

AUTARK + VERNETZT

Sensoren versorgen sich selbst mit Strom



AUTARK + VERNETZT

Sensoren versorgen sich selbst mit Strom

Vor allem bei Start und Landung wirken auf ein Flugzeug große Kräfte. Daher wird es regelmäßig gewartet. Doch was ist mit versteckten Materialschäden wie winzigen Rissen oder Beulen? Gezielt angebrachte Sensoren können solche Veränderungen messen. Allerdings ist das nur sinnvoll, wenn die Energieversorgung drahtlos und ohne Batteriewechsel sichergestellt ist. Sensoren mit thermoelektrischen Batterien erfüllen diese Anforderung. Einmal platziert beziehen sie ihre Energie für alle Zeiten aus der Umgebung – schon wenige Grad Temperaturunterschied genügen.



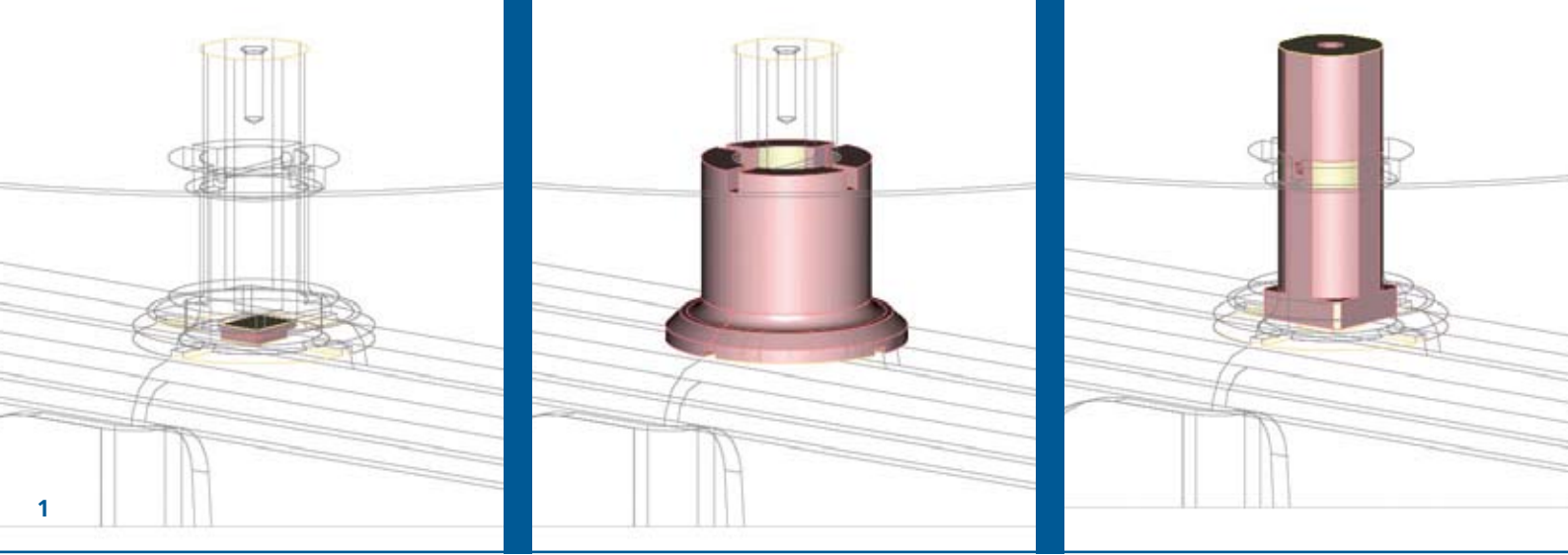
Es ist sehr aufwändig, Sensoren an einem Flugzeug (z. B. an Tragflächen, Leit- oder Fahrwerk) zu installieren. Energieautarke Sensornetzwerke hingegen sind flexibel einsetzbar. Die Sensoren werden einmal platziert und arbeiten von da an selbständig. Ihre Energie beziehen sie aus der Umgebung: Schon wenige Grad Temperaturunterschied genügen für den Betrieb.

(Quelle: Joachim Kreft / Fotolia, Christian Lampe)

An manchen Orten brauchen das menschliche Auge und Ohr Hilfe: Wie beispielsweise soll ein Mechaniker die Innenseite eines Flugzeugsrumpfs nach Defekten absuchen? Um die Wartung künftig zu vereinfachen, überwachen Sensoren die Flugzeughülle. Entdecken sie Beulen oder Risse, funken sie dies an eine Überwachungseinheit. Zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung entwickelt das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg Sensoren, die sich selbständig mit Strom versorgen: Die nötige Energie gewinnen sie aus dem Temperaturunterschied zwischen Umgebung und Innenraum. Weil die Sensoren dann ohne Batterien und Wartung auskommen, lassen sie sich an unzugänglichen Stellen fast beliebig lange einsetzen – in Flugzeugen, Hochhäusern, Kraftwerken, Windkraft- oder Chemieanlagen, zudem bei Gefahrgut-Transporten auf Straße, Schiene oder Schiff. Als Energielieferanten verwenden die Fraunhofer-Forscher thermoelektrische Generatoren und adaptieren sie so, dass sie effizient arbeiten. Die Energie der Thermogeneratoren reicht, um unterschiedliche Sensoren zu versorgen, sowie für eine Funkeinrichtung, die die Ergebnisse der Messungen an eine zentrale Einheit sendet.

Kabellose Überwachung des Flugzeugsrumpfs

Thermogeneratoren sind bekannt geworden als zuverlässige Stromversorger von Weltraumsonden und Satelliten. Thermoelektrische Uhren machten Ende der 1990er Jahre deutlich, dass schon die Differenz zwischen Körper- und Raumtemperatur prinzipiell ausreicht, um elektronische Geräte zu betreiben (siehe Infobox). Die Verwertung ansonsten verlorener Abwärme zur Stromerzeugung nennt man auch »Energy Harvesting«; im Automobil oder in Industrieprozessen wird diese Technik der Energierückgewinnung bereits eingesetzt. Im Projekt »AMETYST« (»Autarke flexible Monitoringseinheiten zur Überwachung technischer Systeme«) gehen die Entwickler einen Schritt weiter: Ihre Sensoren sollen sich selbständig mit Energie versorgen, im Netzwerk lokal miteinander kooperieren und Messwerte an eine zentrale Steuerung weitergeben. EADS Innovation Works leitet das Entwicklungskonsortium. Beteiligt sind neben Fraunhofer IPM auch die Universität des Saarlandes, die Fachhochschule Kempten sowie die Industriepartner Micropelt GmbH und AEMtec GmbH; das Verbundprojekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Micropelt ist 2006 aus einer achtjährigen Entwicklungskooperation von Fraunhofer IPM und Infineon hervorgegangen. Das Unternehmen entwi-



1

1 Konstruktionszeichnungen zur Entwicklung der thermoelektrischen Batterie im Projekt »AMETYST«.

ckelt, produziert und vertreibt miniaturisierte Thermogeneratoren und Peltier-Kühler. Die Forscher von Fraunhofer IPM kümmern sich im Projekt »AMETYST« aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung auf dem Gebiet der Thermoelektrik um die Energieversorgung der Sensoren. Um Kabel (und damit Gewicht) zu sparen – gerade im Flugzeugbau ein immenser Vorteil –, werden die Sensoren an der Innenseite des Flugzeugrumpfes in Form eines »Intelligenten Pflasters« aufgeklebt (Abb. 1). So können sie bereits während des Fluges Verschleiß-, Ermüdungs- und Korrosionserscheinungen unabhängig von Kabel, Batterien oder Akkus – also energieautark – wahrnehmen. Die dafür notwendige Energie wird aus dem Temperaturgradienten zwischen umgebender Atmosphäre mit etwa minus 20 bis minus 50 Grad Celsius und dem Cargo-Bereich mit circa plus 15 Grad Celsius oder der Passagierkabine mit etwa plus 20 Grad Celsius gewonnen. Die Güte der thermoelektrischen Schichten bestimmt wesentlich die Leistungsfähigkeit des Bauteils: Zielgrößen sind bei Temperaturdifferenzen von 25 °C elektrische Leistungen

größer 10 mW. Für einen entsprechenden Temperaturgradienten braucht man aber einen optimalen Wärmefluss: Wie koppelt man den thermoelektrischen Generator so an die warme und kalte Seite an, dass genügend Wärme durch ihn transportiert wird? Um dies zu testen, haben die Wissenschaftler eine Klimakammer eingerichtet, in der das Temperaturprofil des Flugzeugrumpfs nachempfunden ist. Erste optimierte Prototypen existieren bereits (Abb. 2). In etwa anderthalb Jahren soll ein Prototyp des gesamten Systems aus Sensor, thermoelektrischem Generator, Energiespeicher, Ladeelektronik und Funkmodul entwickelt sein – damit könnte das System in eine Serienfertigung gehen.

Infobox Was ist Thermoelektrik?

Strom in Wärme sowie Wärme in Strom verwandeln – die Thermoelektrik funktioniert in beide Richtungen. Bereits 1821 beobachtete Thomas J. Seebeck, dass eine Kompassnadel in der Nähe zweier miteinander verbundener metallischer Leiter abgelenkt wird, wenn an den Verbindungsstellen unterschiedliche Temperaturen vorherrschen. Der Grad der Ablenkung war dabei proportional zur Temperaturdifferenz. Grund für das Ausschlagen der Kompassnadel war ein elektrisches Feld, das offensichtlich durch das Temperaturgefälle an den Leitern entstanden war. Der von Seebeck beobachtete Effekt wurde in umgekehrter Richtung erstmals 1834 von Jean C. A. Peltier beschrieben: Legt man an die miteinander verbundenen Leiter einen Strom an, bildet sich an den Kontaktstellen ein Temperaturgefälle. Wärmeenergie wird von der einen zur anderen Verbindungsstelle transportiert; so entsteht der Kühleffekt. Die maximal mögliche Ausbeute der thermoelektrischen Umwandlung von Wärme in Energie wird physikalisch durch den Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses bestimmt. Moderne thermoelektrische Konverter bestehen aus einer großen Anzahl von Thermopaaren mit positiv und negativ dotierten thermoelektrischen Halbleitermaterialien. Die Verwertung ansonsten verlorener Abwärme zur Stromerzeugung wird auch »Energy Harvesting« genannt. Die Industrie nutzt Peltier-Kühler heute zur Kühlung von Autositzen oder zur Temperaturstabilisierung elektronischer Bauteile. Im Konsumgüterbereich sind Peltierkühler beispielsweise in Campingkühlboxen zu finden.

Stichwort »Intelligentes Powermanagement«

In Systemen mit variablen Umweltbedingungen kann die Funktionsweise einzelner Sensorknoten in einem Sensornetz neben der Energiespeicherung auch durch intelligentes Energiemanagement im Netz sichergestellt werden. Dabei ist das Design von energieeffizienten Datenübertragungs-Protokollen eine entscheidende Voraussetzung für die erfolgreiche Entwicklung eines autarken drahtlosen Sensornetzwerks. Ziel ist ein Sensornetz, das sich selbst versorgt und den Energiebedarf zugleich



2 *Klein und verlässlich, auch in rauer Umgebung: Die thermoelektrische Batterie von Fraunhofer IPM ist kleiner als eine Fünf-Cent-Münze und leichter als zehn Gramm. Die Verkapselung schützt gegen Korrosion.*

3 *Von außen unsichtbar: In der Flugzeughülle ist die Beanspruchung des Materials enorm. Ständige Kontrollen auf Verschleiß, Ermüdung und Korrosion sind unabdingbar. Aufgeklebte Sensoren funken ihre Messwerte auch während des Fluges an eine Überwachungseinheit.*

Bildquelle: Joachim Kreft / Fotolia

netzwerkweit abstimmt: Selbstorganisierend sollen Aufgaben und Rollen im Netzwerk entsprechend des Energieverbrauchs und des jeweils lokal zur Verfügung stehenden Energieertrags verteilt werden. Das System kann sich so dynamisch auf veränderliche Umgebungs- bzw. Einsatzbedingungen einstellen und optimal arbeiten – zuverlässig, leistungsstark und sehr, sehr lange.

Drahtlose Sensornetze sind preiswert, flexibel und sicher. Deswegen können sie in verschiedenen Szenarien zuverlässig eingesetzt werden. Von der Strukturüberwachung bei Flugzeugen oder Schiffsrümpfen ist es nur noch ein kleiner Schritt zu anderen Anwendungsfeldern, wo Batterien aufgrund ihrer begrenzten Lebensdauer keine optimale Lösung darstellen:

- **Produktion und Anlagentechnik:** Insbesondere bei Störungen an Anlagen oder Maschinen, bei der Inbetriebnahme oder bei Umstellungen ist die zusätzliche, verteilte Messwertaufnahme und -verarbeitung gefragt, um Fehler oder Probleme schneller erkennen und beheben zu können. Die Sensorik muss spontan aufgebaut werden können, unter Umständen aber über Monate und Jahre dort bleiben.
- **Überwachung von Bauwerken wie Brücken und Gebäuden sowie von Verkehrsmitteln wie Schiffen, Flugzeugen und Zügen:** Die Sensornetze müssen auf unterschiedliche Umgebungsbedingungen und somit unterschiedliches Energieangebot reagieren, das je nach Standort im Tages- oder Jahreslauf wechselt.
- **Logistik bei Nachverfolgung und Zustandsüberwachung von Gütern während des Transports, der oft Wochen und Monate dauert (das so genannte Tracing & Tracking):** Energieautarke Sensorknoten haben dabei den Vorteil, dass sie eine häufige Positionsberechnung zulassen, ohne die Lebensdauer zu reduzieren.

Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM Heidenhofstraße 8 79110 Freiburg www.ipm.fraunhofer.de



*Dr. Kilian Bartholomé
Abteilung Thermoelektrik und Integrierte Sensorsysteme
Telefon +49 761 8857-238
kilian.bartholome@ipm.fraunhofer.de*

Für eine Anwendung mit 10 mW Leistungsaufnahme würde man bei einer Laufzeit von einem Jahr und bei einer Energiedichte von 0,06 Wh/cm³ eine Lithium-Batterie mit einem Volumen von 285 cm³ benötigen; nach einem Jahr müsste sie gewechselt werden. Nur 0,6 cm³ benötigt eine thermoelektrische Batterie für die identische Leistungsaufnahme eines Jahres. Der Thermogenerator selbst ist mit einem Volumen von 0,01 cm³ klein und liefert bei einem Temperaturunterschied von 3 K eine Leistung von etwa 160 µW. Die Zahlen zeigen eindrucksvoll, dass der Einsatz autarker Energiequellen auch im so genannten Kleinleistungsbereich deutliche Vorteile bieten kann – wenn die Umgebungsbedingungen stimmen.

Ohne die Energie und den Einsatz von Kilian Bartholomé, Markus Bartel, Roland Binnerger, Dirk Ebling, Henning Schröder und Ina Schumacher wäre die thermoelektrische Batterie von Fraunhofer IPM nicht funktionsfähig.