

# Piezosensoren überwachen Flugzeugfahrwerke

Mikrorisse sieht man von Auge kaum. Bei einem Flugzeug können sie aber zum Bruch des Fahrwerks führen, wenn sie bei der regelmässigen Inspektion nicht erkannt werden. Forscher der Empa Dübendorf arbeiten deshalb an einem Sensor, der Metallstrukturen permanent überwacht. Die Struktur selbst wird intelligent.



Gebrochene Fahrwerke führen zu gefährlichen Unfällen. Intelligente Sensoren sollen die Metallstrukturen in Zukunft permanent überwachen.

Heute in Gebrauch stehende Flugzeuge für die zivile Luftfahrt haben eine Lebenserwartung von etwa 30 Jahren. Um die Sicherheit und Verfügbarkeit der Flugzeuge während des gesamten Lebenszyklus zu gewährleisten, müssen die Flugzeuge in regelmässigen Abständen überprüft werden. Ein besonders beanspruchter Teil ist das Landefahrwerk. Durch eine harte Landung oder durch Einschläge, beispielsweise durch Steine auf der Landebahn, können Risse in der Fahrwerksstruktur auftreten. Werden diese bei einer Überprüfung nicht entdeckt, kann es zum Bruch des Fahrwerkes während Start oder Landung kommen. Eine permanente Überwachung der Fahrwerksstruktur könnte helfen, frühzeitig Risse zu erkennen und, wenn notwendig, entsprechend zu warnen.

In der Abteilung Mechanical Systems Engineering an der Empa in Dübendorf beschäftigt sich ein Team von Forschern mit der Entwicklung von Systemen zur permanenten Überwachung von Strukturen. Für dieses so genannte Structural Health Monitoring (SHM) nutzt man eine spezielle Art der Modalanalyse. Die zu überwachende Struktur wird zum Schwingen angeregt und das Antwortsignal gemessen. Veränderungen dieses Signals lassen dabei auf Änderungen in der Struktur schliessen. Ein erster Prototyp dieses SHM-Systems wird derzeit in einer realen Anwendung getestet. Es handelt sich dabei um die Überwachung des Fahrwerks eines Segelflugzeugs. Ein Problem beim Einbau eines SHM-Systems in eine bestehende Struktur ergibt sich

durch die notwendige Verkabelung und den daraus resultierenden Bohrungen für Kabeldurchführungen. In Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik Buchs (NTB), wurde deshalb eine drahtlose elektronische Schaltung entwickelt. Ziel der Arbeit ist es, ein SHM-System für Anwendungen unter realen Betriebsbedingungen zu entwickeln.

## Metall in Schwingung versetzen

Wie erwähnt, wird als Methode zur Überwachung des Flugzeugfahrwerks eine spezielle Modalanalyse verwendet, die so genannte elektromechanische Impedanzmethode (EMI). Dabei werden piezoelektrische Elemente (PE) auf die Struktur aufgebracht und mit einer elektrischen Wechselspannung

mit variabler Frequenz gespeist. Je nach Polarität der elektrischen Spannung zieht sich das PE-Element zusammen oder dehnt sich aus – es schwingt. Durch die feste Verbindung des PE-Elements mit der Struktur ergibt sich eine mechanische Kopplung – die Struktur wird zum Schwingen angeregt. Die Dämpfungseigenschaften in Funktion der Frequenz bestimmen das mechanische Verhalten, beziehungsweise die mechanische Impedanz der Struktur. Dabei besteht eine Verbindung zwischen mechanischer Impedanz der Struktur (Dämpfungseigenschaften) und elektrischer Impedanz des PE-Elements. Daher auch der Name der Methode – elektromechanische Impedanz (EMI). Bei den so genannten Eigenfrequenzen schwingt die Struk-



Landefahrwerk eines Segelflugzeuges mit einem piezoelektrischen Element (orange) zur Überwachung der Metallverstrebung.

tur stärker. Dort wird in die schwingende Struktur mehr Energie eingebracht, das heisst, durch das PE-Element fliesst ein höherer elektrischer Strom und auch der Phasenwinkel zwischen Versorgungsspannung und Strom ändert sich. Über elektrischen Strom und Spannung sowie aus der Phasenverschiebung zwischen den beiden lässt sich die komplexe Impedanz des PE-Elements berechnen. Die Eigenfrequenzen erscheinen als Impedanz-Peaks. Ändert sich durch eine Schädigung das Schwingungsverhalten der Struktur, ändert sich auch das Frequenzverhalten. Die Impedanz-Peaks treten also an einer anderen Stelle im Frequenzspektrum auf. Diese Änderung wird vom SHM-System erfasst. Im Unterschied zur herkömmlichen Modalanalyse werden bei der EMI-Methode höhere Frequenzen zur Anregung der Struktur verwendet. Dadurch können auch kleinere Schäden in der Struktur festgestellt werden.

### Drahtlose Übertragung

Die drahtlose elektronische Schaltung dient dazu, das PE-Element mit einer Spannung variabler Frequenz zu versorgen. Gleichzeitig wird der elektrische Strom, die elektrische Spannung und die Phasenverschiebung gemessen und daraus die Impedanz des PE-Elements bestimmt. Die berechneten Werte werden anschliessend an die Empfangsstation übermittelt. Ein leistungsfähiger, in das SHM-System integrierter Mikrokontroller er-


möglicht die notwendigen komplexen Berechnungen. Dadurch wird einerseits die zu übertragende Datenmenge verringert und andererseits die Anfälligkeit für Störungen von aussen verbessert.

### Erste Laborversuche

Das System wurde zunächst in Laborversuchen an geschweissten Aluminiumprofilen getestet. Dabei wurden die Aluminiumprofile in einem 4-Punkt-Biegeversuch dynamisch belastet, bis ein Riss an den Schweißnähten auftrat. Dieser Riss, vergleichbar mit der Grösse eines menschlichen Haares, konnte mit dem SHM-System festgestellt werden. Im Anschluss wurde das im Labor getestete SHM-System für die Überwachung der Metallstruktur eines Flugzeugfahrwerkes in ein Segelflugzeug integriert. Da das Fahrwerk in den Rumpf des Flugzeugs eingebaut und das SHM-System von aussen nur schwer zugänglich ist, wurde eine drahtlose Energieversorgung für das System entwickelt. Die Energie wird dabei über ein Handgerät durch die Rumpfstruktur (4 mm Wandstärke) direkt in das System innerhalb des Rumpfes übertragen werden. Flüge mit Starts und Landungen sind für das Frühjahr 2010 geplant, um das System unter Betriebsbedingungen zu testen. Die Testflüge sollen wichtige Erfahrungen über die Störanfälligkeit, den Temperatureinfluss und das Langzeitverhalten des SHM-Systems liefern. Dies soll helfen, das System weiter zu verbessern. In etwa einem Jahr soll das gesamte SHM-System in ein grösseres Flugzeug

zur Überwachung des Landefahrwerkes eingebaut werden.

### Ganze Tragflächen überwachen

Nicht nur Fahrwerke von Flugzeugen werden in nächster Zukunft mit einem SHM-System ausgerüstet. Auch grössere Strukturen, beispielsweise ganze Flugzeugtragflächen, sollen auf Schädigungen hin überwacht werden. Dafür wird derzeit ein Sensornetzwerk entwickelt, bestehend aus PE-Elementen und leistungsfähiger Elektronik. Durch geeignete Wahl der Sensorpositionen können über das Netzwerk Ort und Grösse der Schädigung festgestellt werden. Die nächsten Entwicklungsschritte sollen ermöglichen, auch die Art der Schädigung festzustellen. Weitere Anwendungsgebiete für eine permanente Strukturüberwachung finden sich in vielen Bereichen. So könnten bei Eisenbahnen oder Seilbahnen tragende Bauteile auf Risse und Korrosion überwacht werden. Aber auch Rohrleitungen liessen sich auf Dichtheit überprüfen. Und der moderne Leichtbau könnte durch die Verwendung einer permanenten Überwachung weiter verbessert werden. Bis ein SHM-System verbreitet eingesetzt werden kann, wird noch etwas Zeit vergehen. Die vorhandenen Forschungsergebnisse sind ein erster Schritt in die Richtung, Strukturen intelligenter zu machen. 

Christian Dürager, Empa, Abt. Mechanical Systems Engineering, [www.empa.ch](http://www.empa.ch)



Prüfingenieur beim Check des Fahrwerkes eines Segelflugzeuges. Durch die drahtlose Energieversorgung (Box) kann das Landefahrwerk im eingebauten Zustand überprüft werden (Fahrwerk ist im Rumpf eingezogen).