

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme

Aus OptiYummy

↑

← →

3. Etappe im Übungskomplex "Nadelantrieb" Geometrie & Wärme (des E-Magneten) Autor: Dr.-Ing. Alfred Kamusella

*Der schlimmste aller Fehler ist,
sich keines solchen bewusst zu sein.
- Thomas Carlyle -*

Achtung: neueste Script-Version (21.11.2011 - 11:15 Uhr)

1. **Zielstellung**
 1. Optimale konstruktive Parameter
 2. Berücksichtigung der Erwärmung
2. **Modell-Erweiterung**
 1. Geometriemodell
 2. Statisches Wärmemodell
 3. Modell-Verifizierung
3. **Nennwert-Optimierung**
 1. Experiment-Planung
 2. Experiment-Durchführung
 3. Berücksichtigung von Normreihen
 4. Ergebnisse der Nennwert-Optimierung

Einzusendende Ergebnisse:

- Teilnehmer der Lehrveranstaltung "Konstruktionstechnik" schicken ihre Ergebnisse per Mail an **a.kamusella@ifte.de**
- Als Anhang dieser Mail sind (mit **xx**=Teilnehmer-Nummer 01...99) folgende konfigurierte Modelldateien möglichst in einem Archiv-File zu senden:
 - Etappe3_xx_verifiziert.ism
 - Etappe3_xx.ism
 - Etappe3_xx.opy
- Einsendeschluss ist die Nacht vor der nächsten Übungsetappe.

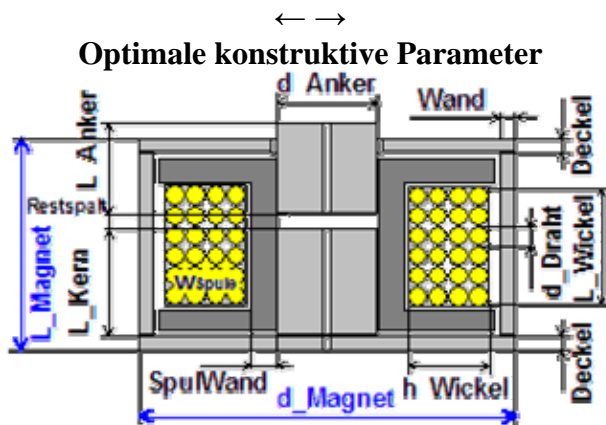
← →

Von „<http://www.optiyummy.de/index.php/Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme>“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Konstruktionsparameter

Aus OptiYummy

↑



In der vorherigen Etappe wurden günstige Werte für die Windungszahl und den ohmschen Widerstand der Spule ermittelt:

- Nur die Windungszahl ist ein konstruktiver Parameter.
- Der ohmsche Widerstand ist ein "konzentrierter Parameter" eines "idealisierten 2-Pol-Elements". Der konkrete Wert ergibt sich in Abhängigkeit vom verwendeten Spulendraht, den Abmessungen der Spule und auch der aktuellen Spulentemperatur.
- Um z.B. einen Prototypen des Magneten fertigen zu können, fehlen als "konstruktive Parameter" die Abmessungen der Spule (Wickelraum, Draht-Ø) und des Eisenkreises (Wandstärke, Topfgröße).

Für die Fertigung eines Funktionsmusters genügt die Ermittlung der Grobgeometrie. Dafür werden folgende Werte definiert:

L_Magnet	(Magnet-Länge)
d_Magnet	(Magnet-Durchmesser)
d_Anker	(Anker-Durchmesser)
L_Anker	(Anker-Länge)
L_Kern	(Kern-Länge)
SpulWand	(Spulenkörper-Wandstärke)
Wand	(Topf-Wandstärke)
Deckel	(Deckel-Dicke)
h_Wickel	(Wickel-Höhe)
L_Wickel	(Wickel-Länge)
d_Draht	(Draht-Durchmesser)
w_Spule	(Windungszahl)
k_Wickel	(Wickelfaktor 0.8)

Zusätzlich benötigt man die Werte für folgende Funktionselemente:

s0_Feder	(Vorspannweg der Feder)
k_Feder	(Elastizitätskonstante)
R_Abschalt	(Schutzbeschaltung der Spule)

Es sollen optimale Nennwerte für die konstruktiven Kenngrößen des Modells bestimmt werden:

- Der Antrieb soll damit möglichst schnell sein.
- Der Magnet muss in den vorgesehenen Bauraum passen.
- Die Spule darf nicht zu heiß werden.
- Die Spitzenwerte von Spulenstrom und -spannung dürfen nicht zu groß werden.

Bei der Suche nach einer optimalen Magnet-Geometrie sind folgende Forderungen zum Bauraum zu beachten:

$d_{\text{Magnet}}=20 \text{ mm}$ (max. Durchmesser)
 $L_{\text{Magnet}}\leq 30 \text{ mm}$ (max. Länge)

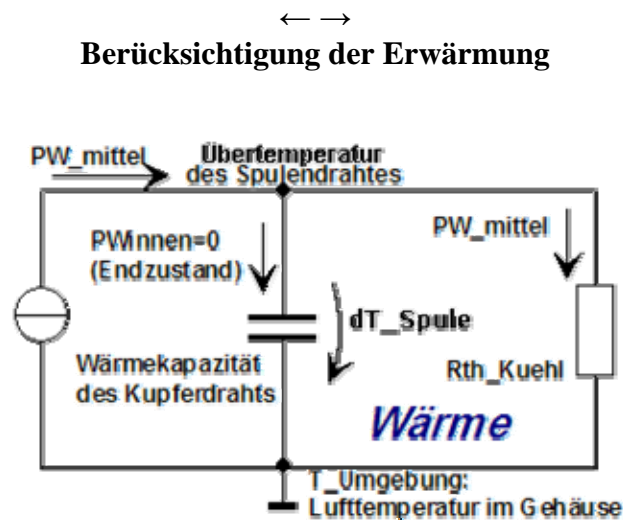
← →

Von „http://www.optiyummy.de/index.php/Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Konstruktionsparameter“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Erwaermung

Aus OptiYummy

↑



Die Erwärmung des Magneten infolge der Verlustleistung in der Spule wurde bisher noch nicht berücksichtigt. Es ist also sehr wahrscheinlich, dass sich eine "optimale" Lösung nach der Inbetriebnahme einfach in Rauch auflöst!

Berücksichtigt werden soll deshalb die Erwärmung des E-Magneten beim Dauerbetrieb (unmittelbar aufeinander folgende Prägezyklen). Die kritische Stelle ist dabei der Spulendraht, welcher infolge seines ohmschen Widerstands die elektrische Verlustleistung in Wärme umsetzt:

- Die Wärmekapazität des Spulendrahtes hat nur Bedeutung, wenn man die Erreichung des Endzustandes selbst zeitlich simulieren muss.
- Die thermische Zeitkonstante ist für den E-Magnet infolge der relativ großen Massen bedeutend größer, als die Zeit für einen Prägezyklus.
- Erst nach sehr vielen Prägezyklen wird die Endtemperatur der Spule erreicht. Uns interessiert nur diese Endtemperatur als Ergebnisgröße eines Simulationslaufes.
- In diesem Fall genügt die Ermittlung der mittleren Wärmeleistung infolge des Stromflusses in der Spule über einen Prägezyklus, um unter Berücksichtigung des thermischen Übergangswiderstands zur Umgebung die Erwärmung der Spule zu berechnen.

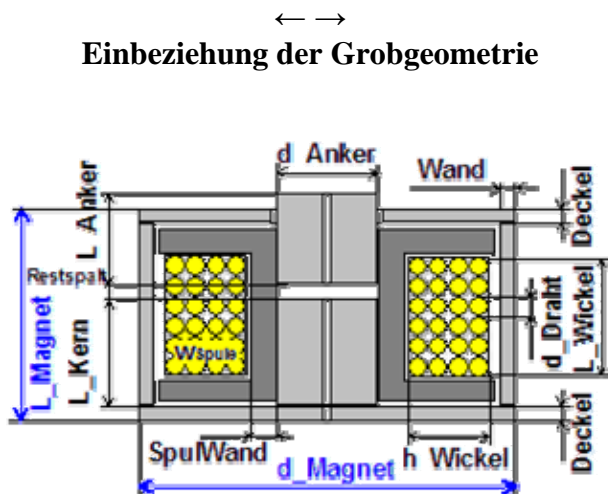
← →

Von „http://www.optiyummy.de/index.php/Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Erwaermung“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Geometriemodell

Aus OptiYummy

↑



Im Eisenkreis des Topfmagneten muss eine geeignete Spule untergebracht werden. Der ohmsche Widerstand und die Windungszahl dieser Spule bestimmen wesentlich die Funktion des Antriebs und sollen weiterhin konstruktive Basis-Parameter bleiben.

Wir erweitern den Algorithmus-Abschnitt des Geometrie-Elements um die dafür erforderlichen Grundzusammenhänge. Dabei muss man die geometrischen Grundzusammenhänge in einer sequentiell berechenbaren Reihenfolge anordnen! Die berechneten Größen stehen anderen Elementen des Modells wertmäßig zur Verfügung:

Der verfügbare Wickelraum sollte möglichst vollständig mit dem Spulendraht gefüllt werden:

- Berechnet werden soll der benötigte Drahtdurchmesser bei Vorgabe von Widerstand und Windungszahl.
- Es muss unterschieden werden zwischen R_{Spule} (für die aktuelle Betriebstemperatur) und $R_{20_{Spule}}$ (bei 20°C).
- Ausgegangen wird von der Dimensionierungsgleichung:

$$R_{20_{Spule}} = \frac{\rho_{Cu} \cdot L_{Draht}}{A_{Draht}} = \frac{\rho_{Cu} \cdot L_{Mittel} \cdot W_{Spule}}{\frac{\pi}{4} d_{Draht}^2}$$

- Diese ergibt umgestellt:

$$d_{Draht} = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_{Cu} \cdot L_{Mittel} \cdot W_{Spule}}{\pi \cdot R_{20_{Spule}}}}$$

- Der aktuelle Spulenwiderstand mit "ΔT=Temperaturdifferenz zu 20°C" ist:

$$R_{Spule} = R_{20_{Spule}} \cdot (1 + \Delta T \cdot k_{th_{Cu}})$$

- Benötigt wird die mittlere Windungslänge:

$$L_{Mittel} = 0,5 \cdot (L_{Aussen} + L_{Innen})$$

mit

$$L_{Innen} = \pi \cdot d_{Innen}$$

und

$$L_{Aussen} = \pi \cdot d_{Aussen} ,$$

wobei

$$d_{Innen} = d_{Anker} + 2 \cdot SpulWand$$

und

$$d_{Aussen} = d_{Innen} + 2 \cdot h_{Wickel}]] .$$

- Die Wickelhöhe ist definiert durch die Geometrie des Eisenkreises:

$$h_{Wickel} = 0,5 \cdot (d_{Magnet} - d_{Anker}) - Wand - SpulWand$$

(Berechnung der Wandstärke des Eisentopfes siehe unten!)

- Damit ist der benötigte Wickelquerschnitt für den Draht bestimmbar, denn aus:

$$w_{Spule} = k_{Wickel} \cdot \frac{A_{Wickel}}{A_{Draht}} = k_{Wickel} \cdot \frac{A_{Wickel}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{Draht}^2}$$

folgt:

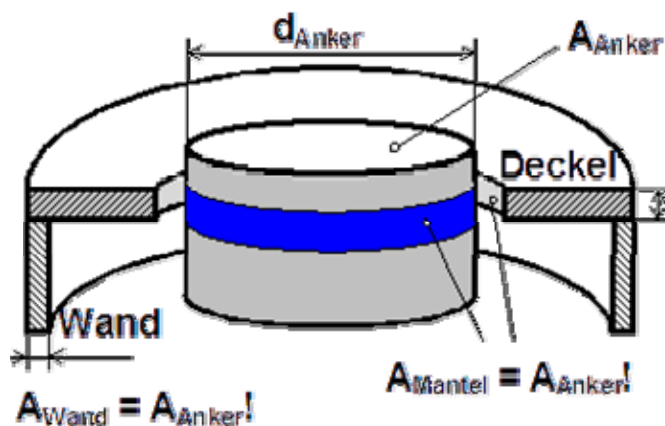
$$A_{Wickel} = \frac{\pi \cdot w_{Spule} \cdot d_{Draht}^2}{4 \cdot k_{Wickel}} = h_{Wickel} \cdot L_{Wickel}$$

- Damit ergibt sich als benötigte Wickellänge:

$$L_{Wickel} = \frac{\pi \cdot w_{Spule} \cdot d_{Draht}^2}{4 \cdot k_{Wickel} \cdot h_{Wickel}}$$

Man sollte auf einen gleichmäßigen Querschnitt des Eisens im Flussverlauf achten:

- Die Querschnittsfläche ist vorgegeben durch die Kreisfläche des Ankers bzw. Kerns.
- Im Deckel breitet sich der Fluss näherungsweise radial aus. Hier ist der kritische Querschnitt die Mantelfläche im Loch:



- Die erforderliche Dicke ist

$$Deckel = d_{Anker} / 4 ,$$

da

$$\pi \cdot d_{Anker} \cdot Deckel = \pi / 4 \cdot d_{Anker}^2$$

- Die Wandstärke des Topfes ergibt sich unter diesen Bedingungen zu:

$$Wand = \frac{d_{Magnet} - \sqrt{d_{Magnet}^2 - d_{Anker}^2}}{2}$$

aus der Gleichheit der Flächen:

$$\pi/4 \cdot d_{Anker}^2 = \pi/4 \cdot (d_{Magnet}^2 - (d_{Magnet} - 2 \cdot Wand)^2)$$

Längen der Eisenabschnitte:

- Für den Eisenkreis wurden bereits die Wandstärken für die Deckel und den Hohlzylinder bestimmt. Benötigt wird hinreichend genau die Eisenweglänge:

$$L_{Eisen} \approx 2 \cdot L_{Anker} + 2 \cdot L_{Kern} + d_{Magnet}$$

- Die Länge des Kerns lässt sich aus der benötigten Wickelbreite bestimmen:

$$L_{Kern} = L_{Wickel} + 2 \cdot SpulWand + Deckel - L_{Anker}$$

- Die Länge des Ankers ist so zu wählen, dass sich der Arbeitsluftspalt ungefähr an der Grenze des oberen Spulendrittels befindet:

$$L_{Anker} = \frac{1}{3} \cdot L_{Wickel} + SpulWand + Deckel$$

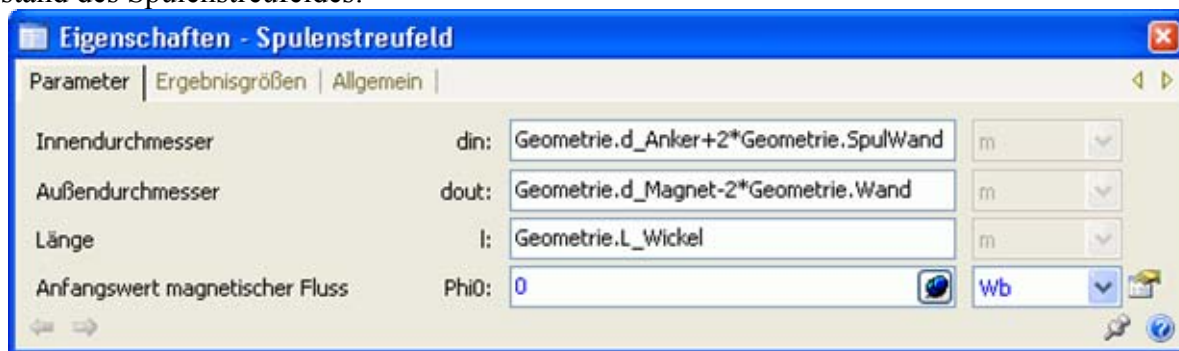
- Die sich ergebende Länge des Magneten

$$L_{Magnet} = L_{Anker} + L_{Kern} + Deckel$$

muss anhand der geforderten maximalen Bautiefe bei der Optimierung als Restriktionsgröße berücksichtigt werden!

Geometrie des Spulenstrefeldes:

- In relativ geschlossenen Magnetkreisen hat es sich bewährt, nur den Wickelraum der Spule für die Ausbreitung des Spulenstrefeldes zu berücksichtigen. Für Luftspulen ohne Eisenkreis bzw. mit vernachlässigbarem Eisen-Rückschluss müsste man jedoch den "unendlichen" Raum für die Ausbreitung des Spulenstrefeldes berücksichtigen.
- In unserem geschlossenem Topfmagneten verfügen wir erst jetzt über die konkreten Abmessungen des Hohlzylinder-förmigen Wickelkörpers. Diese verwenden wir als Parameter für den magnetischen Widerstand des Spulenstrefeldes:



- In Abhängigkeit von der konkreten Magnet-Geometrie erfolgt nun eine Anpassung der wirksamen Spulenstreuung.

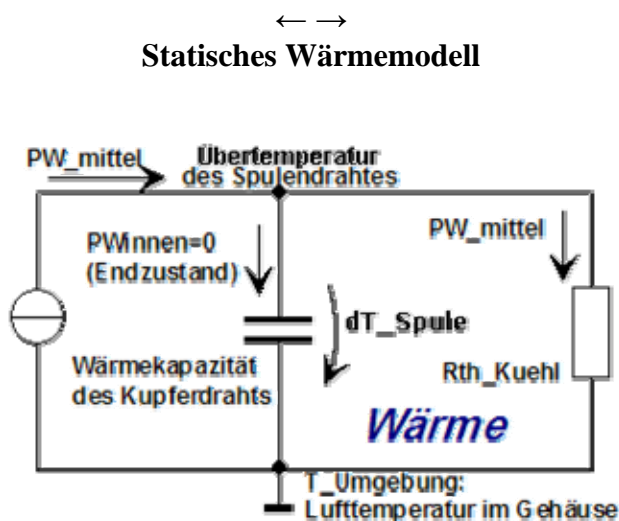
← →

Von „http://www.optiyummy.de/index.php/Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Geometriemodell“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Waermemodell

Aus OptiYummy

↑



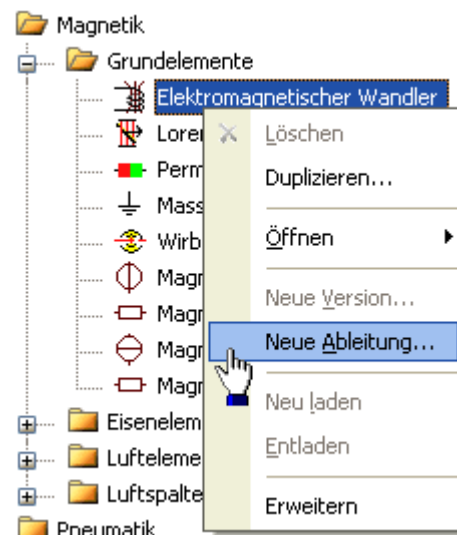
Den thermischen Widerstand zur Umgebung ermittelt man ebenfalls im Geometrie-Element aus der wärmeabführenden Oberfläche des Magneten und dem Wärmeübergangskoeffizienten dieses "Kühlkörpers":

$$R_{th_{Kuehl}} = \frac{1}{k_{th_{Kuehl}} \cdot A_{Kuehl}}$$

$$A_{Kuehl} \approx \frac{\pi}{2} \cdot d_{Magnet}^2 + L_{Magnet} \cdot \pi \cdot d_{Magnet}$$

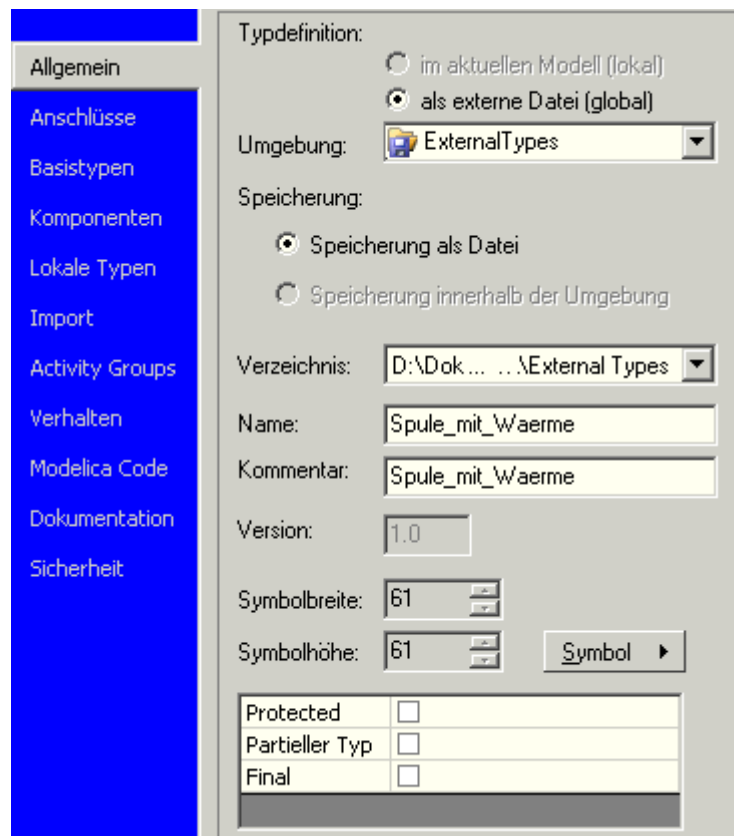
Man könnte in Analogie zum Geometrie-Element einen eigenen Element-Typ "Waerme" definieren. Das würde jedoch unser Modell nur unnötig verkomplizieren. Da die Wärme-Entwicklung fester Bestandteil der Spule ist, soll das in der Modell-Bibliothek bereitgestellte Element für die Magnet-Spule erweitert werden:

- Abgeleitete Element-Typen übernehmen alle Eigenschaften vom ursprünglichen Typ (z.B. Anschlüsse, Parameter, Variablen, Algorithmus, Equations).
- Man kann zusätzliche Eigenschaften ergänzen, wobei man auf den vorhandenen Eigenschaften aufbaut.
- Der abgeleitete Element soll als lokaler Typ im Modell gespeichert werden, um das Modell portabel zu halten.

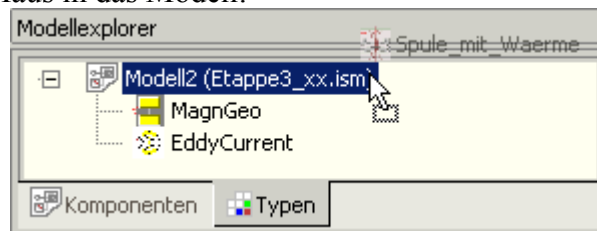


Achtung: Da in der Studentenversion die Anzahl der magnetischen Elemente jeweils auf eines begrenzt ist, müssen wir einen kleinen Umweg über die Bibliothek *ExternalTypes* gehen, um einen lokalen Typ zu erhalten:

- Man aktiviert den Type-Designers über das Kontext-Menü (**Neue Ableitung**) nach Selektieren des Elementtyps in der Bibliothek.
- Nach dem Eintragen eines sinnvollen Namens und Kommentars wird nach "Fertigstellen" der abgeleitete Elementtyp unter der externen Typen abgelegt:



- In der Modellbibliothek erscheint der neue Elementtyp unter "ExternalTypes". Per *Drag&Drop* zieht man diesen Typ einfach mit der Maus in das Modell:



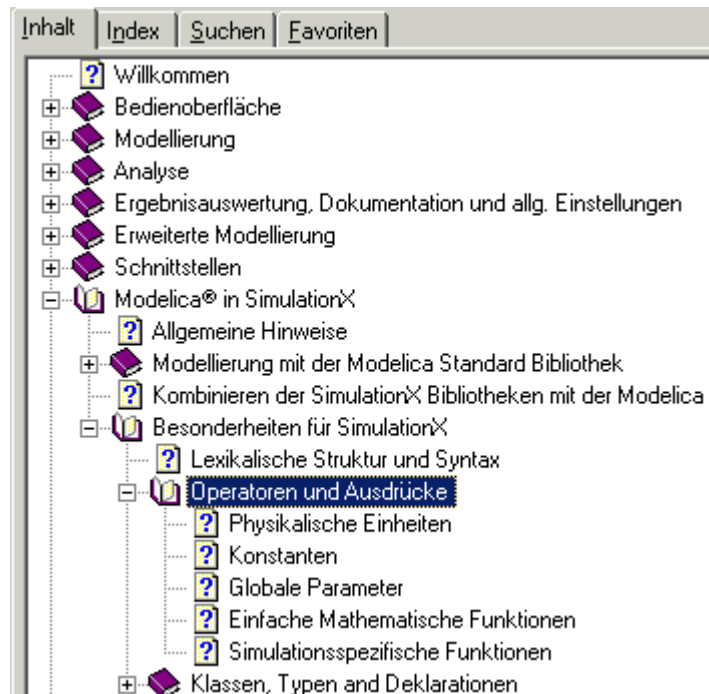
- Als Nächstes löschen wir das Spulen-Element in der Modellstruktur und benutzen statt dessen unsere abgeleitete Spule.

Hinweise:

- Wir dürfen nicht vergessen, die Anfangswerte für Strom und Fluss freizugeben!
- Die Simulation muss zu den gleichen Ergebnissen führen, wie mit der Original-Spule, da wir inhaltlich noch nichts verändert haben!

Nach erneutem Aufruf des Type-Designers ergänzen wir die Wärme-Eigenschaften als Algorithmus:

- SimulationX umfasst den Sprachstandard Modelica® in der Version 3.0. Sämtliche Modelica-spezifischen Sprachkonstrukte sind unter <http://www.modelica.org> beschrieben.
- Ausführliche Informationen zum darüber hinaus verfügbaren Funktionsumfang der Modellierungssprache von SimulationX findet man im Hilfesystem:



1. Ermitteln der elektrischen Verlustleistung **PW** im Spulendraht.
2. Aufintegration (Siehe SimulationX-Hilfe) der Wärmeenergie **EW** aus **PW** während eines Simulationslaufes (*Hinweis*: Anfangswert **0** im Integral für die Zustandsgröße **EW**!)
3. Mittlere Wärmeleistung **PW_mittel** für einen Prägezyklus aus umgesetzter Wärmeenergie **EW** und Zykluszeit **t_Zyklus** ermitteln:
 1. Die Zykluszeit **t_Zyklus** als Parameter des Spulen-Elements ist erst nach Vollendung des Prägezyklusses bekannt.
 2. Zuvor nutzt man die aktuelle Zeit **time**, wobei man eine Division durch Null vermeiden muss.
4. Erwärmung der Spule:
 1. Die Berechnung der Temperaturerhöhung aus der mittleren Wärmeleistung und dem thermischen Übergangswiderstand erfolgt im Spulen-Element.
 2. Der Wert für den thermischen Übergangswiderstand zur Umgebung wird im Modell-Element "Geometrie" berechnet.
 3. Der entsprechende Parameter des Spulen-Elements erhält diesen Wert vom Geometrie-Element.

The screenshot shows the SimX software interface. On the left, a sidebar contains navigation options like 'Allgemein', 'Anschlüsse', 'Basistypen', etc. The main window displays a list of parameters for a coil element, including **Rth_Kuehl** (Wärmeübergangswiderstand), **t_Zyklus** (Zykluszeit), **PW** (Verlustleistung), **EW** (Verlustenergie), **PW_mittel** (Mittlere Verlustleistung), and **dT_Spule** (Erwärmung der Spule). On the right, the 'Algorithmus' tab is active, showing the following code:

```

1 // enter your algorithm here
2 PW:=Rel*i*i;
3 EW:=integral(PW,0);
4 if noEvent(t_Zyklus>1e-6) then
5   PW_mittel:=EW/t_Zyklus;
6 else
7   PW_mittel:=EW/(time+1e-6);
8 end if;
9 dT_Spule:=Rth_Kuehl*PW_mittel;
10

```

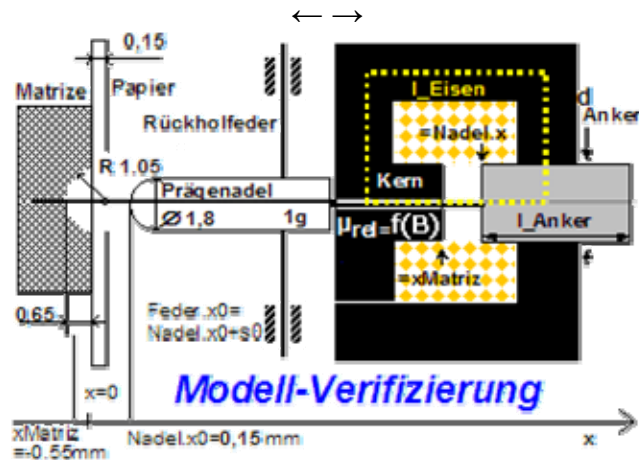
← →

Von „http://www.optiyummy.de/index.php/Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Waermemodell“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Modellverifizierung

Aus OptiYummy

↑



Nun kommt das schwierigste Problem: die richtigen Simulationsergebnisse in Hinblick auf die im Modell berücksichtigten Effekte zu erhalten (Verifizierung="richtige" Berechnung nachweisen).

Achtung: Teilnehmer der Lehrveranstaltung "Konstruktionstechnik" erzeugen von dem konfigurierten Simulationsmodell eine Kopie **Etappe_xx_verifiziert.ism** mit xx=Teilnehmernummer 01..99 zum Nachweis der exakten Funktion des Modells.

Hinweis: Das "richtige" Berechnen bedeutet nicht, dass das Modell in Hinblick auf die Realität ein hinreichend genaues Verhalten zeigt. Nur durch zusätzliche Validierung kann man die gewünschte Glaubwürdigkeit des Modellverhaltens "absichern".



Allgemein	Rücksetzpunkte	Tracing	Solver
Startzeit	tStart:	0	s
Stopzeit	tStop:	0.01	s
Min. Rechenschrittweite	dtMin:	1e-12	s
Max. Rechenschrittweite	dtMax:	(tStop-tStart)/2	s
Absolute Toleranz	absTol:	1e-004	-
Relative Toleranz	relTol:	1e-006	-
Minimale Schrittweite	dtDetect:	dtMin*1e-4	s
Protokollierung von Ergebnissen:			
Nach mindestens dtProtMin sowie vor und nach Ereignissen			
Min. Ausgabeschrittweite	dtProtMin:	(tStop-tStart)/500	s
Rücksetzen			

- Da im Rahmen der Lehrveranstaltung nur begrenzt Zeit ist, soll das Modellverhalten mit vorgebener

Simulationssteuerung und anhand folgender Parameter überprüft werden (eventuell nicht aufgeführte Werte wie in vorherigen Etappen präzisiert):

```
Hysterese = Wie in Etappe2 vorgegeben
termCond = (Praegung.y>=1)and(tZyklus.y>1e-3)and((t-tZyklus.y)>1e-4)
tZyklus.y0 = 0 (Anfangswert)
Diode = Ideale Diode mit vf=0.7 V
Widerstand = 1000 Ohm
Spannung = 24 V
Nadel.x0 = 0.15 mm
Feder.k = 20 N/mm (Vorspannung für 20g!)
d_Anker = 10 mm
w_Spule = 500
R20_Spule = 4 Ohm
d_Magnet = 20 mm
T_Spule = 100°C
K_FeInnen = 0.1
k_Wickel = 0.8
Restspalt = 50 µm
SpulWand = 0.3 mm
rho_Fe = 7.8 g/cm³
rho_Cu = 1.6E-8 Ohm*m
kth_Cu = 0.0039 (1/K)
kth_Kuehl = 12 W/(K*m²)
Re_Eisen = 1.5 mOhm ("richtiger" Wirbelstrom!)
```

■ Ergebnisse von "Geometrie":

```
A_Anker = 0.785398 cm²
Deckel = 2.5 mm
Wand = 1.33975 mm
h_Wickel = 3.36025 mm
d_innen = 10.6 mm
d_aussen = 17.3205 mm
L_innen = 33.3009 mm
L_aussen = 54.414 mm
L_mittel = 43.8574 mm
d_Draht = 0.334189 mm
L_Wickel = 16.3148 mm
L_Anker = 8.23826 mm
V_Anker = 0.647031 cm³
m_Anker = 5.04684 g
L_Kern = 11.1765 mm
L_Eisen = 58.8296 mm
L_Magnet = 21.9148 mm
L_FeInnen = 5.8830 mm
L_FeAussen = 52.9466 mm
Re_FeInnen = 15 mOhm
Re_FeAussen = 1.66667 mOhm
R_Spule = 5.248 Ohm
A_Kuehl = 20.0526 cm²
Rth_Kuehl = 41.5573 K/W
```

■ Ergebnisse der Dynamiksimulation:

```
Praegung.y = 1.000
tZyklus.y = 4.92 ms
Riss.y = 2.134 ms
vMax.y = -159.2 V
iMax.y = 0.7221 A
```

■ Ergebnisse in Spule:

```
E_Waerme = 3.539 mWs
PW_mittel = 0.7193 W
dT_Spule = 29.89 K
```

■ Ergebnisse in Eisen:

innen.B	=	0.02549	T
aussen.B	=	0.02507	T

Hinweis: Die letzten Ergebnisstellen sind teilweise gerundet. Auch kleine Abweichungen von den aufgelisteten Werten deuten auf Fehler im Modell! Bei den Ergebnissen der Dynamiksimulation, zu denen auch die Wärme-Werte gehören, kann man eine Abweichung in der 4. Ziffernstelle akzeptieren. Ursache ist das numerische Rauschen beim Lösen der Differentialgleichungen im Zeitbereich.

← →

Von „http://www.optiyummy.de/index.php/Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Modellverifizierung“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Experimentplanung

Aus OptiYummy

↑

← →
Experiment-Planung

Inhaltsverzeichnis

- 1 Entwurfparameter
- 2 Bewertungsgrößen
- 3 Modell-Einbindung
- 4 Ausgangslösung
- 5 Optimierungsverfahren
- 6 Visualisierung

Entwurfparameter

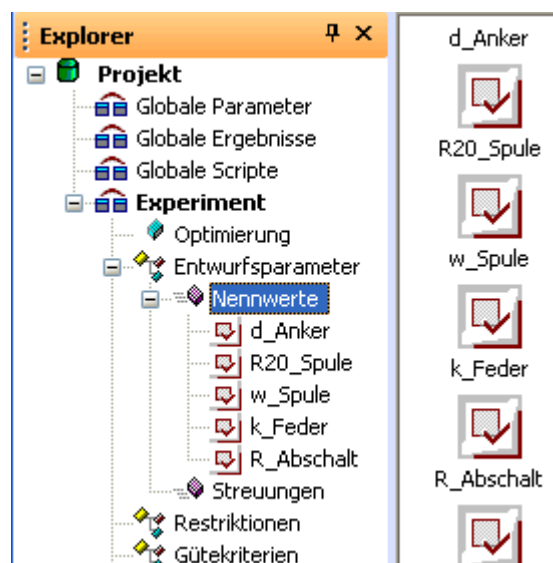
Zwei Parameter können wir aus der Optimierung herausnehmen, da ihre Werte bereits bekannt sind:

`Nadel.x0 = 0.15 mm` (Nadelspitze auf Papier)
`d_Magnet = 20 mm` (max. Spulen-Wickelraum)

Wir berücksichtigen im Optimierungsexperiment die Nennwerte von 5 Entwurfparametern:

`d_Anker` (Ankerdurchmesser)
`R20_Spule` (Widerstand bei 20°C)
`w_Spule` (Windungszahl)
`k_Feder` (Elastizitätskonstante)
`R_Abschalt` (Abschaltwiderstand)

Diese Nennwerte werden in einem ersten Schritt im Workflow-Editor als abstrakte Daten-Objekte definiert:



Bewertungsgrößen

Wir berücksichtigen 5 Forderungen als Restriktionsgrößen:

Praegung ≥ 1 (Prägungsmaß)
|v_Max| ≤ 200 V (max. Spulenspannung)
i_Max $\leq 1,5$ A (max. Spulenstrom)
L_Magnet ≤ 30 mm (Magnetlänge)
dT_Draht ≤ 40 K (Temperaturerhöhung)
 da bei 50°C Umgebungstemperatur, setzen wir im Modell **Geometrie.TSpule=90°C**
Böse Falle: Ab SimX 3.3 werden Werte von Ausgangsgrößen immer in **SI-Einheiten** übernommen!!!

The screenshot shows the SimX software interface. On the left is the 'Explorer' panel, which displays a hierarchical tree view of the project. The 'Experiment' folder is expanded, showing 'Restriktionen' (Restrictions) with 'Prægung' selected. Below the Explorer is the 'Eigenschaft' (Property) panel, which displays the properties for the selected 'Prægung' restriction.

Restriktion Daten	
Name	Praegung
Einheit	
Kommentar	Prägungsmaß
Werte	
Untergrenze	1
Obergrenze	1.1
Gewichtsfaktor	1
Last Value	1

Und wir haben weiterhin den Wunsch, dass ein Prägezyklus **tZyklus** möglichst schnell vollendet wird. Diesen Wunsch könnten wir als Gütekriterium berücksichtigen:

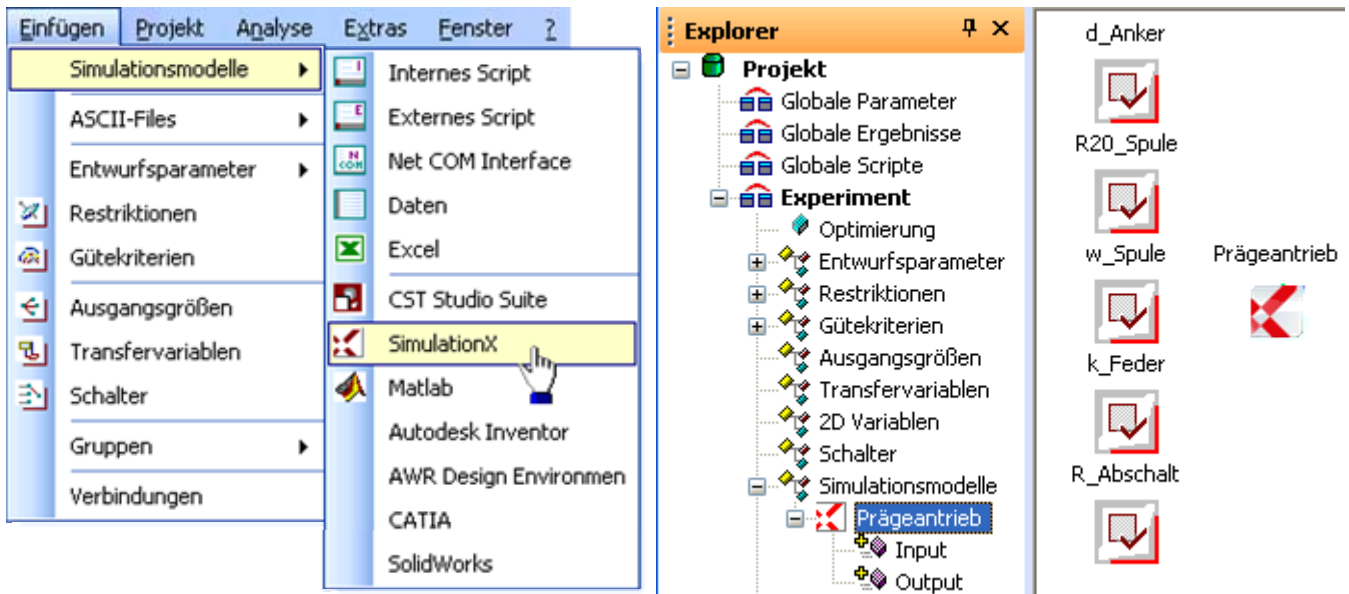
- Nach unseren Erfahrungen mit der "Verklemmen" des Hooke-Jeeves-Verfahrens an Restriktionsgrenzen definieren wir **tZyklus** sofort als zusätzliche Restriktion.
- Im Verlaufe des Optimierungsexperiments verschärfen wir schrittweise die Forderungen für die Dauer eines Präge-Zyklus.

Modell-Einbindung

Zur Berechnung der Bewertungsgrößen benötigt man Modelle, welche auf Basis der Entwurfparameter das zu bewertende Verhalten simulieren.

SimulationX-Modell:

Dieses fügen wir zuerst als abstraktes Objekt in den Workflow-Desktop ein:



Jedes Simulationsmodell muss über seine Input- und Output-Größen in den Workflow eingebunden werden.

Input-Größen:

In unserem Beispiel sollen sämtliche Entwurfparameter als Input-Größen in das SimulationX-Modell "Prägantrieb" eingespeist werden. Ein Doppelklick auf das SimulationX-Objekt öffnet den zugehörigen Eigenschaftsdialog:

- Man muss die Entwurfparameter markieren, welche als Input-Größen in das Modell einzuspeisen sind (hier alle).
- Die Zuordnung des abstrakten Modell-Objekts zu einem konkreten Modell erfolgt durch Öffnen der Modell-Datei.
- Dem Modell-Objekt gibt man einen sinnvollen Namen und einen erläuternden Kommentar:

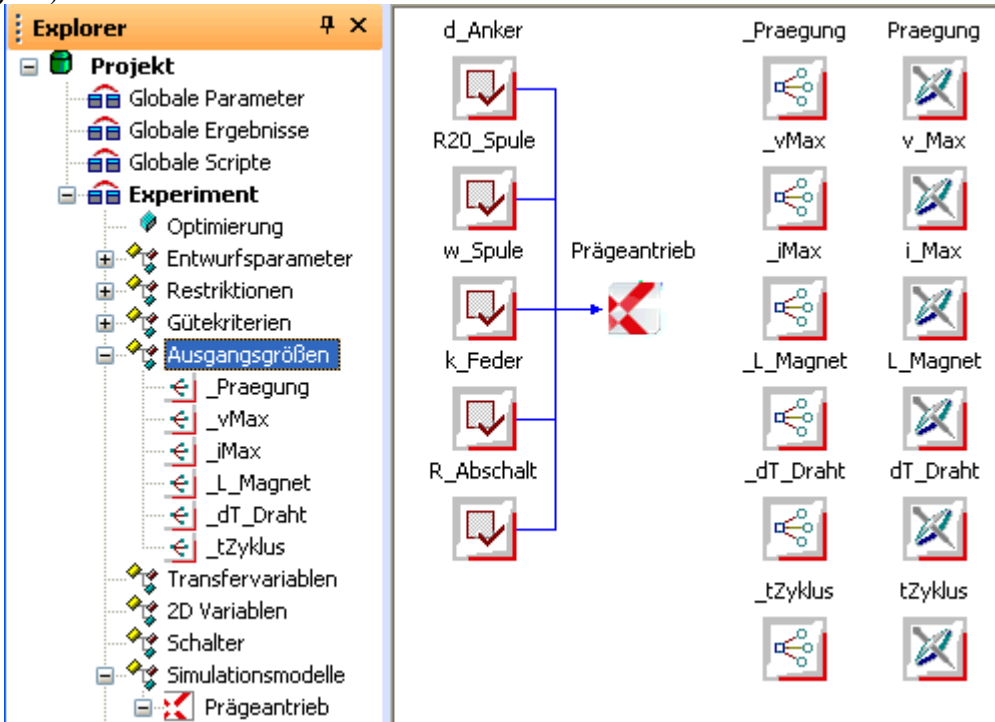


- Wenn ein konkretes Modell zugeordnet wurde, kann man die abstrakten Entwurfparameter auch konkreten Modellparametern zuordnen (Registerkarte **Eingang**).
- Nach der Zuordnung der Modell-Parameter stehen die Anfangswerte in den Entwurfsgrößen zur Verfügung. Die Standardwerte für die Grenzen muss man noch durch sinnvolle Werte ersetzen.

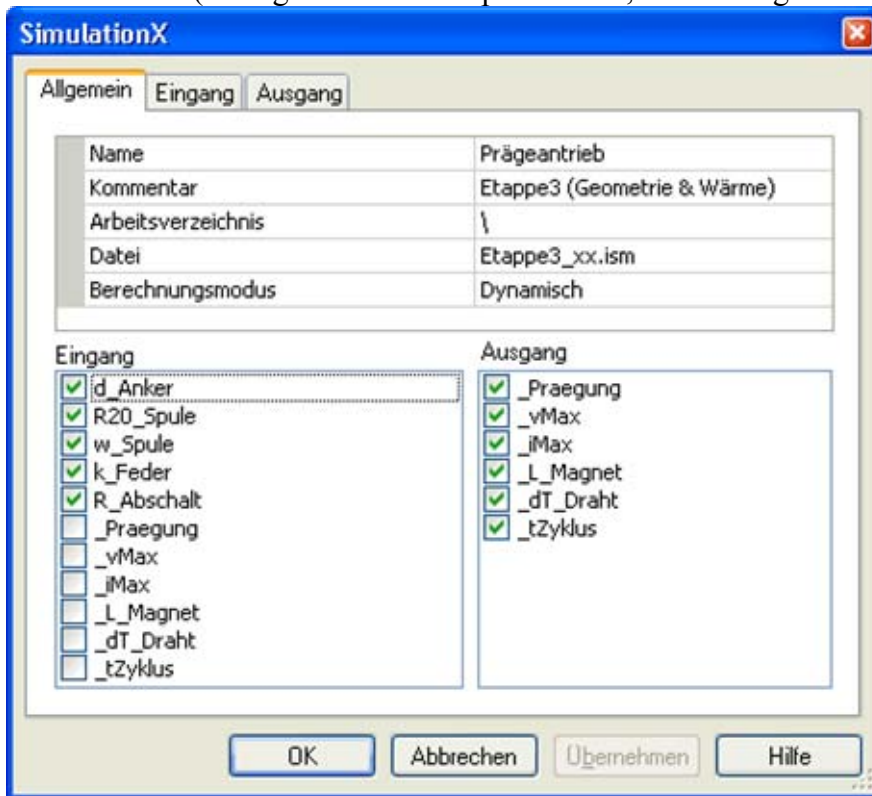
Output-Größen:

Die Bewertungsgrößen kann man nicht direkt als Output-Variablen des Modells nutzen. Es sind deshalb noch keine Ergebnis-Verbindungen möglich:

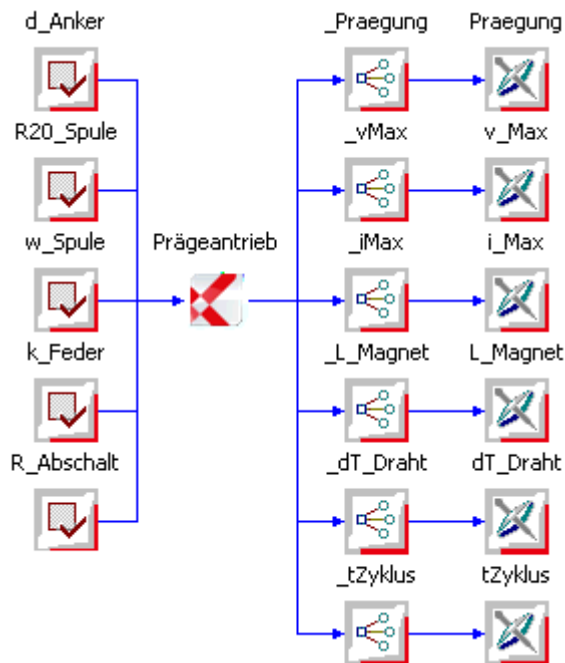
- Die Output-Variablen müssen als separate Datenobjekte eingefügt werden (**Einfügen - Ausgangsgrößen**):



- Nach Doppelklick auf das SimulationX-Objekt kann man dann den abstrakten Ausgangsgrößen konkrete Variablen des Modells zuordnen (analog zu den Modellparametern, aber in Registerkarte **Ausgang**):



- Damit werden die Verbindungen der Ausgangsgrößen zum Modell hergestellt.
- Nach dem Editieren (der Ausdrücke) aller Bewertungsgrößen werden deren Verknüpfungen zu den Ausgangsgrößen visualisiert:



Ausgangslösung

- Wir benutzen als Startpunkt für die Optimierung den Bestwert, welchen wir ohne Berücksichtigung von Geometrie und Erwärmung ermittelt haben.
- **Geometrie.K_FeInnen=0.1xx**: Jeder Teilnehmer der Lehrveranstaltung benutzt den individuellen Wert.
- **Geometrie.T_Spule=90°C**: Der Wert der Spulentemperatur ist auf den zu erreichenden Grenzwert zu setzen.

Optimierungsverfahren

- Wir benutzen das Hooke-Jeeves-Verfahren mit "manueller" Startschrittweite und ohne automatischem Stop.
- Nach Wahl des Optimierungsverfahrens sollte man überprüfen, ob die Startschrittweite der Entwurfsgrößen sinnvoll ist.
- Um den Gradienten der Zielfunktionsverbesserung möglichst gut zu erfassen, sind kleine Abtastschrittweiten günstig.
- Allerdings ist die minimal zulässige Abtastschrittweite abhängig vom "Rauschen" des Simulationsmodells. Der Anteil des stochastischen Fehlers darf die Berechnung der Änderungen der Bewertungsgrößen nicht stören!
- Bei unserem Antriebsmodell hat sich z.B. 1/1000 des Startwertes als günstiger Wert für die Startschrittweite erwiesen.
- Man beachte, dass die Windungszahl eine Ausnahme darstellt, da nur ganze Zahlen sinnvoll sind (Genauigkeit=1). Hier ist eine Startschrittweite von 1 Windung günstig.

Eigenschaft	
Optimierung	
Automatischer Stop	False
Optimierungsschritte	1000
Startschrittweite	Manuell
Verfahren	Hooke-Jeeves-Verfahren

Visualisierung

Man sollte die Nennwert-Verläufe aller Entwurfsparameter und Bewertungsgrößen jeweils in einem eigenen Fenster darstellen.

← →

Von „http://www.optiyummy.de/index.php/Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Experimentplanung“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Experimentdurchfuehrung

Aus OptiYummy

↑

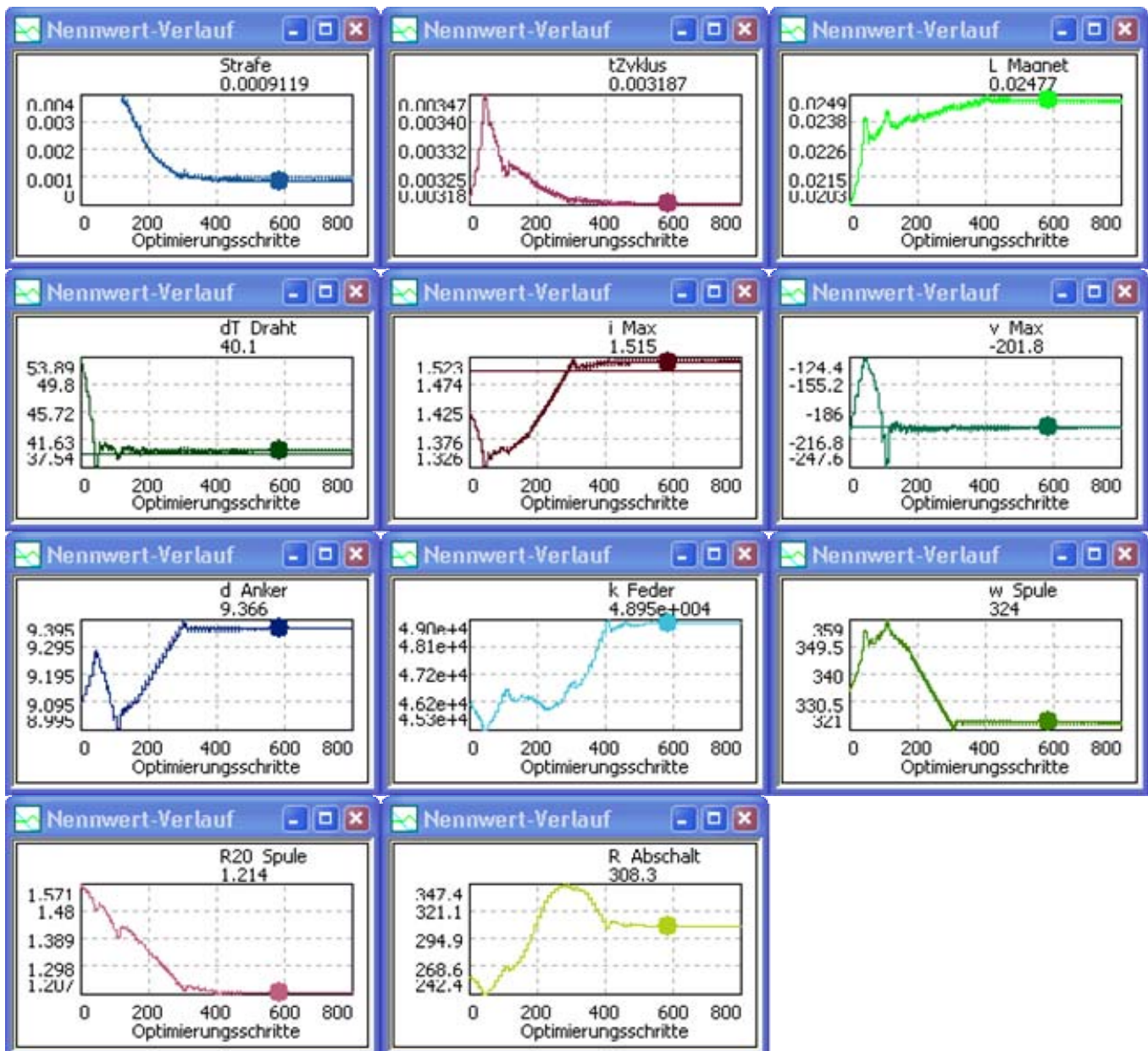
← →

Experiment-Durchfuehrung

Aufgrund der Komplexität unserer Optimierungsaufgabe muss man zumindest in der Anfangsphase genau analysieren, was dabei passiert:

- Besitzen die benutzten Größen in Hinblick auf ihre Maßeinheit die richtigen Zahlenwerte?
- Konvergieren die Restriktionsgrößen in der Anfangsphase der Optimierung in Richtung ihrer zulässigen Bereiche?
- Bleibt die sich dabei eventuell vergrößernde Zykluszeit innerhalb des Simulationszeitbereiches?
- Stoßen die Entwurfparameter bei der Optimierung an ihre Grenzwerte?

Bisher haben wir als Bestwert nur eine Lösung mit Strafe=0 akzeptiert. Diese "akademische" Lösung ist mit hohem Experimentieraufwand verbunden und Realitätsfern:



- Bei technischen Problem-Lösungen befindet sich das ideale Nennwert-Optimum meist an Restriktionsgrenzen.
- Lokale Suchverfahren der numerischen Optimierung stoßen meist vor Erreichen des Optimums an Restriktionsgrenzen. Der Suchpfad verläuft dann in der letzten Phase entlang dieser Restriktionsgrenzen. Da das Verbesserungspotential der Lösung in dieser Phase meist nur noch gering ist (extrem schwacher Gradient der Zielfunktion), führt das numerische Rauschen der Modellberechnungen zu einer schlechten Konvergenz in Richtung des "exakten" Optimums.
- Nach Einbeziehung der Geometrie und Erwärmung in die Lösungssuche befindet sich die optimale Lösung gleichzeitig an bis zu vier Restriktionsgrenzen.
- Das führt im Beispiel dazu, dass trotz vielfältiger Bemühungen der Wert Strafe=0 kaum erreicht werden kann.

In der Praxis strebt man derartige "akademische" Lösungen nicht an:

- Eine leichte **Überschreitung der Komponenten-Belastung** (in der Lehrveranstaltung **max. 1%**) kann man akzeptieren, da die benutzten Modelle nicht exakt sind und auch durch eine leichte Überlastung noch keine Zerstörung der Baugruppe erfolgt.
- Belastungsgrößen sind im Beispiel Strom, Spannung und Erwärmung.
- Eine Überschreitung geometrischer Vorgaben für den Bauraum ist nicht akzeptabel! In kritischen Fällen kann man dieser Überschreitung durch hohe Wichtungsfaktoren im Vergleich zu den Belastungsgrößen entgegenwirken.

Hinweise:

Dem Bestwert für die Zykluszeit wird man sich iterativ durch zielgerichtetes Verändern des oberen Grenzwertes für t_{Zyklus} nähern. Intuitiv könnte man die jeweils zuvor erreichte Optimal-Lösung als neuen Startwert übernehmen - das sollten wir jedoch nicht machen:

- Ein Startwert dicht neben dem Optimum ist numerisch meist kritisch, da es nicht viel zu verbessern gibt (sehr flacher Abstieg auf der Zielfunktion).
- Hier muss man unter Umständen die Rechengenauigkeit des Simulationsmodells erhöhen, damit der Wert dieses Abstiegs durch Abtastung der Zielfunktion überhaupt noch ermittelt werden kann.
- Mit etwas Pech konvergiert das Optimierungsverfahren trotzdem nicht richtig!

Bei veränderten Bewertungsgrößen ist es meist besser, von der ursprünglichen Anfangslösung erneut zu starten:

- Auf Grund der großen Distanz zum Optimum hat das Verfahren genügend Zeit, sich an die Gradienten der aktuellen Zielfunktion anzupassen.
- Daraus resultiert eine stabilere Konvergenz zum angestrebten Optimum.

Achtung:

- Die schnellst mögliche Zykluszeit kann man meist nur durch Ausreizen der Grenzwerte aller Belastungsgrößen erreichen. Dies ist im obigen Bild sehr gut erkennbar, denn Temperatur, Maximalstrom und Abschaltspannung liegen an den zulässigen Grenzwerten. Man muss in unserem Beispiel in jedem Fall die Optimierung fortsetzen, wenn man diese Restriktionen noch nicht ausgereizt hat!
- Der erforderliche Bauraum (L_{Magnet}) korreliert stark mit dem Grenzwert für die Erwärmung. Der zulässige Bauraum wird aber nicht notwendiger Weise ausgenutzt, da dies auch zu einer Erhöhung der Ankermasse führt, was dynamisch ungünstig ist.
- Kommt es bei der Optimierung zu numerischen Problemen bei der Behandlung des Abschalt-Ereignisses, so sollte man die Diode aus dem Modell entfernen. Ihre Wirkung auf das Modellverhalten ist gering, der Abschaltwiderstand wirkt weiterhin.

← →

Von „http://www.optiyummy.de/index.php/Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Experimentdurchfuehrung“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Normreihen

Aus OptiYummy

↑

← →

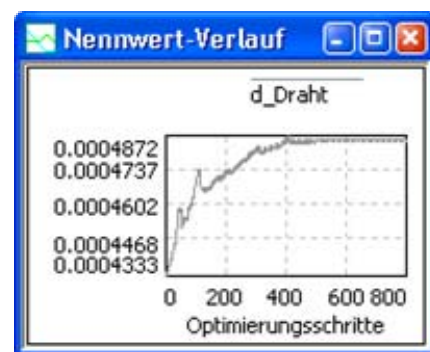
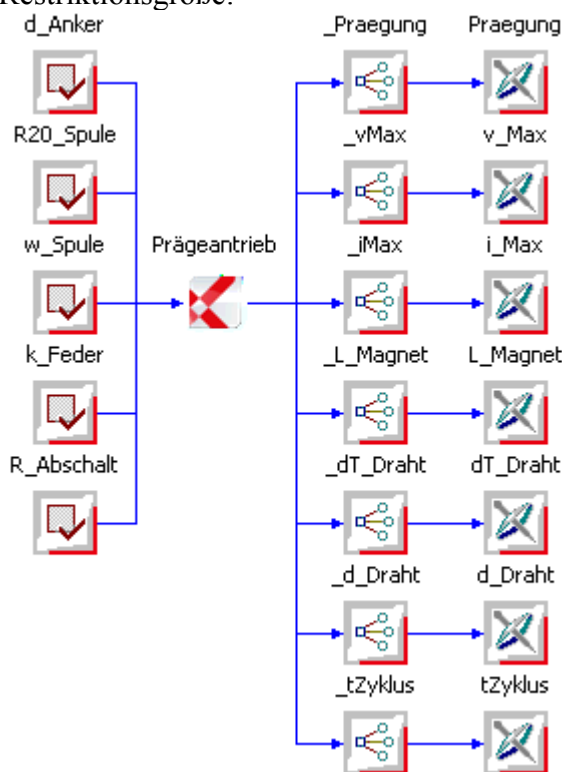
Berücksichtigung von Normreihen

Bauteile und Materialien sind meist nicht in beliebigen feinen Abstufungen erhältlich. Oft gehören die Kennwerte solcher Materialien oder Bauteile zu einer Reihe.

Kupferlackdraht: 0.3 / 0.32 / 0.35 / 0.37 / 0.40 / 0.45 / 0.50 / 0.55 / 0.60 / 0.65 / 0.70 / 0.75 / 0.80 / 0.90 / 1.00 / 1,20 / 1,50 / 1,80 / 2,00 mm.

Die bisherige Optimierung führte mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem Drahtdurchmesser (=Cu-Durchmesser), der nicht zur obigen Reihe gehört:

- Den Wert für d_{Draht} kann man nach einer Bestwert-Simulation im SimulationX-Modell ablesen.
- Wir erweitern den OptiY-Versuchsstand um "d_Draht" als zusätzliche Restriktionsgröße:



- Damit können wir die Optimierung zwingen, einen vorgegebenen Drahtdurchmesser für die optimale Lösung zu benutzen.
- Der obige Optimierungsverlauf für den Drahtdurchmesser wurde mit unwirksamer d_{Draht} -Restriktion dokumentiert (z.B. Grenzen 0...1 m). Im Beispiel ergibt sich ein Drahtdurchmesser von ca. 0,54 mm.

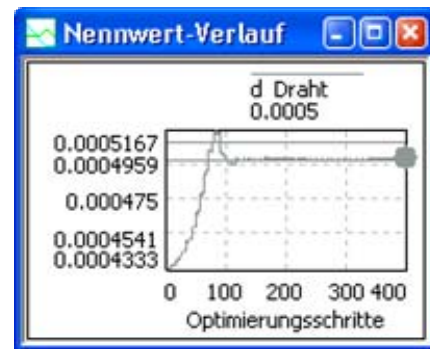
Wir wählen aus der Norm-Reihe einen Drahtdurchmesser, der in der Nähe des bisherigen Optimalwertes liegt.

- Wenn sich das bisherige Optimum mittig zwischen zwei Normdrahtdurchmessern befindet, sollte das optimierte Antriebsverhalten für dickeren und dünneren Draht verglichen werden.
- Für die Restriktionsgröße d_{Draht} setzen wir relativ enge Grenzen um den anzustrebenden Wert. Zu enge Grenzen von z.B. kleiner $\pm 1\%$ behindern jedoch die Konvergenz zum Optimum. Man kann dies

z.B. durch einen **Gewichtsfaktor=0.01** kompensieren.

- Beim Erreichen der Optimal-Lösung wird sich ein Drahtdurchmesser am oberen oder unteren Grenzwert einstellen. Das kann man in einer weiteren Optimierungsiteration bei Bedarf berücksichtigen, indem man die entsprechende Grenze auf den gewünschten Drahtdurchmesser setzt und die andere Grenze entsprechend korrigiert.

Name	Werte	Einheit	Kommentar
d_Anker	9.1351	mm	Ankerdurchmesser
R20_Spule	1.27885	Ohm	Spulenwiderstand bei ...
w_Spule	363	-	Windungszahl
k_Feder	46789.8	N/m	Steifigkeit
R_Abschalt	306.775	Ohm	Widerstand
tZyklus	0.00334053	s	Prägezyklus
dT_Draht	31.5846	K	Temperaturerhöhung
L_Magnet	0.0272869	m	Magnetlänge
i_Max	1.34516	A	Maximalstrom
v_Max	-201.098	V	Abschaltspannung
Praegung	1		Prägungsmaß
d_Draht	0.000500032	m	Drahtdurchmesser



Abschaltwiderstand E24-Reihe

- 10 11 12 13 15 16 18 20 22 24 27 30 33 36 39 43 47 51 56 62 68 75 82 91
- Nachdem man bei der Optimierung einen zulässigen Drahtdurchmesser gefunden hat, wird der optimale Abschaltwiderstand wahrscheinlich kein Wert aus obiger E24-Reihe sein. Im Beispiel ist $R_{Abschalt}=306,8$ Ohm.
- Man wählt wegen der geringeren Abschaltspannung zur Sicherheit den nächst kleineren Wert aus der Reihe (im Beispiel 300 Ohm) und hält diesen während einer weiteren Optimierungsiteration konstant.

Achtung:

- Möchte man den Antrieb für neue Anforderungen optimieren, für die sich wahrscheinlich ein neuer optimaler Drahtdurchmesser ergibt, so muss man die Restriktionsgröße d_{Draht} vorläufig wieder ausschalten.
- Das Ausschalten einer Restriktionsgröße erfolgt durch die Vorgabe von Grenzwerten, die immer eingehalten werden. Gewichtsfaktor=0 würde die Verletzung der Draht-Restriktion trotzdem für das Umschalten innerhalb der Zielfunktionshierarchie berücksichtigen!

← →

Von „http://www.optiyummy.de/index.php/Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Normreihen“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Ergebnisse

Aus OptiYummy

↑

← →

Ergebnisse der Nennwert-Optimierung

Aus der Nennwert-Optimierung resultiert die Erkenntnis, wie gut unser Antrieb bei Einhaltung aller Forderungen im Extremfall höchstens werden kann. Jede Verbesserung der gewünschten Funktionalität sollte unweigerlich zur Verletzung mindestens einer Restriktion führen!

- Für diese ideale Lösung besitzen wir nun einen Satz von Entwurfskenngrößen:

L_Magnet	(Magnet-Länge)
d_Magnet	(Magnet-Durchmesser)
d_Anker	(Anker-Durchmesser)
L_Anker	(Anker-Länge)
L_Kern	(Kern-Länge)
SpulWand	(Spulenkörper-Wandstärke)
Wand	(Topf-Wandstärke)
Deckel	(Deckel-Dicke)
h_Wickel	(Wickel-Höhe)
L_Wickel	(Wickel-Länge)
d_Draht	(Draht-Durchmesser)
w_Spule	(Windungszahl)
s0_Feder	(Vorspannweg der Feder)
k_Feder	(Elastizitätskonstante)
R_Abschalt	(Abschaltwiderstand)

- Nur bei exakter Einhaltung dieser Werte, aller Werkstoff-Kenngrößen und der Betriebsspannung von 24 V wird man den ermittelten Bestwert für die Zykluszeit erreichen.

Achtung: Es existiert noch eine große Unsicherheit - die Genauigkeit unseres Modells! Dieses Modell wurde bisher nur verifiziert. D.h., die implementierten Effekte werden mathematisch richtig berechnet. Die Validierung beschränkte sich bisher auf die Plausibilität des Modellverhaltens in Hinblick auf unser physikalisch-technisches Wissen.



Jeder Teilnehmer **xx**=(01..99) der Lehrveranstaltung "Konstruktionstechnik" hat individuelle Ergebnisse durch Verwendung eines individuellen Wertes für **Geometrie.K_FeInnen=0.1xx** erzielt:

- Im Sinne der Bewertbarkeit innerhalb der Lehrveranstaltung soll die **Überschreitung der Grenzwerte** im Nennwert-Optimum für Spulenstrom, -spannung und -erwärmung **kleiner als 1%** sein.
 - Der Bauraum ist unbedingt einzuhalten.
 - Bewertet wird die Abweichung der ermittelten Bestwerte vom tatsächlichen globalen Optimum:
1. Die erreichte Zykluszeit **tZyklus** ist zusammen mit obigen optimalen Entwurfskenngrößen als Text der E-Mail zu notieren.
 2. Der OptiY-Versuchsstand **Etappe3_xx.opy** muss im Experiment aussagekräftige Nennwert-Verläufe enthalten. Diese sollen ohne erneute Experiment-Durchführung betrachtbar sein.
 3. Das Simulationsmodell **Etappe3_xx.ism** ist mit den Bestwerten unter Beachtung der Normwerte für Spulendraht und Widerstand zu konfigurieren. Die Zeitverläufe wesentlicher Modellgrößen sind im Modell in anschaulicher Form in Signalfenster darzustellen.
 4. Das Simulationsmodell **Etappe_xx_verifiziert.ism** ist mit den Vorgabewerten zu konfigurieren.
 5. Die .ism- und .opy-Dateien sind als Anhang der Mail in einem Archiv-File zu senden (zB. ZIP).

Bei aller Technik-Begeisterung sollte man nie vergessen:

*Im Zweifel ist es manchmal besser,
seiner Nase zu folgen.
- J.R.R. Tolkien -*

← →

Von „<http://www.optiyummy.de/index.php/Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Ergebnisse>“