

## 1. Metalle werden müde

Das erste zivile Düsenflugzeug der Welt war ein englisches: die de Havilland „Comet“, 1952 eingesetzt. Der erste zu sein birgt stets ein Risiko, und in diesem Fall war es katastrophal. Nach zwei Dienstjahren begannen „Comets“ in der Luft auseinanderzubrechen. Drei Maschinen verunglückten auf diese Weise.

Nach einem klassischen Fall wissenschaftlicher Detektivarbeit wurden als Fehlerquellen schliesslich die Nietlöcher im Aluminiummantel des Rumpfes entdeckt. Von diesen Löchern hatten sich langsam Risse ausgebreitet, die mit der Zeit zu einer Sprödigkeit in der Hauptkonstruktion des Flugzeugs und zum Auseinanderbrechen führten. Ein solches Verhalten ist eigentlich untypisch für Metalle. Lässt man ein Weinglas zu Boden fallen, wird es wahrscheinlich mit einem kräftigen Krach zersplittern. Fällt dagegen eine metallene Pfanne, wird nicht viel passieren. Sie scheint völlig bruchstark. Was also macht Gegenstände spröde? Und was kann man dagegen tun?



Wir wissen aus Erfahrung, dass kleine Risse oder Löcher viele Materialien drastisch schwächen können. Ein Briefmarkenbogen lässt sich leicht an der Perforation abreißen, und ein Schokoladenriegel bricht an den Vertiefungen. Eine Schneiderin schneidet den Rand eines Stücks Stoff leicht ein, bevor sie es zerreisst, und ein Glaser ritzt eine Glasscheibe an, bevor er sie bricht. In all diesen Fällen lenkt die Materialschwächung den ausgeübten Druck auf einen Punkt oder eine Linie, und das Material gibt dort leicht nach, der Riss wächst. Die Schwächung nimmt dadurch zu, der Riss „läuft“ bald „davon“ und bricht das Material auseinander. Überraschenderweise verläuft dieser simple und anschauliche Prozess genauso auch auf der mikroskopischen oder molekularen Ebene. Mit ihm lässt sich erklären, warum ein Material wie Glas spröde ist: Es ist nämlich mit winzigen, unsichtbaren Rissen überzogen, von denen jeder sich unter Druck ausdehnen kann. Poliert man es zu vollkommener Glätte, dann wird es unzerbrechlich.

Genau hierin liegt das Geheimnis jenes modernen Materials aus Glas und Kunststoff, des Fiberglases. Bei seiner Herstellung wird geschmolzenes Glas durch winzige Löcher zu Fibern gepresst. Die dabei gewonnenen Fäden sind weniger als ein hundertstel Millimeter dick. Sie verlassen die Düsen mit einer vollkommen glatten Oberfläche, die sofort mit einem dünnen Schutzlack überzogen wird. Erst wenn sie mit Kunstharz zu Fiberglas zusammengeklebt werden, zeigen sie ihre wahre Stärke. Das gewonnene Material kann stärker als massiver Stahl sein. Angelruten, Boote, Karosserien und Gehäuse aller Art lassen sich aus Fiberglas herstellen. Die ganze Stärke und Festigkeit kommt vom Glas; der Kunstharz schützt die Fibern lediglich und hält sie zusammen. Selbst wenn eine Fiber brechen sollte, könnte der Riss nur sehr schwer auf die nächste übergreifen.



Indem wir also das Anwachsen von Rissen im Glas verhindern, können wir es so fest wie Metall machen. Doch warum sind Metalle fest? Rohmetall ist ebenso zerkratzt und uneben wie Glas, in vielen Fällen sogar mehr, und dennoch entstehen durch diese Mängel keine Risse. Ein Grund ist die Flexibilität von Me-

tallen. Schlagen Sie auf eine Metallpfanne, und sie verbiegt sich wahrscheinlich etwas; sie dämpft den Schlag, indem sie nachgibt. Das kann aber noch nicht alles sein, denn viele flexible Materialien sind gleichzeitig auch spröde. Der luftig leichte, für Verpackungen und Wärmeisolierung häufig verwendete Kunststoff Styropor wäre ein Beispiel dafür; ebenso ein Wackelpudding, wie man leicht erkennen kann, wenn man ihn mit einem Löffel anreisst. Ebenso Gummi. Wer sehen will, wie sich ein kleiner Mangel in Gummi zu einem Bruch ausweitet, der steche mit einer Nadel in einen Luftballon!

Das wahre Geheimnis des Metalls besteht nicht darin, dass es sich biegen lässt, sondern dass es *gebogen bleibt*. Unter starkem Druck verformt es sich und absorbiert dabei eine Menge Energie, die es nicht wieder abgibt. Bevor ein Riss durch Metall wandern kann, muss an seinem Anfangspunkt eine Menge Arbeit das Material bis zum Bruchpunkt plastisch verformen. Und diese hohe „Bruchsicherheit“ macht Metall so fest. Der Druck muss aussergewöhnlich gross sein, ein Riss oder eine Unebenheit sehr lang, bevor ein Bruch in einer Metallkonstruktion davonlaufen kann.

Und die glücklose Comet? Ihr Verhängnis - Metallermüdung - ist noch unvollständig erforscht. Wird ein Metall wiederholt wechselndem Druck ausgesetzt, kann auch eine kleine Störstelle wie ein Nietloch irgendwann die Brucharbeit umgehen und einen kleinen Riss im Metall in Gang setzen. Mit jeder neuen Druckschwankung wird der Riss ein bisschen grösser, und früher oder später erreicht er die kritische Länge, an der er davonläuft, das Metall entzweibricht. Im Falle der Comet war es der Ausgleich des Kabinendrucks (damals noch eine relativ neue Sache bei Passagierflugzeugen), der Flug um Flug das Metall ihres Rumpfs Druckschwankungen aussetzte und jene letztlich tödlichen kleine Risse vergrösserte!



David Jones

Heutzutage achten Flugzeugkonstrukteure erheblich mehr auf Ermüdungsrisse und die harmlos scheinenden Löcher und Ecken, von denen sie ausgehen können. Zurzeit ereignen sich die dramatischsten und grössten Brüche auf See. Fast jedes Jahr brechen einige grosse Schiffe - meist Öltanker oder Stückgutfrachter - bei starkem Seegang entzwei. Irgendein Loch, eine Unregelmässigkeit in der Konstruktion des Schiffskörpers zieht den Druck der Schiffsbewegung durch die Wellen auf sich; ein Ermüdungsrisse entsteht und wächst; und irgendwann bricht das Schiff in zwei Hälften, genauso, wie wenn der Glaser eine angeritzte Glasscheibe entlang der vorgegebenen Linie bricht.