

Analyse von Strömungen im Kleinen

Wo Messen unmöglich ist...

Dr. Axel Müller

Mit Blick auf die immer fortschreitende Miniaturisierung von Bauteilen, die entscheidende Bestandteile von High-End-Produkten sind, wird deutlich, dass gerade die Zuliefererfirmen ihre Erzeugnisse mit Hilfe modernster Werkzeuge optimieren sollten, um der Fortschrittlichkeit der Endprodukte zu entsprechen. Dabei spielt die Strömungssimulation gerade im Bereich des Hightech im Kleinen, bei dem die Physik weder einsehbar noch messbar ist, eine entscheidende Rolle, um Schwachstellen exakt zu ermitteln, die Produkte zielgerichtet zu optimieren und die Anzahl der Prototypen zu verringern.

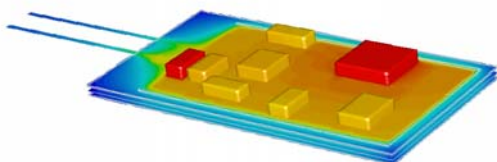


Bild 1 Temperaturspitzen nach längerer Betriebszeit in einer Schicht der Leiterplatte

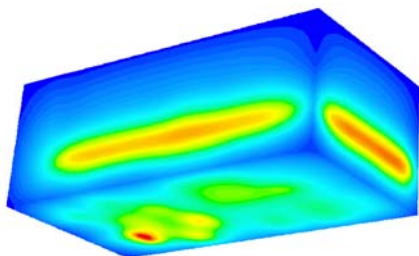


Bild 2 Temperaturverteilung an der Außenfläche des Gehäuses

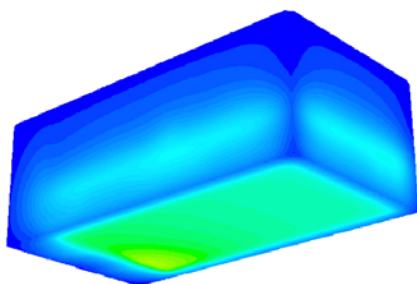


Bild 3 Verbesserte Temperaturverteilung nach der Optimierung

Wenn in den Medien von Strömungssimulation die Rede ist, findet man meistens High-End-Beispiele, wie Anwendungen in der Flugzeugindustrie oder neueste Einsätze in der Formel 1 und beim Schwimmen oder Radfahren, wo mitunter eine Tausendstel Sekunde zum Olympiasieg reicht. Die genannten Beispiele sind enorm wichtig, zeigen sie doch sowohl das Potential wie auch die Reife, die CFD (Computational Fluid Dynamics) inzwischen erreicht hat. Andererseits bestehen High-End-Produkte aus einer enormen Vielzahl von Systemkomponenten bis hin zu miniaturisierten Bauteilen. Bei genauerem Hinschauen ist es meistens gerade dieses Hightech im Kleinen, was den sichtbaren Erfolg im Großen erst möglich macht. Deshalb ist es wichtig, dass gerade auch die Zuliefererfirmen ihre Produkte mit Hilfe modernster Werkzeuge optimieren.

Spitzentechnologie im Miniaturbereich

Wie jeder Sportler muss sich auch jede Technologie immer mit der Spitze des bislang Möglichen messen und zielgerichtete Schritte, die zum bestmöglichen Ergebnis führen, unternehmen. Jedoch sind für die Planung dieser zielgerichteten Schritte genaueste Kenntnisse über die Physiologie des Sportlers oder im Fall der Mikrosysteme über die physikalischen Vorgänge im Systeminnern nötig. Nun ist es bei der Konstruktion und Optimierung von sehr kleinen Systemen praktisch nicht möglich, die physikalischen Vorgänge durch

Messungen zu erfassen, da die zu untersuchenden Objekte kleiner sind als die verfügbaren Messinstrumente selbst. Die einzige Möglichkeit, das physikalische Verhalten auf diesen Skalen zu untersuchen, ist die Simulation. Der große Nutzen der Simulation liegt darin, dass sie ein ganzheitliches Bild des Ablaufes im Systeminnern anstatt nur punktueller Daten liefert. Zudem werden die Vorgänge selbst nicht beeinflusst - was durch ein Messinstrument bei Strömungen fast immer unvermeidlich ist. Randbedingungen und Parameter können einfach variiert werden, wodurch sich verschiedene Optimierungsideen zeit- und kostengünstig ausprobieren lassen.

Ohne Know-How geht es nicht

Für eine gute Strömungssimulation ist eine ausgereifte CFD-Software erforderlich. Der schlüssige und effiziente Einsatz der Simulation kann jedoch nach wie vor nur durch fundiertes physikalisches Verständnis und Erfahrung garantiert werden. Das Freiburger Ingenieurbüro Dr. Axel Müller – HTCO ist mit mehr als zwanzigjähriger Erfahrung auf Simulation, insbesondere im Bereich der Strömungs- und Wärmeverteilung, spezialisiert. Dabei konnte es schon Firmen aus den verschiedensten Branchen von der Großanlage bis hin zum Mikrochip behilflich sein, die Strömungen in ihren Produkten zu verstehen und in ihrem Sinne zu optimieren.

Zwei konkrete Projekte aus dem Bereich der nicht messbaren Kleinsysteme, die allerdings

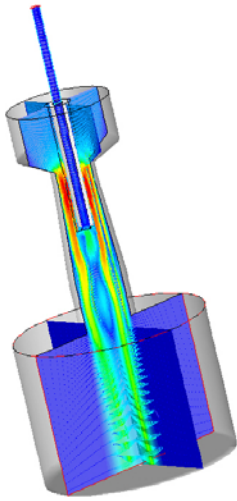


Bild 4 Zwei Schnittebenen durch das 3D-Modell der Düse zeigen die Geschwindigkeitsverteilung

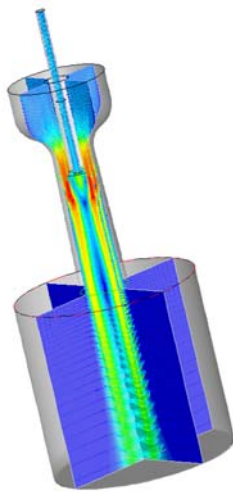


Bild 5 Zwei Schnittebenen durch das 3D-Modell der Düse nach der Optimierung

entscheidende Bestandteile von High-End-Produkten sind, werden hier exemplarisch aufgezeigt: Zum eine Untersuchung der Wärmeverteilung und Konvektionsströmung in einem Mikroschalter-Gehäuse mit Multilayer-Leiterplatte und elektronischen Bauteilen, zum anderen die Optimierung einer Mikroinjektionsdüse hinsichtlich ihrer Strömungseigenschaften.

Wohin mit der Wärme?

Beim ersten Projekt sollte untersucht werden, wie sich die Wärmeverteilung innerhalb einer Multilayer-Leiterplatte eines Mikroschalters verhält und welche Strömungen in ihrem Gehäuse auftreten. Der Mikroschalter hatte in der Vergangenheit oft Probleme mit punktuell zu hohen Temperaturen der Leiterplatte, was dann zum Schmelzen des Gehäuses an

manchen Stellen führte. Da es bei diesen Abmessungen (2 x 1 x 1 Zentimeter) nicht möglich war, die Temperaturverteilung im Inneren des Gehäuses zu erfassen – mit Messgeräten wäre ohnehin keine Verteilungsanalyse über den kompletten Innenbereich möglich gewesen - wurde ein Simulationsmodell erstellt. Die Bilder 1 und 2 zeigen die Temperaturspitzen in einer der Schichten der Leiterplatte und an der Außenfläche des Gehäuses.

Mit Hilfe der Simulation konnte genau ermittelt werden, und zwar bei unterschiedlichen Außenbedingungen, an welchen Stellen und unter welchen Bedingungen es dort zu Problemen kommt. Im zweiten Schritt wurden dann per Simulation verschiedene Lösungsansätze virtuell „erprobt“, ohne das aufwendige Testreihen nötig waren. Somit konnte durch geschicktes Kontaktieren der Leiterplatte mit dem Außengehäuse das Schmelzproblem behoben werden und das Gehäuse weist nun eine deutlich verbesserte Temperaturverteilung auf (Bild 3). Sowohl die exakte Schwachstellenermittlung als auch die zielgerichtete Optimierung von Wärmeverteilung und Strömung war nur mittels eines Simulationsmodells möglich.

Reinigende Wirkung

Während im ersten Beispiel die Problematik eher in einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung lag, stellte sich beim folgenden Projekt das Problem der Flüssigkeitsströmung in einer Mikrodüse, die sehr häufig und scheinbar unerklärlicherweise verstopfte. Bild 4 zeigt das Simulationsmodell der Düse (Länge: 3 Millimeter). Durch den erzeugten Unterdruck des Treibgases wird die Flüssigkeit aus dem Zentralrohr (Durchmesser 0,2 Millimeter) angesaugt und anschließend zerstäubt. Das Simulationsmodell zeigt auch, dass sich die Strömung im Bereich des Diffusors geringfügig ablöst, wodurch sich Partikel an der Wand anlagern und zunehmend zu einer Verstopfung der Düse führen.

Auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse konnte letztendlich eine Düsenform entworfen werden, bei der dieser Strömungseffekt nicht auftritt, was die Verstopfung der Düse verhindert wird. Wie Bild 5 zeigt, konnte dies durch eine Abrundung des Einlaufbereiches und Abflachung des Diffusors erreicht werden. Neben der Beseitigung der Wirbel, ließ sich

gleichzeitig auch die Verteilung des Druckes optimieren. So gelang es mittels Simulation, neue Erkenntnisse über die Problemursache der Verstopfung zu gewinnen und durch mehrere virtuell erprobte Variationen die effektivste Form für die Düse zu ermitteln.

Weniger Prototypen, höhere Qualität

Somit ist die Strömungssimulation, insbesondere im Mikrobereich, wo die Physik oft weder einsehbar noch messbar ist, sehr vorteilhaft, nicht nur, um vorhandene Produkte zielgerichtet zu optimieren, sondern auch, um schon bei der Produktentwicklung die Anzahl der Prototypen und somit die der Testreihen zu verringern. Für Spitzenprodukte müssen die Produkte der Zulieferer den gleichen Qualitätsanforderungen gerecht werden wie das Endprodukt selbst, und deshalb ist es besonders wichtig, dass auch Produkte im Mikrobereich mit den neuesten Technologien optimiert werden

Denn wie auch im Sport, wo die sichtbare Spitzenleistung letztendlich nur durch optimales Zusammenspiel verschiedener körperlichen Fähigkeiten möglich ist, ist ein Hightech-Endprodukt maßgeblich von der Optimierung seiner kleinsten Elemente abhängig.

Dr. Axel Müller – HTCO

Strömungssimulation –
Strömungsphysik

Portfolio:

- Auftragsberechnungen und Beratung in numerischer Simulation (CFD)
- Entwicklung von Strategien und Einsatzkonzepten für Simulationstechnologien in mittelständischen Unternehmen
- Entwurf von Konzepten zur Produktoptimierung bei strömungsrelevanten Problemen
- Durchführung von CFD-Workshops

Kontakt:

Rabenkopfstraße 4, 79102 Freiburg
Tel.: (+49) 0761- 4098883
Fax: (+49) 0761- 4098881
E-Mail: info@cf-d-fem.com
www.cfd-fem.com

Aktuelle Veranstaltungen:

http://www.cfd-fem.de/spektrum_veranstaltungen.html

Publikationen als PDF zum Download:

http://www.cfd-fem.com/spektrum_publikationen.html