafttests.

Le matériel après les tests en cisaillement. der

als die Schraubenlänge. Wir haben Bohrlöcher mit 6 mm und 6,35 mm (¼ Zoll) Ø verglichen und keinen wesentlichen Unterschied bei Scherkraft feststellen können. Dieser Aspekt hat uns interessiert, da sich die Schrauben leichter eindrehen lassen, wenn etwas grösser gebohrt wird. Über ca. 8 kN beginnen sich die Schrauben zu verformen – dann sind sie schwierig oder unmöglich wieder zu verwenden und müssen automatisch ausgesondert werden – was gut so ist.

Eigene Versuche auf **Zugkraft** haben wir nur zwei durchgeführt: In einem Fall in brüchigem Sandstein hat die Verankerung bei ca. 15 kN ein Felsstück ausgerissen, was natürlich zeigt, dass auch für Schrauben der

voyons les tests en traction de Simon Wilson sur vis non-inox [Wilson 2018]. Les vis Multi-Monti MMS 7,5x60 pour trou de 6 mm tiennent toutes 24 kN. Avec les vis Fischer FBS II 8 x 70 20/5 US en trou de 8 mm, il obtient des résistances de 50 kN, soit 60 % mieux que les semblables FBS 8 x 70 /5 US de Gola. L'écart entre les modèles se creuse, ce qui mériterait une étude approfondie.

Tests dynamiques

Dans ces tests, le but est d'observer comment les ancrages réagissent à des chocs uniques ou répétitifs. Cela correspond, par exemple, à une chute dans la corde d'assurance d'une vire.

Nous avons choisi un site en calcaire typique pour notre région d'exploration. La chute était de facteur 1 sur environ 2 mètres avec comme masse un caillou de 88 kg. Divers trous verticaux et horizontaux ont été fait sans attention particulière. Nous n'avons testé que des vis de diamètre 6 mm, à la traction et au cisaillement. Nous nous sommes arrêtés à au plus 5 chocs par vis et trou, car nous ne destinons pas ces vis à des chocs à répétition tel que l'engendre l'escalade sportive.

Les qualités de la roche et du trou sont déterminantes. Par deux fois, la vis est sortie au premier choc: une fois en plafond avec trou utilisé précédemment par une vis d'une autre marque, une fois en paroi avec un trou réutilisé et du mauvais rocher. Une vis est sortie au deuxième choc, ceci au plafond en mauvais rocher. Une vis non inox a cassé au deuxième choc au cisaillement. De manière générale la roche est assez cassante aux chocs et supporte mieux les forces lentes.



Nach einem Schock entstehen Risse im Gestein.

Après un choc, la roche commence à se fissurer.

Unsere Installation für die Tests mit Fangstoss.

Notre installation de test aux chocs.

Fels gut geprüft werden muss. Dann haben wir einen perfekt kompakten Schrottkalk (Oberer SK) für einen Ausreissstest ausgewählt, mit dem Resultat, dass wir bei 20 kN abbrechen mussten, weil wir nicht mehr Kraft aufbauen konnten. Die Inox-Lasche hat sich verbogen, die Schraube zeigte sich absolut unbeeindruckt. Mehr eigene Tests erschienen uns nicht nötig.

Betrachten wir noch die Testserien aus anderen Publikationen: Zuerst die von Olivier Gola [Gola 2007]. Die verzinkten 6 mm Hilti-Schrauben haben bei einer Scherkraft zwischen 7 und 14 kN versagt. Das ist leider weniger als in unseren eigenen Tests. Wir vermuten jedoch, dass dies daher rührt, dass ein älteres Schraubenmodell getestet worden ist, nämlich die HUS-S 6 versus HUS3-H 6 bei uns. Bei der Zugkraft brachen bei Gola die Schrauben zwischen 11 und 14 kN, was unseren eigenen Beobachtungen entspricht. Das sind bessere Werte als bei der Scherkraft, entgegen den von Hilti postulierten Werten, welche wir weiter oben erwähnt haben. Dann die Tests auf Zugkraft von Simon Wilson ebenfalls nur auf verzinkte Schrauben [Wilson 2018]. Die Schrauben Multi-Monti MMS 7.5x60 für 6 mm-Löcher halten alle 24 kN. Mit den Schrauben Fischer FBS II 8 x 70 20/5 US in 8 mm-Löchern bekommt er eine Reissfestigkeit von 50 kN, was 60 % besser wäre als die ähnlichen FBS 8 x ? /5 US von Gola. Der Abstand zwischen den Modellen vergrößert sich, was in einer weiterführenden Studie zu untersuchen wäre.

Dynamische Tests

In diesen Tests wollen wir herausfinden, wie die Verankerung auf schockartige, ein-oder mehrmals auftretende Lastspitzen reagiert. Als Beispiel aus der praktischen Höhlenforschung sei etwa ein Sturz in ein Geländeseil genannt.

Als Testort haben wir einen Ort ausgewählt, der einen für unsere Forschungsregion möglichst typischen Kalkstein aufweist. Der simulierte Sturz weist einen Sturzfaktor von 1 auf, die Fallstrecke ist ungefähr 2 m und die Masse des als Gewicht verwendeten Felsblocks 88 kg.

Tabelle 3, dynamische Tests: / Tableau 3, tests dynamiques:

Produit Produkt	Ø [mm]	P T Mat [mm]	Résultat Resultat	Remarque Bemerkung
1 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	
2 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	
3 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	
4 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	
5 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	
6 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	
7 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ !	mauvais rocher schlechter Fels
8 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	a fissuré le rocher danach Riss im Fels
9 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	
10 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	
11 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	
12 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ ✓	
13 Hilti HUS-HR 6	6	70 A4	→ ↓ ✓	
14 Hilti HUS-HR 6	6	70 A4	→ ↓ ✓	
15 Hilti HUS-HR 6	6	45 A4	→ ↓ ✓	dans ancien trou im alten Loch
16 Hilti HUS-HR 6	6	45 A4	→ ↓ ✓	
17 Hilti HUS-HR 6	6	45 A4	→ ↓ ✓	
18 MUNGO MCSr-S 6x60	6	60 A4	→ ↓ ✓	
19 MUNGO MCSr-S 6x60	6	60 A4	→ ↓ ✓	
20 Hilti HUS3-H 6	6	40 g	→ ↓ ✓	
21 Hilti HUS3-H 6	6	40 g	→ ↓ ✓	
22 Hilti HUS3-H 6	6	40 g	→ ↓ ✓	
23 HECO MMS A4 7.5x50	6	50 A4	→ ↓ !	dans ancien trou im alten Loch
24 Hilti HUS3-H 6	6	40 g	→ ↓ ✓	trou utilisé 2x Loch 2x benutzt
25 Hilti HUS3-H 6	6	40 g	→ ↓ !	
26 Hilti HUS-HR 6	6	45 A4	→ ↓ !	ancien trou, mauv. Roch. altes Loch, schl. Fels
27 Hilti HUS-HR 6	6	45 A4	→ ↓ ✓	
28 Hilti HUS-HR 6	6	45 A4	→ ↓ ✓	
29 Hilti HUS-HR 6	6	45 A4	→ ↓ ✓	

Ø	diamètre du trou	Bohrloch
P/T	profondeur d'ancrage	Verankerungstiefe
Mat	matériau	Material
g	galvanisé / zingué	galvanisch verzinkt
A4	acier inoxydable	nichtrostender Stahl
→	traction	Zug
→ ↓	cisaillement	Quer
✓	la vis a tenu	Schraube hat gehalten
!	vis cassée ou sortie	Schraube raus o. kaputt

En situation normale, les vis d'ancrage se sont montrées suffisamment solides pour notre usage. Dans les cas favorables, une vis Multi-Monti a tenu les 5 chocs au cisaillement, une autre 5 chocs à la traction. Donc après un unique choc, la vis inox reste utilisable et fiable. Mentionnons également les deux vis sur notre masse calcaire qui ont enduré sans faille nos 29 essais!

En résumé, les facteurs défavorables sont:

- mauvais rocher, tendre ou zone avec fissures
- trou déjà utilisé, surtout combiné à un autre facteur défavorable.

Nous n'avons pas trouvé de publication antérieure mentionnant des chocs sur vis à béton.

Expérience

Nous utilisons ces vis d'ancrage depuis 7 ans lors de nos explorations souterraines. Cela a permis de valider leur utilisation et cerner certains soucis pratiques.

Certains modèles nécessitent une forte poussée lors de l'amorce du vissage. Cela rend l'opération trop pénible à bout de bras. Même dans le cas idéal, le vissage reste long. Une clé à cliquet est

plus que recommandée, sinon l'opération devient franchement fastidieuse. Un fabricant propose une visseuse-pousseuse spécifique qui résout le problème, mais que nous ne désirons pas tester.

Dans tous les cas, il y a risque de visser de travers jusqu'à être bloqué. Il ne faut surtout pas forcer, au risque de plier la vis et la rendre inutilisable. Cela nous est inévitablement arrivé. Dans ce cas, au lieu de forcer, dévisser un peu et reprendre mieux dans l'axe.

Il arrive que la vis prenne du jeu. Dans ce cas, et si cela dérange, il suffit de resserrer. Si le problème empire, se méfier de la roche à cet endroit ou de la vis et doubler. Le perçage doit être suffisamment profond, avec de la marge. Cela permettra à la poussière de vissage de s'y mettre. Percer plus profond que nécessaire ne présente aucun désavantage.

Au déséquipement, nous récupérons parfois une vis pliée. Nous la jetons, car d'une part elle est mal réutilisable et d'autre part, elle a subi une contrainte supérieure à sa destination. Côté sécurité, nous n'avons eu aucune rupture. Il convient bien sûr de considérer la roche comme faillible et de prendre les mêmes précautions qu'avec les goujons.

Diverse Anker-Löcher wurden vertikal und horizontal in die Felswand gebohrt, so als würden wir ganz normal eine Höhle neu 'einrichten'. Wir beschränkten uns im Test auf 6 mm Betonschrauben, welche wir dann einerseits auf Verhalten bei mehrheitlicher Zug- oder Scherkraft untersuchten. Bei mehr als 5 gehaltenen Stürzen pro Schraube und Loch brachen wir jeweils den Versuch ab, da wir die Bestimmung solcher Schrauben sicher nicht in einer Anwendung sehen, wo solche wiederholten Schockkräfte auftreten können, wie das z.B. beim Sportklettern der Fall wäre.

Es zeigte sich, dass die Felsqualität ein entscheidendes Kriterium ist. Wir hatten zwei Fälle, wo die Schraube beim ersten Schock ausgerissen werden konnte. Im ersten Fall war das Bohrloch senkrecht in die Decke gebohrt und das Gewinde durch eine Schraube einer anderen Marke bereits vorgefräst. Im zweiten Fall war der Fels bewusst schlecht gewählt und das Bohrloch 'wiederverwendet'. Eine Nicht-inox-Schraube ist gebrochen beim zweiten Schock mit Scherbelastung. Generell kann zudem gesagt werden, dass der Fels bei schockartig auftretenden Kräften eher bricht als bei langsam aufgebauten Kräften.

Im Normalfall zeigten sich die Schrauben ausreichend solide für unsere Anwendung. Im Idealfall hat eine Multi-Monti-Schraube 5 Stürze mit Scherkraft überstanden, eine andere das gleiche auf direkten Zug. Das bedeutet, dass eine Inox-Schraube auch nach einem gehaltenen Sturz noch zuverlässig bleibt. Erwähnenswert ist auch, dass die beiden Betonschrauben, mit welchen wir unser Test-Gewicht fixiert hatten, alle 29 Teststürze gehalten haben!

Als Zusammenfassung kann gesagt werden, dass sich folgende Faktoren ungünstig auf die Ankerqualität auswirken:

- Schlechter Fels (geschwächte, brüchige Zonen oder weiches Gestein)
- Ein 'wiederverwendetes' Bohrloch, besonders in Kombination mit einem anderen nachteiligen Faktor.

Wir haben keine existierenden Publikationen gefunden, welche eine Schockbelastung von Betonschrauben thematisiert hätten.

Erfahrung

Wir verwenden Betonschrauben bereits seit 7 Jahren auf unseren Höhlentouren. Dies erlaubte es uns, die praktische Anwendbarkeit zu überprüfen und die heiklen Punkte zu identifizieren.

Einige Modelle erfordern eine stärkere Anpresskraft zu Beginn, damit die Schraubenspitze im Fels greift. Mit ausgestrecktem Arm (wie so oft beim 'Schlossern') wird dadurch die Anwendung zu mühsam. Es muss gesagt werden, dass es auch im Idealfall recht langweilig ist, eine lange Schraube einzudrehen. Ein Rätsschlüssel wird sehr empfohlen, da er viel effizienter ist als der normale Schlüssel. Ein Hersteller propagiert für das Schrauben setzen eine spezielle Bohrmaschine, welche wir jedoch nicht testen wollten.

In jedem Fall besteht eine gewisse Gefahr, die Schraube bis zum Verklemmen zu verkanten. In so einem Fall darf man auf keinen Fall mit Gewalt weiterschrauben, sonst besteht unmittelbar die Gefahr, die Schraube zu biegen und damit unbrauchbar zu machen, etwas, was uns mehrfach passiert ist. In so einem Fall, statt Gewalt anzuwenden (Achtung: Mit einem 13er-Schlüssel kann eine Schraube leicht von Hand abgerissen werden!) einfach nochmals ausschrauben und neu ansetzen.

Es kommt vor, dass die Schraube im Bohrloch Spiel kriegt. In so einem Fall reicht es oft, einfach die Schraube wieder fest anzuziehen. Wenn das Problem überhand nimmt, sollte man besseren Fels suchen, eine bessere Schraube nehmen oder eine Verdopplung der Verankerung in Betracht ziehen.

Synthèse

Ces vis d'ancrage présentent divers **atouts** pour la spéléologie. Elles sont réutilisables à plusieurs reprises, ce qui permet de laisser vis et plaquettes ensemble, prêtes pour la prochaine utilisation. Le forage nécessaire est petit, donc un perforateur léger suffit, sans batterie de réserve. La capacité de la batterie n'est plus un élément limitant ! Côté écologique, il ne reste aucun corps étranger après déséquipement (enfoncer un goujon n'améliore que l'apparence, mais n'évite pas les taches de rouille).

Comme **inconvenients**, le principal est le temps de vissage. Petite consolation, cela réchauffe l'équipeur pendant une ou deux minutes. La pose et le choix de l'emplacement demandent un soin particulier. On ne mettra pas ces vis dans toutes les mains, tout comme les autres techniques légères d'ailleurs. Enfin, la jeunesse de cette technique est un frein psychologique non négligeable.

Leur **solidité** est suffisante, même à seulement 6 mm de diamètre. Nous ne nous sommes pas intéressés aux plus gros diamètres, car moins compatibles avec notre matériel existant (clé, plaquettes). Le gain en résistance des diamètres supérieurs [Wilson 2018] n'est pas utile à nos usages de prédilection, et ne permet pas vraiment d'élargir le champ d'application. En effet, ces vis ne sont pas adaptées pour des milliers de passages, car l'expérience montre qu'elles se desserrent un peu à la longue. Nous privilégions les vis **inox**, contrairement à nos voisins qui les jugent « chères et rares » [Eon 2016]. Les vis inox sont moins cassantes et ainsi offrent une grande marge entre la première torsion (vers 8 kN) et la rupture (au-delà de 20 kN). En bonus, elles peuvent être laissées en place ou entreposées sous terre sans se détériorer. Notons que la solidité varie selon les publications, ce qui mériterait d'être éclairci.

A quoi faire attention ?

Il faut proscrire les roches fissurées, ainsi que les roches particulièrement tendres. Ces vis sont inadaptées aux cavités classiques avec milliers de passages, car elles se déchausseraient à la longue. Eviter de réutiliser les trous, cela est aléatoire. Une prudence est requise en traction (typiquement en plafond), où il faut de longues vis (au moins 60 mm). A noter que ce sont les chocs qui sont le plus défavorable, ceci pour la roche et pour les vis non inox.

Quand jeter une vis ?

En place, si la vis se desserre à répétition ou si elle présente un grand pli, il convient de la remplacer par un nouvel ancrage. Le trou existant ne doit alors pas être réutilisé par une autre vis. De même, après un gros choc, on remettra en question l'ensemble des parties ayant subi ledit choc. A la mise en place, en constatant une vis tordue ou qui ne tient pas fermement, renoncer à son utilisation. De tels cas se remarquent d'emblée.

Quels sont les usages idéaux ?

Les vis d'ancrage sont idéales pour l'exploration de pointe. Elles sont légères, demandent peu d'énergie de forage (accu de perforatrice) et peuvent être réutilisées de suite dans le puits d'à côté. Elles supportent sans autre une centaine de passages.

Pour les mêmes raisons, elles sont parfaites pour l'escalade artificielle. Aucun matériel n'est perdu et la paroi reste exempte de matériau artificiel. Seul bémol, certains n'ont pas la patience requise par le vissage.

Même si elles ne sont pas adaptées à l'équipement définitif, les vis permettent dans cet usage de tester un cheminement. Une fois les points d'ancrages pratiques trouvés, on peut repercer à 8 mm ou plus pour installer les ancrages définitifs, soit goujon soit scellement.

Utilisable en spéléo-secours ?

Nous sommes clairement d'avis que ces ancrages sont également adaptés en secours. Il n'y a pour cet usage aucun choc violent, qui serait le cas le plus défavorable pour la roche et le pas de vis. La résistance est suffisante, sans compter que les ancrages y sont triplés. En particuliers



Ein Rätsschlüssel ist sehr empfohlen, um das Eindrehen zu beschleunigen.

Une clé à cliquet est recommandée pour compenser le long vissage.



Im Moment des Bruches.

Au moment de la rupture.

Das Bohrloch muss genügend tief gebohrt werden, d.h. es muss wegen dem Felsstaub, der beim Gewindeschneiden entsteht, etwas länger als die Schraube sein. Etwas tiefer als absolut nötig zu bohren stellte keinerlei Nachteil dar.

Beim Ausrichten sammelten wir manchmal gebogene Schrauben ein. Wir sonderten diese aus, da sie schlecht wieder verwendbar waren und weil sie offensichtlich eine übermässige Belastung erlitten hatten.

Bezüglich des Aspekts der Sicherheit hatten wir kein einziges Mal, wo eine Schraube versagt hätte. Es ist dennoch angebracht, den Fels als 'fehlbar' zu respektieren und diesbezüglich die gleichen Vorsichtsmassnahmen zu treffen wie bei den Expansionsankern.

Zusammenfassung

Die Betonschrauben bieten zahlreiche **Vorteile** in der Höhlenforschung. Sie sind mehrfach wiederverwendbar, was es z.B. auch erlaubt, sie gleich für die nächste Verwendung mit der Lasche verbunden zu lassen. Das nötige Bohrloch ist klein, was bedeutet, dass sogar kleine Bohrmaschinen oft ohne Ersatzbatterie mitgenommen werden können. Akkukapazität ist kein Flaschenhals mehr! Auf der ökologischen Seite ist erfreulich, dass nach dem Ausrichten kein Fremdkörper mehr im Fels verbleibt. Die kleinen Löcher sind so gut wie unsichtbar.

Als grösster **Nachteil** ist die für das Einschrauben nötige Zeit zu nennen. Ein kleiner Trost ist dabei, dass die einrichtende Person wenigstens für ein bis zwei Minuten etwas wärmer hat. Das Setzen der Schraube und die Wahl des Ortes für das Bohrloch bedingen ein sorgfältiges Arbeiten. Wie auch andere „light“-Techniken gehören die Betonschrauben nicht unbedingt in alle Hände. Schlussendlich ist auch ihre relative Neuheit ein nicht zu unterschätzender psychologischer Bremsfaktor.

Die **Solidität** hingegen ist sogar mit 6 mm ausreichend für unsere Zwecke. Wir sind nicht daran interessiert, grössere Durchmesser zu verwenden, weil diese a) nicht nötig und b) inkompatibel sind mit existierendem Material (Schlüssel, Laschen). Der Gewinn an Festigkeit durch einen grösseren Schraubendurchmesser [Wilson 2018] wäre für unsere Hauptanwendungszwecke sinnlos. Auch würde das Anwendungsfeld nicht wirklich erweitert, weil selbst dann die Verankerung nicht für Langzeit-Einsatz (Einrichtung von vielbegangenen Routen) taugt, weil unsere Erfahrung zeigt, dass sie sich durch wiederholte Belastungsbewegungen lösen kann. Wir ziehen eindeutig Inox-Schrauben vor im Widerspruch zu anderen, welche sie als „teuer und selten“ taxieren [Eon 2016]. Grund dafür ist, dass das Inox-Material weniger spröde ist und eine grössere Sicherheitsmarge von der ersten Verformung (um die 8 kN) bis zum Bruch (jenseits von 20 kN) hat. Zugunsten von Inox spricht auch, dass die Schrauben lange Zeit vor Ort bleiben können, ohne zu korrodieren. Bemerkenswert wird, dass die Solidität je nach Publikation abweicht, was zu untersuchen wäre.

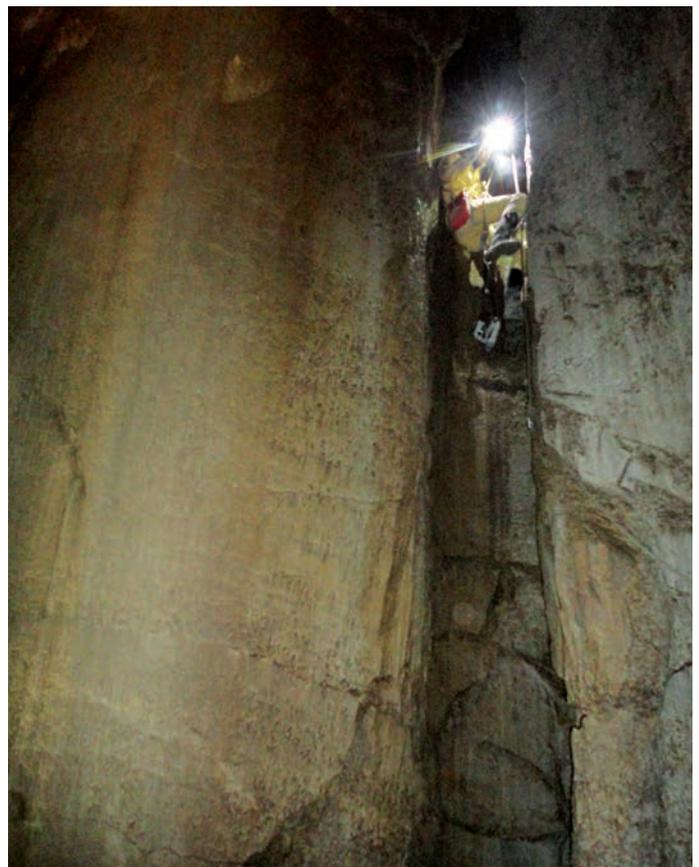
Es ist schlicht unmöglich, diese gebogene Schraube wiederzuverwenden.

Il n'est plus possible de réutiliser cette vis tordue.

lors d'interventions de grande ampleur, il sera avantageux de forer bien plus de trous avec une énergie toujours limitée par les accus.

Perspectives

D'une part, ces vis méritent une utilisation plus large qu'actuellement, ceci dans la limite des recommandations ci-dessus. D'autre part, nous sommes encore à la recherche de la vis idéale, qui rassemblerait les avantages pratiques des diverses vis testées. La vis idéale est en inox diamètre 6 mm, a une tête 6 pans de 13 mm avec une «assiette» d'appui et se visse sans difficulté, en particulier à l'amorçage. Cette taille permet d'utiliser nos plaquettes et clés habituelles.



Eine ideale Anwendung für Betonschrauben.

Une application idéale des vis à béton.

Was gilt es grundsätzlich zu beachten?

Zu ächten ist schlechter, rissiger Fels und auch speziell weicher Fels. Die Schrauben sind nicht geeignet für die Einrichtung von klassischen, vielbefahrenen Routen in Höhlen mit tausenden von Übergängen. Sie würden sich zu rasch selbst lockern. Eine Wiederverwendung von existierenden Bohrlöchern bringt etwas zufällige Resultate. Besondere Vorsicht ist bei Belastung auf Zug geboten (typischerweise bei Verankerungen in Deckenpartien) – dort braucht es lange Schrauben (mindestens 60 mm). Am schlechtesten sind schockartig auftretende Kräfte für den Fels und für Nicht-Inox-Schrauben.

Wann eine Schraube ausmustern?

Wenn sich eine gesetzte Schraube wiederholt selbst löst oder eine zu grosse Biegung aufweist, ist es angebracht, die bestehende Verankerung zu erneuern. Das existierende Bohrloch sollte nicht für eine neue Schraube verwendet werden. Desgleichen nach einem grossen Fangstoss oder einem anderen Ereignis, welches die Qualität der Verankerung insgesamt oder Teile davon in Frage gestellt hat. Wenn beim Einschrauben eine verbogene Schraube bemerkt wird, ist es besser, darauf zu verzichten. Solche Fälle machten sich immer auf Anhiieb bemerkbar.

Was sind die idealen Anwendungen?

Die Betonschrauben sind ideal für Forschungsvorstösse ins Neuland. Sie sind leicht, brauchen wenig Energie (Bohrmaschinen-Akku), können mehrfach wieder verwendet werden, und die Verankerungen ertragen Hunderte von Passagen.

Aus denselben Gründen sind sie perfekt für das künstliche Klettern (Schlossern). Überhaupt kein Material wird verbraucht und nichts verbleibt im Fels. Einzig für die Ungeduldigen ist das etwas mühsamere Einschrauben ein Nachteil.

Auch wenn die Schrauben für definitive Einrichtungen nicht speziell geeignet sind, kann mit den Schrauben zuerst der optimale Einrichtungsweg getestet werden. Im Moment, wo der beste Weg feststeht, können die 6 mm-Löcher z.B. mit 8 mm ausgebohrt werden und dann kann ein definitiver Expansionsanker gesetzt werden.

Anwendung in der Höhlenrettung?

Wir sind klar der Meinung, dass die Betonschrauben auch für die in der Höhlenrettung verwendeten Seilverankerungen geeignet sind. Bei diesen Techniken sind nur stetige Zugkräfte vorgesehen. Die Widerstandskraft der Betonschrauben 6 mm ist ausreichend, sogar wenn wir ausblenden würden, dass in der Rettung systematisch die Last auf drei Ankerpunkte verteilt wird. Bei grossen Höhlenrettungsaktionen würde sich speziell der Umstand bezahlt machen, dass mit der chronisch knappen Energiemenge wesentlich mehr Löcher gebohrt werden können.

Ausblick

Aufgrund der neueren Erkenntnissen, wird einerseits klar, dass die Betonschrauben eine wesentlich grössere Beachtung als bis anhin verdienen. Andererseits sind wir noch auf der Suche nach der ‚idealen Schraube‘, welche alle Vorteile aller getesteten Schraubenmodelle vereinen würde. Die ideale Schraube ist aus Inox-Material, mit einem Durchmesser von 6 mm, hat einen Sechskant-Kopf von 13 mm mit einem Auflageteller, und sie hat eine speziell gehärtete Spitze mit feinen Sägezähnen, die leicht und sofort greifen beim Eindrehen. Diese Schraube erlaubt die Verwendung von unseren normalen Laschen und Schlüsseln.

Dank

Mehrere Personen haben uns für diesen Materialtest geholfen mit Zeit, Material, Muskelkraft und/oder Gehirnschmalz. Wir danken speziell: Nicolas Boisard, Raphaël Lachat, Alex Hof, Michael Höttl und dem Spéléo-Secours Schweiz. Wir beglückwünschen diejenigen, welche sich die Mühe machen, diese neuen Möglichkeiten für sich auszuloten. ♦

Remerciements

Diverses personnes nous ont aidés pour les tests de par leur temps, matériel, force et/ou connaissances. Nous remercions en particulier Nicolas Boisard, Raphaël Lachat, Alex Hof, Michael Höttl et le Spéléo-Secours Suisse. Nous félicitons d'avance ceux qui prendront la peine de s'investir en utilisant adéquatement ces nouvelles possibilités. ♦

Bibliographie

- EON THIERRY (2016): Choix des ancrages en canyon. <http://storage.canalblog.com/02/08/841534/115024509.pdf>.
- FB (2014): Les goujons Ancre. Bati N° 27 - Oct. 14. <https://www.baselopresse.fr/batidistribution/produits/fixation/les-goujons-d-ancrage>.
- GOLA OLIVIER (2007): 637 tests de résistance d'ancrages mécaniques. Memento équipement des canyons, Cahier n°12/12, version n°1 du 1.10.2007. <http://cnc-ffcam.fr/wp-content/uploads/2016/04/cahier12.pdf>.
- GOLA OLIVIER (2009): Comportement des amarrages. Memento équipement des canyons, Cahier n°5/12, version n°1 du 10.2.2009. <http://cnc-ffcam.fr/wp-content/uploads/2016/06/cahier-N%C2%B05.pdf>.
- HECO-SCHRAUBEN GMBH & Co.KG (2016): Produktkatalog 07/2016. 07.2016. https://www.heco-schrauben.de/downloadcenter/downloadcenter/de/Prospekte/DE_HECO-Produktkatalog_72016.pdf.
- HILTI AG (2016): Technisches Handbuch der Befestigungstechnik für Hoch- und Ingenieurbau. Ausgabe 01/2016. https://www.hilti.ch/medias/sys_master/documents/h31/9188891197470/Technisches_Handbuch_der_Befestigungstechnik_DE_Technische_Information_ASSET_DOC_LOC_2584401.pdf.
- PEGUET SA (2014): Catalogue Peguet 2014. <http://www.peguet.fr/maillons-rapides-auto-certifies>.
- SALVATORI FRANCESCO (2007): Multi Monti: Una rivoluzione nell'ancoraggio in grotta e in montagna. <http://www.heco.it/files/download/catalogo/HECO-MULTI-MONTI/Sito%20web%20-%20gennaio%202007.pdf>.
- SPÉLÉO-SECOURS SCHWEIZ (2005): Handbuch für Höhlenretter.
- WIKIPEDIA, DIE FREIE ENZYKLOPÄDIE (9. JULI 2018, 05:30 UTC): Working Load Limit. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Working_Load_Limit&oldid=178989905.
- SIMON WILSON (2018): Self-tapping concrete screws: their selection, testing and use. <https://cncc.org.uk/doc/1182>.



Für die Träumer: die Luftschraube.

Pour les rêveurs: la vis à air.