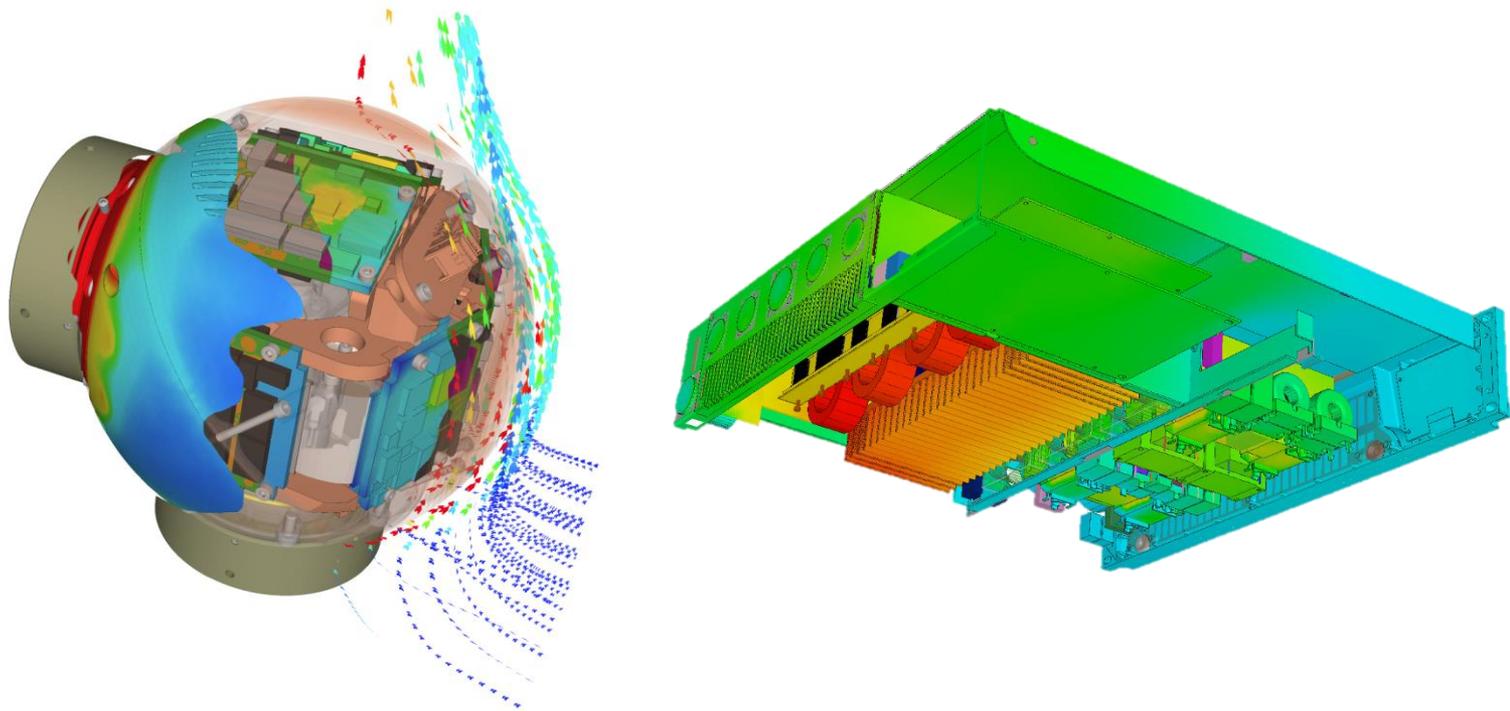
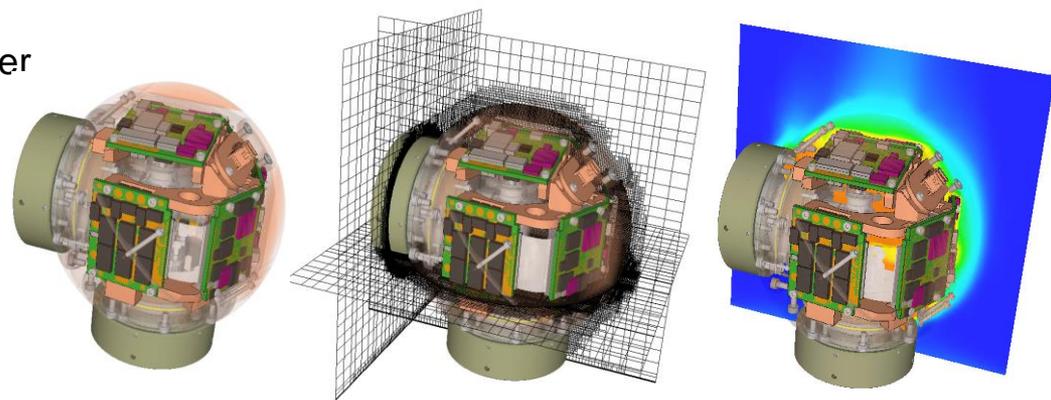


Anforderungen an ein akkurates CFD-Simulationsmodell für Elektroniksysteme



Um ein Elektroniksystem, sei es eine Baugruppe oder ein komplettes Gerät, in einer CFD-Software akkurat in seiner thermischen Charakteristik abbilden und thermische Vorhersagen zutreffend berechnen zu können, müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

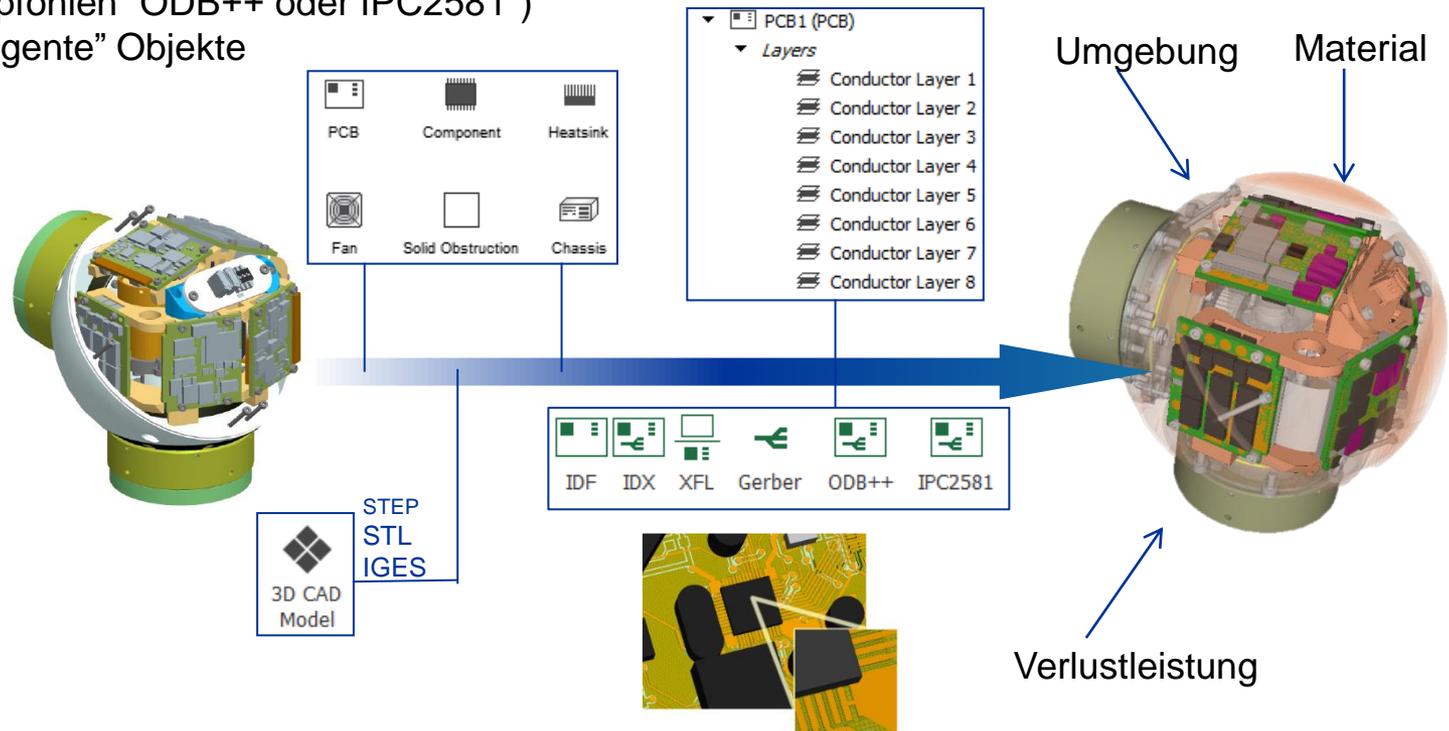
- Einbindung exakter physikalischer Objektabbildungen
 - Importmöglichkeiten aus der Konstruktion (CAD-Design) und Hardware (PCB-Design)
 - Möglichkeiten und Wissen um physikalische Ersatzmodelle zu erstellen
- Diskretisierung des Modells für den Solver
 - Leistungsfähiger Vernetzer
 - Physikalisch passender CFD-Solver
- Ergebnisauswertung
 - Verfügbare Daten
 - Exportmöglichkeiten
 - Reporterstellung



Einbindung exakter physikalischer Objektabbildungen

Folgende Möglichkeiten helfen in einem CFD-Tool sehr schnell und effizient Simulationsmodelle zu erstellen:

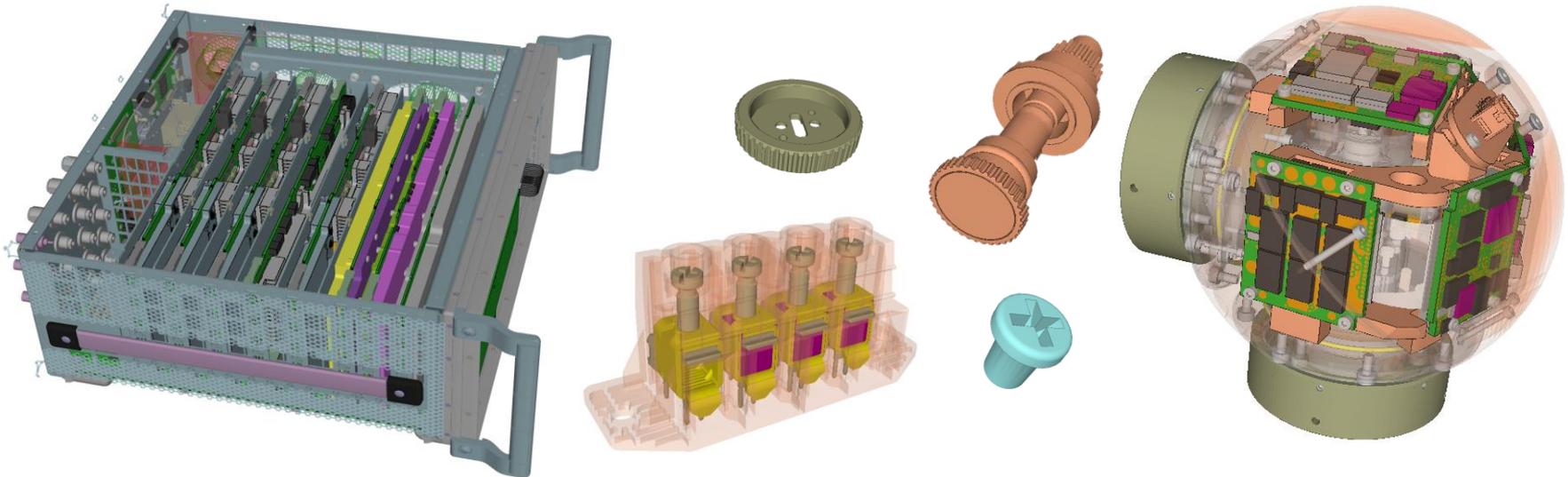
- CAD-Import (empfohlen "Step")
- PCB-Import (empfohlen "ODB++ oder IPC2581")
- Integrierte "intelligente" Objekte
- Datenbanken
 - Material
 - Lüfter
 - Etc.



Einbindung exakter physikalischer Objektabbildungen

Der CAD-Import sollte eine Erleichterung sein, und nicht eine “zusätzliche, umfangreiche” Arbeitsaufgabe. Man ist nur effizient, wenn man durch den Import viel Zeit einspart und durch die umfangreichen Details auch viele Aspekte in der Simulation berücksichtigen kann.

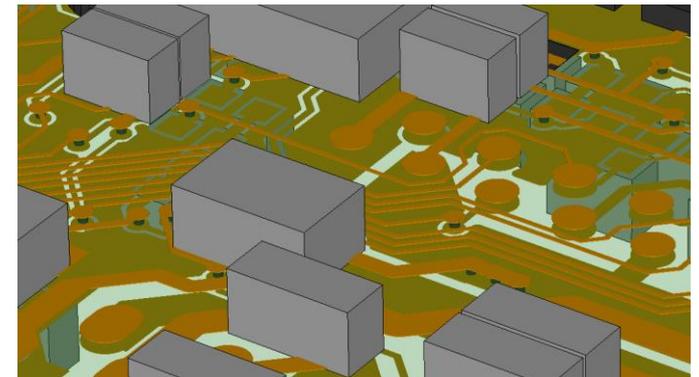
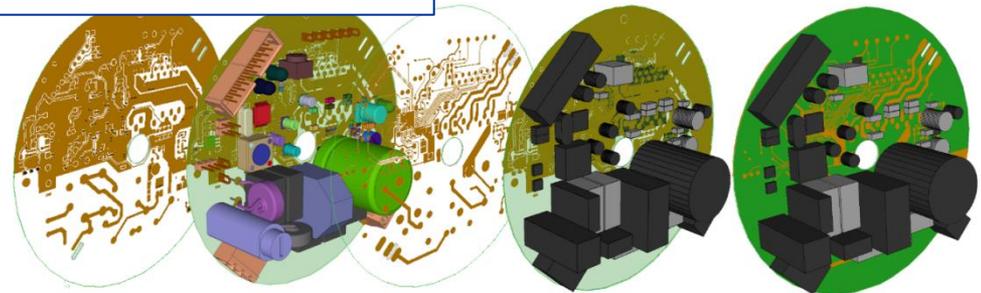
Eine Zusatzarbeit durch stunden- und tagelanges Vereinfachen der CAD-Daten, um diese in der Simulation verwenden zu können, sollten durch ein gutes CFD-Tool vermieden werden. Nur so kann in einem vertretbaren Zeitrahmen ein akkurates Simulationsmodell erstellt werden. Schrauben, Federn, Kabel und sonstige Details können durch eine gute Übersetzung (Vernetzungstechnologie) für den Solver zielführend im Simulationsmodell belassen werden.



Einbindung exakter physikalischer Objektabbildungen

Der PCB-Import sollte alle wichtige Details zur Verfügung stellen, welche für die thermische Simulation notwendig sind:

- PCB-Geometrie
- Signallagen
 - Lagendicke und Lagenposition
 - Layout
 - Thermische Vias
 - through
 - bored
 - filled, plated
 - Komponenten
 - Außenmaße
 - Position



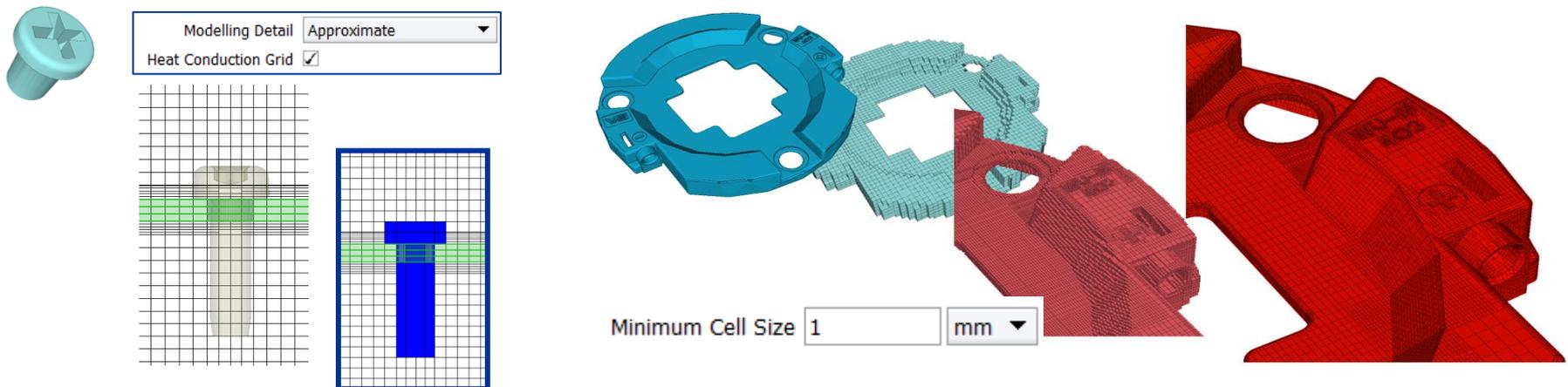
Es erleichtert die Arbeit, wenn man im Importmenü schon für die thermische Analyse unbedeutende Komponenten nach Größe oder Verlustleistung filtern kann.

Einbindung exakter physikalischer Objektabbildungen

Durch den Datenimport werden meist sehr detaillierte Objektbeschreibungen importiert. Diese Masse an Details würde ein effizientes, schnelles Berechnen der Wärmewege behindern.

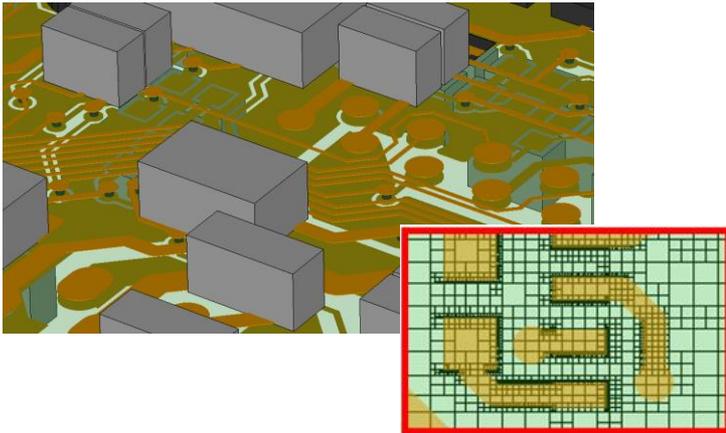
Zwar kann ein Tool wie 6SigmaET mit seiner Solverparallelisierung (Multicore) und dem zugelassenen Grid von bis zu 700 Mio. Zellen sehr viele Details berücksichtigen, doch kann man die thermische Charakteristik von Bauteilen durch “intelligente Objekte” sehr Netz- und Berechnungseffizient beschreiben.

Z.B. kann detaillierte, komplexe CAD-Geometrie durch eine intelligente Netzsteuerung für die Aufgabenstellung sehr einfach aber akkurat genug übersetzt werden.

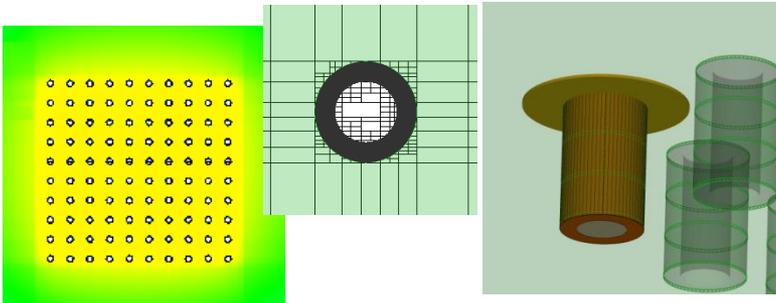


Oder PCB-Details können mit einfachsten Mitteln in intelligente Beschreibungen übersetzt werden.

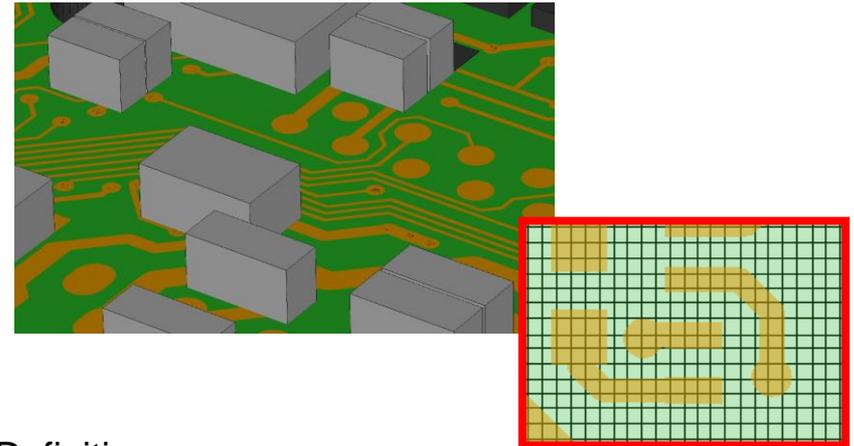
Detailimport



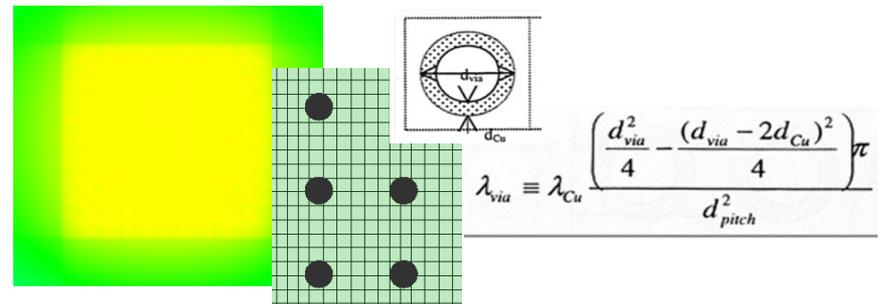
Definition:
0% **oder** 100% Kupfer pro Lösungszelle



Korrekte physikalische Übersetzung

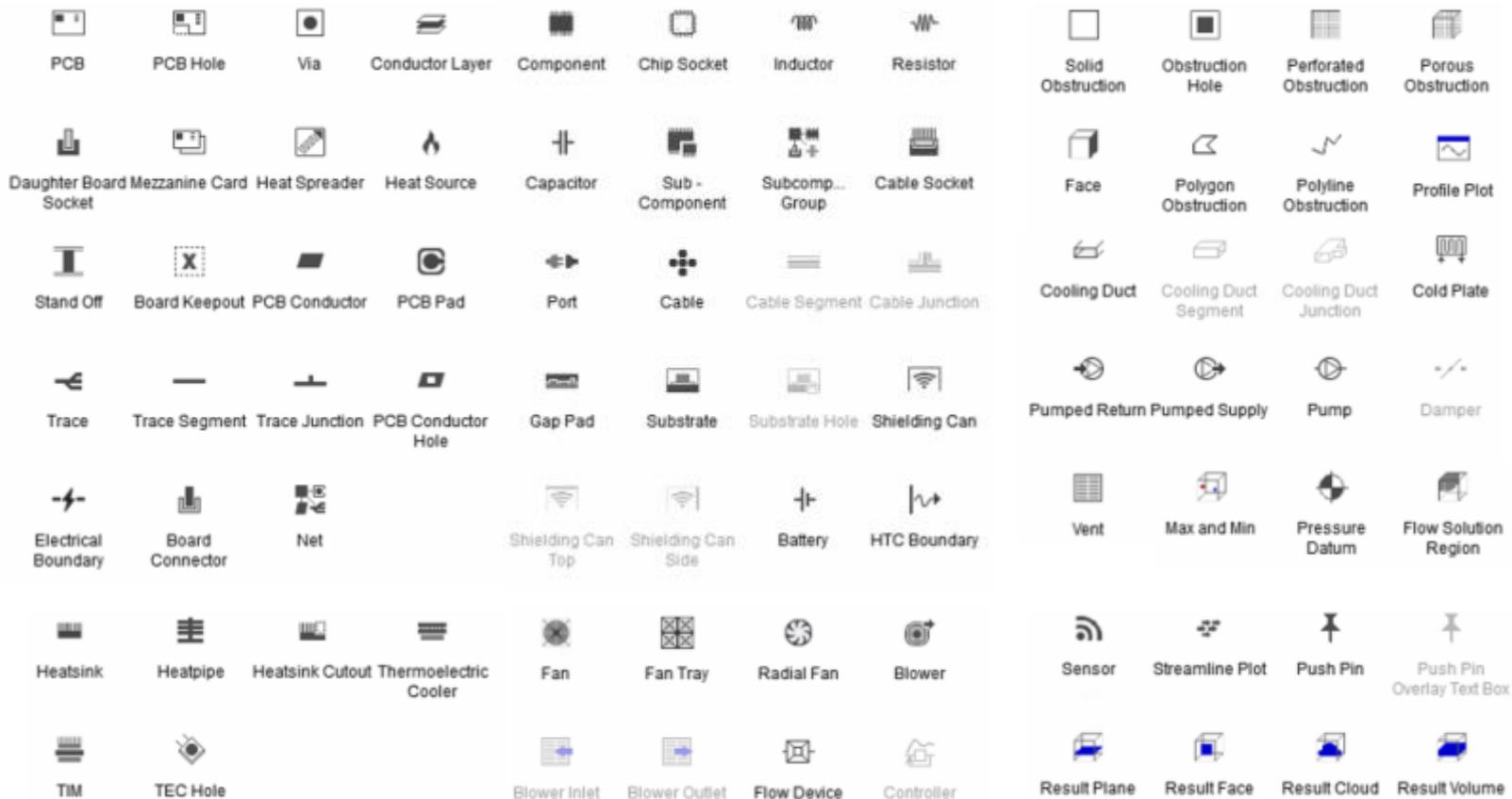


Definition:
0% **bis** 100% Kupfer pro Lösungszelle oder bei Vias ein berechneter Mischleitwert



Der Digitale Zwilling – intelligente Objekte

Durch diese intelligenten Objekte eines branchenspezifischen CFD-Tools – in diesem Fall speziell für die Aufgabenstellung “Elektronikkühlung” – kann ein Simulationsmodell schnell, akkurat aber “schlank” in einer überschaubaren Zeit aufgebaut, vernetzt und berechnet werden.

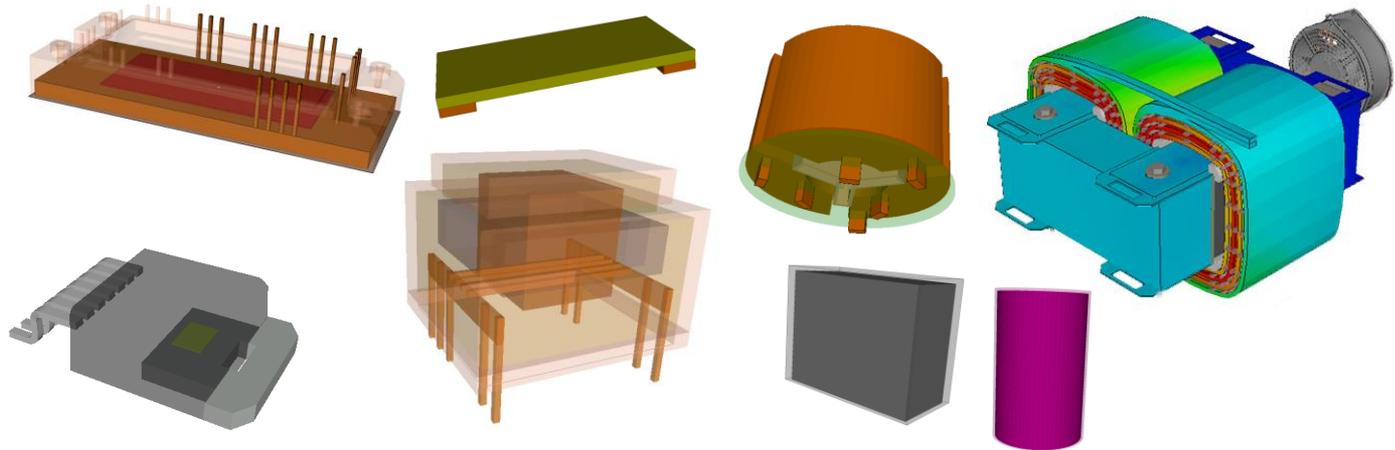


Um elektronische oder elektrische Komponenten für eine thermische Simulation so aufzubauen, dass diese die thermischen Charakterzüge ihres realen Vorbilds richtig widerspiegeln, müssen folgende Punkte gegeben sein:

- Gute Ausbildung an der CFD-Software durch einen fachspezifischen Ingenieur mit Softwarekenntnissen und Erfahrungen im Bereich der Elektronik Kühlung.
- "Intelligente" Menüführung um Komponenten unterschiedlichster Bauart so gut wie nötig zu detaillieren.

Hierzu zählen:

- Mosfets
- Dioden
- IGBTs
- Shunts
- LEDs
- Wickelgüter
- etc.



- Eine stabile Vernetzungstechnologie, welche lokale, feine Gitterzellen mit großen Umgebungszellen einfach verknüpfen kann und diese auch bei einem schlechten Längen/Breiten-Ratio stabil berechnet.
- Stabiler Solver um große (50, 100, 200 und mehr...) Millionenzellen-Netze effizient in wenigen Stunden zu berechnen.

Auch sollten elektrische Komponenten in unterschiedlichen Detaillevels darstellbar sein:

Modelling Level **Simplified**

Modelling Level **2R**

Symbol	Parameter	Value	Unit
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case max	0.5	$^{\circ}\text{C/W}$
R_{thJA}	Thermal resistance junction-ambient max	62.5	$^{\circ}\text{C/W}$

Construction

Modelling Level **2R** 2/3

Junction-to-Case Thermal Resistance **40** C/W

Junction-to-Board Thermal Resistance **0.5** C/W

Modelling Level **Compact**

R [K/W]	junction	top inner	top outer	bottom inner	bottom outer
junction	1.0947				
top inner		62.5038			
top outer			51.4547		
bottom inner				59.7142	
bottom outer					21.8267
sides					26.8076
leads					3640.1163
					30.9882
					383.3712
					270

C [J/K]	junction	top inner	top outer	bottom inner	bottom outer
junction	0.84502				
top inner		5.01501			
top outer			0.50000000		
bottom inner				0.50000000	
bottom outer					0.33

TO-220

- U1 (ST, TO 220)
 - Subcomponent Group 1
 - Die Attach (Metallkorpus)
 - Obstruction Hole
 - Mold
 - Components
 - Die (Component)
 - TIM1 (TIM)

Junction-Ambient (ABS Mold)

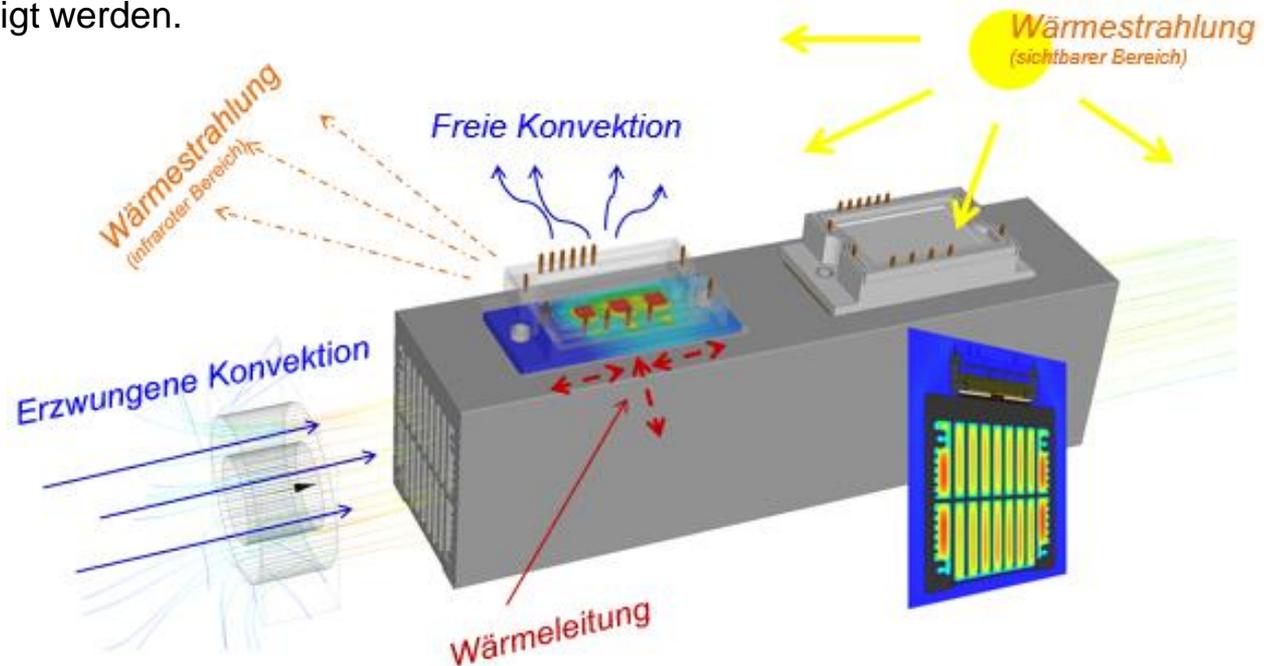
Junction-Case 0.5 K/W

$$0.5 \text{ K/W} = \text{Junction-Case} = R_{th1} + R_{th_{TIM}}$$

Alle 3 Wärmewege müssen gekoppelt berechenbar sein. Hierbei wird der Wärmeübergangskoeffizient an Oberflächen nicht als Eingabewert vorgegaukelt, sondern anhand der Temperaturunterschiede und der wandnahen Luftströmung in jeder angrenzenden Gitterzelle lokal berechnet.

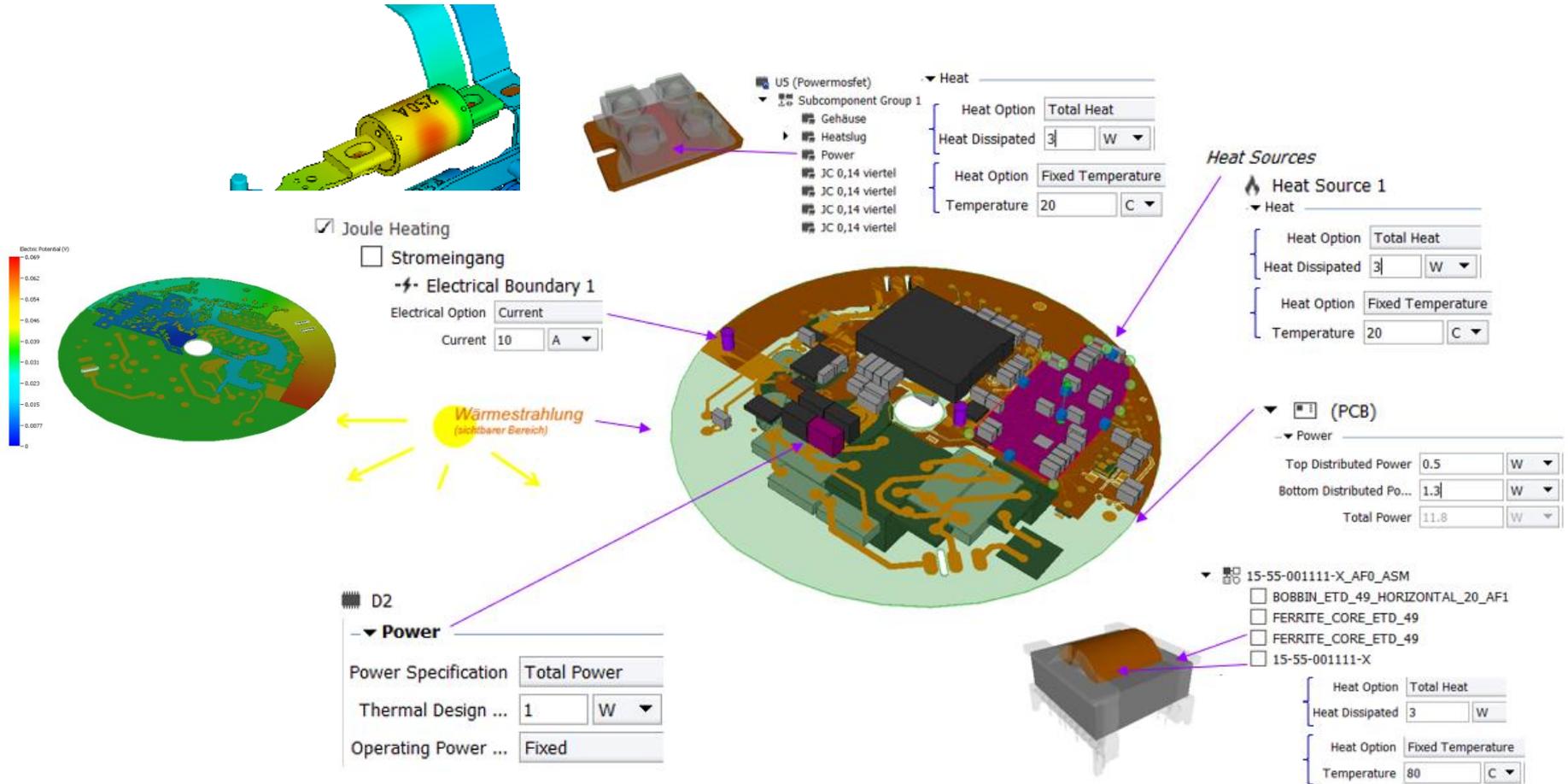
Auch die Turbulenzen werden mit dem KE-Solver lokal in jeder Fluid-Gitterzelle berechnet. Somit kann auch eine Mischströmung von laminarer und turbulenter Strömung in einem Projektaufbau betrachtet werden.

Die CFD-Software sollte für die Wärmestrahlung den infraroten und den sichtbaren Bereich berücksichtigen. Abschattungen, Reflektionen sowie Oberflächenbeschaffenheiten müssen von der CFD-Software berücksichtigt werden.



Der Digitale Zwilling – Wärmequellen

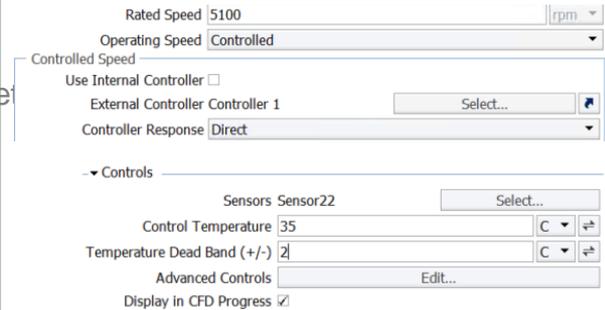
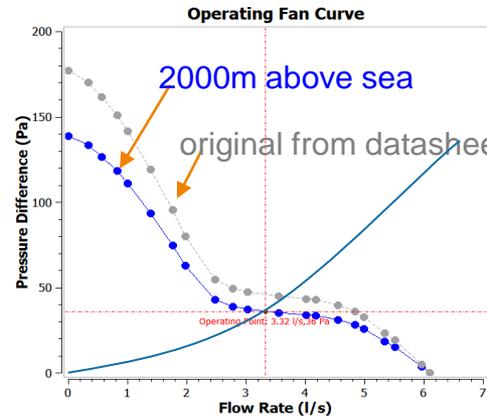
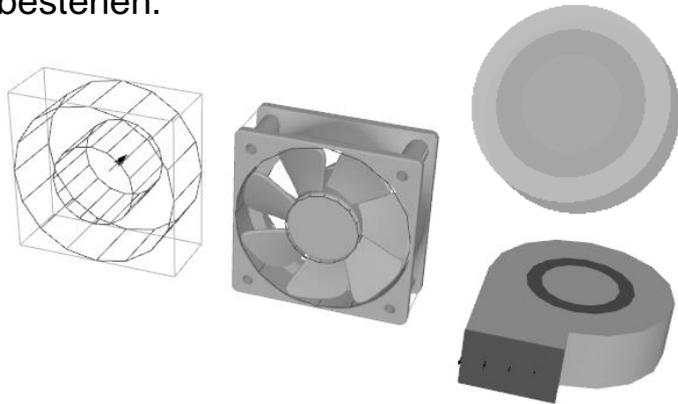
Aufgrund der großen Bandbreite von Applikationen und Umgebungssituationen müssen umfassende Möglichkeiten gegeben sein, um Wärmequellen zu definieren.



The image displays a central 3D model of an electronic assembly with various components highlighted in different colors. Surrounding the model are several software panels and toolbars for defining heat sources:

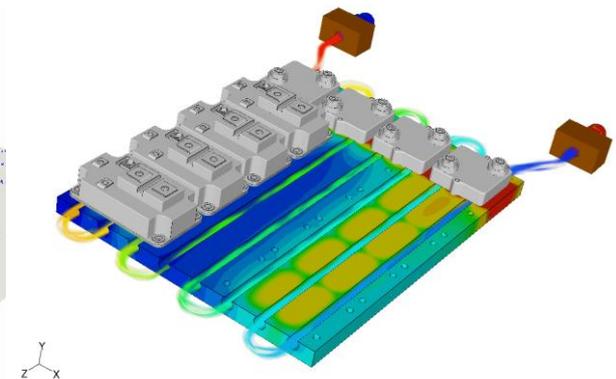
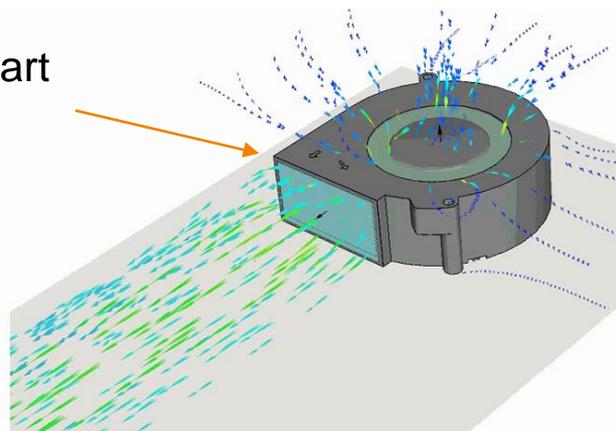
- US (Powermosfet):** A panel for defining heat for a MOSFET, with options for Heat Option (Total Heat), Heat Dissipated (3 W), and Heat Option (Fixed Temperature) with Temperature (20 C).
- Heat Sources:** A panel for defining heat sources, with options for Heat Option (Total Heat), Heat Dissipated (3 W), and Heat Option (Fixed Temperature) with Temperature (20 C).
- (PCB):** A panel for defining heat for a PCB, with options for Top Distributed Power (0.5 W), Bottom Distributed Power (1.3 W), and Total Power (11.8 W).
- D2:** A panel for defining power for a component, with options for Power Specification (Total Power), Thermal Design Power (1 W), and Operating Power (Fixed).
- Electrical Boundary 1:** A panel for defining an electrical boundary, with options for Electrical Option (Current) and Current (10 A).
- Wärmestrahlung (sichtbarer Bereich):** A yellow sun icon with arrows pointing outwards, representing radiation from a visible area.
- Electric Potential (V):** A color scale legend ranging from 0 to -0.069 V.
- Joule Heating:** A checkbox labeled "Joule Heating" which is checked.
- Stromeingang:** A checkbox labeled "Stromeingang" which is unchecked.
- Heat Option:** A dropdown menu for selecting the heat option, currently set to "Total Heat".
- Heat Dissipated:** A text input field for the heat dissipated value, currently set to "3".
- Temperature:** A text input field for the temperature, currently set to "20".
- Heat Option:** A dropdown menu for selecting the heat option, currently set to "Fixed Temperature".
- Temperature:** A text input field for the temperature, currently set to "80".

Lüfter oder Pumpen sollten anhand Ihrer Betriebskurven beschreibbar sein. Hierzu sollte der Einfluss von "höhenabhängiger, dünner Luft" oder temperaturgesteuerter Drehzahländerungen als Eingabeattribut bestehen.

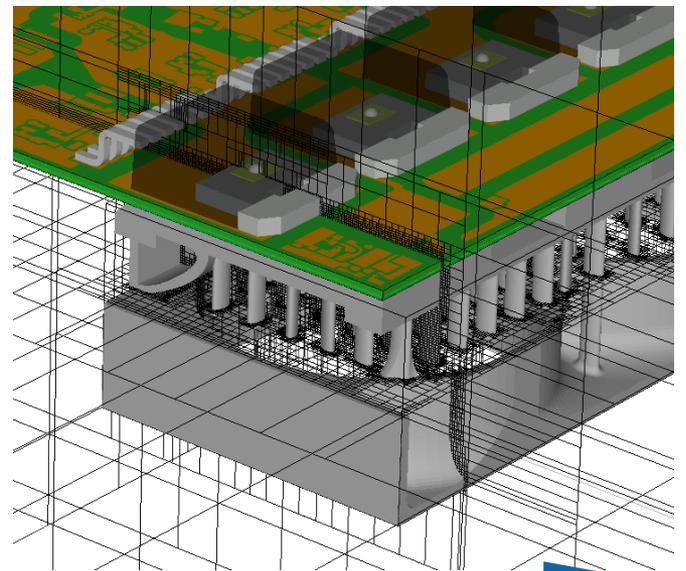
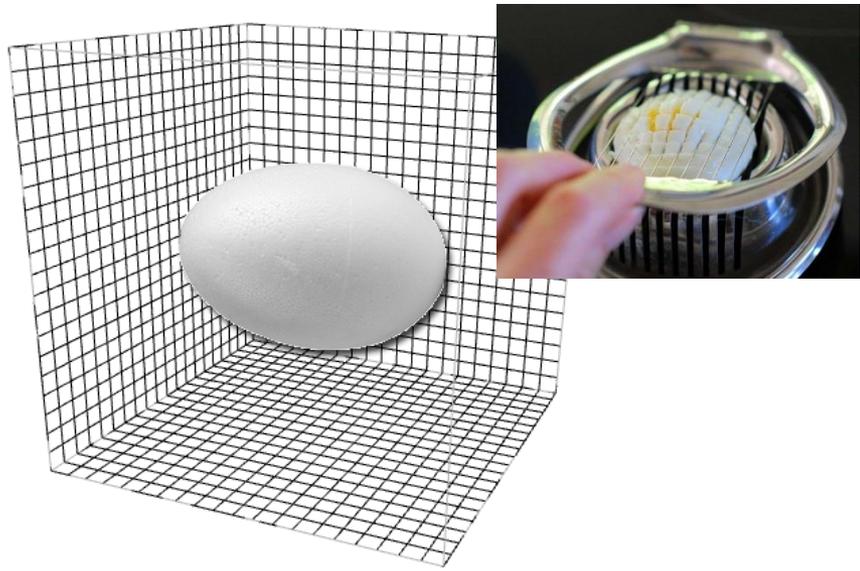


CAD Part

- ▼ Subassemblies
 - ▼ CAD blower
 - ▼ Fans
 - ⊙ FD1 (Flow Device)
 - ▼ Obstructions
 - ⊞ User Library-BLOWER_FAN_95X33
 - User Library-BLOWER_FAN_95X33
 - ▼ Intake
 - Obstruction Hole
 - ▼ Top
 - ▶ Vent1 [-> FD1 (Flow Device)]
 - ▼ outlet
 - ▼ Left
 - ▶ Vent [-> FD1 (Flow Device)]



Der Digitale Zwilling - Vernetzen in 15 min

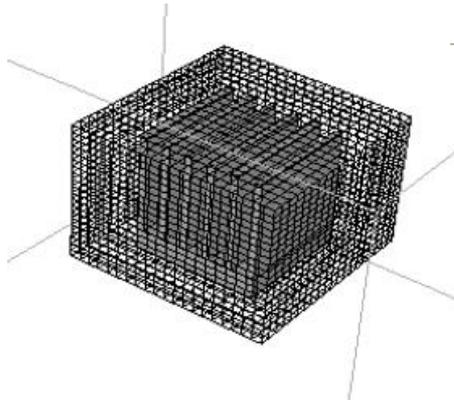
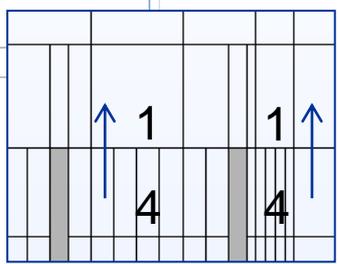


Grid

Grid Type: Unstructured

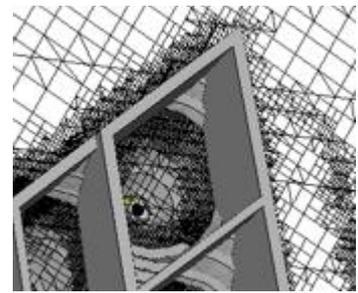
Unstructured Grid Control

- Limit Refinement Ratio
- Refinement Ratio Limit: 2
- Eliminate Dummy Cells



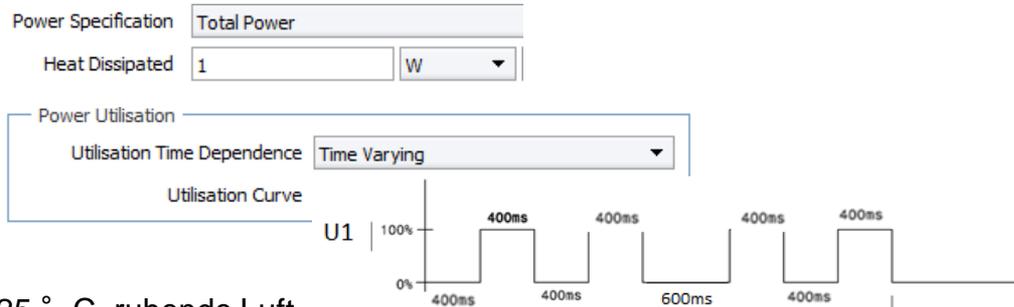
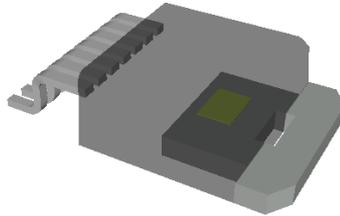
Geometry

Direction: Geometry Based



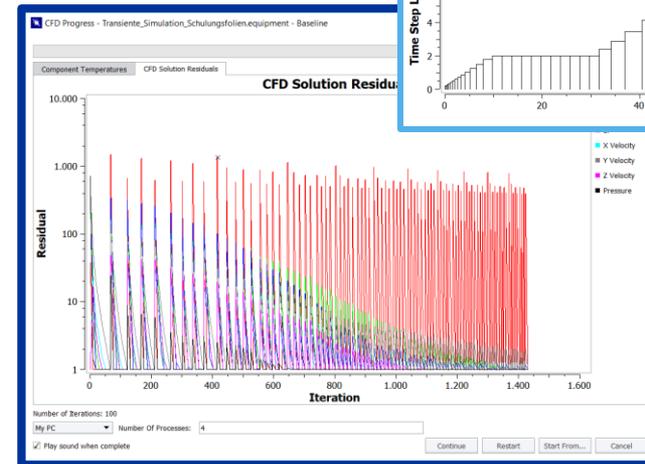
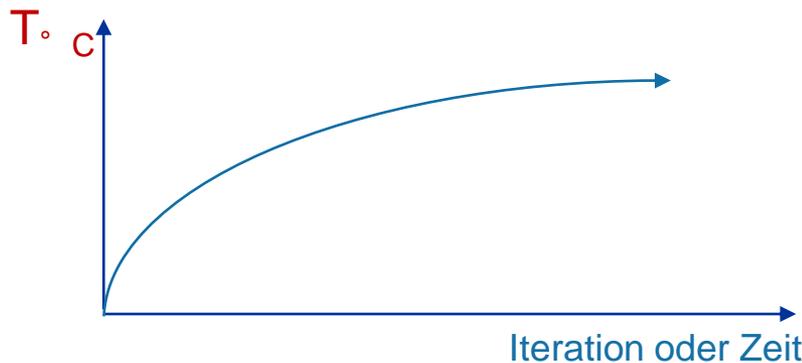
Berechnung – Transient oder eingeschwungen

Die CFD-Software sollte auch zeitliche Simulationen mit unterschiedlichen Komponententaktungen berücksichtigen können. Das Zeitgitter muss dementsprechend flexible Zeitschrittweiten zulassen.



Startbedingung

- T_{Umgebung} & System AUS – homogen bei 25 ° C, ruhende Luft
- T_{Umgebung} & System auf Standby – eingeschwungener Zustand
- ...



Umfassende Auswertemöglichkeiten sollten im CFD-Tool vorhanden sein. Neben Oberflächenplots und Ergebnisschnitten, sollte auch ein direkter Kontakt zu Excel für den Austausch von Tabellenwerten gegeben sein.

