

## Wärmeflussmessung am Modell der Raumfähre Hermes

### Einsatz der koaxialen Thermoelemente MCT

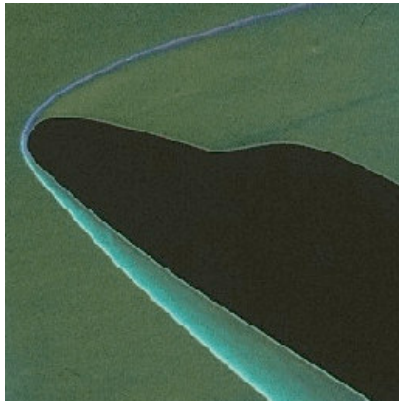
1985 hatten wir im Stoßwellenlabor der RWTH Aachen den Forschungsauftrag erhalten, die Aerodynamik und den Wärmeeintrag in das Modell der europäischen Raumfähre „Hermes“ während der Wiedereintrittsphase zu untersuchen. Dazu stand uns ein Hyperschall-Windkanal zur Verfügung, der maximal Mach 30 für etwa 20 Mikrosekunden ermöglichte. Das Modell hatte eine Länge von ca. 30 cm.



Neben einer Ausstattung mit zahlreichen Drucksensoren sollten vor allem auf der Unterseite und an kritischen Stellen wie der Rumpfnase und den Flügelvorderkanten Wärmeflussensoren eingepasst werden. Zwar konnte die Bestückung mit Drucksonden auf Basis der gerade von Müller und Platte entwickelten sehr hochfrequenten PVDF Sensoren, ein Vorläufer des heutigen Modells M60-3, sowie Sensoren von Kistler leicht gelöst werden. Jedoch hatten wir keine Lösung für Temperatursensoren, die in der Lage waren innerhalb des sehr kurzen Messfensters von 20 Mikrosekunden zuverlässig zu messen.

Die üblichen filigranen Thermoelemente waren einerseits nicht schnell genug und andererseits hätten sie keinen Versuch überstanden.

Unser Entwicklungsansatz mündete in einem sehr kleinen Dünnschichtthermometer, siehe unser MTFT, das mit einer sehr dünnen Schicht aus Nickel eine Anstiegszeit von immerhin 10 Mikrosekunden bei gleichzeitig hoher Temperaturauflösung erreicht. Da dieses Dünnschichtelement aber auch sehr empfindlich war, kann es nur an unkritischen Bereichen wie auf den Tragflügeloberseiten eingesetzt werden. Der Körper aus Keramik hat nur eine geringe Wärmeleitung, so dass während der kurzen Messzeit nicht die Gefahr besteht, dass sich auch das hintere Ende des Dünnschichtelements erwärmt. Somit kann zur Berechnung des Wärmeflusses in das Dünnschichtelement hinein die Gleichung für halb unendliche Körper Anwendung finden.



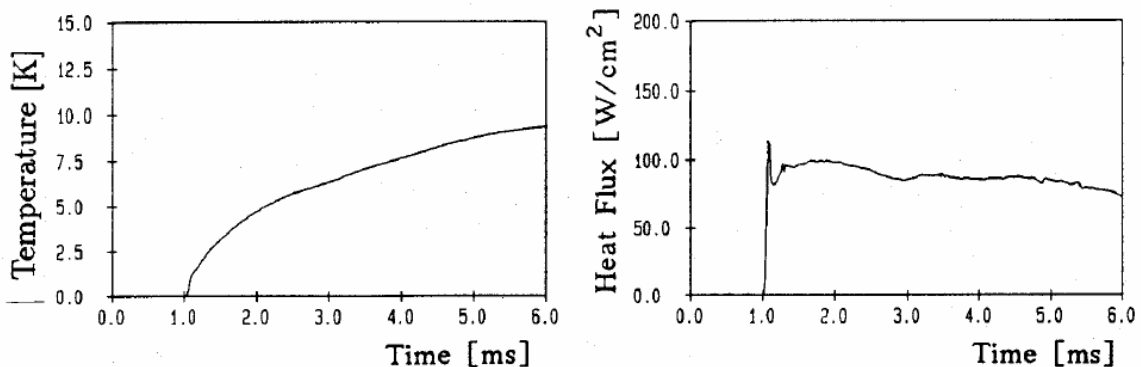
Noch fehlte eine Lösung für die kritischen Stellen sowie die Flügel- und Rumpfunterseite. Daher gingen wir zurück zu den Thermoelementen. Ziel war es, die Masse des Thermoelements zu minimieren bei gleichzeitiger Robustheit.

So bauten wir ein koaxiales Thermoelement. Die Metalle waren mit Keramikkleber gegeneinander isolierend verklebt. Durch Anschleifen der Frontseite mit Schmirgelpapier der Körnung 150 bis 240 drückten sich die feinen Metallspäne in den Isolator und bildeten eine nahezu massenlose Brücke. Die Ansprechzeit lag bei 3 Mikrosekunden. Dieser Ansatz

hatte zudem den großen Vorteil, dass das Thermoelement jede Form annehmen und so nahtlos in die Oberfläche von z.B. Flügelnasen eingeschliffen werden konnte. Mit seiner Robustheit auch in kritischen Positionen konnte es Problemlos Mach 30 bei ca. 3000°C zu überstehen. Das MCT Thermoelement ist nahezu unzerstörbar. Wird der Widerstand zwischen den beiden Polen nach dem Test zu groß, weil die Späne korrodiert sind, muss der Sensor nur nachgeschliffen werden bis der Widerstand zwischen den Polen wieder bei etwa 30 Ohm liegt.

Die MCT Thermoelemente wurden zudem ausreichend lang ausgelegt, so dass sich während der Messung das hintere Ende des Thermoelements nicht sofort erwärmt. Dies dauert unter den obigen Bedingungen ca. 40 ms. Somit konnte aus den dynamischen Oberflächen-Temperaturveränderungen während der Messung, die bei ca. 60°C lagen, wieder über die Gleichung halb unendlicher Körper der Wärmefluss in das Modell berechnet werden. Maximalwerte bei diesen Tests lagen bei 20 MW/cm<sup>2</sup>.

Heute werden diese Thermoelemente nach wie vor für Versuche dieser und ähnlicher Art eingesetzt. Ihr Anwendungsspektrum umfasst alle Kurzzeitanwendungen, seien es Hyperschallversuche, Explosionstests oder andere Kurzzeitmessungen eines Einzelereignisses. Solange die Messung, je nach Temperatur nicht länger als ca. 100 ms dauert, können immer aus den Oberflächen-Temperaturverteilung auch der Wärmefluss als Funktion der Zeit ermittelt werden.



Hierzu empfehlen wir dringend die Verwendung unseres „Heat Flux Calculator“ Programms HFC, das sowohl die Umwandlung der Sensorsignale in Temperaturen wie aber auch Wärmeströme berechnet.