



EMod: Simulationsframework für Werkzeugmaschinen

Energieflüsse, Massenströme und Wärmequellen in Werkzeugmaschinen
Druckverlust und Wärmeübertragung in Kühlkanälen

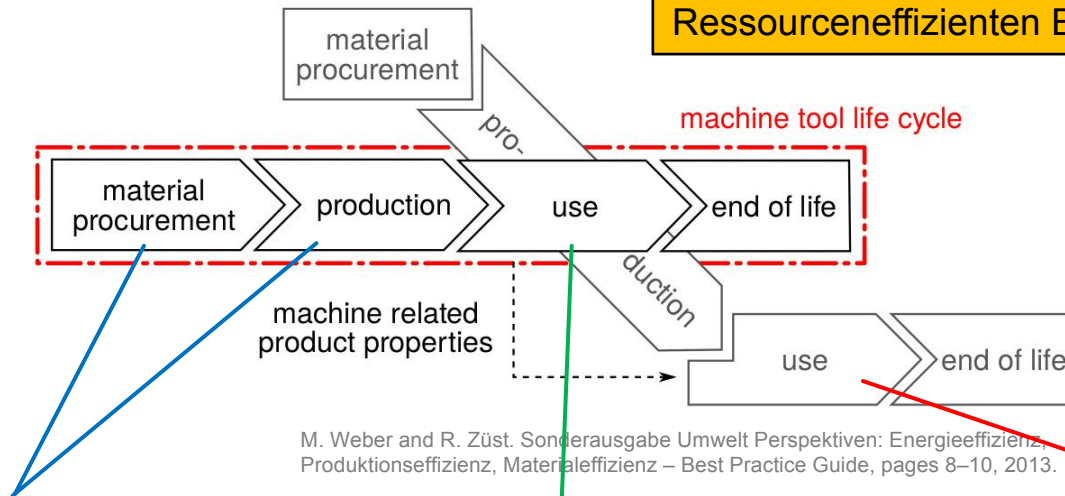
S. Züst, L. Weiss

Inhalt

Einleitung / Motivation
EMod / DuctDesigner
Anwendungsbeispiele
Vorführung der Software
Diskussion
Ausblick

Die Energie- und Ressourceneffiziente Werkzeugmaschine

Erzeugung von Energie- und Ressourceneffizienten Produkten in einem Energie- und Ressourceneffizienten Betrieb



Nutzen 1. Art:

Energie- und Ressourceneffizienz in der Herstellung der Maschine

Wichtige Punkte

- Materialbereitstellung
- Bearbeitungsaufwand
- Transportaufwand
- Toxische Stoffe

Nutzen 2. Art:

Energie- und Ressourceneffizienz in der Nutzung der Maschine

Wichtige Punkte

- Nebenaggregate (z.B. Kühlung)
- Betriebszustände (Basislast)
- Hallenseitige Anbindung

Nutzen 3. Art:

Energie- und Ressourceneffizienz durch bessere Produkteigenschaften

Wichtige Punkte

- Stückzahl
- Maschinen bedingte Produkteigenschaften
- Erfahrung zeigt: Grosse Potentiale vorhanden

Die Energie- und Ressourceneffiziente Werkzeugmaschine: Tools am IWF / inspire

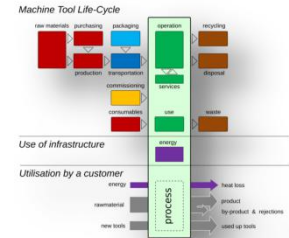
EcoTool:

Wo im LC werden Energie und Ressourcen verbraucht?

Berechnungstool für den kumulierten Energieaufwand einer WZM

Excell (tools.zuestengineering.ch)

Nutzen 1. & 2. Art



EMod / DuctDesigner:

Wie viel Energie und Ressourcen werden im Betrieb benötigt und wo fällt Wärme an?

Framework zur Modellierung und Simulation von Energieflüssen

Anbindung an FEM

Nutzen 2. Art



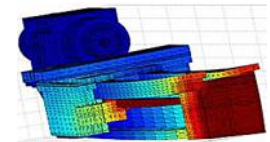
VMP / FDEM / FEM / CFD:

Wie wirkt sich der Wärmeeintrag auf die Maschine / das Produkt aus?

TCP Verlagerung durch thermische Effekte

Fertigungsgenauigkeit

Nutzen 3. Art



Werkzeugmaschinen: Energetische und thermische Dynamiken

Werkzeugmaschinen: Mechatronisches System, bestehend aus mehreren Subsystemen

Sensitiv auf Wärmeeintrag: Thermisch bedingte Verformungen der Struktur durch nicht homogene und nicht nominale Temperaturfelder

Simulation des thermischen Verhaltens (Temperaturfeld und Verlagerungen) benötigt Randbedingungen:

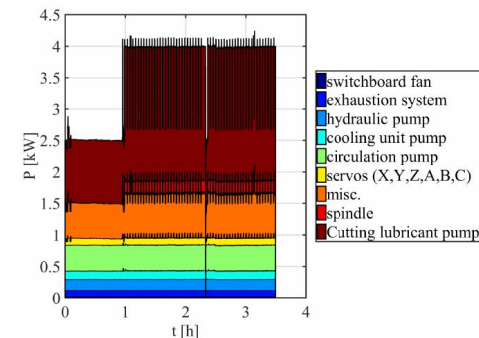
Quellterme (Neumann)

Kontakttemperatur (Robin)

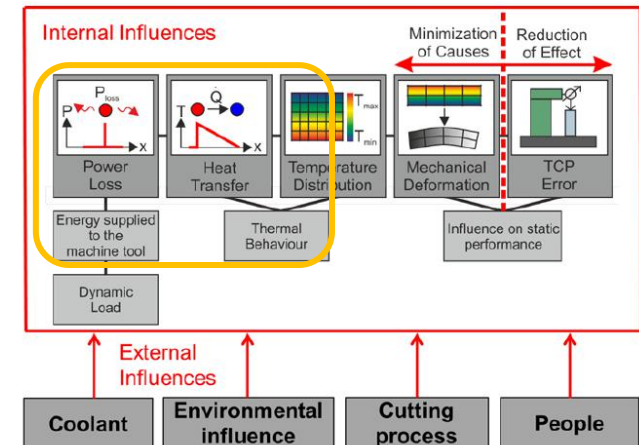
Randbedingungen sind ein Resultat des energetischen Verhaltens:

Energiekonversion mit $\eta < 1$: Quellterme

Hydraulische Netzwerke: Fluidtemperatur, Wärmeübergang



Rollomatic 628XS, Züst / Frick



J. Mayr, W. Knapp, and K. Wegener. Reduction of thermal errors of 5-axis machine tools. In The Proceedings of MTTRF 2015 Annual Meeting, 2015.

Inhalt

Einleitung / Motivation

EMod / DuctDesigner

Anwendungsbeispiele

Vorführung der Software

Diskussion

Ausblick

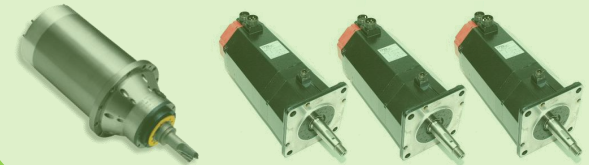
Werkzeugmaschinen: Ein Komponentenverbund



HMI



Antriebsstrang / NC



Hydraulik



Prozesskühlung



Maschinenkühlung



EMod: Modellierung, Simulation und Analyse von Energieflüssen

Ziel: Prädiktion von Energieflüssen, Wärmequellen und fluidgebundene Wärmeübergänge auf Komponentenebene

Methode: Rekonfigurierbare Makromodelle

Physikalische Modelle generischer Maschinenkomponenten (z.B. Kreislpumpe)

Parametrisierung nach Typ (z.B. Grundfos MTR 5)

Vorgabe der Komponenteninteraktion (z.B. Durchfluss Spindelkühlung = Durchfluss Pumpe)

Maschine hat i.A. mindestens zwei Netzwerke:

Elektrisches Netzwerk

Kleine Zeitkonstanten: Quasi-statische Simulation

Kann für jede Komponente individuell gelöst werden

Hydraulisches Netzwerk

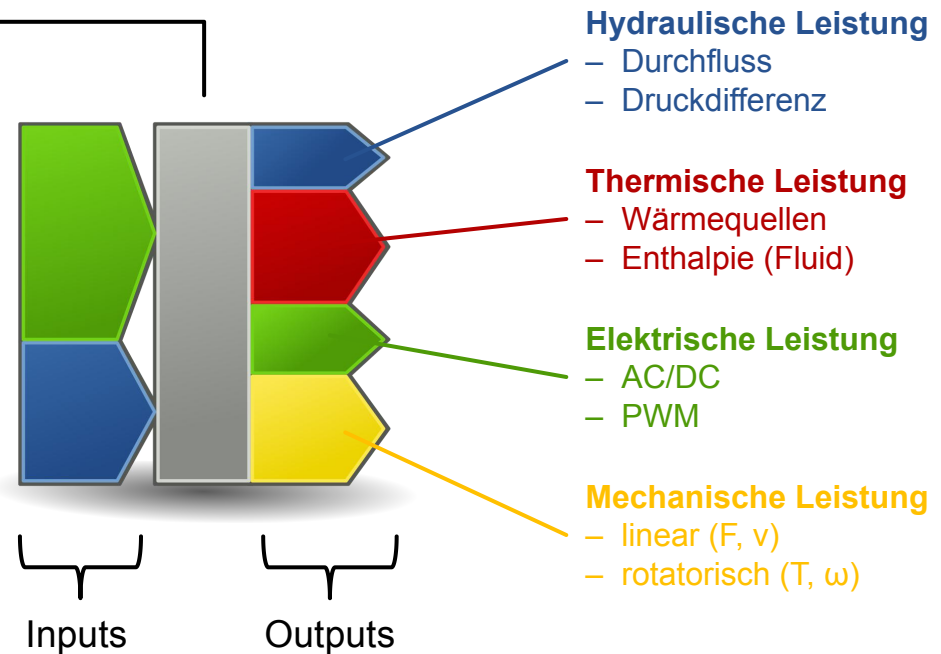
Wärmetransport (Kühlung)

Komponenten können nicht einzeln betrachtet werden (Durchfluss durch einzelne Stränge wird durch die hydraulischen Widerstände aller beteiligter Komponenten bestimmt)

EMod: Generische Maschinenkomponente

Maschinenkomponente:

- Inputs (von vorgelagerten Komponenten)
- Outputs (von nachgelagerten Komponenten)
- Transformation zwischen verschiedenen Formen von Leistung
- Speichern von Energie und Masse
- Zustand (z.B. off, stand-by, on)
- Physikalische Modelle zur Beschreibung des Input-Output-Verhaltens



EMod: Modellierungsphilosophie

Maschinenmodell:

= logische Verknüpfung einzelner
Komponentenmodelle

Knoten: Komponenten

Kanten: Interaktion (Leistungsaustausch,
Massenfluss, Information)

Parametrisierung:

Datenblätter

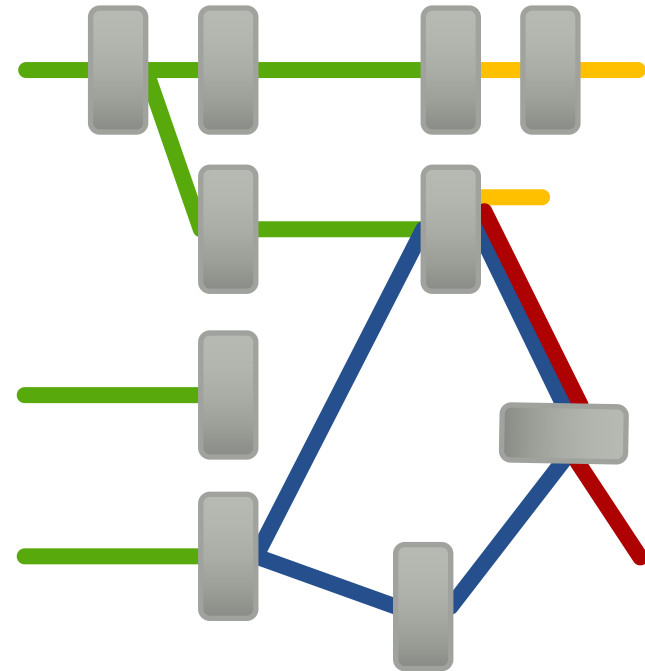
Erfahrungswerte

Empirische Korrelationen

Herausforderung

Druckverlustbeiwert

Wärmeübergangskoeffizient



Hydraulische Netzwerke: Druckverlust und Wärmeübergang

Druckverlust

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{l}{d} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

ζ : Druckverlustbeiwert [-]

l : Länge[m]

d : Hydraulischer Durchmesser [m]

ρ : Dichte [kg/m³]

v : Fließgeschwindigkeit [m/s]

ζ bekannt für bestimmte Geometrien

Wärmeübergang

$$\alpha = Nu \cdot \frac{\lambda}{d}$$

■ α : Wärmeübergangskoeff. [W/m²/K]

■ Nu : Nusselt-Zahl [-]

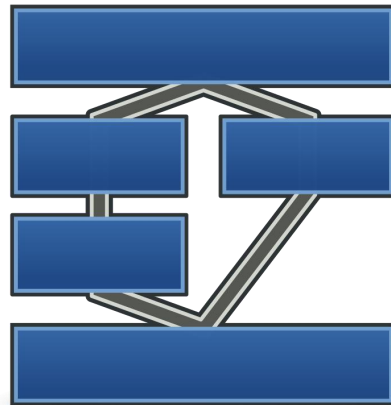
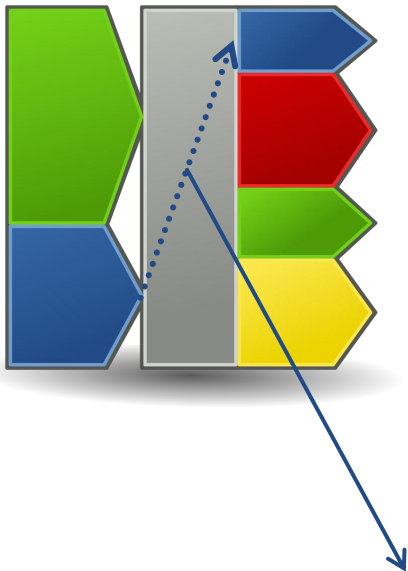
■ d : Hydraulischer Durchmesser [m]

■ λ : Wärmeleitfähigkeit [W/m/K]

Nu bekannt für bestimmte Geometrien

Unterteilen des Kanals in Elemente mit bestimmten geom. Eigenschaften und damit bekanntem ζ und Nu

DuctDesigner: Druckverlust und Wärmeübergang in Kühlkanälen



1. Unterteilung in einzelne Abschnitte

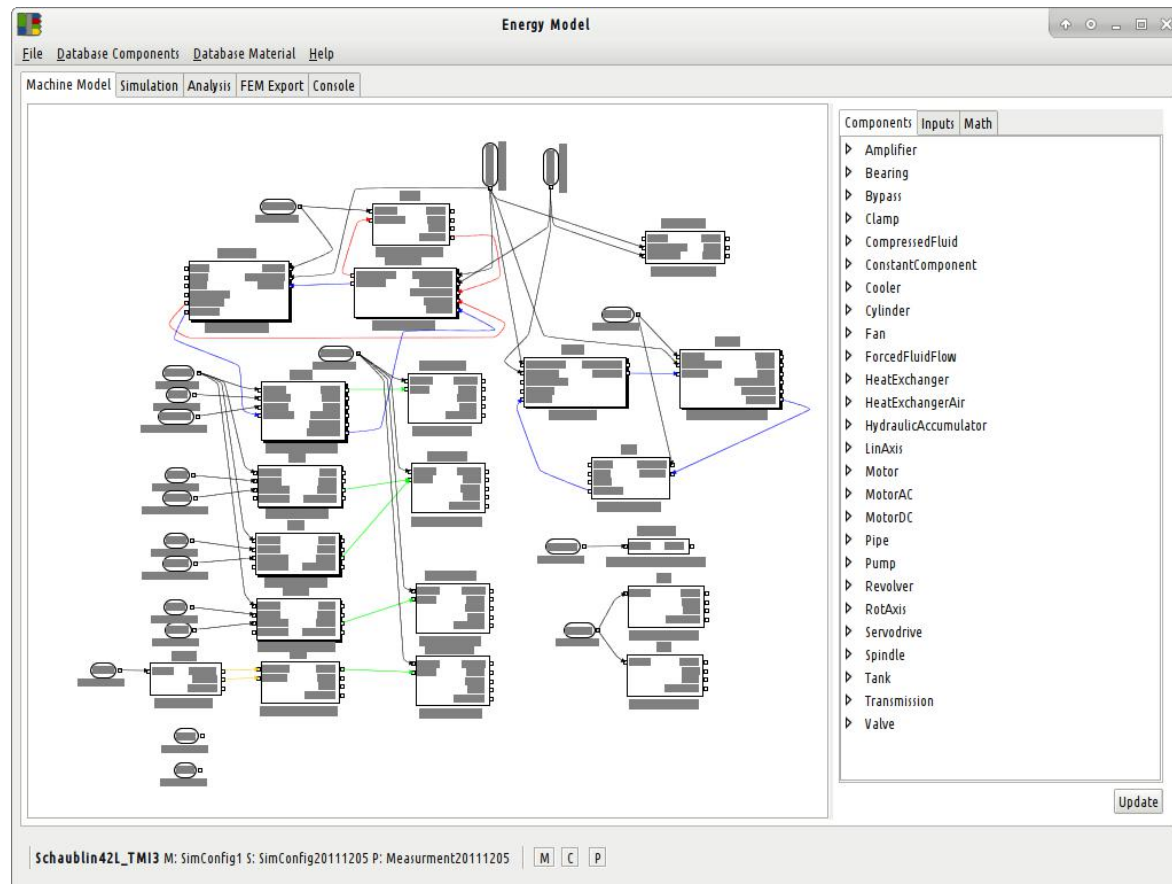
- Bohrungen
- Leitungen
- Bögen
- Knicke
- Wendel
- ...

2. Emp. Korr. für jeden Abschnitt

- Nusseltkorrelation
- Druckverlustbeiwert

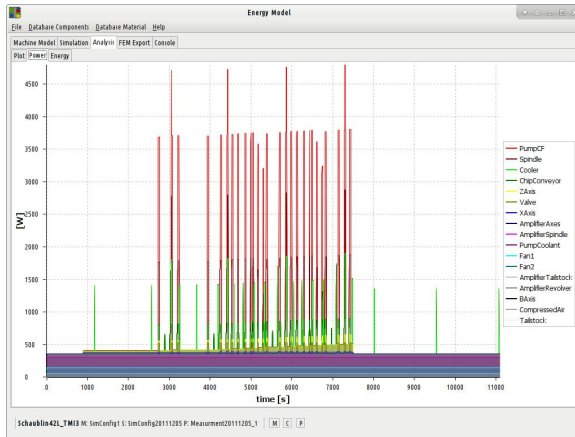
3. Aggregation der einzelnen Werte

EMod GUI: Modellierung einer Maschine

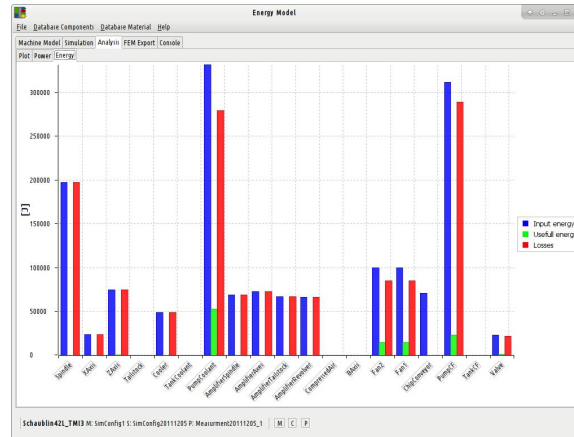


EMod GUI:

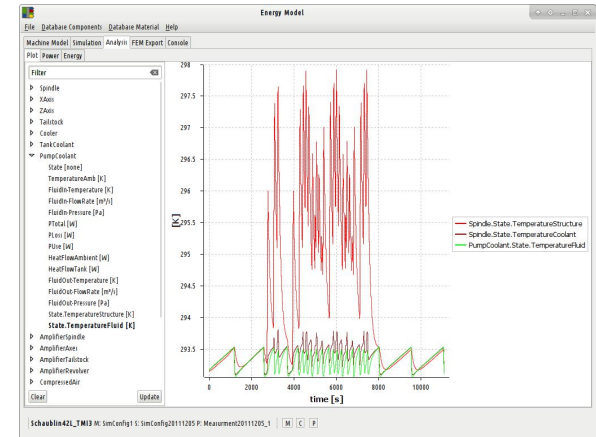
Analyse einer Maschine (Beispiele)



P-t Diagramm der Leistungsaufnahme einzelner Komponenten



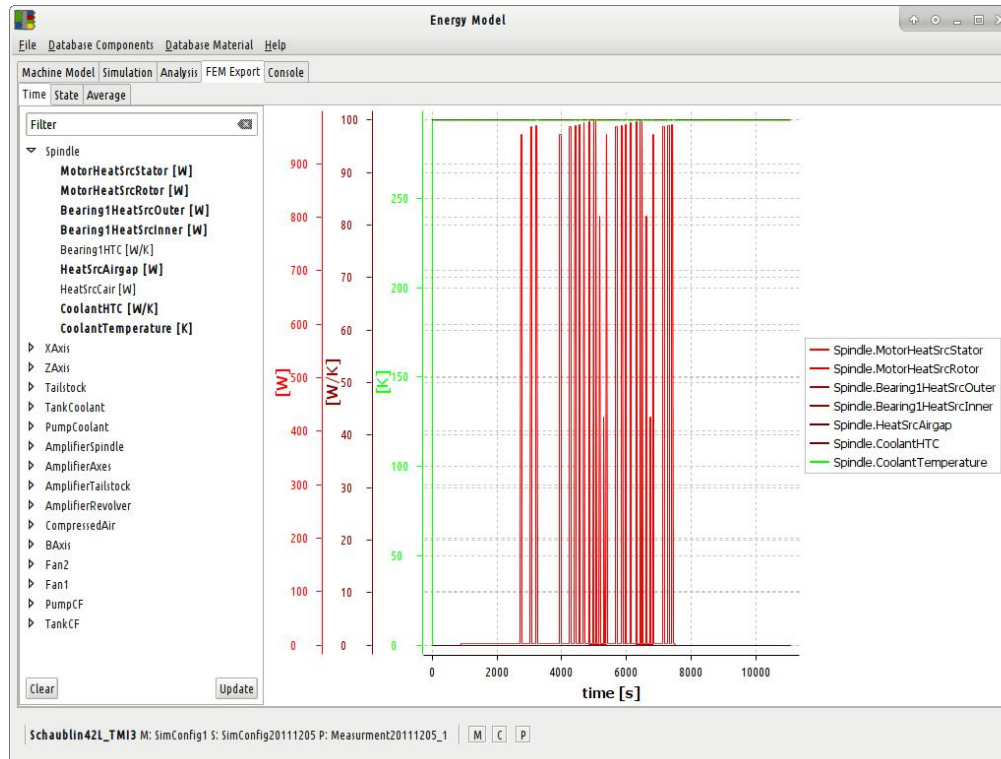
Eingangsleistung, Ausgangsleistung und Wärmequellen je Komponente



Temperaturverlauf im Kühlkreislauf der Spindel

EMod GUI:

Export von FEM Randbedingungen

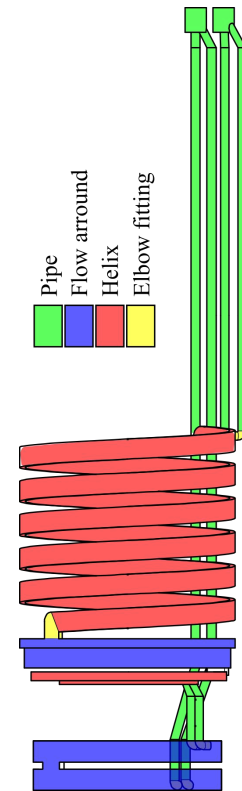
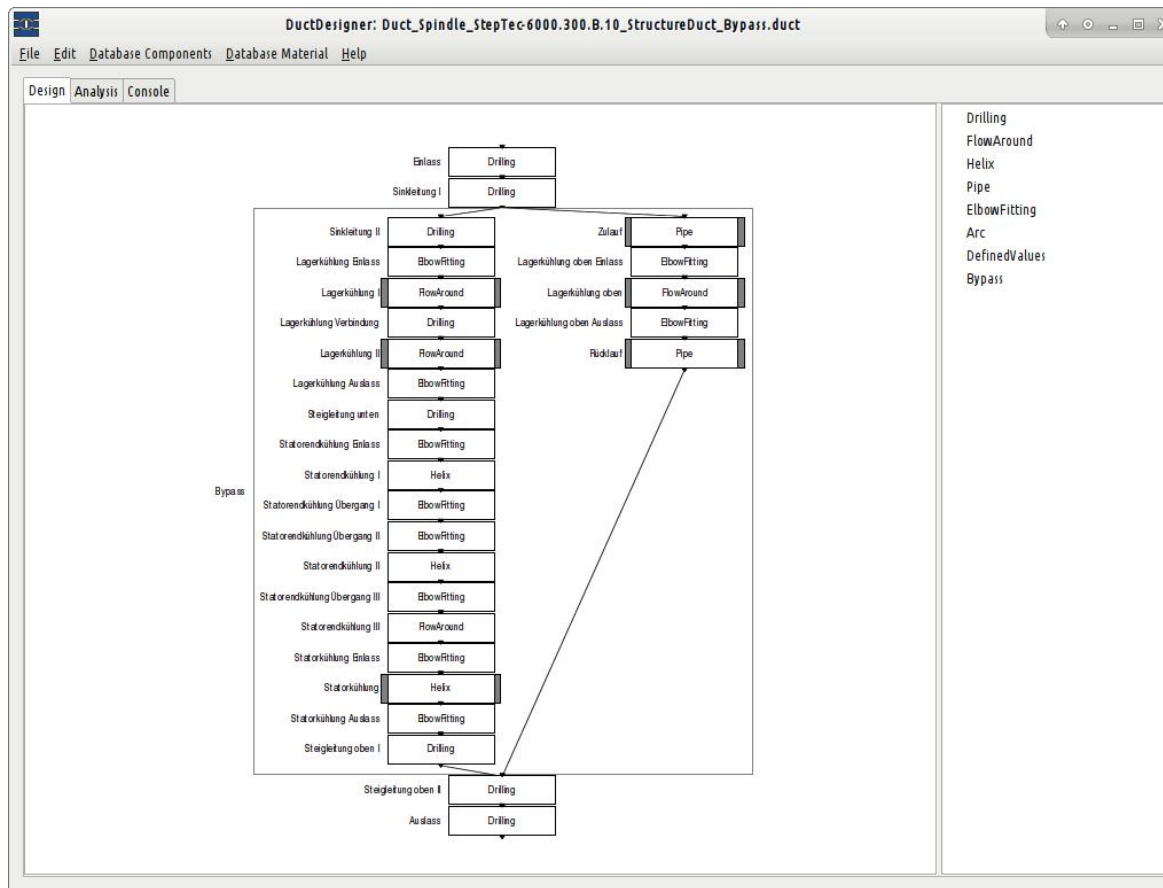


Die Komponentenmodelle schreiben während jedem Zeitschritt der Simulation drei Arten von FEM-Randbedingungen:

- Dirichlet (Wandtemperatur)
- Neumann (Wärmefluss)
- Robin (Fluidtemperatur und Wärmeübergangskoeffizient)

DuctDesigner GUI:

Modellierung eines Kühlkanals



Inhalt

Einleitung / Motivation

EMod / DuctDesigner

Anwendungsbeispiele

Vorführung der Software

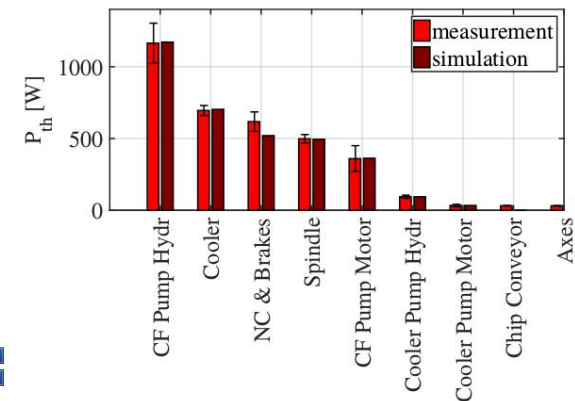
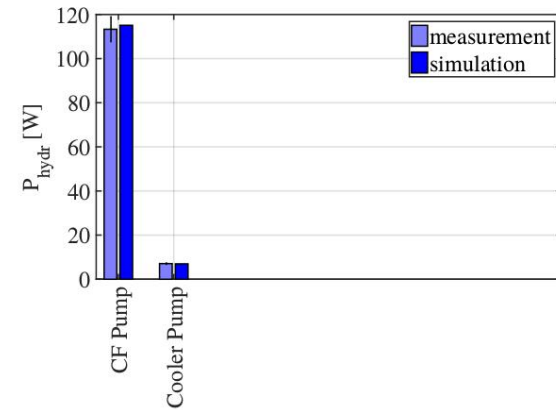
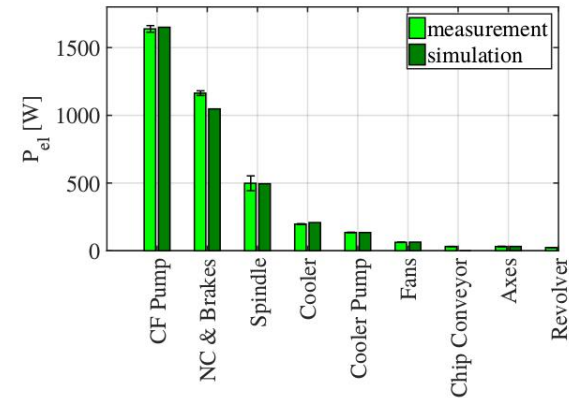
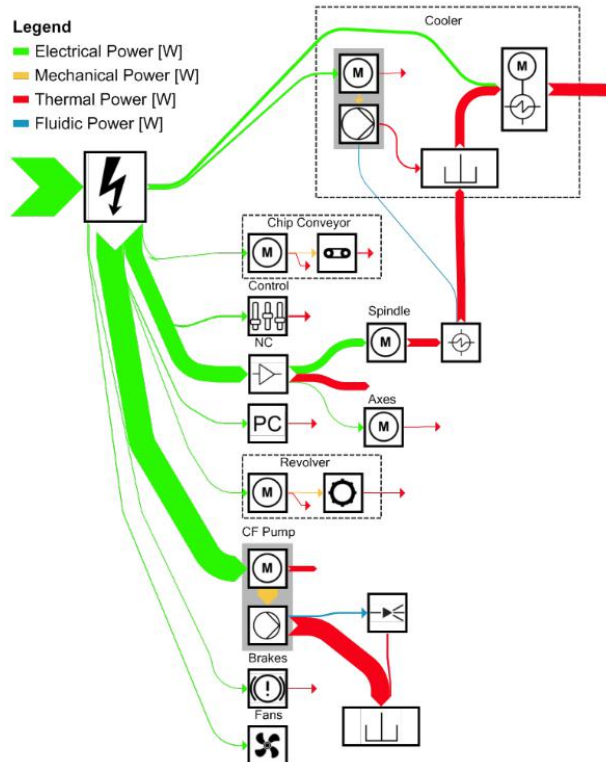
Diskussion

Ausblick

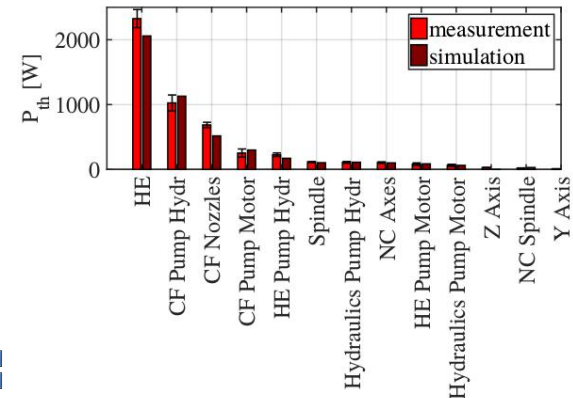
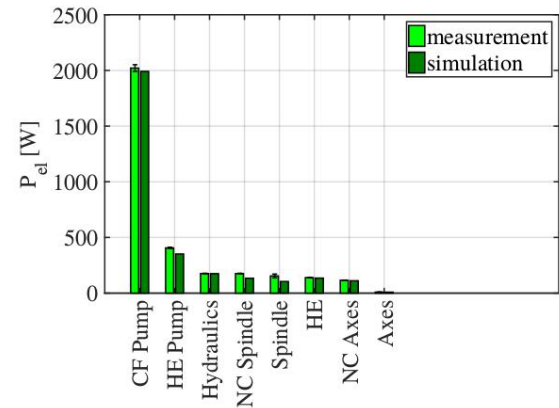
Anwendungsbeispiele: Drehmaschine

Schaublin 42L

State: PROCESSING

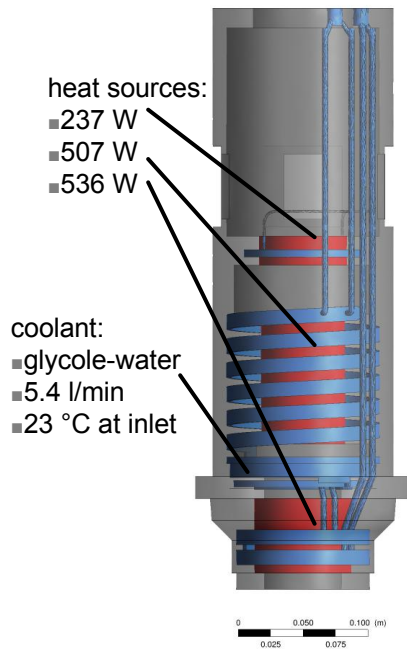


State: PROCESSING with CL

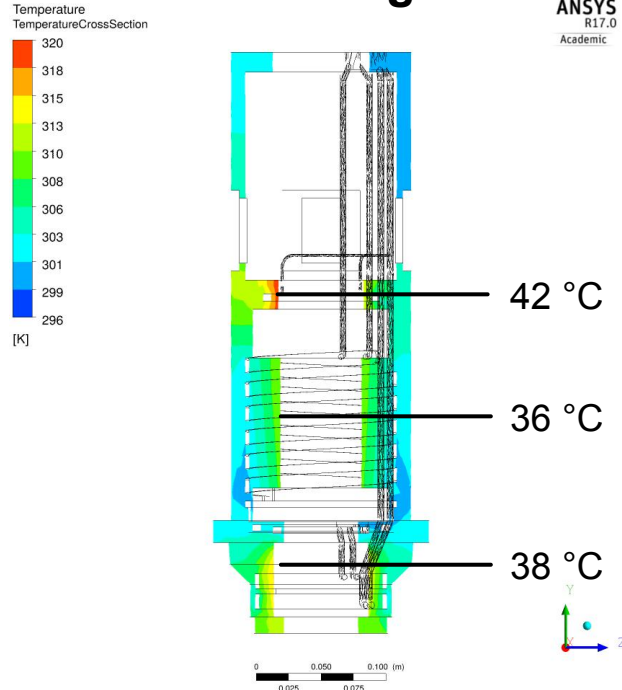


Anwendungsbeispiele: Kühlkanal mit DuctDesigner & Ansys/CFX

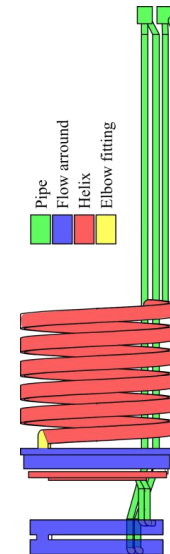
Setup



Lösung



DuctDesigner



Anwendungsbeispiele: Kühlkanal mit DuctDesigner & Ansys/CFX

Allgemein	CFD	DD
Fläche [m ²]	0.13	0.12
Volumen [m ³]	0.15 · 10 ⁻³	0.14 · 10 ⁻³
t-Konfig [d]	3	0.25
t-Sim [s]	3600	<1
Q=6.97 l/min	CFD	DD
Druckverl. [bar]	3.0	2.9
HTC [W/K]	574	562
Q=5.6 l/min	CFD	DD
Druckverl. [bar]	1.8	1.9
HTC [W/K]	450	451
Bearing back	42 °C	42 °C
Coil	36 °C	34 °C
Bearing front	38 °C	37 °C

Zwei Testfälle:

Q=6.97 l/min, pin= 3 bar

Q=5.6 l/min, pin= 1.8 bar

Abweichung von CFD:

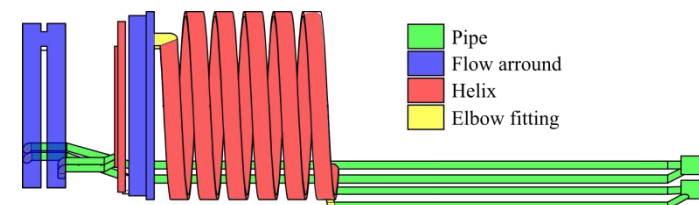
Druckverlust: -5% – 3%

Wärmeübergang: 0% – 2%

Fazit:

Sowohl Druckverlust wie auch
Wärmeübergang können reproduziert
werden

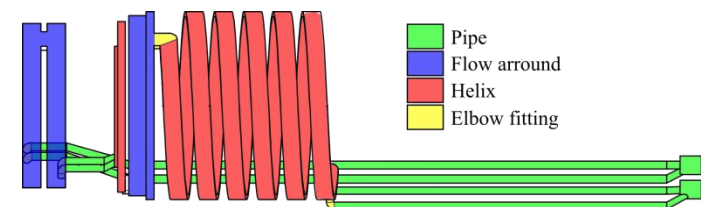
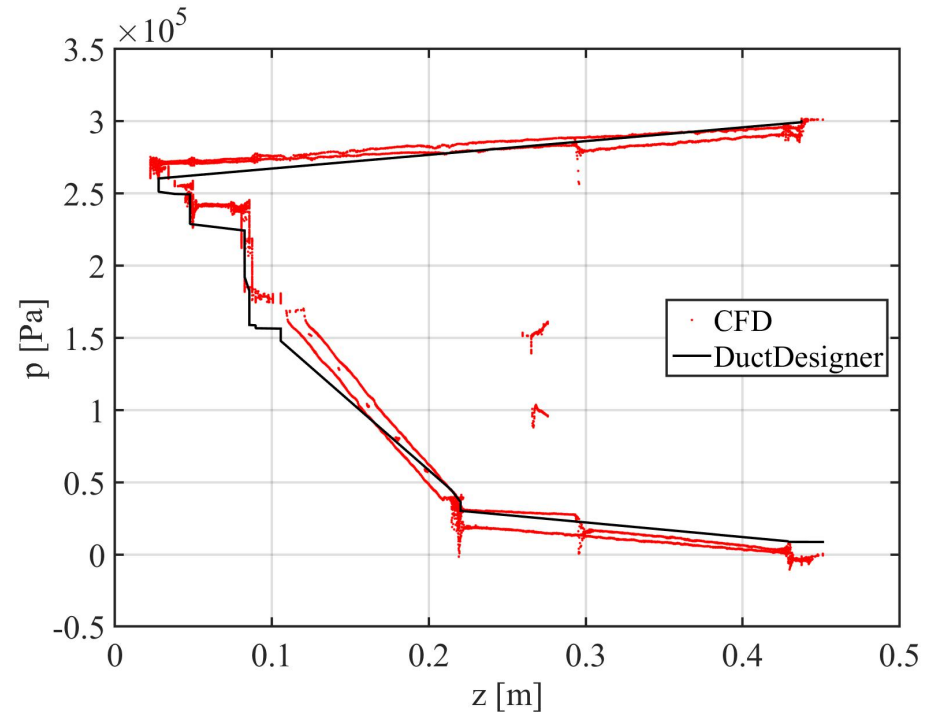
Konfigurations- und Simulationszeit
signifikant reduziert



Anwendungsbeispiele: Kühlkanal mit DuctDesigner & Ansys/CFX

Fazit:

- Berechnung des Druckverlustes und des Wärmeübergangs innerhalb der notwendigen Genauigkeit
- Signifikante Reduktion der Konfigurations- und Rechenzeit



Anwendungsbeispiel: Bearbeitungsspindel

Identification of heat sources

- Electric drive, air gap friction, bearings
- macro models
- cooling demand, boundary conditions



Design concept and optimization

- evaluation of cooling concepts and duct routings
- based on the developed software *DuctDesigner*.



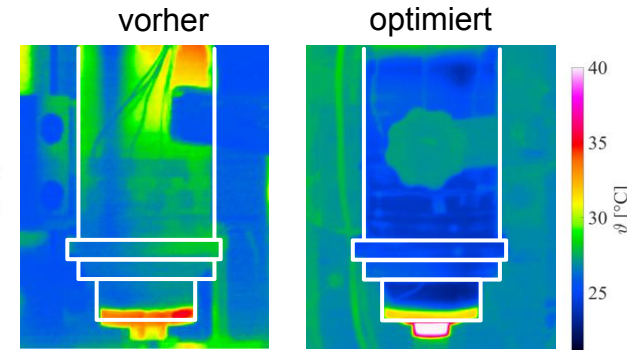
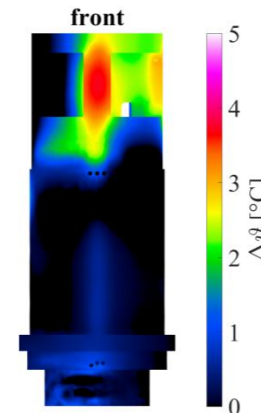
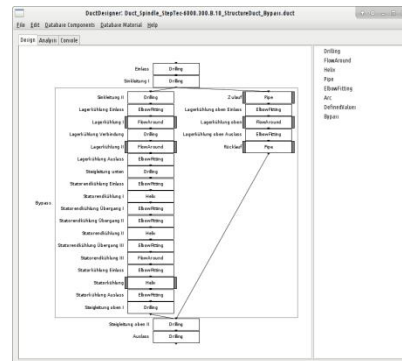
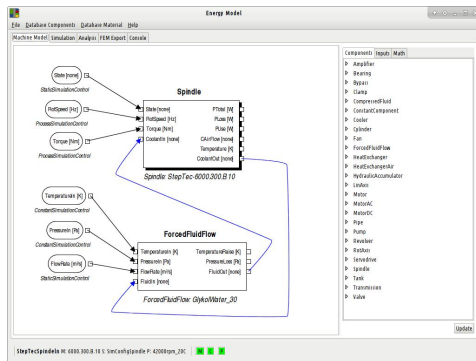
Virtual prototype

- CFD Simulation
- Verification of the concept
- based on the identified boundary conditions



Physical Prototype

- Test field
- Verification of the performance
- Thermo-couples, thermographic imaging



S. Züst, F. Pavlíček, L. Fischer, L. Weiss, K. Wegener, Thermo-Energetic Modelling of Machine Tool Spindles with Active Cooling based on Macro Models, International Journal for Mechatronics and Manufacturing Systems, 9(3): 197-21.

S. Züst, F. Pavlíček, L. Fischer, L. Weiss, K. Wegener, Macro-Models for Modelling and Simulation of Cooled Spindles, Special Interest Group Meeting: Thermal Issues, 17 - 18 March 2016, 2016, Prague, CZ.



Inhalt

Einleitung / Motivation

EMod / DuctDesigner

Anwendungsbeispiele

Vorführung der Software

Diskussion

Ausblick

Demonstration DuctDesigner: Spindelkühlung

Wärmequellen / Wandstärke

Stator: 200 W (5 mm)

Festlager: 300 W (10 mm)

Loslager: 150 W (10 mm)

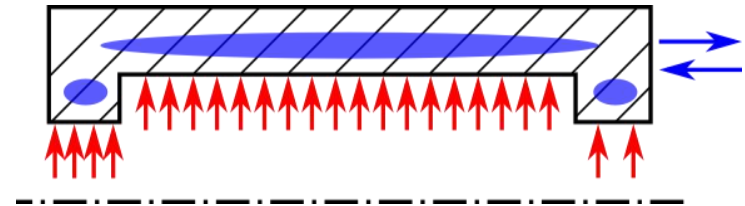
Geometrie:

Durchmesser:

Stator: 50 mm

Lager: 40 mm

Ein- und Auslass am gleichen
Ende



Mögliche Kühlkonzepte:

Lager:

Umfließen

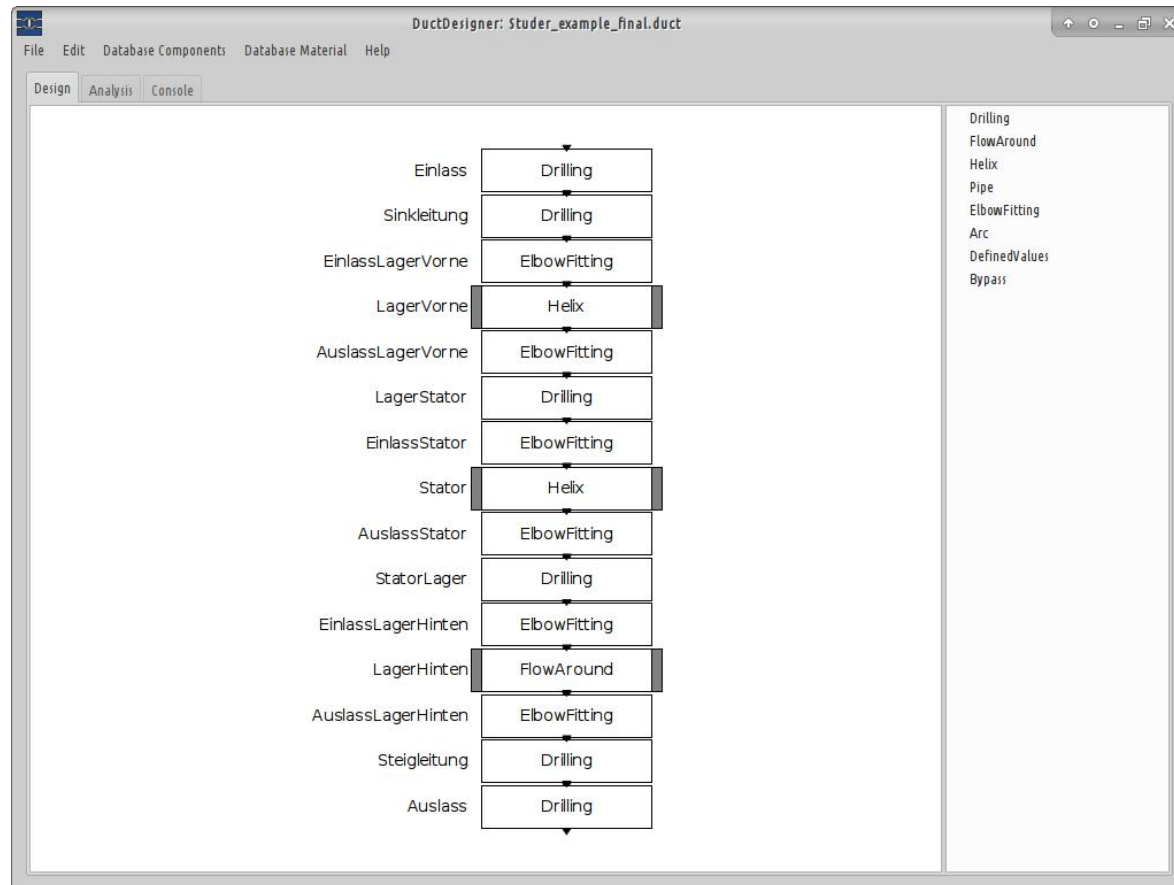
Helix

Stator:

Axiale Bohrungen (20)

Helix

Demonstration DuctDesigner: Spindelkühlung



Inhalt

Einleitung / Motivation
EMod / DuctDesigner
Anwendungsbeispiele
Vorführung der Software
Diskussion
Ausblick

Inhalt

Einleitung / Motivation
EMod / DuctDesigner
Anwendungsbeispiele
Vorführung der Software
Diskussion
Ausblick

Beratung Energie- und Ressourceneffizienz

- Kumulierte Energie Analyse
- Identifikation und Nachweis von Einsparungspotential
- Reffnet Experte (reffnet.ch)

Methoden und Tools

- EcoTool
- EMod
- DuctDesigner

Simulation & Engineering

- Fokus: Kühlung von Maschinenbauteilen
- Ganzheitlicher Ansatz: Wärmequellen, Systemintegration, CFD / FEM
- Beitrag CADFEM ANSYS Simulation Conference (14.06.2017)

Ab Mai 2017:

Züst Engineering AG

Simon Züst

Eichbühlstrasse 6

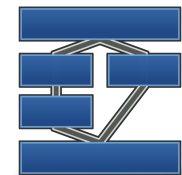
8607 Seegraben

+41 44 932 59 51

+41 79 578 99 32

simonzuest@zuestengineering.ch

www.zuestengineering.ch



Kontakt



Lukas Weiss

*Gruppenleiter
Maschinen*

+41 44 633 08 03
weiss@inspire.ethz.ch



Simon Züst

*Thermo-energetische
Modellierung, Kühlung*

+41 44 632 52 52
sizuest@inspire.ethz.ch

