



Alexandra Schweikart ist promovierte Chemikerin und Textilwissenschaftlerin, Sportkletterlehrerin und Sachkundige für PSA. Als Wissenschaftsjournalistin blickt sie gerne hinter die Kulissen der Outdoor-Industrie.

Die DNA moderner Kletterhardware

Kaum jemand vermutet, dass die Geschichte moderner Kletterausrüstung nicht in den Alpen, sondern im Japan der 1930er-Jahre begann. Für den Bau von Kampfflugzeugen wurde damals nach einem Werkstoff gesucht, der leichter und zugleich fester war als alles bisher Verfügbare. Das Ergebnis war Aluminium 7075 – eine Legierung, die bis heute moderne Kletterausrüstung prägt.

Von Alexandra Schweikart

Warum überhaupt Aluminium?

Kaum schwerer als eine AA-Batterie. Ein moderner Leichtbau-Karabiner lässt sich mit einem Finger halten. Und doch trägt er im Ernstfall mehrere Tonnen Last. Möglich macht das eine findige Legierung namens „Aluminium 7075“. Mit einer Dichte von nur 2,81 Gramm pro Kubikzentimeter wiegt sie kaum mehr als ein Drittel von Stahl. Ihre Stärke liegt nicht in der absoluten Belastbarkeit, sondern im Verhältnis von Gewicht zu Festigkeit. Deshalb bestehen viele Karabiner, Klemmgeräte und Sicherungsgeräte aus dieser Luftfahrtlegierung. Ein HMS-Karabiner aus Aluminium wiegt etwa 70 bis 90 Gramm und hält 24 bis 26 Kilonewton. Ein gleich großer Stahlkarabiner wiegt 200 bis 250 Gramm und hält 45 bis 60 Kilonewton. Stahl ist also deutlich fester, aber fast dreimal so schwer. Sinnvoll bleibt er dort, wo Härte und Verschleißfestigkeit entscheidend sind: bei Eishauen, Steigeisen oder stark beanspruchten Fixpunkten.

Die Geburt einer Legierung

Die Geschichte von 7075 beginnt nicht im Bergsport, sondern in der Luftfahrt. In den 1930er-Jahren suchten Flugzeugbauer ein Material, das leicht und zugleich extrem fest war. 1935/36 entwickelte die japanische Firma Sumitomo Metal Industries dafür Extra Super Duralumin, später 7075. Die Legierung kam im Mitsubishi A6M Zero zum Einsatz. Im Zweiten Weltkrieg untersuchte die amerikanische Firma Alcoa erbeutete japanische Flugzeuge, entwickelte eine eigene Version und begann 1943 mit der Produktion. Von der Luftfahrt wanderte 7075 schließlich in den Bergsport. Chemisch betrachtet besteht 7075 überwiegend aus Aluminium. Ihre außergewöhnliche Festigkeit erhält die Legierung durch die gezielte Zugabe von rund sechs Prozent Zink, etwa zwei Prozent Magnesium und gut einem Prozent Kupfer. Weitere Bestandteile sind vor allem geringe Mengen Chrom. Eisen, Silizium, Mangan und Titan sind nur in eng begrenzten Mengen enthalten.

Eishauen und Steigeisen werden aus Stahlplatten gelasert. Fotos: Camp



Mitsubishi A6M Zero, der erste Flieger aus Extra Super Duralumin. Foto: Naval History and Heritage Command



*lösungsgeglüht und frisch abgeschreckt

Materialzustand	Ein Quadrat von 3 mm Seitenlänge würde sich ungefähr ab dieser Zuglast dauerhaft verformen	
reines Aluminium	ca. 7 bis 11 kg	sehr weich
7075 ohne Aushärtung*	ca. 150 kg	deutlich besser, aber noch nicht Karabinerniveau
7075-T6	ca. 440 kg	hochfest, Karabinerwerkstoff

Die Unterschiede sind drastisch: Erst der T6-Zustand macht aus 7075 einen echten Karabinerwerkstoff.

Prototyp wird aus einem vollen Block Aluminium gefräst.



Foto: Camp

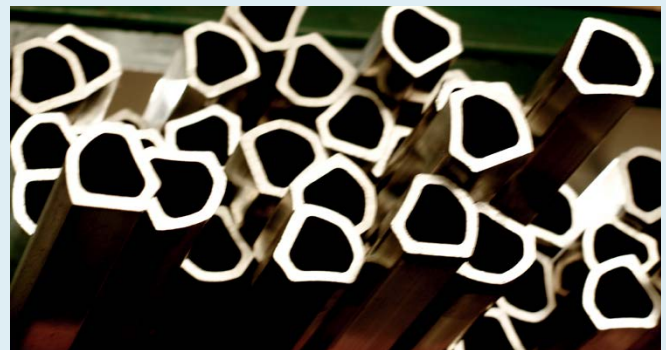
Heißschmieden in Wales mit ca. 500 Tonnen Druck.



Gepresste runde Stangen aus Aluminium.



Hohlrohre für ... wer erkennt's?*



Vom Prototyp zum Karabiner

Am Anfang steht eine Idee. Ein leichter Karabiner. Ein Griff für ein Eisgerät. Etwas, was besser funktionieren soll als das, was es schon gibt. Zuerst entsteht der Entwurf am Computer. Dann ein erster Prototyp. Oft kommt er aus dem 3D-Drucker, um Form und Gefühl zu prüfen. Danach folgt ein präziseres Modell aus der CNC-Fräse. Mit diesen Prototypen geht es hinaus. An den Fels. Ins Eis. Dort zeigt sich, was funktioniert und was nicht. Es wird getestet, geändert, wieder getestet. Runde um Runde. Erst wenn alles passt, werden die Werkzeuge gebaut: negative Formen des späteren Produkts. Dann kann die Serienproduktion beginnen.

Das Strangpressen

Um die Grundform für einen Karabiner zu bekommen, wird Aluminium in Stangen gepresst, entweder rund (Karabiner) oder schon als Hohlprofil, z. B. für große, innen hohle Klemmkeile. Die Stange wird dann in eine grobe Form

des Produktes gebogen, die es werden soll, HMS-Karabiner, Schnapper usw.

Schmieden

Beim Schmieden erhält der Karabiner nicht nur seine Form. Unter mehreren hundert Tonnen Presskraft richtet sich das Gefüge entlang der späteren Belastungswege aus. Dort, wo Kräfte wirken oder Seilabrieb entsteht, bleibt Material stehen; wo es statisch kaum gebraucht wird, kann Gewicht gespart werden. Auch Details wie Nasen, Aussparungen und Aufnahmen für den Schnapper können direkt mit eingeschmiedet werden. Die Bauform folgt dabei der Funktion: runde Profile dort, wo viel Abrieb entsteht, etwa bei Sicherungskarabinern; H-Profile am Karabinerrücken, wo Gewicht gespart werden kann, ohne die Belastbarkeit unnötig zu schwächen. Kaltschmieden ist präzise und materialsparend, braucht aber enorme Kräfte und erlaubt weniger komplexe Formen. Heißschmieden ist energieintensiver, dafür fließt das Material besser. So werden leichtere, komplexere Geometrien möglich.

Clipping, Stanzen

Nach dem Schmieden bleibt rund um den Karabiner überschüssiges Material stehen, das beim Pressen aus der Form gedrückt wurde. Es gehört nicht zum späteren Produkt. Dieser Überstand wird abgestanzt. Zurück bleibt die eigentliche Form des Karabiners, noch roh, aber schon deutlich erkennbar. Das entfernte Aluminium wird gesammelt und dem Aluminiumrecycling zugeführt.

Trowalisieren

Danach wird geglättet. Die Karabiner kommen in eine Trommel oder Vibrationsanlage, zusammen mit kleinen Schleifkörpern, oft aus Keramik. Stundenlang bewegen sich Werkstücke und Schleifkörper gegeneinander. Was dabei passiert, klingt unspektakulär, ist aber wichtig: Grate verschwinden. Scharfe Kanten werden verrundet. Die Oberfläche wird gleichmäßiger. Aus dem geschmiedeten Rohling wird ein Teil, das man anfassen kann, ohne sich zu schneiden, und das später weder Seil noch Schlinge beschädigen soll.

Beim Trowalisieren werden scharfe Stellen rundgeschliffen.



Die eigentliche Magie: Wärmebehandlung von Karabinern.



Ohne CNC-Nachbearbeitung geht heute nichts mehr.



| CNC-Bearbeitung

In der CNC-Bearbeitung bekommt der Rohling seine Präzision. Bohrungen für Schnapperachsen entstehen, Aufnahmen für Federn werden gefräst, Seilführungen und Öffnungen nachbearbeitet. Wo Material nicht gebraucht wird, nimmt die Fräse es weg. Wo Kräfte laufen, bleibt es stehen.

| Wärmebehandlung

Jetzt kommt die Seele des Herstellungsprozesses: Wärme. Nach dem Schmieden ist der Karabiner noch nicht fertig. Erst Lösungsglühen, Abschrecken und Auslagern machen aus dem geformten Rohling ein Bauteil, das extreme Lasten tragen kann. Jede Firma hat dafür ihr eigenes „Kochrezept“.

1. Lösungsglühen

Beim Lösungsglühen wird das Metall auf eine hohe Temperatur erhitzt, meist in einer Art überdimensionalem Backofen, aber noch unterhalb des Schmelzpunktes. Ziel: Legierungselemente, zum Beispiel Magnesium, Zink oder Kupfer, sollen sich möglichst vollständig im

Aluminium-Grundgefüge lösen. Ergebnis: Das Gefüge ist vorbereitet, damit später eine Aushärtung möglich ist.

2. Abschrecken

Nach dem Lösungsglühen wird das Bauteil sehr schnell abgekühlt, meistens in Wasser. So bleiben die gelösten Elemente im Metall „eingefroren“. Ergebnis: Das Material ist nach dem Abschrecken noch relativ weich und gut vorbereitet für das Auslagern.

3. Auslagern/Aushärten, „Zustand T6“

Beim künstlichen Auslagern wird 7075 typischerweise für eine festgelegte Zeit bei etwa 120 Grad Celsius gehalten. Bei Raumtemperatur altert die Legierung ebenfalls, erreicht dadurch aber nicht ohne Weiteres denselben T6-Zustand. „Aluminium kann auf natürliche Weise altern, wodurch es aushärtet und an Festigkeit gewinnt. Wir lassen jedoch all unser Aluminium künstlich altern, da uns das deutlich mehr Kontrolle über die finalen Eigenschaften wie Härte und Festigkeit gibt“, so Darren McMaster,

Senior Ingenieur bei DMM. Beim Auslagern von 7075 passiert etwas im Inneren des Metalls. Gelöste Zink-, Magnesium- und Kupferatome bilden extrem feine Teilchen (sogenannte Ausscheidungen) im Aluminiumgitter. Im T6-Zustand sind diese Teilchen besonders fein und gleichmäßig verteilt. Ein Bild dazu: eine volle Kletterhalle. Vor dem Auslagern kann sich eine Person noch einigermaßen gut durch die Menge schlängeln. Nach dem Auslagern stehen zusätzlich überall Sofas, Bänke, Stühle und Rucksäcke im Weg. Jede Bewegung wird schwerer. So ähnlich funktioniert es im Metall.

Die Oberfläche zählt auch

Aluminium 7075 wird meistens eloxiert. Der wichtigste Grund ist Korrosionsschutz. Moment. Aluminium korrodiert doch nicht? Doch. 7075 kann korrodieren, besonders in salzhaltiger Feuchtigkeit. Die Legierung enthält Zink, Magnesium und Kupfer; im Gefüge entstehen kleine elektrochemische Unterschiede.

7075-T6: So sieht die Seele von Karabinern schematisch aus.



Was passiert auf atomarer Ebene, wenn ein Karabiner im Sturz Last aufnimmt?

Von außen sieht man: nichts. Der Karabiner hält. Im Inneren gibt das Metall zunächst elastisch nach. Die Atome werden minimal aus ihrer Ruhelage gezogen und springen zurück, sobald die Last nachlässt. Wird die Belastung zu groß, beginnt plastische Verformung. Dann wandern kleine Fehler durch das Kristallgitter, sogenannte Versetzungen. Man kann sich das wie eine Falte in einem Teppich vorstellen. Einen ganzen Teppich auf einmal zu verschieben, ist mühsam. Eine Falte hindurchzubewegen, geht leichter. Am Ende hat sich der Teppich trotzdem ein Stück bewegt. Bei 7075-T6 bremsen winzige Hindernisse im Gitter genau diese Bewegung. Deshalb verformt sich das Material nicht so leicht.

Wird die Schutzschicht lokal angegriffen, können Lochfraß oder interkristalline Korrosion entstehen. Besonders kritisch ist das in Meeresnähe mit Chlorid-haltiger Feuchtigkeit. Beim Eloxieren wird die natürliche Oxidschicht des Aluminiums gezielt verstärkt. Sie wird dicker, härter und dichter. So ist 7075 besser gegen Korrosion und Verschleiß geschützt. Und Farbe kommt auch ins Spiel. Eloxierete Cams, Keile und Karabiner lassen sich leicht unterscheiden. Es gibt aber auch Ausnahmen. Edelrid bietet zum Beispiel eine Eco-Linie mit Karabinern ohne Eloxierung an.

Assembly

Am Ende wird zusammengebaut. Aus einzelnen Teilen wird ein Produkt. Schnapper werden eingesetzt. Federn justiert. Drähte durch Klemmkeile gefädelt. Klemmbacken verdrahtet. Nieten gesetzt und geprüft. Vieles davon ist geschickte Handarbeit. Jeder Griff sitzt. Was später am Fels selbstverständlich funktionieren soll, entsteht hier Stück für Stück auf der Werkbank.

Lasern und Markieren

Für Hardware gelten strenge Vorschriften darüber, welche Informationen auf dem Produkt sichtbar sein müssen. Dazu gehören unter anderem die Herstellerkennzeichnung, der Karabinertyp und die CE-Kennzeichnung. Bei PSA der Kategorie III folgt auf CE die vierstellige Kennnummer der notifizierten Stelle. Häufig ist außerdem die angewandte EN-Norm angegeben sowie die Mindestbelastungswerte, die das Produkt aushalten muss. Bei Karabinern sind das beispielsweise die Belastungswerte in Längsrichtung, Querrichtung und bei offenem Schnapper. Bei Klemmkeilen ist es die Belastung im eingespannten Zustand in Fallrichtung. Für eine bessere Nachverfolgbarkeit sorgen Chargennummern oder eindeutige Seriennummern, die in der Regel auf das Produkt gelasert werden.

Prozesskontrolle

Bevor ein Karabiner am Klettergurt hängt, wird er mehrfach geprüft: beim Rohmaterial, während der Produktion und am fertigen Produkt. „Es wird

selbstverständlich jede Charge geprüft. Wir müssen gewährleisten, dass die Prozesse stabil laufen und die ausgelieferte Qualität in Ordnung ist“, sagt Peter Manhartsberger, Quality Manager bei AustriAlpin. Solche stabilen und dokumentierten Abläufe sind Teil eines Qualitätsmanagementsystems nach ISO 9001. Wie geprüft wird, unterscheidet sich je nach Hersteller. Manche testen Stichproben bis zum Bruch. Camp prüft jedes Produkt mit einer kontrollierten mechanischen Belastung, ohne es zu beschädigen. DMM legt die Festigkeitswerte mit dem statistischen Drei-Sigma-Verfahren fest. Bruchtests in der Entwicklung und laufende Chargenprüfungen stellen sicher, dass diese Werte eingehalten und überschritten werden. Karabiner gehören zur persönlichen Schutzausrüstung gegen Absturz. Deshalb gelten hohe Anforderungen an Konstruktion, Prüfung, Dokumentation und Rückverfolgbarkeit. Auch die laufende Produktion wird überwacht. Denn am Ende geht es nicht um Papier. Es geht darum, dass ein kleines Stück Metall hält.

Ein Drahtschnapper wird eingesetzt.



Testing bei AustriAlpin. Foto: Simon Schöpf



Drahtschnapper, aufgebogen und gebrochen nach einem Sturz mit der Nase in einem Haken. Foto: Black Diamond QC Lab



Wo die Grenzen liegen

7075 ist sehr fest, aber nicht unzerstörbar. Besonders empfindlich reagiert Aluminium auf tiefe Kerben, Abrieb und Korrosion. Dort konzentriert sich die Spannung. Dort kann ein Riss beginnen. Sichtbare Warnzeichen sind tiefe Seilrillen, ein verzogener Körper oder ein hakeliger Schnapper. Ein Aluminiumkarabiner schleift sich schneller ein als ein Stahlkarabiner. Nicht das saubere Nylonseil ist das Problem, sondern Sand, Staub und Schmutz im Seil. Sie wirken wie Schleifmittel.

Auch über „Mikrorisse“ nach einem Sturz der Ausrüstung auf den Boden wird viel diskutiert. Die verbreitete Annahme, jeder fallengelassene Aluminiumkarabiner müsse deshalb ausgesondert werden, ist jedoch nicht belegt. Darren McMaster sagt dazu: „Wenn von außen optisch alles in Ordnung aussieht und alles funktioniert, gibt es keinen Grund, sich über das Innenleben oder unsichtbare Schäden zu sorgen.“ Zu einem ähnlichen Schluss kommt das

Video „Should You Retire Dropped Climbing Gear?“ vom Kanal „Hard Is Easy“. Nach einem harten Aufprall sind dennoch eine sorgfältige Sicht- und Funktionsprüfung entscheidend. Bei Kerben, Verformungen, beeinträchtigtem Schnapperlauf oder Zweifeln gehört der Karabiner ausgesondert.

Eine große Gefahr dagegen sind ungünstig belastete Karabiner. Etwa wenn ein Drahtschnapper mit der Nase im Bohrhaken hängen bleibt. Dann steht der Schnapper offen, und bei einem Sturz wird der Karabiner nur an der Nase belastet. Die Mindestfestigkeit bei offenem Schnapper gilt nur bei korrekter Belastung entlang des Karabinerrückens. Wird stattdessen die Nase belastet, kann die Bruchlast deutlich niedriger liegen. Bei einem harten Vorstiegssturz kann der Karabiner brechen. Karabiner mit Keylock-Nase reduzieren das Verhakungsrisiko.

Lebensdauer

Die meisten Hersteller von PSA-Hardware geben für Metallprodukte keine maximale Lebensdauer an. Trotzdem lohnt sich ein genauer Blick darauf, was „Lebensdauer“ bedeutet. Bei textiler PSA sind oft zehn Jahre ab Herstellungsdatum angegeben. Der Grund ist Materialalterung: Fasern können mit der Zeit schwächer werden, selbst bei guter Lagerung. Häufige Nutzung, UV-Strahlung, Hitze, Feuchtigkeit oder Schmutz verkürzen diese Zeit deutlich.

Bei Metall ist es anders. Es altert nicht wie Textil. Aber es verschleißt. Es kann mechanisch beschädigt werden. Deshalb darf nicht der Eindruck entstehen, PSA aus Metall halte unbegrenzt. Entscheidend sind deshalb zwei Dinge: regelmäßige Prüfung und die Geschichte des Produkts. Martin Francis, DMM Group QHSE Manager, nennt drei Beispiele:

Einzelne Produktionsschritte bei der Karabinerherstellung. 1. Stangenpressen. 2. Biegen. 3. Schmieden. 4. Überstand abstanzen. 5. Entgraten und Loch bohren für Schnapper. 6. Eloxieren und Zusammenbau. Dazwischen liegt die Wärmebehandlung, die unseren Karabinern die „Seele“ verleiht.



Fotos: DMM

„Ein Karabiner aus meiner Schreibtischschublade stammt aus den 1980er-Jahren. Er wurde nie belastet, funktioniert einwandfrei und besteht die Prüfung. Seine Geschichte ist bekannt. Er ist sicher verwendbar. Ein anderer Karabiner aus meiner Materialkiste ist etwa vier Jahre alt. Er wurde intensiv genutzt, hat harte Stürze gehalten und der Schnapper läuft trotz Reinigen und Ölen nicht mehr sauber. Seine Geschichte ist ebenfalls bekannt. Genau deshalb gehört er ausgesondert. Einen dritten Karabiner habe ich am Wandfuß gefunden. Äußerlich ist erkennbar, dass er bereits benutzt wurde, technisch funktioniert er jedoch einwandfrei. Ich kenne jedoch seine Vorgeschichte nicht und weiß daher nicht, ob und wie er durch einen Sturz belastet wurde. Auch wenn der Karabiner ordnungsgemäß funktioniert, bleibt seine unbekannte Belastungshistorie ein Risiko. Deshalb sollte er nicht weiterverwendet werden. Letztlich geht es darum sicherzustellen, dass niemand unwissentlich Ausrüstung über ihre sicheren Einsatzgrenzen hinaus verwendet.“

Umweltaspekte

Aluminium ist ein ambivalenter Werkstoff: leicht, fest, korrosionsbeständig und nahezu unbegrenzt recycelbar – aber in der Primärproduktion energieintensiv und ökologisch belastend. Kritisch sind vor allem Bauxitabbau, Rotschlamm, hoher Stromverbrauch und CO₂-Emissionen. Recyclingaluminium schneidet deutlich besser ab, weil dafür nur ein Bruchteil der Energie benötigt wird.

Für Karabiner kann jedoch nicht beliebiges Recyclingaluminium verwendet werden. Sicherheitsrelevante Kletterausrüstung braucht hochfeste, exakt definierte und rückverfolgbare Legierungen. Entscheidend ist, ob Zusammensetzung, Wärmebehandlung und mechanische Eigenschaften zuverlässig nachgewiesen werden können. Sortenreines, zertifiziertes Recyclingmaterial wäre möglich – gemischter Aluminiumschrott nicht.

Auch Eloxieren ist kein harmloser Prozess. Es braucht Säuren, Laugen, Farbstoffe, Wasser und eine saubere Abwasserbehandlung. In Europa sind solche Prozesse meist streng reguliert. Außerhalb Europas hängt die Bilanz stärker vom jeweiligen Land, Betrieb und der Kontrolle ab. Nicht das Eloxieren an sich ist also das Hauptproblem, sondern wie sauber es gemacht wird.