

„Der digitale Zwilling – Von den Anfängen bis heute“

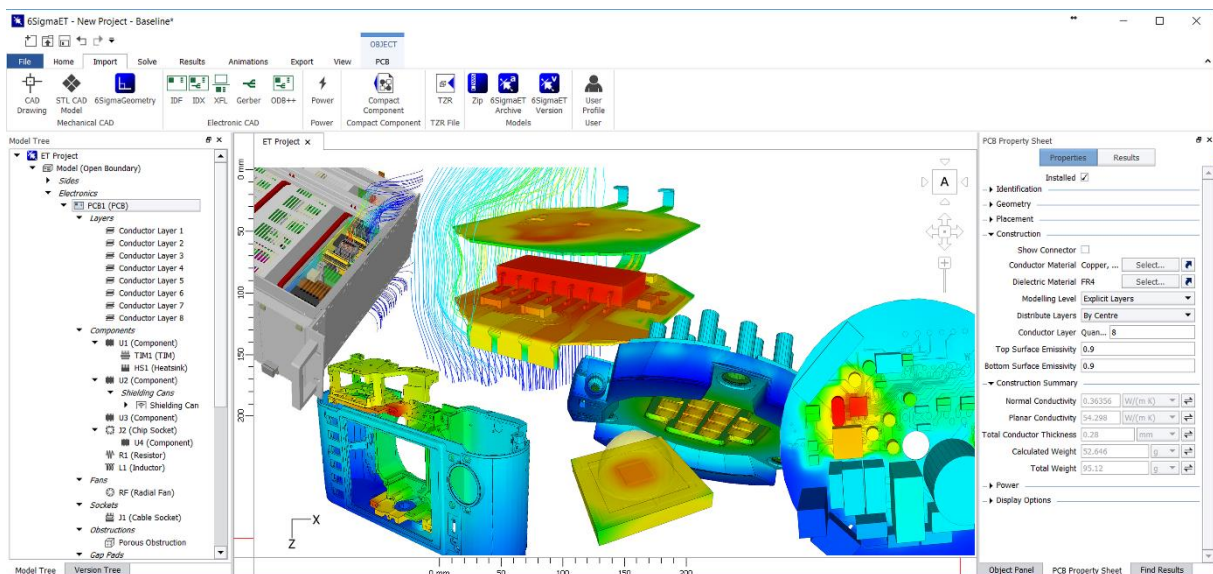


Bild: 3D CFD Simulationssoftware 6SigmaET

Tobias Best, Geschäftsführer der ALPHA-Numerics GmbH, über die oft erlebten Irrtümer zum thermischen Design von Elektroniksystemen.

Vor ca. 35 Jahren hielt nach und nach der digitale Zwilling Einzug in die Entwicklungsabteilungen. Dieser Artikel soll im Allgemeinen die Möglichkeiten, aber auch die Fallstricke beleuchten, welche diese Technologie dem Entwicklungsweg eines Produktes bietet. Im Speziellen werden, aufgrund des Backgrounds des Autors, konkrete Beispiele aus dem Bereich der thermischen Simulation angeführt.

Der digitale Zwilling, was ist er heute und was verstand man vor 30 Jahren darunter. Geht man von den vorherigen Konstruktionswerkzeugen aus, gab es zuallererst am Reibrett eine Zeichnung. Mit der Einführung von computerunterstützten Konstruktionsprogrammen (CAD) wurde erst in 2D, dann in 3D der digitale Zwilling geboren.

Dieser war anfangs ziemlich dumm. Bestand er doch nur aus bemaßten Linien und Flächen, welche sich zu Körper zusammensetzten. Zum Startzeitpunkt gab es in diesen Konstruktionsprogrammen noch keine physikalischen Beschreibungen der Bauteile, welche es erlaubten auch virtuell diesen digitalen Zwilling zum Leben zu erwecken, d.h. simulativ in seiner Funktion vorab zu prüfen.

Das Feld der Simulation war zu dieser Zeit noch das Hoheitsgebiet von Universitäten, welche auf komplexen Algorithmen Prinzip-Studien zu Einzelfunktionen und nicht Gerätestudien durchführten.

Doch mit der Einführung leistungsstarker Unix-Workstations und parallel von Windows basierten PCs, wurde die Einführung professioneller 3D Konstruktionsprogramme effizient und bezahlbar.

So, wie die Leistungsperformance der Workstations und PCs über die Jahre rasant gewachsen ist, so konnte man sich analog anschauen, wie der digitale Zwilling smarter und smarter wurde.

Mehr und mehr Information über die physikalischen Eigenschaften der Einzelobjekte in der Gerätebaugruppe wurden dem digitalen Zwilling zugewiesen, um diesen nun auch virtuell zu beleben und zu prüfen.

Klarer Vorteil war schon früher wie auch heute, dass gewisse Abschätzungen zu seinem Verhalten in der Simulation frühzeitig durchgeführt werden können. Dieses Vorgehen erspart in der frühen Entwicklungsphase den kostenintensiven und zeitraubenden Prototypenbau, sowie lange Messreihen, welche auch nur punktuelle Aussagen liefern.

Eine Simulation durch den digitalen Zwilling ermöglicht eine detaillierte Analyse, wenn nötig bis in die molekulare Struktur hinein. Man kann nicht nur die Funktion eines Gerätes prüfen, sondern auch die Ursache „für“ das Funktionieren oder Ausfallen erkennen. Ja, die Simulation ist nicht immer dafür da, um Ihnen zu zeigen wie schlecht ihr Prototyp gewesen wäre und was sie alles falsch gemacht haben. Die Simulation bietet noch einen weiteren großen Vorteil, welcher unter dem heutigen Wettbewerbsdruck mindestens genauso an Wichtigkeit gewinnt. Die Simulationsergebnisse zeigen Ihnen auch, ob die Funktion des Gerätes gewährleistet wäre, wenn Sie an manchen Stellen noch Material sparen würden, einen kleinen Lüfter einbauen würden, es auch ein günstiges Kunststoffgehäuse sein dürfte oder die teuren Elektronikkomponenten mehr Leistung und somit mehr Wärme vertragen könnten.

Doch was war der Entwicklungsweg des digitalen Zwilling zum Beispiel in Bezug auf die thermische Simulation von Elektronikgeräten.

Einzug in die Elektronikindustrie hielt diese Simulationstechnik (CFD – Computational Fluid Dynamics) Ende der 80er Jahre. Die Software wurde noch auf wenigen Disketten ausgeliefert und war nur lauffähig auf Unix-Systemen, da PCs zu dieser Zeit noch nicht die entsprechende Leistungsklasse erreicht hatten. Erst mit Windows NT war das erste vorzeigbare Windows-Betriebssystem geboren, welches auch das passende Maß an Performance für solche Simulation bieten konnte.

Doch reden wir hier nicht von detaillierter Simulation, wie wir es heute gewohnt sind. Das Simulationsmodell wurde noch aus Plattenobjekten zusammengesetzt, welche durch Koordinateneingabe und nicht durch das bequeme Nutzen einer Maus erstellt wurden. An einen Import aus der CAD-Welt war hier noch nicht zu denken! Platinen waren ein einzelnes Plattenelement mit einer verteilten Gesamtverlustleistung, eingebaut in eine rechteckige Schachtel als Gehäuse oder Rack. Ein paar Luftleitbleche konnten noch als 2D-Objekte eingefügt werden. Der Lüfter war zu diesem Zeitpunkt eine Fläche mit festem, gerade ausströmendem Volumenstrom (d.h. der eigentlich noch unbekannte Arbeitspunkt des Lüfters musste als Eingabewert vorausgesagt werden).

Das Ergebnis solch einer recht groben Simulation half frühzeitig die Leistungsfähigkeit der Gerätekonstruktion zu prüfen. In diesem Falle, wieviel Verlustleistung bei diesem konstruktiven Aufbau aus diesem Gerät abgeführt werden konnte. Zu optimieren waren die Größen und Positionen der Luftöffnungen und der Volumenstromquelle sowie die PCB-Anordnung im Gerät. Mit solchen Simulationsmöglichkeiten konnte man Anfang/Mitte der 90er Jahre noch jeden Interessenten in den Bann schlagen!

Mit wachsender Rechnerperformance und besser werdenden Betriebssystemen wurde auch die Simulation mit mehr und mehr Details „gefüttert“. An Layout-Import von Platinen war Ende der 90er zwar noch nicht zu denken, aber der CAD-Import war auf einmal in aller Munde. Speziell hier in

Deutschland war man durch die Automobilindustrie getrieben, komplexe Gehäuseformen und Geräteaufbauten aus dem CAD als Basis für die Simulation zu übernehmen.

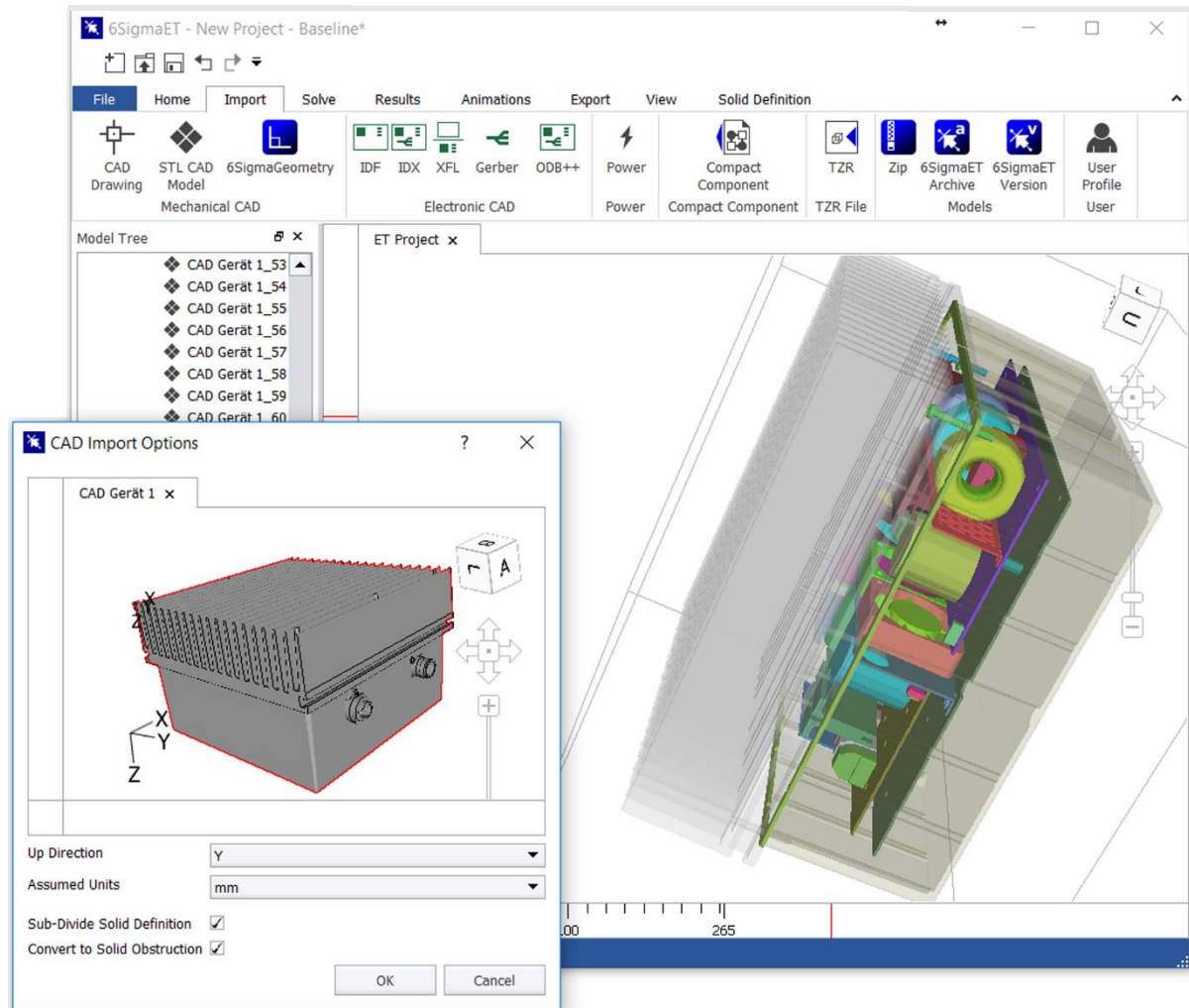


Bild: CAD-Datenübernahme ohne Vereinfachung der Geometrie

Bis heute wird der CAD-Import bei den CFD-Softwareanbietern noch sehr unterschiedlich unterstützt. Manche versuchen die CFD-Welt direkt in das CAD-Werkzeug zu integrieren und leiden in Ihrem Simulationsmodellen an den komplexen Stolpersteinen eines CAD-Systems. Manche benötigen eine unglaubliche Vorarbeit um das CAD-Modell zu vereinfachen und somit importier- und simulierbar für das CFD-Tool zu machen. Und wieder andere können mit den sehr komplexen CAD-Baugruppen direkt in Ihrem Simulationstool umgehen, benötigen aber für diese Datenbewältigung auch dementsprechende Rechnerperformance – man spart viel Ingenieurszeit, muss diese Einsparung aber durch große Rechner wett machen. Bei den Letzten siegt der Vorteil, dass die Rechnerperformance noch immer von Jahr zu Jahr steigt und sich trotzdem im Vergleich zu den Ingenieurskosten in einem bezahlbaren Rahmen bewegt.

Ein guter Leistungs-PC mit 128 GB RAM, 4 GB Grafikkarte und 16 Core Doppel-CPU ist schon ab 5.000 € zu erwerben. Mit 6SigmaET als Beispiels-CFD-Programm wären hiermit Projekte von bis zu 160 mio. Knotenpunkte in den eingeschwungenen Zustand zu berechnen, und dies in überschaubaren Zeiten (ca. 5 – 8 mio. Zellen / Stunde, je nach physikalischer Komplexität).

Zurückkommend auf die Zeit von Windows 2000 und dem Einzug des CAD-Importes, wurde nun die Übernahme von Leiterplatinendaten in den Fokus gerückt. Es wurde nun möglich, IDF-Daten zu importieren. Diese beinhalten die Geometrie der PCB, die grobe Umrissgeometrie der Komponenten und die Position thermisch durchgehender Vias (Bohrgröße und 100% Kupfergefüllt) sowie bei richtiger Datenpflege, die Verlustleistung und den thermischen Widerstand der Komponenten. Die Anzahl der Lagen, die Lagendicke und Position sowie die Abschätzung der Kupferabdeckung pro Lage in % mussten von Hand nachgepflegt werden.

Gerberdaten brachten später noch die Anzahl der Signallagen und das Layout pro Signallage ins Modell. Doch noch immer musste die Signallagendicke, die Lagen-Position sowie auch Mikro-Vias von Hand nachgepflegt werden.

Mit dem Einzug verschiedener neuer Datenformate wie z.B. dem ODB++ kann nun eine komplette Platine mit allen Details per Knopfdruck in ein Simulationstool wie 6SigmaET importiert und in vollem Umfang für die Simulation genutzt werden. Erleichterung bringen allerdings automatische Filter, welche Kleinstkomponenten (welche für die thermische Simulation ohne Leistung irrelevant sind) anhand der Größe herausfiltern können. Auch kann das komplexe Layout mit seinen tausenden Leiterbahnen per Knopfdruck in eine Bildbeschreibung umgewandelt werden, welche durch ein einfaches Raster eine wesentlich performantere Simulation erlaubt.



Bild: Detail-Import von PCB-Layoutdaten

Neben der wachsenden Detaillierung der Simulationsmodelle (CAD und Platinen Details) wurde der digitale Zwilling aber auch durch ein umfangreicheres Repertoire an Material- und Umgebungsbeschreibungen aufgewertet. So ist es heutzutage möglich, jeglichen Lüfter mit seiner Lüfterkennlinie zu integrieren und abhängig vom herrschenden Umgebungsdruck (z.B. 2000 m ü Null) den richtigen Arbeitspunkt berechnen lassen.

Die Simulationen können transiente Vorgänge abbilden. Zum Beispiel kann der Lüfter durch einen Temperatursensor gesteuert werden, die Komponenten Ihre Verlustleistung tackten, der Strom die Leiterbahnen aufheizen sowie eine Anströmung aus der Umgebung variieren.

Aktuelle CFD-Tools bieten auch erweiterte Modellbeschreibungen wie temperaturabhängige Verlustleistungen, temperaturabhängige Materialwerte, Sonneneinstrahlung als zusätzliche Last für Outdoor-Geräte (z.B. Telekom, Wehrtechnik oder Automobilindustrie) und vieles mehr.

Der Zwilling ist durch den wachsenden Detailgrad in seiner Beschreibung fast schon realistisch geworden.

Das „fast“ soll in diesem Falle die Fallstrike ansprechen. Eine Simulation ist nur so gut wie die physikalisch richtige Beschreibung des Simulationsmodells. Die Qualität der richtigen Beschreibung steht und fällt mit 2 Faktoren. Zum einen die Vernetzung. Das Thema der Vernetzung ist so umfangreich und komplex, dass diese einen eigenen Artikel füllen würde. Doch in Kürze lässt sich der Punkt wie folgt erläutern.

Das Netz ist nichts anderes, als die mathematische Übersetzung Ihres Gerätes für die CFD Simulation. Der Solver muss für die Lösung all der mathematischen Formeln wissen, wo an welcher Stelle im virtuellen Simulationsraum ein Körper ist, wo seine Flächen an einen anderen Feststoff oder an ein Fluid grenzen und welches Material der Körper hat. Das Netz schneidet den Simulationsraum in viele kleine Zellen, welche durch X,Y,Z-Koordinaten Auskunft geben können, wo eine spezielle Zelle steht und mit welchem Material oder Fluid sie gefüllt ist. Dies ergibt ein digitales Bild Ihres Gerätes für den Solver, welcher dann bei virtuellem Betrieb das Energiegleichgewicht für den eingeschwungenen Zustand berechnet. Das Netz beschreibt durch feinere und gröbere Regionen, unterschiedliche Detailgrade von Flächenabgrenzungen und löst zudem Luftregionen unterschiedlich fein auf. Die Qualität dieser Vernetzung hat sehr starken Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse. Hier sind zum Beispiel folgende Fallstrike zu beachten:

- Sind Fluidregionen großer Turbulenz gut aufgelöst
- Sind große Gradienten in der Strömungsgeschwindigkeit oder dem Druck gut aufgelöst
- Sind zu erwartende große Gradienten der Wärmeflüsse fein genug aufgelöst
- Wie geht das Netz mit dünnen Luftspalten um oder mit Körperkollisionen

Der 2. Faktor, welcher die Qualität Ihrer Ergebnisse stark beeinflusst, ist die realistische Beschreibung Ihres Modells. Klar kann am Anfang einer Entwicklungskette noch nicht zu jedem Detail eine klare Aussage gemacht werden. Diese Simulationen in der Konzeptphase helfen bei typischen Entscheidungen in der Vorentwicklung. Mit einer Toleranz von +- 10K kann man gute von schlechten Kühlkonzepten unterscheiden und auch schon die richtigen Weichen stellen.

Je mehr Details in das Modell Einzug halten, desto kleiner wird die Toleranz der simulierten Ergebnisse zu den später gemessenen Temperaturen am Prototypen. Die Simulation wird nie den Prototypen ganz ersetzen. Aber der erste Prototyp sollte aus thermischer Sicht keine Überraschungen mehr aufzeigen und die erarbeiteten Simulationsdaten bestätigen, sodass an dieser Stelle keine Re-Designs mehr nötig sind. Doch kann das Simulationsmodell nie die Toleranzen und Unplanbarkeit wiedergeben, welche durch die Montage und evtl. Materialtoleranzen zustande kommen könnten - diese zeigt erst der Prototyp auf. Deswegen sind sehr gute Simulationsmodelle immer noch mit einer Toleranz zur Messung von 1-3K zu bewerten. Nicht zu vergessen dass auch Messungen Toleranzen haben.