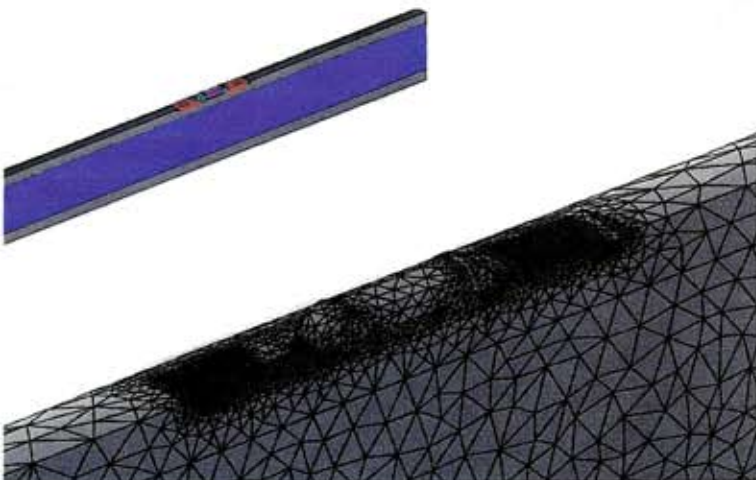


Digitale Modellierung von Rohrsensoren demonstriert die Wärmeentwicklung

Heiße Quellen entdecken

Wie warm ist das Wasser in einem Rohr? Um diese Frage zu beantworten, kann ein Ingenieur entweder ein reales Modell erstellen oder eines am Bildschirm entwerfen. Der Vorteil einer 3D-Simulation: Einsatzbedingungen und andere Parameter lassen sich per Mausklick beliebig verändern und Geschwindigkeiten sowie Leistung leicht ermitteln.



Der Pt100 bestimmt präzise die Temperatur der Flüssigkeit im Rohrsensor

Temperatursensoren finden sich in den unterschiedlichsten Bereichen: von der Automobil- und Elektrotechnik über die Haushaltsgeräte- und Heizungsbranche bis hin zur Medizintechnik. Seit einigen Jahren konzentriert sich Heraeus Sensor Technology auf die Herstellung von Dünnschichtwiderständen, die von den Kunden zu Systemen wie Thermometern, Ölgütesensoren und Massenflussmessern weiterverarbeitet werden. Die Anforderungen an die Systeme werden durch die physikalischen Einsatzbedin-

gungen, die elektrischen und mechanischen Randbedingungen, aber auch durch gesetzliche Vorgaben und technische Normung bestimmt.

Häufig ergibt sich die Frage, ob man bereits mit einem Standardelement wie etwa einem PT100 in bedrahteter oder SMD-Bauform eine bestimmte Anforderung erfüllen kann, oder ob hierfür eine spezielle Lösung erforderlich ist. Moderne Simulationsprogramme auf der Basis der Finite-Elemente-Methode helfen bei der Entscheidung. Dagegen ist der Einsatz von Finite-Elemente-Methoden für die Entwicklung von Platintemperatursensoren bei Heraeus noch recht neu. In den 90er Jahren ließ man bereits bei einzelnen Projekten Berechnungen extern durchführen, doch die Anschaffung eines eigenen FEM-Programms datiert ins Jahr 2001. Die Entscheidung fiel auf das damals junge Produkt der Firma Comsol.

Mehrgitterverfahren für diffizile Modelle

Anfangs wurde das Programm für die Bestimmung des elektrischen Widerstandes der Platinleiterbahnen eingesetzt – in Form von einfachen, zweidimensionalen Modellen. Inzwischen sind die Anwendungen sehr vielfältig geworden und reichen bis zur Lösung von schwierigen, dreidimensionalen Strömungsproblemen mit mehreren Millionen Unbekannten. Hier kommen moderne Mehrgitterverfahren zum Einsatz.

Die einfache Bedienung und klare Strukturierung der Benutzeroberfläche von Comsol Multiphysics hilft sowohl Einsteigern als auch Fortgeschrittenen. Unterschiedliche thermische, elektrische, chemische und strömungsmechanische Aspekte der Anwendung können mit einem einzigen Softwarepaket simuliert werden. Viele Schwierigkeiten, die sonst erst bei der realen Anwendung auftreten, können bereits im Vorfeld am Rechner erkannt werden.

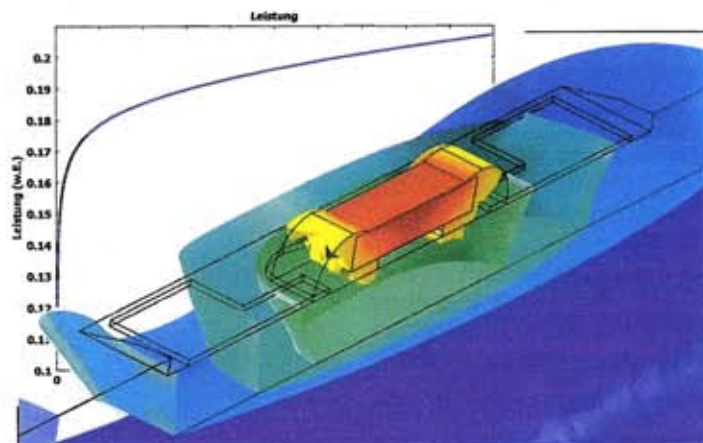
Die Modellierung der Sensoren erfolgt in fünf Schritten: Festlegung der Geometrie, Zuweisung der physikalischen Eigenschaften, Erzeugung des FEM-Netzes, Lösung des Modells sowie Visualisierung und Auswertung der Ergebnisse. Ein Beispiel: Ein Ingenieur will die

Temperatur einer Flüssigkeit in einem Rohr durch einen außen an der Rohrwand angebrachten Temperatursensor messen. Anstatt einen Prototypen zu entwickeln und die thermischen Eigenschaften mehr oder weniger mühevoll anhand von Versuchen zu bestimmen, kann er ein solches System komplett im Rechner simulieren.

Der Rohrsensor soll einfach aufgebaut sein – daher wird oben auf einem Keramikrohr (7 mm Innendurchmesser, 70 mm Länge) ein Platinmesswiderstand vom Typ SMD1206 – Pt100 auf zwei Kupferanschlüsse aufgelötet. Die geometrischen Daten können entweder von einem CAD-Programm übernommen oder mit dem in Comsol Multiphysics integrierten CAD-Werkzeug erstellt werden.

Der Platinwiderstand kann an eine analoge Schaltung angeschlossen werden, die aus dem Simulationsprogramm „Spice“ als Netlist importiert wird. Der nächste Schritt ist die Zuweisung der Materialeigenschaften mit Hilfe der Materialbibliothek: Die Materialkonstanten von Aluminiumoxyd, Weichlot und Kupfer sind bereits enthalten. Auch die wichtigsten temperaturabhängigen Eigenschaften wie etwa die Dichte von Wasser oder Luft sind als Funktionen hinterlegt. Die Bibliothek ist durch den Benutzer problemlos erweiterbar.

Der integrierte Netzgenerator er-



Bei hochohmigen Sensoren spielt die Eigenerwärmung keine Rolle; bei niederohmigen wird der Sensor zum Heizer (rot) und dient dann zur Massenflussmessung (blaue Kurve)

EXKLUSIV IN KEM



Der Autor
Thomas Loose ist
Projektleiter der
Heraeus Sensor
Technology und
zuständig für die
Entwicklung neuer
Platinsensoren

zeugt standardmäßig ein Tetraedernetz, das die feine Struktur der Anschlüsse sehr gut wiedergibt. Es bietet sich an, das Modell zuerst für den Fall einer langsamen und gleichmäßigen, stationären Strömung zu lösen. Wie erwartet, stimmen Wasser- und Sensortemperatur gut überein, sofern eine ausreichende thermische Isolation zur Umgebung vorhanden ist.

Rohr wird zum Durchlauferhitzer

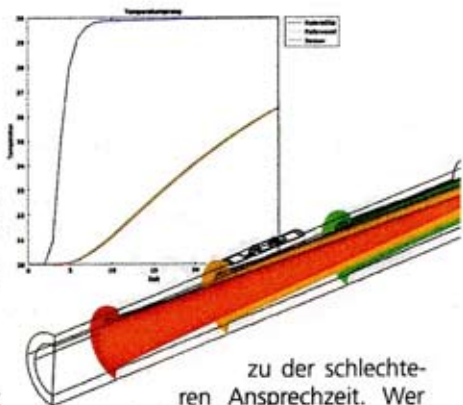
Danach kann man die Einsatzbedingungen systematisch bis zu Werten verändern, die in der Praxis ohne Zerstörung der Bauteile nicht realisiert werden können. So hängt die Selbsterwärmung des Sensors vom Messstrom ab. Bei sehr hohen elektrischen Strömen würde der Sensor zum Heizer werden. Das Rohr wäre ein Durchlauferhitzer. In der Visualisierung leuchtet der

SMD-Chip hellrot auf. Umgekehrt kann man auch eine maximal zulässige Selbsterwärmung in Grad Celsius vorgeben und ermitteln, welche elektrische Verlustleistung noch zulässig ist. Durch die Eingabe der Strömungsgeschwindigkeit als freien Parameter wird der enge Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und elektrischer Leistung deutlich. Der Messstrom muss so gewählt werden, dass auch bei ruhender Flüssigkeit eine genaue Messung gewährleistet ist. Der optimale Wert hängt vom Gesamtsystem, bestehend aus SMD-Chip, Rohr und Flüssigkeit ab und ist im Allgemeinen nicht mit der Angabe im Datenblatt des SMD-Chips identisch. In der numerischen Simulation kann der Einfluss der Systemkomponenten getrennt aufgezeigt werden.

Kritisch ist auch das zeitliche Ansprechverhalten eines Sensors. Die zeitabhängige Lösung ergibt für den Rohrsensor bei kleinen Strö-

mungsgeschwindigkeiten über 20 s. Dieser Wert liegt weit über den Angaben im Datenblatt. Auch die Verwendung eines schnelleren Chips oder eines Rohres mit kleinerer Wandstärke schafft keine Abhilfe. Die Visualisierung der Isothermen mit Comsol Multiphysics bringt Klarheit. Bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten liegt eine laminare Strömung mit einem parabolischen Geschwindigkeitsprofil vor. Der Platinchip gibt korrekt die Temperatur der Randschicht an, doch ist die Temperatur in der Mitte der Strömung bereits viel höher. Das Wasser selbst isoliert und führt

Bei laminarer Strömung erwärmt sich zuerst die Flüssigkeitsmitte (rote Isotherme). Der Sensor misst die Temperatur der noch kalten Randschicht



zu der schlechteren Ansprechzeit. Wer schneller messen will, muss entweder den Chip in der Mitte der Strömung platzieren oder die Strömung in Richtung Chip umlenken. Ob bei einer konkreten Anwendung die Messung an der Rohrwand noch ausreicht, kann bereits anhand des Modells beurteilt werden.

www.kem.de

Online-Info

Comsol Multiphysics	KEM 449
Rohrsensoren	KEM 450
Materialbibliothek	KEM 451