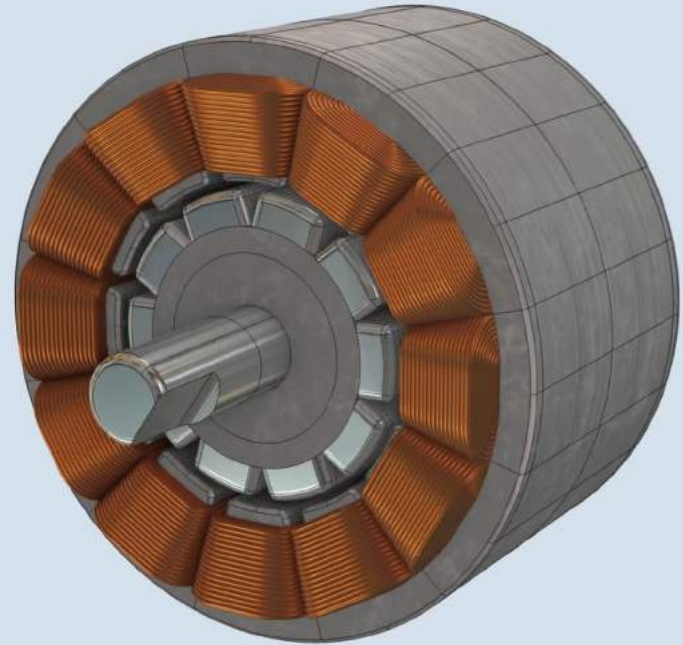


Netzkomponenten Optimieren mit Multiphysik Simulation

Sven Friedel - COMSOL

Auslegung komplexer EM-Systeme

- Generatoren
- Stromschienen
- Kabel und Leitungen
- Transformatoren
- Leistungsschalter
- Sicherungen
- Ladestationen
- Antriebe
- uvm.

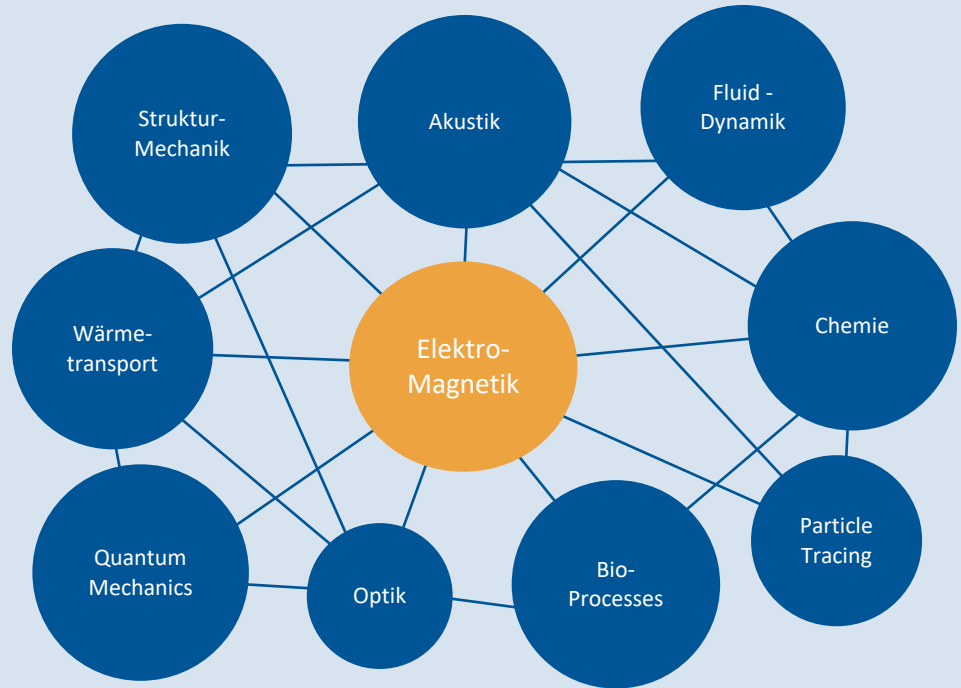


Synchronmotor mit 3-phasiger Windung auf dem Stator und Permanentmagneten auf dem Rotor.

Energiesysteme sind Multiphysik

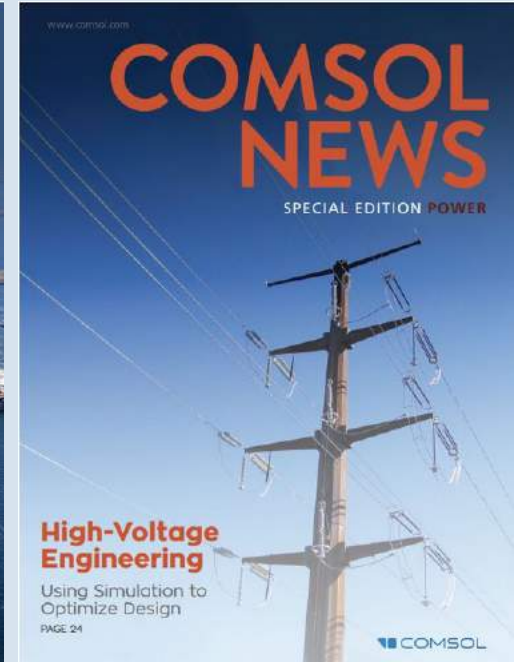
Aktuelle Megatrends erfordern multiphysikalischen Ansatz:

- Erneuerbare Energien
- Elektromobilität
- Smart Grids
- Miniaturisierung
- Sensorik und Überwachung
- Thermisches Management
- Leistungsoptimierung



Branchenlösung mit Erfolgsgarantie

- Zahlreiche Erfolgsgeschichten aus der Schweizer Elektroindustrie
- Aktuelle Sonderhefte COMSOL News mit Beiträgen zu:
 - Gezeitenkraftwerke
 - Hochspannungstechnologie



Transformer_3D_solved.mph - COMSOL Multiphysics

File Home Definitions Geometry Materials Physics Mesh Study Results Developer

Application Builder Component 1 Add Component Parameters Variables Functions Import Build All LiveLink Add Material Magnetic Fields Add Physics Build Mesh Mesh 1 Compute Study 2 - ShortCirc_Test Add Study Cover image Add Plot Group Windows Reset Desktop Layout

Model Builder

- Transformer_3D_solved.mph
 - Global Definitions
 - Component 1
 - Definitions
 - Geometry 1
 - Materials
 - Magnetic Fields
 - Ampère's Law 1
 - Magnetic Insulation 1
 - Initial Values 1
 - Prm 1 - U
 - Prm 1 - V
 - Prm 1 - W
 - Prm 2 - U
 - Prm 2 - V
 - Prm 2 - W
 - Scn 1 - U
 - Sec 1 - V
 - Sec 1 - W
 - Sec 2 - U
 - Sec 2 - V
 - Sec 2 - W
 - Impedance Boundary Condition 1
 - Ampère's Law 2 - EffPerm, no losses
 - Ampère's Law 3 - EffPerm, mur' losses
 - Mesh 1
 - Study 1 - OpenCirc_Test
 - Study 2 - ShortCirc_Test
 - Results

Settings

Coil

Label: Prm 1 - U

Domain Selection

Material Type

Coordinate System Selection

Coil

Coil name:

P1U

Conductor model:

Homogenized multiturn

Coil type:

Circular

Coil excitation:

Current

Coil current:

I_{coil} [1In_f] A

Homogenized Multiturn Conductor

Number of turns:

N Np

Coil wire conductivity:

σ_{coil} 6e7[S/m] S/m

Coil wire cross-section area:

User defined

a_{coil} Prm_Asp m²

Constitutive Relation B-H

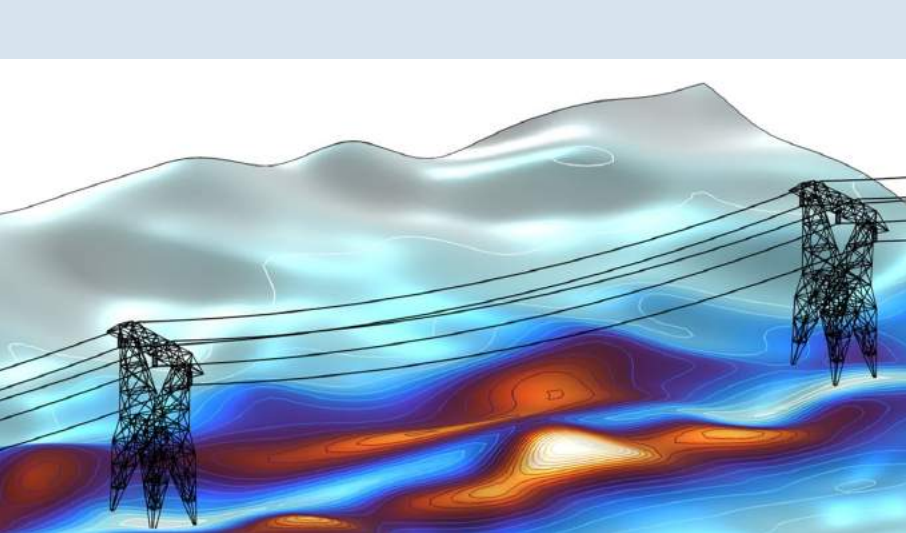
Constitutive Relation D-E

Graphics

freq(6)=1000 Hz Volume: Volumetric loss density, electromagnetic (W/m³) Arrow Surface: Surface current density

Messages Progress Log

Hochspannungsleitungen und Isolatoren



*Image by Z22 — Own work. Licensed under
CC BY-SA 3.0, via [Wikimedia Commons](#).*

- EM Felder im Umfeld von Hochspannungsleitungen (BEM)
- Dielektrischer Stress
- Geometrieoptimierung

Reale Kabel simulieren - ohne Faustregeln und Cluster

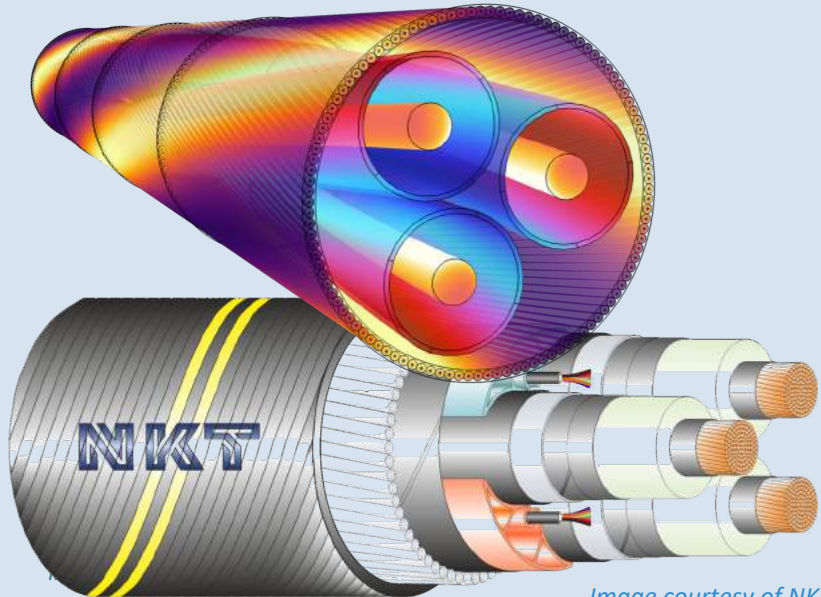
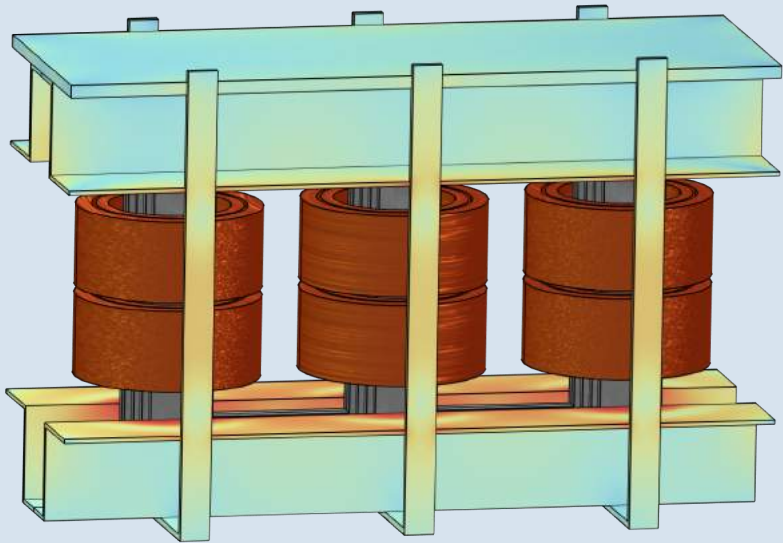


Image courtesy of NKT

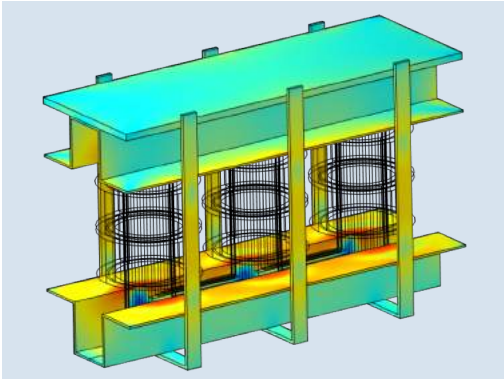
- Sicherheitsstandards einhalten
Materialkosten reduzieren.
- Spezielle Lösungen für verdrehte
Kabel
- Kapazitive Effekte
- Einfluss von Bonding und Armierung
- Induktive Effekte
- Thermische Effekte

Verlustberechnung in realen Transformatoren



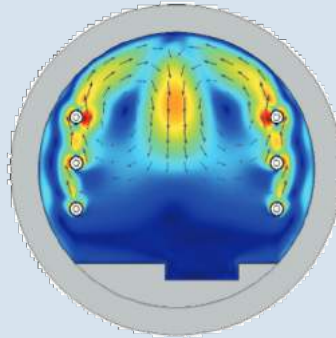
- Windungsverluste
- Induktive Verluste in Laminaten und Gehäuseteilen
- Kernverluste durch Hysterese
- Dielektrische Verluste
- Streufluss und Induktivität

Wärmetransportprozesse



Joule- und Induktive Erwärmung

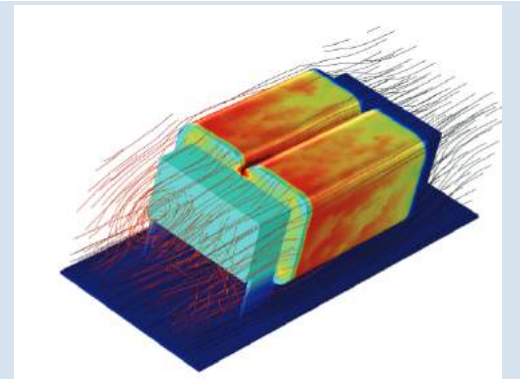
Induktive Verluste in strukturellen Komponenten von Transformatoren



Freie Konvektion

Luftgeschwindigkeit im Umfeld von Kabeln in einem Tunnel.

[Courtesy of National Grid, UK](#)

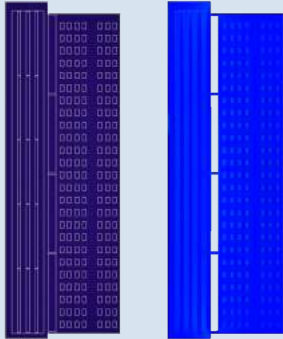


Erzwungene Konvektion

Kühlung einer DC Drossel durch extreme Luftströmung.

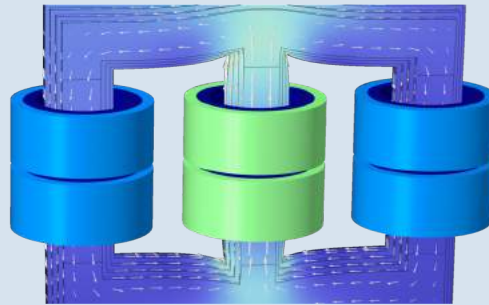
[Courtesy of BLOCK Transformatoren-Elektronik](#)

Kopplung an Strukturmechanik



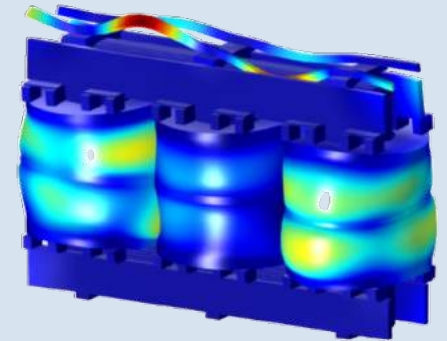
Thermische Expansion

Deformation aufgrund von Temperaturveränderungen



Magnetostriktion

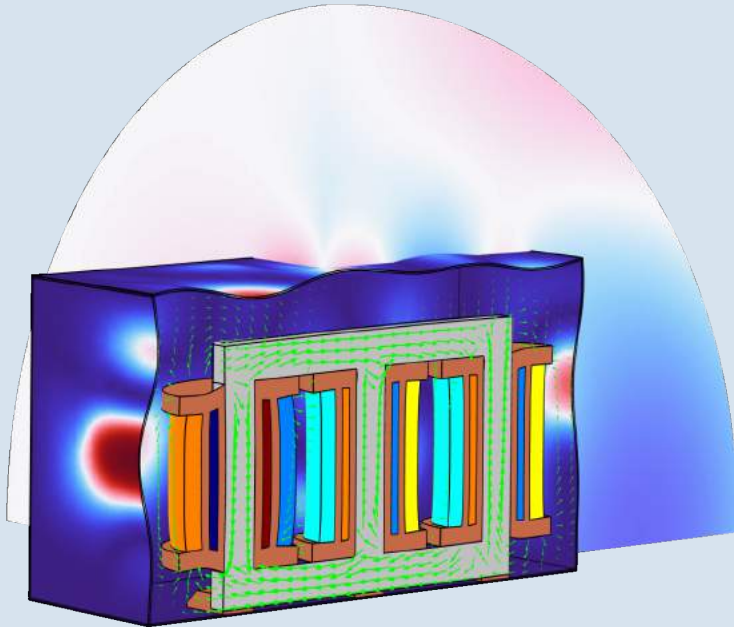
Ferromagnetische Materialien – Hauptursache von Brummen



Lorentzkräfte

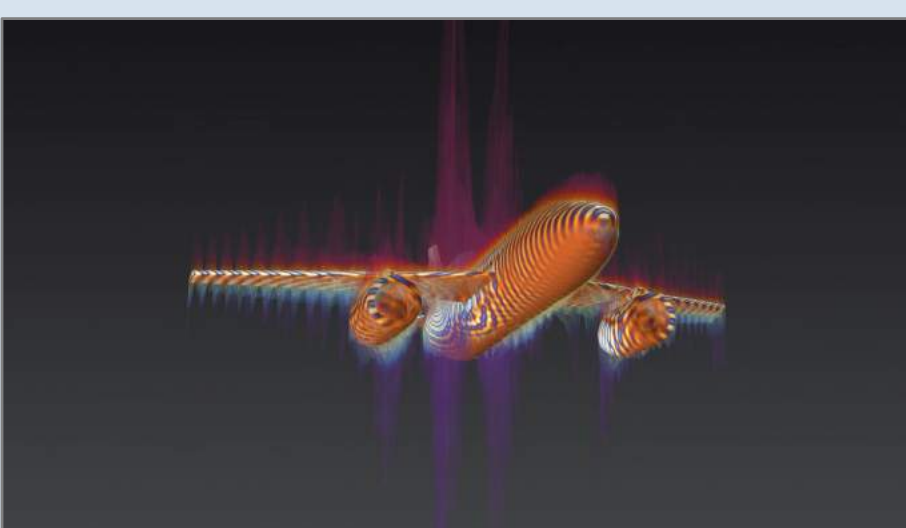
Elektromagnetische Kräfte zwischen Leitern

Akustische Emissionen von Netzkomponenten



- Umwandlung mechanische Vibrationen über Akustik-Strukturkopplung in Raumschall
- Transformator in Ölbad umgeben von einem dünnen Gehäuse. Im Aussenraum wird der Schalldruck berechnet.

Jenseits von 50 Hz - Hochfrequenzlösungen



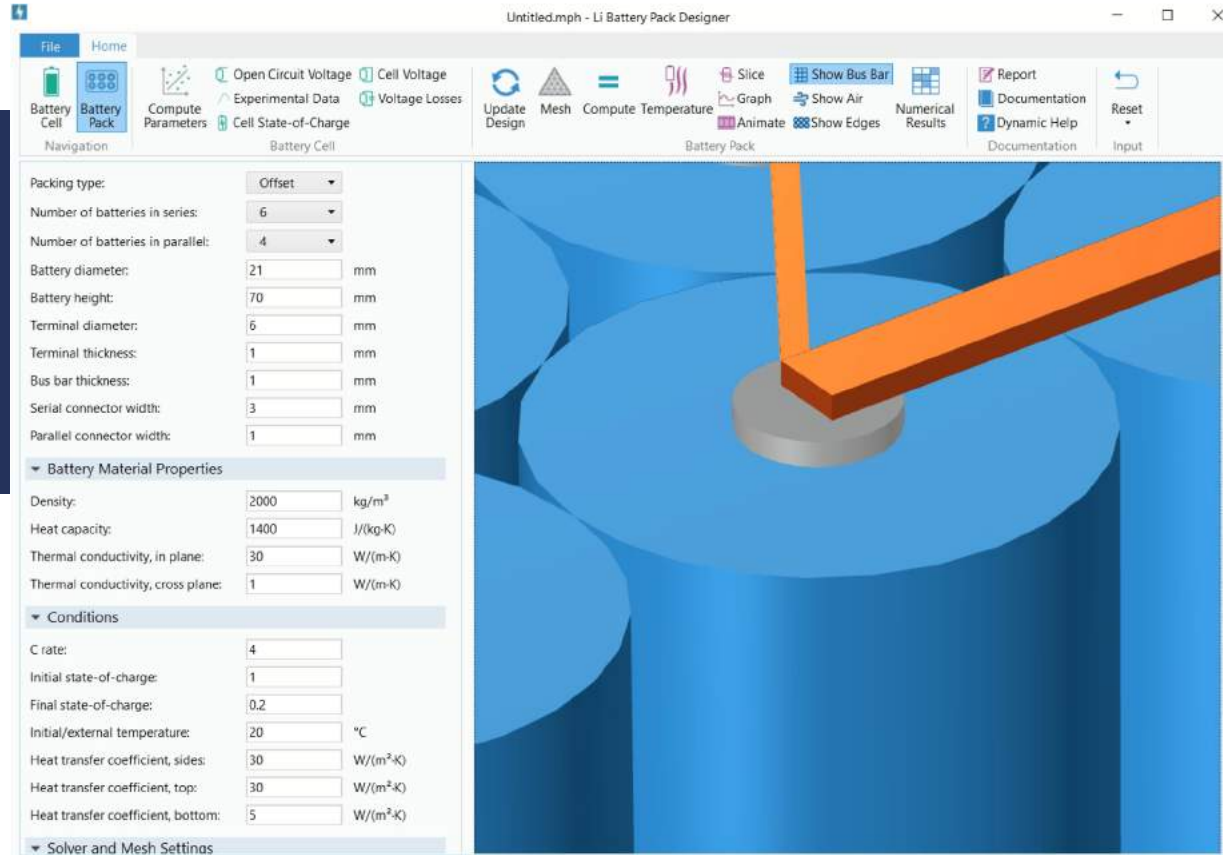
Elektromagnetisches Fernfeld einer Antenne auf dem Rumpf eines Flugzeugs.

Lösung der Wellengleichung mit FEM und BEM

- Antennen
- Signalintegrität in Kommunikationssystemen
- Elektromagnetische Verträglichkeit

Mit Simulation Apps Expertenwissen Effizient Teilen

- Jede Simulation kann mit einer GUI versehen werden.
- Umwandlung in stand-alone Software
 - COMSOL Compiler®
 - COMSOL Server®





COMSOL Multiphysics® für Ihr R&D Team

- Simulationsingenieure
- R&D Spezialisten
- Entwicklungsleiter
- CAD Ingenieure
- Laborpersonal
- Kunden

Kontakt: info@comsol.ch Stand: Halle 6/J28