

## PASS AUF, WO DU DICH SICHERST!

### SPANNUNGSRISSKORROSION VERURSACHT DAS ZERBRECHEN VON HAKEN IN KLETTEROUTEN

Sie ist da, sie lauert heimtückisch auf dich in deiner Lieblingsroute, da wo du dich sicher fühlst. Die Bedrohung schlägt am helllichten Tag zu, ist nicht sichtbar und nicht vorhersagbar. Diejenigen, die es am eigenen Leib erfahren haben, sind sprachlos. Eine komplexe wissenschaftliche Erklärung kann die Gefahr erklären. Aber wer kann sie stoppen?

Ist dies das Szenario eines Horrorfilms? Nein, dieser Film spielt sich im Moment in vielen beliebten Klettergebieten weltweit ab. Und die Bedrohung? Es ist die Spannungsrissskorrosion.

#### DIE WICHTIGSTEN FAKTEN

Die jüngsten Zwischenfälle beruhen auf dem unerwarteten Brechen von Bohrhaken unter geringfügiger Belastung, die oft erst vor wenigen Monaten / Jahren installiert wurden. Diese Brüche betreffen vor allem Haken aus Edelstahl und werden durch umweltbedingte Zerstörung, hauptsächlich Korrosion und insbesondere Spannungsrissskorrosion (SpRK), verursacht.

- Im schlimmsten Fall können die Haken bereits bei einer Belastung von einigen zehn Kilogramm brechen – weniger als dem Gewicht eines Kletterers.
- Dies tritt gewöhnlich in Klettergebieten in Meeresnähe auf, kann aber gelegentlich auch in Kilometer weit entfernten Gebieten im Hinterland vorkommen.
- Die Korrosion ist oft nicht erkennbar; es kann sich um für das Auge unsichtbare Korrosionsrisse handeln.
- Die SpRK ist die aggressivste Form der Korrosion und Risse können bereits kurzzeitig nach der Installation des Hakens auftreten, eventuell bereits nach einigen Wochen, aber gewiss nach einigen Monaten.
- Alle Edelstahllegierungen sind betroffen, selbst 316L (1.4404, 1.4435).
- Die Sicherheitskommission der UIAA ist im Moment tatkräftig bemüht Haken aus geeignetem Material für die betroffenen Gebiete zu finden.
- Alle vor Ort installierten Haken müssen als potenziell betroffen angesehen werden.
- Die wichtigsten Voraussetzungen für das Auftreten von SpRK sind:
  - Standorte mit einer mäßigen relativen Luftfeuchtigkeit (sehr trockene oder sehr feuchte Bedingungen sind unproblematisch, Verhältnisse dazwischen sind problematisch).
  - Trockene, nicht dem Regenwasser ausgesetzte Felsen (dem Meerwasser ausgesetzte Felsen können unproblematisch sein).
  - Die Temperatur spielt keine entscheidende Rolle: SpRK kann bereits bei 20°C auftreten, wird aber durch höhere Temperaturen begünstigt.
  - Gesteinsart: Kalkstein/Dolomiten sind generell stärker betroffen als Sandstein oder Granit (Karstgebiete sind am stärksten betroffen).

## ÜBERBLICK

Die Spannungsrissskorrosion (SpRK) ist die bestätigte Ursache für das Brechen einer beachtlichen Anzahl von Haken in gesicherten Kletterrouten und wird in vielen Fällen auch vermutet (siehe Tabelle 1). Durch SpRK verursachte Brüche treten bereits wenige Monate oder Jahre nach der Installation der Haken unter geringen Belastungen wie dem Gewicht eines einzelnen Kletterers auf. Die betroffenen Haken sind aus Edelstahl (eingeschlossen die Legierung 316L, 1.4404).

Für den Kletterer ist es sehr schwierig die Gefahr der SpRK einzuschätzen, da die Beschädigung nicht sichtbar ist. Auch ihr Vorhandensein ist nicht leicht abschätzbar, da das Auftreten von SpRK von mehreren Faktoren abhängt. Ausschlaggebende Faktoren sind ein hoher Säuregehalt und hohe Temperaturen, eine geringe Luftfeuchtigkeit und ein trockener, nicht dem Regenwasser ausgesetzter Felsen und Gestein mit hohem Magnesiumgehalt (siehe Tabelle 2). Geringfügige Unterschiede im Mikroklima können eine SpRK an bestimmten Haken verursachen, während andere Haken in der gleichen Kletterroute oder im gleichen Fels nicht betroffen sind. SpRK tritt vor allem an Haken in Meeresnähe auf, aber auch Haken im Landesinneren können betroffen sein, wenn eine korrosionsfördernde Umwelt vorhanden ist. Diese kann entweder vom Gestein selbst bestimmt sein oder durch vom Meer her wehende Winde. Dieser Artikel möchte Lösungsmöglichkeiten für Kletterer, Kletterroutenbauer, Alpenvereine, Hersteller und die UIAA im Hinblick auf die Problematik der SpRK an Haken bieten.

**Tabelle 1** Länder, in denen Spannungsrissskorrosion an Haken in Kletterrouten nachgewiesen wurde oder stark vermutet wird

Thailand	Griechenland
Taiwan	Italien
Dominikanische Republik	Malta
Kaimaninseln	Menorca
Hawaii	Marokko
Madagaskar	Portugal
	Sardinien

**Tabelle 2** Bedingungen, die SpRK an Kletterhaken auslösen

FAKTOREN	DIE ENTSCHIEDEN FAKTOREN	Bemerkung
<b>UMWELTGEGEBENHEITEN</b>		
Chlorid Konzentration	Magnesiumchlorid Calciumchlorid Natriumchlorid	Chloridablagerungen mit einer hohen Salzlöslichkeit können sich bilden.
Temperatur	Es gibt keine feste Grenze, aber Temperaturen über 30°C sind problematisch.	SpRK kann bereits bei 20°C auftreten. Eine höhere Temperatur beschleunigt die Rissbildung. Die Temperatur eines Hakens in praller Sonne kann erheblich höher sein als die Lufttemperatur.
Feuchtigkeit	Mäßige relative Luftfeuchtigkeit, zwischen 20% und 70%	Eine relative Luftfeuchtigkeit in der Nähe der Deliquesenzfeuchte erhöht die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von SpRK signifikant.
Lage - Meeresnähe / Meereswinde	Meeresküste bis ca. 30 km ins Landesinnere ?	Es gibt keine klare Grenze, salzhaltige Winde, die vom Meer her wehen, können bis zu einigen 100 km weit ins Landesinnere eindringen.
Dem Regenwasser ausgesetzt oder nicht	Nicht dem Regenwasser ausgesetzt	Wenn der Felsen nicht dem Regenwasser ausgesetzt ist, kann sich eine Chloridablagerung auf den Haken bilden.
Gesteinsart	Kalkstein oder Dolomit	Wahrscheinlich wegen ihrer hohen Konzentration an Kalzium und Magnesium.
<b>EIGENSCHAFTEN DES KLETTERHAKEN</b>		
Belastung	Hohe Zugspannung	Entsteht bei - der Herstellung ( Walzen, Biegen, Schneiden, Bohren und Schweißen) - der Hakenbefestigung (Verschraubung oder Verklebung) - plastische Verformungen verursacht durch schwere Stürze, Hammerschläge, etc. - starker Beanspruchung (Bsp. mehrere heftige Stürze)
Material – welche Edelstahllegierung	1.4301 (304), 1.4306 (304L) oder weniger korrosionsresistente Legierungen gegenüber SpRK	Nach dem letzten Stand der Forschung sind die Legierungen 1.4401 (316) und 1.4404, 1.4435 (316L) anfällig für SpRK.

## WAS MAN ALS KLETTERER WISSEN SOLLTE

Nur zerstörende Materialprüfungen können das Vorhandensein von SpRK an Kletterhaken bestätigen oder widerlegen. Es ist unmöglich mit bloßem Auge oder einfachen Tests (zum Beispiel daran ziehen) die Korrosionsresistenz der installierten Haken zu überprüfen. Selbst Haken, die erst vor kurzem installiert wurden oder noch ganz neu aussehen, können durch SpRK oder anderen Formen der Korrosion geschwächt sein. Tests, die von Petzl Frankreich an allen Kletterhaken in einer Felsenwand ausgeführt wurden, haben ergeben, dass 20% der Haken nur eine Belastbarkeit zwischen 1N und 5N aufwiesen und somit noch nicht einmal das Gewicht eines Kletterers hätten halten können geschweige denn einen Sturz abfangen. Diese Tatsache führt zu Unfällen wie dem, der kürzlich in Sizilien passiert ist: Beim Abseilen eines Kletterer (65 kg) zerbrach der untere Bohrhaken am Stand. Zum Glück hielt die Schlinge, welche diesen mit dem zweiten Haken verband und den drei Kletterern passierte nichts.

## Empfehlungen für Kletterer

### Bei der Routenplanung

- Denken Sie bei der Risikoevaluierung der Route an SpRK.
- Erkundigen Sie sich bei ortsansässigen Kletterern und/oder Klettervereinen über das Vorkommen von Korrosion und SpRK und der Korrosionsresistenz der gesetzten Haken.
- Rechnen Sie damit SpRK an den Haken anzutreffen, vor allem an warmen Orten und Kalkstein oder Dolomit in Meeresnähe (Karst ist das aggressivste Gestein).

### Beim Klettern

- Denken Sie an SpRK bei der Risikoevaluierung und der Wahl der Route.
- Sichern Sie sich beim Toprope klettern am Standpunkt und beim Abseilen immer an Standpunkten, die mit mehreren Bohrhaken verankert sind.
- Sichern Sie die Haken und den Standpunkt zusätzlich mit Klemmkeilen, Friends, Bäume, usw.
- Stellen sie sich darauf ein, beim Vorhandensein von suspekten Haken, auf die Route zu verzichten.

### Beim Brechen eines Hakens (sobald alle Kletterer in Sicherheit sind)

- Sammeln Sie die Teile des gebrochenen Hakens ein, vermeiden Sie es die Bruchfläche zu berühren und versuchen Sie nicht die Teile wieder zusammenzusetzen.
- Informieren Sie die regionalen Klettervereine.
- Kontaktieren Sie die UIAA ([anchors@theuiaa.org](mailto:anchors@theuiaa.org)) und senden Sie uns den betroffene Haken für eine Analyse zu.

## WAS SIE ALS ROUTENBAUER WISSEN SOLLTEN

- Bis die Testergebnisse vorliegen und die Normen aktualisiert sind, empfiehlt die Sicherheitskommission der UIAA, dass nur Haken aus Titane Grade 2 (zum Schrauben oder Versiegeln) an Standorten, wo SpRK bereits aufgetreten ist, verwendet werden sollen.
- An Orten, wo SpRK vermutet wird aber noch nicht nachgewiesen wurde, können eventuell Haken aus Edelstahl verwendet werden, die eine sehr hohe Korrosionsresistenz haben (*High Corrosion Resistance HCR*) (in Kürze werden weitere Informationen bzgl. Haken und der verschiedenen Materialien folgen).
- Die Legierungen 316(L) und 304(L) sind nicht geeignet für Orte, an denen SpRK nachgewiesen wurde oder vermutet wird.
- Für die Ausstattung von Kletterrouten im Außenbereich in Gebieten, wo noch nie SpRK nachgewiesen wurde oder kein Anlass besteht sein Auftreten zu vermuten, wird die Verwendung von 316L oder Legierungen mit einer höheren Korrosionsresistenz empfohlen.
- Verwenden Sie einen kalibrierten Drehmomentschlüssel um die Schraubenmuttern anzuziehen wie es von den Herstellern empfohlen wird. Dies vermeidet eine plastische Verformung und gewährleistet eine axiale Belastung im Normbereich.
- Kontrollieren Sie regelmäßig alles Material vor Ort, wenn möglich ein Mal pro Jahr.
- Halten Sie uns auf dem Laufenden: [anchors@theuiaa.org](mailto:anchors@theuiaa.org)

## WAS KLETTERVEREINE WISSEN SOLLTEN

- SpRK, Korrosion und Alterung von gesetzten Haken stellen eine Herausforderung für die Gemeinschaft aller Kletterer dar. Diese Problematik kann nicht von einzelnen Kletterern alleine gelöst werden.
- Kosten und Verfügbarkeit sind die häufigsten Gründe, die den Einsatz von Bohrhaken, die resistent gegenüber SpRK und Korrosion sind, verhindern. Routenbauer haben im Allgemeinen geringe finanzielle Mittel zur Verfügung und sind manchmal zurückhaltend, ein höheres als in vorherigen Routen verwendetes Budget zu veranschlagen. Wenn die Finanzierung gesichert ist, zögern Routenbauer nicht, Bohrhaken mit einer höheren Korrosionsresistenz zu verwenden.
- Dies bedeutet, dass die Gemeinschaft der Kletterer anfangen sollte, für die Ausstattung der Route zu zahlen, auch wenn dies bis heute "kostenlos" ist.
- Die Ausstattung von neuen Routen und die Sanierung alter Routen auf Grund des Verdachtes der SpRK mit geeigneten Bohrhaken sind sehr zeitaufwändig und teuer. Aber die anfänglichen hohen Kosten werden durch eine längere Lebensdauer der neuen Haken und einem geringeren Unfall- und Verletzungsrisiko ausgeglichen.
- Ein langfristiges und verantwortliches Management des Materials erfordert qualitätssichernde Maßnahmen, insbesondere die Dokumentation der Hakenbrüche mit Datum und Art der Installierung.
- Die Überwachung der Gesamtheit der Haken ist auch von großer Wichtigkeit (Zugkraft-Tests an Kontrollhaken, die außerhalb der Kletterroute angebracht sind). Die Aufnahme und Archivierung dieser Qualitätskontrolldaten sollte für eine Mindestlaufzeit von 50 Jahren ausgerichtet sein.

Die Sicherheitskommission der UIAA fordert die Nationalen und Regionalen Kletterverbände auf in zukünftige Planungen das Korrosionsmanagement der Haken mit einzubeziehen.

## WAS DIE HAKENHERSTELLER WISSEN SOLLTEN

Die Thematik der Korrosion und SpRK ist sehr komplex und spezifisch. Die UIAA wird die Richtlinien für die Hersteller überarbeiten und auf seiner Internet Seite veröffentlichen. Der UIAA steht Ihnen jederzeit auch mit technischen Ratschlägen zur Seite, entweder mit eigenem Wissen oder mit Unterstützung von externen Experten. Bitte kontaktieren Sie uns unter [anchors@theuiaa.org](mailto:anchors@theuiaa.org)

## WAS DIE SICHERHEITSKOMMISSION DER UIAA UNTERNIMMT

Die Sicherheitskommission der UIAA hat das Auftreten von SpRK an Kletterhaken dokumentiert, eine gesicherte Theorie gefunden um den Wirkungsmechanismus der SpRK an Bohrhaken zu erklären, hat IN-Situ-Tests mit korrosionsresistenten Bohrhaken (kommerzielle Produkte und experimentelle Prototypen) an Kletterrouten initiiert, die von SpRK massiv betroffen sind (Thailändische Küste), führt Labortests durch und erarbeitet eine neue Norm für die Korrosionsresistenz von Bohrhaken.

Das nächste Projekt beinhaltet Beschleunigungstests mit Bohrhaken um deren Beständigkeit über 50 Jahre ohne Auftreten von SpRK zu überprüfen. Komplette Haken müssen in einem Fels- oder Betonblock getestet werden um alle Spannungen, die durch die Installation entstehen repräsentative darzustellen. Zu den bei der Installation verursachten Spannungen kommen noch die durch den Herstellungsprozess (Walzen, Biegen, Spanen und gelegentlich Schweißen) entstanden hinzu und bilden die Vorbedingung für die Entstehung von SpRK. Diese Beschleunigungstests dienen dazu präzise Normenvorschläge zu erarbeiten und besser entscheiden zu können, welcher Bohrhaken für welches Klettergebiet am geeignetsten ist. Tabelle 3 zeigt die vier vorgeschlagenen Hakenkategorien mit ihrer jeweiligen Widerstandsfähigkeit gegenüber Umweltschädigungen. Das Ziel dieser Arbeit ist es eine Korrosionswiderstandsnorm zu ermitteln, die es Kletterern und Routenbauern erlaubt eine Korrelation zwischen dem Korrosionswiderstand und den örtlichen Gegebenheiten aufzustellen um eine mindestens 50 jährige Lebensdauer der installierten Bohrhaken zu gewährleisten.

**Tabelle 3** von der UIAA vorgeschlagene Hakenkategorien

HAKE KATEGORIE	STANDORT	MERKMALE	GEEIGNETE MATERIALIEN (1)	BEMERKUNG
1	Sehr aggressive SpRK und/oder korrosives Umfeld	<b>Nachgewiesenes Vorkommen von SpRK:</b> hohe Konzentrationen von Chloriden, Meeressalz und anderen Salzen (Karst: Kalkstein/Dolomit) und eine saure Umgebung	Titan Grade 2 und einige Edelstahllegierungen mit sehr hoher Korrosionsresistenz ( <i>high-end High Corrosion Resistant HCR</i> )	Obwohl SpRK gewöhnlich mit Felsen in Meeresnähe verbunden ist, kann sie auch bis zu 100 km weit im Landesinneren noch auftreten. Auch an Orten, die vor Meereswinden geschützt sind, wenn der Felsen selbst Ionen enthält, die SpRK auslösen können.
2	SpRK und korrosives Umfeld	<b>Seltener Nachweis oder Verdacht von SpRK:</b> Chloride in Verbindung mit einer kritischen relativen Luftfeuchtigkeit, bei der die vom Wind angewehten Salze aggressive Ablagerungen bilden können.	Die meisten Edelstahllegierungen mit einer sehr hohen Korrosionsresistenz	
3	Außenbereich ohne SpRK fördernde Umweltbedingungen	<b>Kein Nachweis oder Verdacht von SpRK:</b> einige korrosiven Faktoren	1.4401 1.4404 1.4435 (AISI 316, 316L) und besser	Edelstahl 1.4301 und 1.4306 (304 und 404L) werden für Anwendungen im Außenbereich nicht mehr empfohlen.
4	Anwendung im Innenbereich, in Kletterhallen		Keine Einschränkung hinsichtlich Korrosion	Haken in Kletterhallen in der Nähe von Industriezonen, Schwimmbädern und dem Meer können allerdings zusätzlich eine Korrosionsresistenz erfordern.

(1) **aber die zur Zeit verwendeten Haken müssen erst noch überprüft werden**