

Wärmemanagement in elektronischen Geräten und Systemen

Aufgaben, Anforderungen und Behandlung während des Entwicklungsprozesses

Die Marktanforderungen an die Produktentwicklung hinsichtlich Entwicklungszeit und -kosten erfordern einen optimalen Produktentstehungsprozess mit aufeinander abgestimmten Teilprozessen. Die numerische Simulation ermöglicht eine entwicklungsbegleitende Unterstützung über den gesamten Produktentstehungsprozess. Für die thermische Systemauslegung kommen neben analytischen Methoden zunehmend moderne CFD-Tools zur Anwendung. Die optimale Einbindung des Wärmemanagements in den Designprozess ist die Voraussetzung für eine erfolgreiche Produktentwicklung.

Hohe Packungsdichte und um ein Vielfaches gesteigerte Taktfrequenzen – etwa bei PCs mit Pentium-Prozessoren – machen eine effektive Wärmeabfuhr zu einem Muss. Bei Notebooks oder Laptops liegen die Anforderungen an das Wärmemanagement noch höher, da neben den thermischen Aspekten noch Einschränkungen bei Einbauraum und Energieversorgung zu berücksichtigen sind. Für diesen Anwendungsfall mussten spezielle Prozessoren mit reduzierter Verlustleistung entwickelt werden. Wo aus Platzgründen (Bauhöhe) kein Kühlkörper mehr direkt auf den Prozessor gesetzt werden kann, wird die Verlustwärme mit Hilfe von ‚Heatpipes‘ an den separat platzierten Kühlkörper geleitet. Im Akku-Betrieb wird die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Rechner softwaregesteuert herabgesetzt, um bei reduziertem Lüfterbetrieb den Ener-

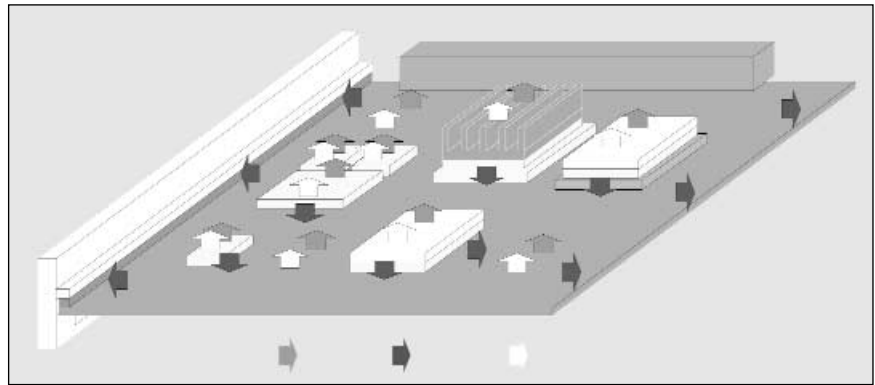


Abb. 1: Wärmeströme einer bestückten Leiterplatte

gieverbrauch des Gerätes zu senken. Aufgrund der Kundenforderungen hinsichtlich Größe und Gewicht sowie Preis, wird die Kühlung des System immer anspruchsvoller. Daraus resultiert wiederum ein steigender Aufwand für die thermische Auslegung des Systems und eine stärkere Gewichtung des Wärmemanagements während der Produktentwicklung.

Dieser Trend setzt sich bis heute über alle Prozessoren fort. Ein Erfahrungswert besagt, dass sich alle 18 Monate die Leistungsfähigkeit von elektronischen Geräten und Systemen verdoppelt (Moore's Law). Die Lüfter und Kühlkörper werden immer größer und leistungsfähiger, oft kommen zwei oder drei Lüfter zum Einsatz, denn die konvektive Wärmeabfuhr erfordert einen entsprechenden Kühlluftstrom durch die Kühlkörper.

Der PC ist heutzutage ein Gegenstand des täglichen Gebrauchs und man ist doch überrascht, welche Hürden man überwinden muss, um ein optimales Produkt auf den Markt zu bringen. Optimal bedeutet in diesem Zusammenhang ein optimiertes Produkt oder der gerade noch vertretbare wirtschaftliche Kompromiss zwischen Aufwand und erzielbarem finanziellen Erfolg. Dieser erfordert minimierte Entwicklungszeiten bei Einhaltung der geforderten Qualität, und das zu möglichst niedrigen Herstell- und Entwicklungskosten. Nun muss man sich die Frage stellen, wie unter all diesen einschränkenden Randbedingungen noch ein zuverlässiges und günstiges Produkt entwickelt werden kann. Die Antwort liegt in einer optimalen Gestal-

tung des Entwicklungsprozesses unter konsequenter und zielgerichteter Ausnutzung aller verfügbaren Hilfsmittel.

Wärmemanagement – Aufgaben und Anforderungen

Bei der Erstellung eines Kühlkonzeptes für ein System oder Gerät sind sowohl die wärme- und strömungstechnischen als auch die akustischen Zusammenhänge zu beachten:

- ▶ die Lärmentwicklung durch Lüfter und Kühlluftstrom ist proportional der Lüfterdrehzahl und der Strömungsgeschwindigkeit der Kühlluft
- ▶ der Druckverlust im Kühlkörper steigt quadratisch mit der Strömungsgeschwindigkeit
- ▶ die Wärmeabfuhr ist proportional zur Strömungsgeschwindigkeit; hierbei sind die komplexen physikalischen Zusammenhänge beim Wärmeübergang von festen zu gasförmigen Körpern zu beachten

Für die thermische Auslegung bedeuten diese Einflussfaktoren, dass das Kühlsystem entsprechend großflächig dimensioniert werden muss, um einen ausreichend kleinen thermischen Widerstand zwischen der Kühlkörperoberfläche und der Kühlluft zu erzielen und um die auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten auf ein vertretbares Niveau abzusenken. Das Wärmemanagement erstreckt sich aber bei einem PC nicht nur auf den Prozes-

Autoren

Dipl.-Ing. WERNER TANZ ist im Labor, 'Environmental Engineering' zuständig für das Wärmemanagement von Systemen.

Dipl.-Ing. UDO ALT ist Laborleiter im Labor 'Environmental Engineering' verantwortlich für Umweltsimulation von Telekommunikationsgestellen Siemens AG Institute for Quality Engineering and Testing, Bereich Information and Communication Networks; Hofmannstrasse 51, D-81374 München
Fon: 089/722-26105, Fax: 089/722-25326
e-Mail: udo.alt@icn.siemens.de

sor, sondern auch auf das Gehäuse, die Grafikkarte, Festplatten und die Stromversorgung sowie sonstige Teile (Filter und Lüftungsöffnungen, Elemente zur Kühlluftführung) im System. Im Designprozess müssen darüber hinaus noch die Einflüsse durch Nutzung, wie die Verschmutzung von Kühlkörpern oder Lochblechen, und selbstverständlich auch die temperaturabhängige Lebensdauer der elektronischen Bauteile sowie eine ausreichende elektromagnetische Abschirmung berücksichtigt werden.

Einbindung in den Entwicklungsprozess

Das Wärmemanagement ist als ein Teilaspekt des gesamten Entwicklungsprozesses zu betrachten und muss von der Angebotsphase bis zur Endqualifikation des Produktes konsequent, und immer im Zusammenhang mit den anderen Prozessschritten, betrieben werden. Die meisten Fehler bzw. Änderungsschleifen im Designprozess entstehen dadurch, dass nicht ständig alle Einflussfaktoren und deren gegenseitige Wechselwirkungen berücksichtigt werden. Es macht keinen Sinn aus Gründen der besseren Kühlluftführung ein Lochblech zu entfernen, ohne gleichzeitig die Auswirkungen auf die Schirmdämpfung zu berücksichtigen. Das Gleiche gilt umgekehrt, denn eine im Querschnitt reduzierte Kühlluftöffnung bewirkt eine verbesserte Schirmdämpfung, allerdings wird verschlechtert sich dadurch meist die Systemkühlung. Wird diese verbessert, bedingt das häufig höhere Schallemissionen des gesamten Systems.

Das Problem eines für alle Anforderungen optimalen Produktdesigns liegt in diesen sehr unterschiedlichen Einflussfaktoren und deren Wechselwirkungen. Zudem werden die jeweiligen Aufgabengebiete oft in verschiedenen Organisationseinheiten bearbeitet, die jeweils auf einem Spezialgebiet (z. B. Akustik, EMV, Entwärmung) tätig sind. Deshalb muss der ideale Entwicklungsablauf straff und klar gegliedert sein mit eindeutigen Kompetenz- und Verantwortungsbereichen, deren Informationsfluss untereinander durch eine fachübergreifende Kommunikation sicherzustellen ist.

Wird die Qualität des thermischen Designs nur durch Messungen (vorwiegend werden in der Praxis Temperaturmessungen durchgeführt, Strömungsmessungen erfordern einen größeren Aufwand) verifiziert, dann ist man an eine serielle Prozessfolge gebunden (vgl. Abb. 2), da für die Messungen mindestens Prototypen zur Verfügung stehen müssen. Sind auf Grund dieser Messungen Nachbesserungen an der Systemkühlung

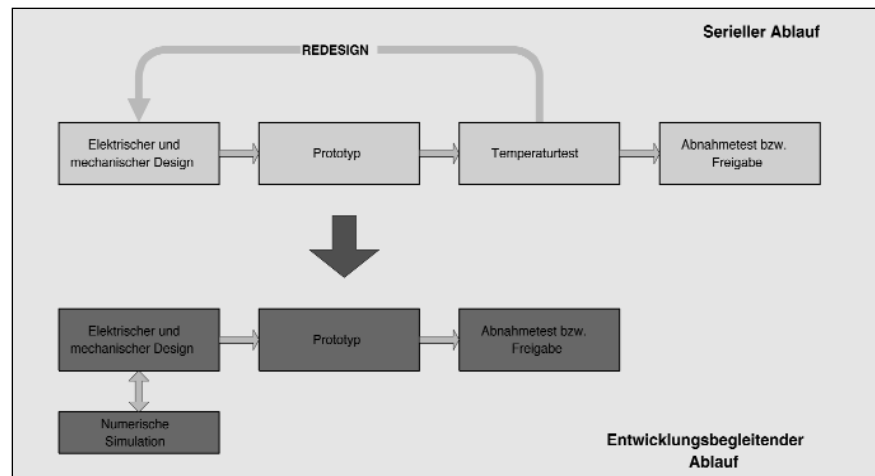


Abb. 2: Simulationstools im Produktentstehungsprozess

notwendig, werden Änderungsschleifen im mechanischen, und eventuell auch im elektrischen, Design erforderlich. Diese Schleifen im Designprozess verursachen einen hohen Kosten- und Zeitaufwand, der letztendlich den Markterfolg des Produktes gefährden kann.

Hier bietet die numerische Strömungs- und Wärmesimulation einen erheblichen Vorteil, da durch ihren Einsatz Aussagen zum thermischen Verhalten eines Systems entwicklungsbegleitend gemacht werden können. Variantenstudien sind parallel zur mechanischen Systementwicklung notwendig. Dadurch werden Änderungsschleifen, wie oben beschrieben, reduziert oder können im Idealfall sogar entfallen. Gegenüber einer Messung, die auf Grund der begrenzten Anzahl an Messstellen das Systemverhalten nur an vorher bestimmten Punkten ermitteln kann, liefert eine Simulation eine Fülle an Informationen an jeder Position des Gesamtsystems, jeweils abhängig vom lokalen Detaillierungsgrad des Berechnungsmodells.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Einsatz numerischer Simulationsmethoden eine parallele mechanische, elektrische und thermische Systemauslegung ermöglicht, wie in Abb. 2 dargestellt. Diese Prozessführung ist gekennzeichnet durch einen größeren Aufwand für Design vor dem ersten Prototypenbau und, im Idealfall, der Vermeidung von Redesign-Schleifen.

Im entwicklungsbegleitenden Entwurfprozess wird das elektrische und mechanische Design zunehmend durch den Einsatz numerischer Simulationstools unterstützt. Dabei kann ohne Hardware die Systemcharakteristik am Rechner untersucht, analysiert und entsprechende Änderungen vorab ‚getestet‘ werden. Langwierige Untersuchungen am Prototyp oder Labormuster entfallen oder werden deutlich reduziert. Gerade Temperaturmessungen sind sehr zeitaufwendig, da

meist komplexe Strömungsverhältnisse zu analysieren sind und die kritischen Punkte im System nicht vorher bekannt sind. Messfehler und physikalische Effekte wie Grenzschichten, Totzonen und Bypassströmungen erschweren die Analyse und Interpretation der Messergebnisse oft zusätzlich. Ein großes Problem ist die korrekte Ermittlung der tatsächlich auftretenden Verlustleistung, die auch, je nach Taktzyklen, zeitabhängig sein kann. Die Summe der Einflussfaktoren einer einzelnen Messung und die Aufbereitung der Ergebnisse ist oft sehr schwierig und zeitaufwendig, weshalb die Untersuchungen oft aus Kosten- und Zeitgründen vorzeitig beendet werden.

CFD – numerische Strömungssimulationsprogramme

Im Bereich des thermischen Designs können heute moderne ‚CFD-Tools‘ (Computational Fluid Dynamics: numerische Strömungssimulationsprogramme) einen erheblichen Beitrag leisten, um die Fehlleistungskosten während des Entwicklungsprozesses zu reduzieren. Die Ergebnisse einer Simulation sind von der Informationsfülle der Messung eindeutig überlegen. Die Genauigkeit der Simulation liegt der gleichen Größenordnung wie bei der Messung. Natürlich tritt immer die Frage auf „Wie genau sind denn die Temperaturen?“, oder „Ist das denn alles richtig, ich glaube nur einer Messung?“. Hierzu sollte man beachten, dass die Softwareprogramme anhand von bekanntenpraktischen Beispielen getestet und überprüft werden. Damit ist sichergestellt, dass ihr numerischer Kern einwandfrei funktioniert. Natürlich kommt es aber beim direkten Vergleich zwischen der Messung und dem numerischen Simulationsergebnis oft zu Abweichungen. Diese resultieren meist aus unterschiedlichen Randbedingungen zwischen Berechnung und der

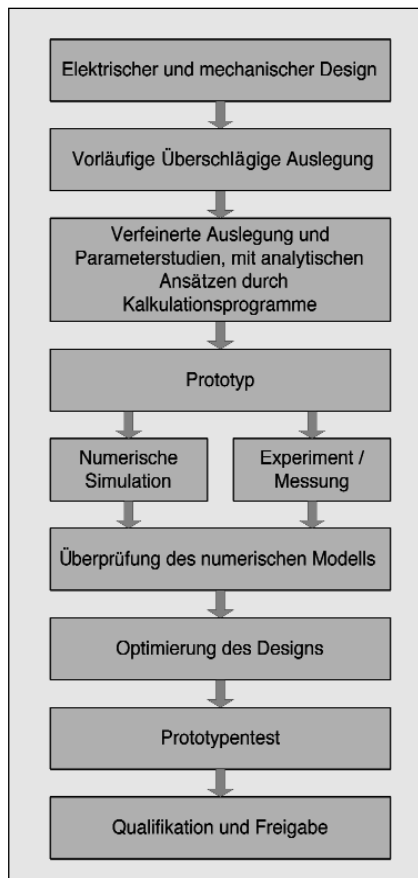


Abb. 3: Wärmemanagement im Entwicklungsprozess

Messung, wie z. B. der Umgebungstemperatur, unterschiedlichen Materialien, Sonneneinstrahlung auf den Prüfling während der Messung, Fluideigenschaften, Kühllufttemperatur oder auch einem Berechnungsmodell mit nicht ausreichendem Detaillierungsgrad. Diese Diskrepanzen zwischen den Mess- und Berechnungsergebnissen lassen sich in den meisten Fällen nach der genauen Überprüfung dieser Faktoren klären.

Mit hohem Aufwand kann jederzeit ein absolut genaues Berechnungsergebnis erzielt werden, dies ist aber aus Zeitgründen fast nie möglich. Der Berechnungsingenieur ist daher immer angehalten Kompromisse einzugehen. Die Simulationsmodelle müssen einfach, klein und handlich aber trotzdem mit einer

ausreichenden Genauigkeit generiert werden. Oft reichen die qualitativen Ergebnisse von Simulation für die vergleichende Bewertung verschiedener Konzepte aus; relativ hohe Abweichungen zwischen Messung und Berechnung bei den Absoluttemperaturen sind dann unkritisch (z. B. Vergleich von verschiedenen Kühlkörperkonfigurationen). Damit ist man schon in der Lage, die Varianten auch mit anderen Einflussfaktoren (Akustik, EMV, Kosten, etc.) zu bewerten und die entsprechenden Entscheidungen treffen.

Beispielhafte Struktur des thermischen Designs innerhalb einer Produktentwicklung

Schon zu Beginn einer Produktentwicklung sollten die Spezialisten aller beteiligten Fachgebiete wie EMV, Kühlung, Mechanik, Akustik mit in den Entscheidungsprozess eingebunden werden. Denn bereits in der Angebotsphase muss in einem Entwurf, der die wesentlichen Einflussfaktoren berücksichtigt, die technische Lösbarkeit der Aufgabenstellung überprüft werden. Meistens genügen in diesem Stadium einfache Überschlagsrechnungen und qualitative Bewertungen, um die Erfolgsaussichten eines Entwurfs abschätzen zu können.

Im nächsten Schritt werden ausgewählte Entwürfe detaillierter ausgearbeitet und untersucht. In dieser Phase kommen schon recht aufwendige analytische Modelle, etwa zur Bestimmung der maximalen Wärmeabfuhr einer Leiterplatte in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit der Kühlluft oder ihrem Volumenstrom, zum Einsatz. Entsprechende Spreadsheet-Programme, z. B. für die Vorauslegung eines Rippenkühlkörpers, können im Internet kostenlos genutzt werden. Der Einsatz eines CFD-Tools für diese Aufgaben wäre unnötig zeit- und kostenintensiver.

Mit diesen Informationen kann der Aufbau eines numerischen Simulationsmodells zur Berechnung der Luftströmungen und Temperaturen im System beginnen. Dieses numerische Modell ermöglicht es erstmals das Systemverhalten des späteren Produktes

zu berechnen. Es ist in engem Kontakt mit der Mechanikentwicklung zu generieren, um sicherzustellen, dass alle strömungs- und wärmerlevanten geometrischen Details aktuell ins Modell einfließen.

Im nächsten Schritt wird das Modell verfeinert und gleichzeitig ein Labormuster für die messtechnische Überprüfung aufgebaut. Nun wird das weitere Vorgehen auf zwei Säulen gestellt. Experimentelle Messungen an einem Prototyp oder separaten Messaufbauten, die das Produkt partiell nachbilden, unterstützen das numerische Modell. Damit können wesentliche Systemparameter des Simulationsmodells wie Druckverluste, Volumenströme oder Temperaturen verifiziert werden. Dieses abgesicherte Modell kann jetzt für die weitere Optimierung des konstruktiven Entwurfs und Variantenstudien verwendet werden. In speziellen Simulationsläufen kann die Erfüllung der gestellten Anforderungen überprüft oder es kann die Einsatzmöglichkeit kostengünstigere Bauteile numerisch untersucht werden. In dieser Entwicklungsphase können dann sehr schnell erhebliche Einsparpotentiale erzielt und Fehlentwicklungen frühzeitig erkannt und vermieden werden.

Die Produktentwicklung schließt dann mit der Erprobung des Prototyps ab. Hierbei wird das Gesamtverhalten des Gerätes oder Systems unter verschiedenen, vorher definierten Lastfällen getestet. Damit wird die Funktionstüchtigkeit des Produktes unter realen Umgebungsbedingungen wie hohe Temperaturen, Luftfeuchte, mechanischen Vibrationen oder Schocks überprüft. Wegen der vielen Einflussfaktoren kann eine alleinige Anwendung von numerischen Verfahren diese abschließende Qualitätskontrolle nicht ersetzen.

TEST

Literatur

[1] www.cooling-zone.com

www.publish-industry.net

more @ click TK3A0302

LESERTIPP

? Wo können tagesaktuelle News der Elektronik gelesen werden ?

www.publish-industry.net/ELEKTRONIK

Messen • Prüfen • Verifizieren

publish industry
TECHNIK KOMMUNIZIEREN

Gollierstraße 23 · D-80339 München · Fon. +49/89/500383-0 · Fax. +49/89/500383-10 · info@publish-industry.net · www.publish-industry.net