

# SoKo Ermüdungsfestigkeit

Der Vortragsabend wurde als Ermittlungsabend gestaltet, in dem das Investigativ Team Pro Scientia Linz mehrere, in die Geschichte eingegangene, Zug- und Flugzeugkatastrophen analysierte. Es war gleichzeitig eine Zeitreise, zurück ins 19. Jahrhundert zu den Anfängen der wissenschaftlichen Beschäftigung mit dem Themengebiet der Materialermüdung.

Unser erster Fall findet in Frankreich Mitte des 19. Jahrhunderts statt. Die 1. Industrielle Revolution hat gerade seinen Höhepunkt erreicht. Dampfmaschinen und damit betriebene Lokomotiven sind das Symbol des Fortschritts und der neuen Mobilität. Am 8. Mai 1842 kommt es zum ersten großen Zugunglück der Geschichte. Bei einer Fahrt von Versailles nach Paris, passiert kurz vor Meudon bei einer Reisegeschwindigkeit von etwa 40 km/h die Katastrophe. Es sterben ca. 50 Personen. Was ist passiert? Augenzeugen berichten, dass die Dampflokomotive explodiert sei. Wir holen uns Rat bei William John Rankine, welcher später für seine Arbeiten im Fachgebiet der Thermodynamik weltberühmt sein wird. Es stellt sich heraus, dass ein Achsbruch bei der kleineren vorgespannten Lokomotive die Ursache des Unglücks war. Die große Anzahl der Toten lässt sich damit erklären, dass die Personenwagen überwiegend aus Holz gebaut waren und die Türen aus Sicherheitsgründen (den Fahrgästen wurde der Umgang mit der neuen Technik noch nicht so zugetraut) zugesperrt waren.

Auch auf dem Vorläufer der österreichischen Westbahn (der Kaiserin Elisabeth-Bahn) kam es 1875 zu einer Entgleisung aufgrund eines Achsbruchs. Der Unfall der Dampflokomotive mit dem Namen „Amstetten“ ereignete sich beim Bahnhof Timelkam bei dem zum Glück niemand verletzt wurde. Generell sind Achsbrüche im 19. Jahrhundert keine Seltenheit. Nicht nur bei Zügen sondern auch bei Kutschen, v.a. Postkutschen, welche weite Strecken zurücklegten.

Die häufigen Achsbrüche beschäftigten viele Ingenieure des 19. Jahrhunderts, u.a. den Obermaschinenmeister August Wöhler, der im Dienste des Staates Preußen stand. Er untersuchte und analysierte das Phänomen der ungeklärten Achsbrüche, die nach einer gewissen Betriebszeit und bei relativ geringen Lasten auftrat. Dafür entwickelte er geniale Messinstrumente mit denen er im Labor, aber auch direkt an Lokomotiven, seine Untersuchungen anstellte [1]. Für seine genialen Versuchsaufbauten ist August Wöhler weltberühmt geworden, und einen ähnlichen Ermüdungsversuch haben wir im Zuge des Investigativ-Abends nachgestellt.

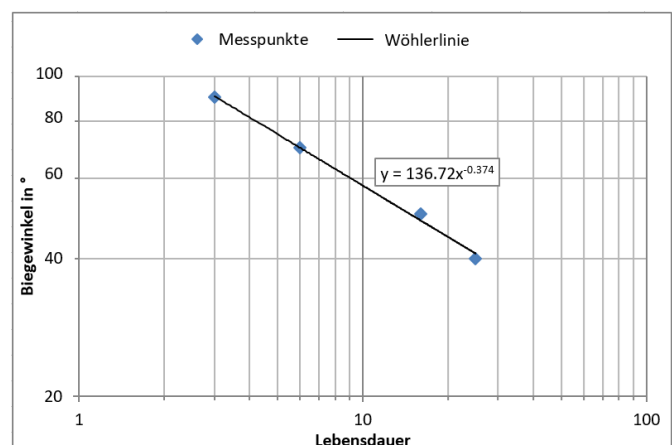
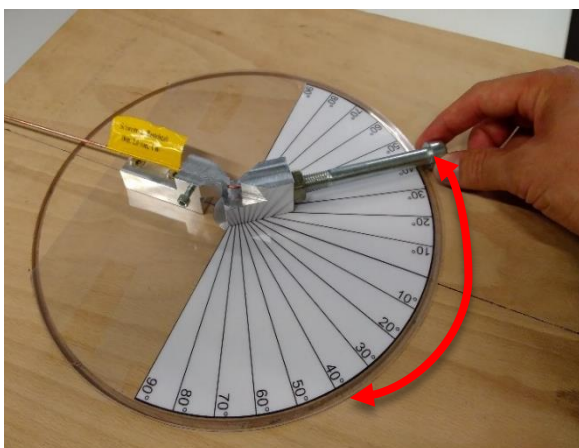


Abbildung 1: Ermüdungsversuch mit Biegevorrichtung (links) und Versuchsauswertung (rechts).

Mithilfe einer einfachen Biegevorrichtung (Abbildung 1, links, Leihgabe vom Institut für Konstruktiven Leichtbau – Prof. Schagerl), bei dem mehrere Drahtstück hin-und-her gebogen wurden, konnte ein

Wöhlerdiagramm (Abbildung 1, rechts) erstellt werden. Dieses Diagramm gibt Aufschluss über die Lebensdauer bei gewisser wiederholter Belastung des jeweiligen Materials. Die blauen Messpunkte können in einem doppelt-logarithmischen Maßstab mit einer geraden Linie interpoliert werden. Diesen Test kann man auch ganz einfach mit einer Büroklammer nachstellen, welche nach wiederholtem Biegen bricht.

Wir machen einen Sprung in die Mitte des 20. Jahrhunderts. Das erste Personenflugzeug mit Strahltriebwerken hat seinen Betrieb aufgenommen und erfreut viele Passagiere mit noch nie dagewesenem Reisekomfort. Die „de Havilland Comet“ kann nämlich aufgrund des neuen Antriebs etwa doppelt so hoch wie konventionelle Propellerflugzeuge fliegen. Dies macht zum Beispiel eine deutlich schnellere Reisegeschwindigkeit und einen ruhigeren Flug (über dem Wettergeschehen) möglich, um nur zwei Vorteile zu nennen. Doch nach nur knapp zwei Jahren im Betrieb kam es 1954 zu zwei katastrophalen Unfällen mit diesem Flugzeugtyp. Beide Maschinen explodierten kurz nach Erreichen der Reiseflughöhe. Was war passiert? Um der Unglücksursache auf den Grund zu gehen wurde ein immenser Aufwand betrieben. Die endgültige Aufklärung wurde von T. Swift von der FAA erst 33 Jahre später geliefert. Damit die Fluggäste in der großen Reiseflughöhe normal atmen konnten war es unbedingt notwendig das Flugzeug mit Druckluft „aufzupumpen“. Diese zusätzliche Belastung in Kombination mit den genieteten rechtwinkligen Fenstern führte zu Ermüdungsrissen in der Flugzeughülle, welche sich aufgrund der einfachen Rumpfbauweise schnell ausbreiten konnten. Der Flugzeugrumpf zerplatzte regelrecht und ein katastrophaler Absturz war unvermeidbar [2].

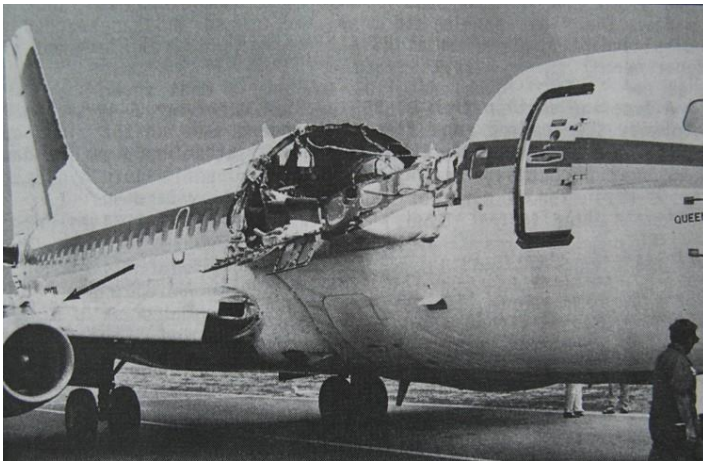


Abbildung 2: Aloha-Airlines-Flug 243 [3].

Etwas glimpflicher verlief ein anderer in die Geschichte eingegangener Flugzeugunfall. Beim Flug der Boeing 737-200 von Hilo nach Honolulu riss ebenfalls in Reiseflughöhe der Rumpf auf. Dabei trennte sich der obere Teil der Rumpfschale ab (Abbildung 2, [3]). Das Flugzeug blieb trotz dieses massiven Schadens noch manövrierfähig und die Piloten konnten es sicher notlanden – bis auf eine Flugbegleiterin überlebten alle Insassen das Unglück. Wieder war ein Riss aufgrund Materialermüdung Grund für den Unfall.

Diese und viele weitere Flugzeugunfälle führten zu immer besseren und verfeinerten Design Strategien im Flugzeugbau. Wurde zu Beginn noch nach dem „Safe-Life“ Prinzip gebaut, führte u.a. die Unglücksserie der De Havilland Comet zum „Fail-Safe“ Design, bei dem nicht nur Belastungen über eine gewisse Zeit von der Konstruktion ertragen werden müssen, sondern auch entstandene Schäden nicht sofort zum Totalausfall führen dürfen. Diese Strategie wurde ab Mitte der 1970 Jahre zum sogenannten „Damage Toleranz Design“ erweitert, bei dem bereits Beschädigungen in der noch ungenutzten Struktur angenommen und von dieser ertragen werden müssen. Vorhandene Risse dürfen somit binnen zwei Inspektionsintervallen eine kritische Länge nicht überschreiten.

Im Jahr 1998 war nicht ein Flugzeugabsturz sondern das ICE Unglück bei Eschede in den Schlagzeilen. Bei diesem tragischen Zwischenfall mit dem Hochgeschwindigkeitszug kamen 101 Menschen ums Leben und über einhundert Menschen wurden verletzt. Viele fragten sich wie so etwas passieren konnte. Nach langen und intensiven Ermittlungen wurde schlussendlich ein Radreifen, welcher durch

Materialermüdung brach, als Unfallursache identifiziert. Zur Verbesserung der Laufruhe wurden damals beim ICE Verbundräder anstelle von Monoblockrädern verwendet. Der Radreifen, welcher fälschlicherweise als dauerhaft ausgeliefert wurde, brach jedoch trotzdem aufgrund sehr kleiner, aber extrem oft wiederholter Biegebelastungen nach ca. 1.8 Millionen Kilometern Fahrstrecke [4]. Heutzutage sind deshalb nur noch Straßenbahnen oder Güterzüge, welche mit geringerer Geschwindigkeit fahren, mit Verbundrädern ausgestattet.

Der letzte Fall des Ermittlungsabends betrifft eine brandaktuelle, laufende Investigation eines Flugzeugunfalls, nämlich den Zwischenfall des Southwest Airlines Flug 1380 mit dem Triebwerk einer Boeing 737-700. Hier löste sich ein Turbinenschaufelblatt aufgrund eines Ermüdungsschadens und in dessen Folge wurde ein Flugzeugfenster von herumfliegenden Triebwerksgehäuseteilen zerstört [5]. Das Bild der Bruchfläche im vorläufigen Ermittlungsreport (Abbildung 2) zeigt eindeutig die Stelle an der der Riss initiiert wurde sowie die, für Ermüdungsriss typischen, kreisförmigen Marken.

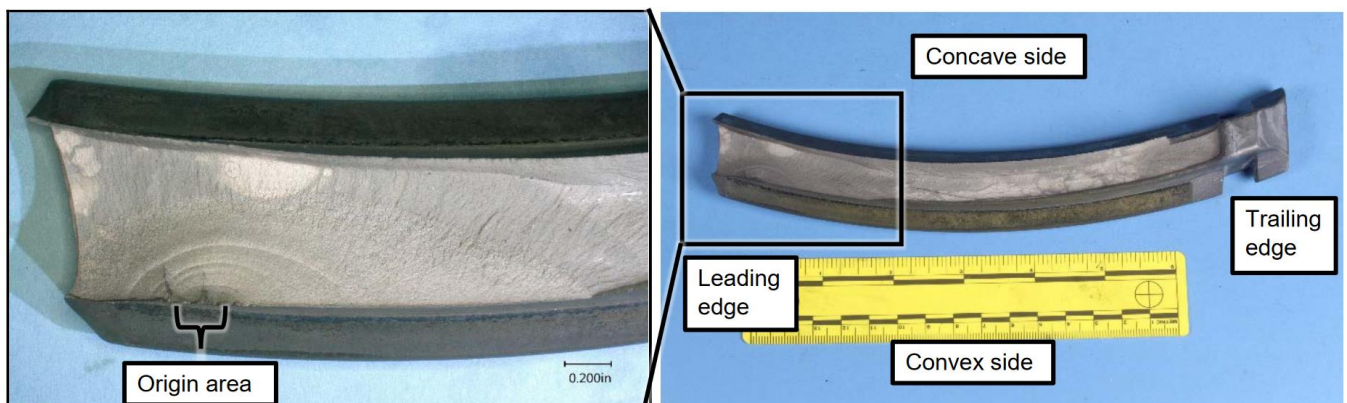


Abbildung 3: Bruchfläche des Turbinenblattes, welche auf einen Ermüdungsriss schließen lässt [5].

Dieser Zwischenfall vom 17. April 2018 zeigt eindeutig auf, dass das Phänomen Materialermüdung trotz jahrzehntelanger Bemühungen in Wissenschaft und Wirtschaft immer noch offene Fragen und Problemstellungen bereithält. Diese zu klären ist u.a. besonders wichtig, um die Sicherheit der Verkehrsmittel, wie Züge oder Flugzeuge, noch weiter zu verbessern. Dass bereits heute die Fortbewegung mit Zug und Flugzeug besonders sicher ist, wie eine Studie des deutschen Bundesamt für Statistik beeindruckend zeigt [6], ist ein Verdienst der bisherigen intensiven Forschung im Bereich der Ermüdungsfestigkeit von Materialien, Bauteilen und Konstruktionen.

## Literatur

- [1] A. Wöhler, "Über die Festigkeitsversuche mit Eisen und Stahl," *Auf Anordnung des Ministers für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten, Grafen Itzenplitz, angestellt.* Berlin, p. 37, 1870.
- [2] W. Schütz, "A history of fatigue," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 54, no. 2, pp. 263–300, 1996.
- [3] NTSB, "Photo of Boeing 737-297 N73711 - Aviation Safety Network." [Online]. Available: <http://aviation-safety.net/photos/displayphoto.php?id=19880428-0&vnr=2&kind=C>. [Accessed: 23-Jun-2018].
- [4] D. Radaj and M. Vormwald, *Ermüdungsfestigkeit: Grundlagen für Ingenieure*, 3., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Springer, 2007.
- [5] NTSB, "DCA18MA142 SWA1380 INVESTIGATIVE UPDATE." [Online]. Available: <https://www.nts.gov/investigations/Pages/DCA18MA142.aspx>. [Accessed: 24-Jun-2018].
- [6] I. Vorndran, "Unfallstatistik – Verkehrsmittel im Risikovergleich," Dec-2010. [Online]. Available: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Verkehr/Unfallstatistik122010.html>. [Accessed: 24-Jun-2018].