Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik

Aus OptiYummy

↑

← →

2. Etappe im Übungskomplex "Nadelantrieb"
Aktor-Dynamik ("ohne" Wandlergeometrie)
Autor: Dr.-Ing. Alfred Kamusella
Fehler sind nützlich,
aber nur, wenn man sie schnell findet.
- John Maynard Keynes -

Teilmodell des Elektro-Magneten auf Grundlage physikalischer Effekte

- Anforderungen an das Magnet-Modell
- Idealisierter Magnetkreis mit Spule und Beschaltung

(A) BH-Neukurve als μ(B)

1. **Modellierung des angesteuerten Elektro-Magneten**
   - Modellbildung (Vorbereitung)
   - Magnetkreis mit Spule (Magnet-Compound)
   - Elektronische Schaltung (Controller-Compound)
   - Bewertungsgrößen für die Optimierung
   - Optimale Simulationssteuerung
2. **Optimierungsexperiment**
   - Versuchsstand-Konfiguration
   - Nennwert-Optimierung
   - Experiment-Auswertung (Ergebnisse)

(B) Wirbelstrom-Effekte

- Wirbelstrom-Modell
- Nennwert-Optimierung mit Wirbelstrom
- Experiment-Auswertung (Ergebnisse)

(C) Magnet-Hysterese

- Hysterese-Modell (nach Jiles-Atherton)
- Nennwert-Optimierung mit Wirbelstrom und Hysterese
- Experiment-Auswertung (Ergebnisse)

Selbststudium

Verweise auf zugehörige Kapitel im "Vorlesungsinhalt", welches außerhalb der Übungszeit ergänzend zur Übungsanleitung zu lesen sind:
→ ***Methodik der Modellentwicklung***
→ ***Simulation dynamischer Systeme im Zeitbereich***

Einzusendende Ergebnisse

- Teilnehmer der Lehrveranstaltung **Optimierung** laden ihre Ergebnisse verpackt in einem Archiv-File im zugehörigen Opal-Kurs hoch.

- Das Archiv-File muss mit (xx=Teilnehmer-Nummer 01...99) folgende konfigurierte Modelldateien enthalten:
  - Text-Datei mit den geforderten Lösungswerten.
  - Etappe2a_xx.isx und Etappe2a_xx.opy für **(A)**
  - Etappe2b_xx.isx und Etappe2b_xx.opy für **(B)**
  - Etappe2c_xx.isx und Etappe2c_xx.opy für **(C)**

Einsendeschluss:

- Die Nacht vor dem nächsten Übungskomplex. Die Nacht endet morgens um 10:00 Uhr.

← →

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik&oldid=27713“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Anforderungen

Aus OptiYummy

↑

← →

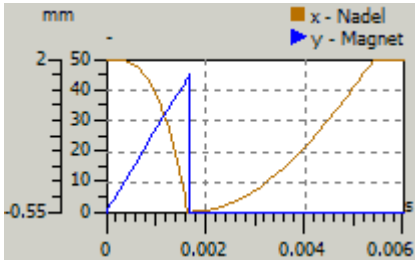
Anforderungen an das Modell

In der vorherigen Bearbeitungsetappe wurde die grundsätzliche Eignung des Antriebprinzips für die geforderte Funktion geklärt. Jedoch basieren unsere Erkenntnisse bisher nur auf einem sehr vereinfachten Modell des Elektromagneten. In diesem wurden folgende vereinfachte Annahmen implementiert:

- Die maximal mögliche Magnetkraft im Luftspalt wird nur von der maximal möglichen Flussdichte und der Querschnittsfläche des beweglichen Magnetankers bestimmt:

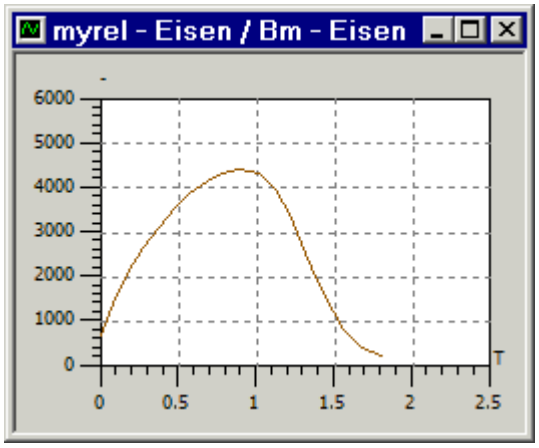
$$F_{\max} = \frac{B_{\max}^2 \cdot A_{Anker}}{2 \cdot \mu_0}$$

- Nach dem Einschalten des Magneten beginnt die Magnetkraft bei Null und sie kann vor dem Abschalten Fmax erreichen.
- Die Magnetkraft steigt linear an.
- Es wurde ein Verhaltensmodell des *Aktors* in Form einer Kraftkennlinie (Dreiecksimpuls) realisiert:

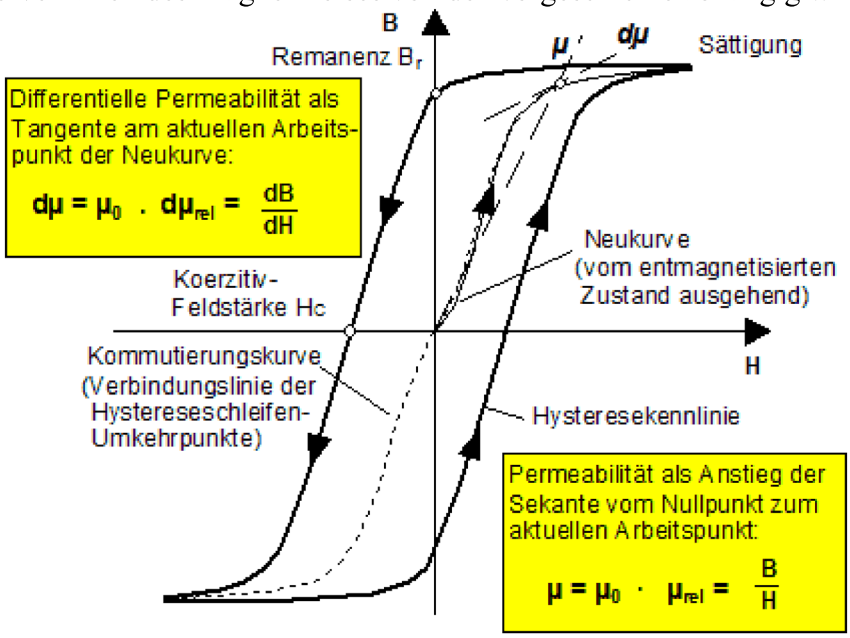


Wir wissen jedoch, dass in einem Elektromagneten vielfältige physikalische Effekte wirken, die wichtigsten davon sind:

- Das Magnetfeld und damit der magnetische Fluss wird durch eine stromdurchflossene Spule erzeugt.
- Die *magnetische Permeabilität μ* des Eisenwerkstoffs ist abhängig von der aktuellen Flussdichte B:



- Obiges Bild zeigt μ(B) für die sogenannte Neukurve, wenn das Eisen ausgehend vom entmagnetisierten Zustand das erste Mal aufmagnetisiert wird. In der Realität ist der Eisenwerkstoff mit einer Hysterese behaftet, so dass das Verhalten des Magnetkreises von der Vorgeschichte abhängig wird:



- Die Bewegung des Ankers bewirkt eine Induktionsspannung in der Spule. Der elektro-mechanische Wandler ist somit nicht rückwirkungsfrei!
- Die Spule erwärmt sich infolge des elektrischen Stroms. Der ohmsche Widerstand des Spulendrahtes erhöht sich mit steigender Temperatur.
- Infolge von magnetischen Flussänderungen werden Wirbelströme in den Eisenabschnitten des Elektro-Magneten induziert. Diese Wirbelströme wirken den Flussänderungen entgegen und erzeugen thermische Verluste im Eisen.

Wir können davon ausgehen, dass sich der reale Elektromagnet durch die "wirkende Physik" anders verhält als unser vereinfachtes Verhaltensmodell:

- Die Kraft wird sicher nicht zeitlich linear ansteigen. Daraus resultiert eine veränderte Anzugszeit für den Magneten.
- Da sich die Magnetkraft nach dem Abschalten nicht schlagartig abbaut und auch nicht den Wert Null erreicht, verzögert sich der Abfallvorgang.
- Die Erwärmung der Spule könnte zu thermischen Problemen führen, welche die angestrebte Zykluszeit verhindern.

← →

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Anforderungen&oldid=27389“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Idealisierungen

Aus OptiYummy

↑

← →

Idealisierter Magnetkreis mit Spule und Beschaltung

Um die Entscheidung für das Antriebsprinzip abzusichern, muss das Modell des Aktors hinreichend viel von unserem "physikalisch-technischen" Wissen über den Elektro-Magneten enthalten. Das Modell werden wir schrittweise umbauen und in Betrieb nehmen:

- Im E-Magneten soll die Spule vorläufig nur in Form ihrer Windungszahl **w** und ihres ohmschen Widerstands **Rel** berücksichtigt werden (keine Spulen-Geometrie!).
- Die Erwärmung der Spule wird noch nicht berücksichtigt.

Zielstellung:

Existiert für den Topfmagneten eine optimale Kombination von

- Windungszahl **w**,
- Spulenwiderstand **Rel**,
- Schutzbeschaltung-Widerstand **R**,
- Ankerdurchmesser **d_Anker**,
- Rückholfeder-Federsteifigkeit **k** und
- Vorspannweg der Feder **s0**?

Wie groß ist die damit minimal mögliche Zeit für einen kompletten Prägezyklus?

Forderungen:

- Kompletter Prägezyklus ≤ **3,6 ms**
- Betriebsspannung **24 V**
- Max. zulässiger Spulenstrom **1,5 A**
- Max. zulässige Spannung an der Spule **200 V**

← →

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Idealisierungen&oldid=27785“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Modellbildung

Aus OptiYummy

↑

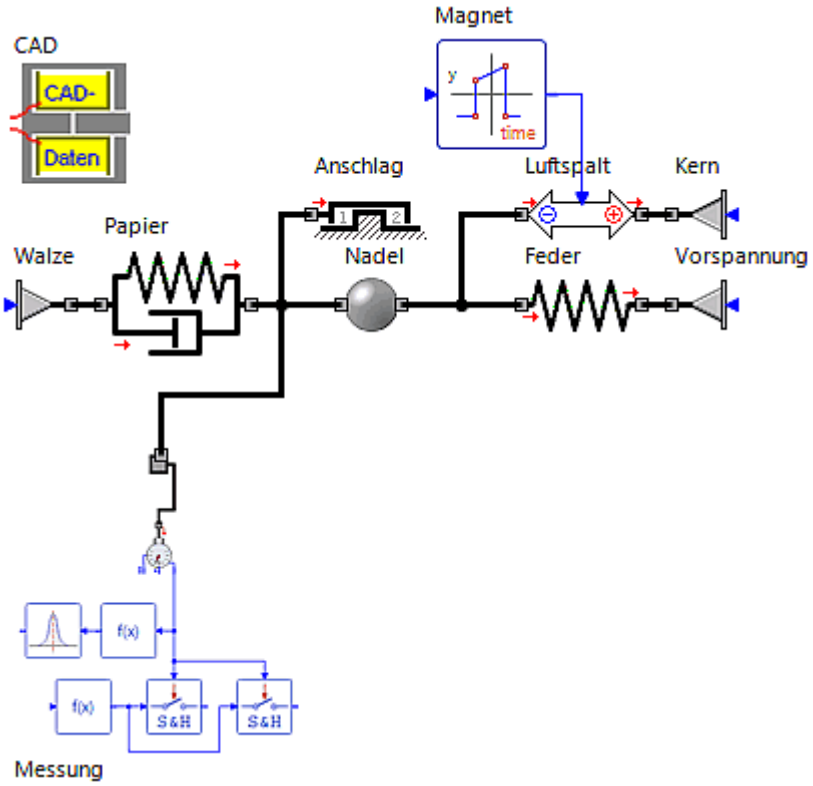
← →

Modellbildung (Vorbereitung)

Hinweis:

Den Bearbeitungszustand der einzelnen Lösungsetappen sollte man unbedingt archivieren. Nur so ist gewährleistet, dass man nach Irrwegen wieder zu definierten Bearbeitungszuständen zurückkehren kann!

- Wir laden dazu im *SimulationX* das Modell aus der Etappe1:



- Das Modell konfigurieren wir mit den ermittelten Bestwerten (was bereits vor dem Einsenden der Lösung erfolgen sollte).
- Wir überprüfen, ob das Modell damit das erwartete Verhalten zeigt!

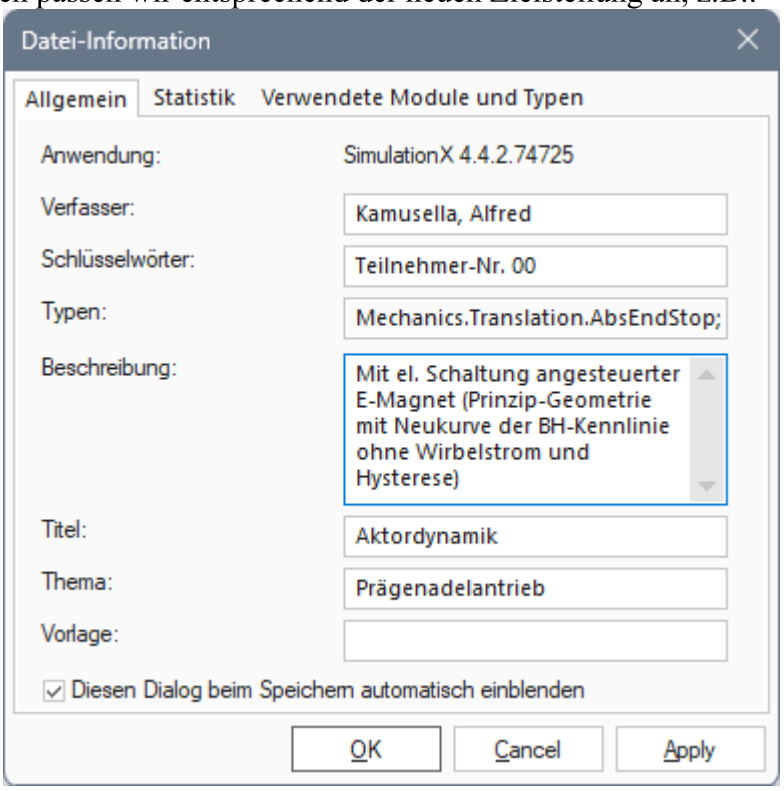
Dieses Modell soll in den folgenden Schritten "behutsam" um die physikalischen Effekte des Elektromagneten und seiner elektrischen Beschaltung ergänzt werden:

- In der **Etappe2a_xx** berücksichtigen wir vorläufig nur **μ(B)** für die Neukurve der BH-Kennlinie.
- In der **Etappe2b_xx** ergänzen wir die Wirbelströme.
- Erst in **Etappe2c_xx** aktivieren wir in den Eisen-Elementen abschließend noch die Hysterese der BH-Kennlinie.

Wir speichern das Modell **Etappe1_xx.isx** unter dem Dateinamen **Etappe2a_xx.isx**:

- ***Datei > Speichern unter*** im bisher auch für Etappe1 genutzten Ordner.

- Die Datei-Informationen passen wir entsprechend der neuen Zielstellung an, z.B.:



- **Wichtig:** Der Eintrag zur individuellen **Teilnehmer-Nr.** xx im Feld "Schlüsselwörter" darf nicht verändert werden!

Nach dem Speichern steht das Modell unter dem neuen Namen **Etappe2a** zur weiteren Bearbeitung im *SimulationX* bereit.

← →

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Modellbildung&oldid=27789“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Magnetkreis

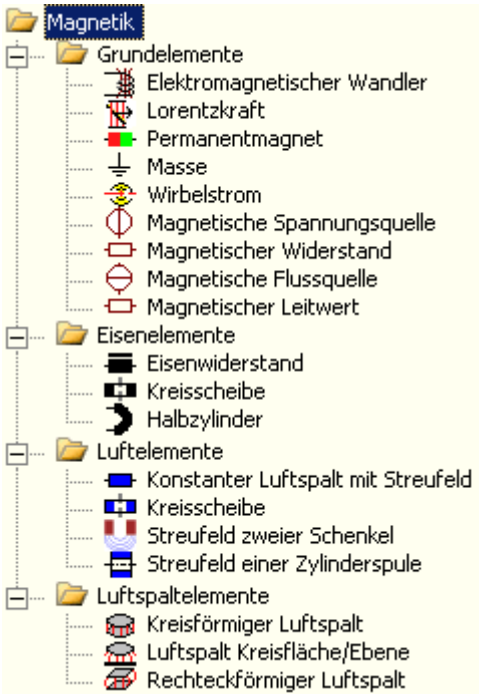
Aus OptiYummy

↑

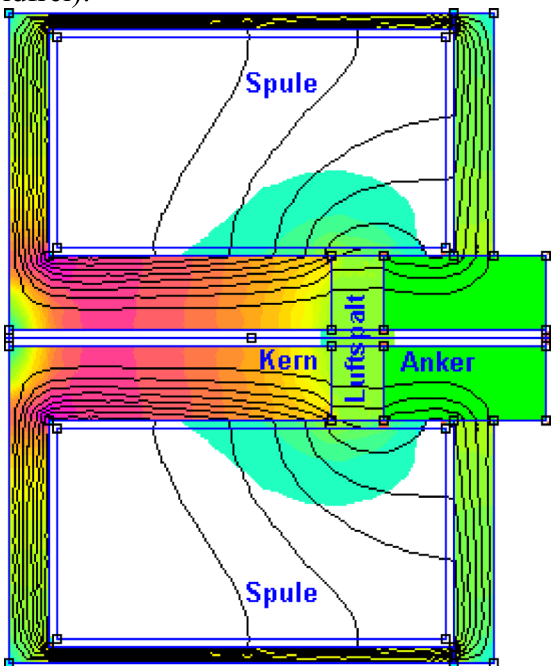
← →

Magnetkreis mit Spule (Magnet-Compound)

Netzwerkstruktur eines Elektromagneten

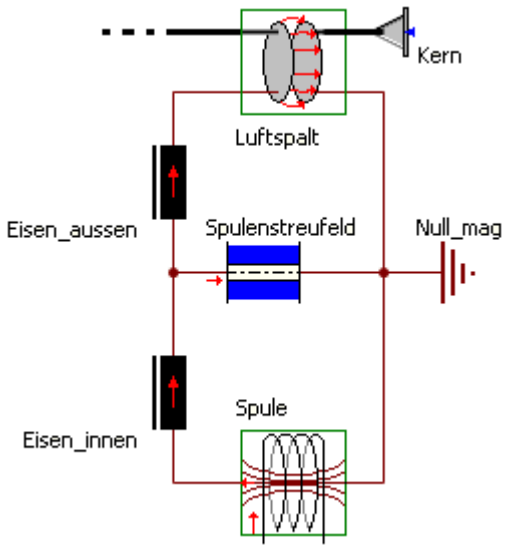


- Die Magnetik-Bibliothek enthält alle Element-Typen, um damit das Dynamik-Modell unseres Elektro-Magneten aufzubauen. Für jeden Element-Typ steht über die Taste **<F1>** eine ausführliche Beschreibung der implementierten physikalischen Zusammenhänge zur Verfügung.
- Mit Elementen der Magnetik-Domäne können wir das magnetische Feld des Elektro-Magneten als magnetisches Netzwerk abbilden. Grundlage für die Wahl einer geeigneten Netzwerk-Struktur sind die "Wege" des magnetischen Flusses im realen Magnetkreis. Als Ersatz für den realen Magnetkreis (der häufig noch nicht existiert!), kann man die Finite-Element-Simulation benutzen. Diese berechnet die räumliche Struktur des Magnetfeldes. Im folgenden Bild ist die räumliche Verteilung der magnetischen Flussdichte **B** in einem Topfmagneten als Farbverlauf abgebildet (violett: **B≥1 T** / weiß: fast feldfrei):



- Man erkennt deutlich, dass nur der dem Arbeitsluftspalt abgewandte Teil des Magnetkerns (**Eisen_innen**) vom kompletten Spulenfluss durchflossen wird. Dort sollte man die *magnetische Durchflutung (MMK)* der **Spule** als konzentriertes Netzwerk-Element platzieren.
- Nur ein Teil des Flusses geht durch den äußeren Eisenkreis (Kernabschnitt2, Anker, Topf = **Eisen_aussen**) mit dem Arbeits-**Luftspalt**, der andere Teil des Flusses erstreckt sich durch den Luftraum der Spule (**Spulenstreufeld**).
- Infolge der unterschiedlichen Flussdichten "bewegen" sich die Eisenabschnitte auf unterschiedlichen Punkten ihrer μ(B)-Kennlinie. Das Eisen besitzt an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt individuelle Permeabilität.

Die soeben beschriebenen Flusswege lassen sich nicht scharf abgrenzen. Trotzdem kommt man über diese Vereinfachung zu einer sehr einfachen Netzwerk-Struktur für Elektromagnete (noch nicht erzeugen!):



Vorbereitungen zur Compound-Definition (Teilmodell des Elektromagneten)

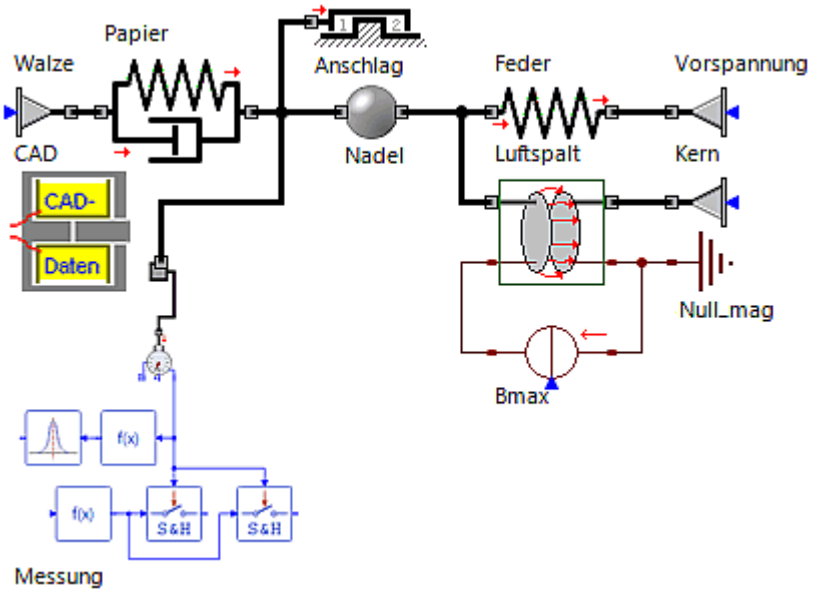
Am Beispiel des Signalprozessors haben wir bereits etwas Erfahrung bei der Compound-Definition mittels des *SimulationX*-TypeDesigners gesammelt. Diese Erfahrung werden wir nun am Beispiel des Elektromagneten vertiefen:

- Im Rahmen der Express Edition von *SimulationX* stehen uns nur noch wenige Elemente innerhalb des Modells zur Verfügung, bis wir das Maximum von 16 Elementen ausgeschöpft haben.
- Wir wählen hier eine Vorgehensweise, welche sich auch für die Vollversion von *SimulationX* vor dem "Zusammenfassen" als sinnvoll erweist:
    1. Definition aller Elemente des Teilmodells, welche Anschlüsse für Verbindungen zum Modell bereitstellen, in unserem Beispiel:
        - "**Luftspalt**" mit den mechanischen Anschlüssen des magneto-mechanischen Wandlers
        - "**Spule**" mit den elektrischen Anschlüssen des elektro-magnetischen Wandlers
    2. Definition aller konstruktiven Entwurfsgrößen für das Teilmodell innerhalb des "CAD_Daten"-Interface (hier: Maß- und Bauelement-Parameter)
    3. Definition aller Elemente einer abstrahierten Grundstruktur des Teilmodells zur Nutzung der automatischen Bilderstellung des TypeDesigners (hier: Luftspalt-, Eisen- und Spulen-Element)

Arbeitsluftspalt

Der Arbeitsluftspalt ist der Luftspalt zwischen beweglichem Anker und festem Kern. In diesem Luftspalt entsteht die Kraft an den Trennflächen im magnetischen Feld. Er repräsentiert den magneto-mechanischen Wandler:

- Wir ersetzen im Modell das bisherige Kraftelement mit dem zugehörigen Impulsgenerator (beide Elemente löschen) durch die mechanische Seite das ***Magnetik-Luftspaltelement > Kreisförmiger Luftspalt***:



- **Wichtig:** Die positive Richtung des magnetischen Flusses in den Magnetik-Elementen wird durch die roten Pfeile repräsentiert. Die Elemente sind vor dem Verbinden unter Beachtung ihrer positiven Flussrichtungen zu drehen/spiegeln!
- Um die Funktionsfähigkeit des "Luftspaltes" zu überprüfen, erzeugen wir darin die maximal zulässige Flussdichte **Bmax-zul** → daraus muss sich dann die bisher genutzte maximal mögliche Kraft **Fmax** ergeben.
- Dafür benötigen wir temporär das ***Magnetik-Grundelement > Magnetische Flussdichte***.
- Der magnetische Kreis benötigt (wie jede physikalische Domäne) sein eigenes Null-Potential (***Magnetik-Grundelement > Masse***).

Zum Erzeugen der "konstanten" maximal möglichen Magnetkraft Fmax konfigurieren wir die beiden Magnetik-Elemente wie folgt:

- Als Durchmesser der Luftspaltfläche verwenden wir d=**CAD.d_Anker**.
- Der Anfangswert des magnetisches Flusses ist standardmäßig fixiert auf **Phi0=0 Wb**. Diese Fixierung des Anfangswertes ist zu entfernen, da deren Wert bereits durch die Flussquelle bestimmt wird!
- Die Flussquelle soll unter Berücksichtigung des aktuellen Ankerdurchmessers einen magnetischen Fluss erzeugen, welcher der maximal zulässigen Flussdichte im Eisen entspricht:

```
Magnetischer Fluss Phi_scr: CAD.A_Anker*CAD.Bmax_zul in Wb
```

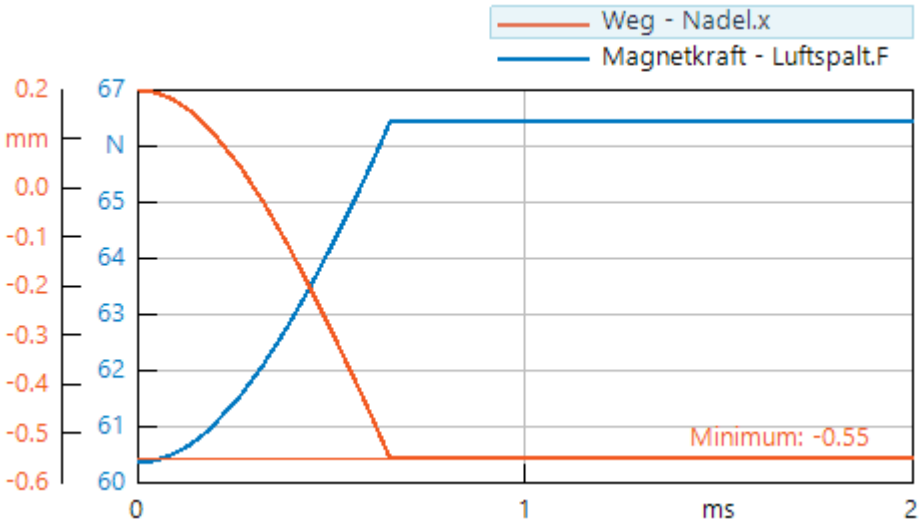
- Nach der Simulation muss sich bei der aktuellen Konfiguration **Luftspalt.dx=0 mm** ergeben. Die zugehörige Magnetkraft **Luftspalt.F** sollte auf ca. 1 Promille genau dem analytisch berechneten Wert **CAD.Fmax** entsprechen:

Ergebnisse

Kommentar	Name	Aktueller Wert	Maßeinheit	Protokoll
Luftspalt	dx	0	mm	☒
Magnetkraft	F	66.430125	N	☑
Magnetischer Fluss	Phi	0.00013913092845136 8	Wb	☒
Magnetische Spannungsdifferenz	Vm	0	A	☒
Magnetische Flussdichte	B	1.2	T	☒
Magnetische Feldstärke	H	954929.658551372	A/m	☒

- ***Wichtig:*** Falls **Luftspalt.dx** nicht den Wert Null besitzt, muss man die Position der feststehenden Kern-Fläche korrigieren!

Interessant ist der zeitliche Verlauf der "konstanten" Magnetkraft beim Anzugsvorgang:



- Trotz konstanter Flussdichte ist die Kraft im Arbeitsluftspalt umso geringer, je größer Luftspalt.dx ist! Erst bei **dx=0** wird der analytisch berechnete Wert von **Fmax** erreicht.
- Dieser Effekt resultiert aus der wirklichkeitsnäheren Modellierung des Luftspalt-Elementes, indem darin auch das tonnenförmige Streufeld berücksichtigt wird (nicht nur Feld im Kreis-Zylinder zwischen den Flächen!).
- Die Details zur Modellierung findet man unter Hilfe zum Bibliothekselement (Taste F1).

Restluftspalt eines Elektromagneten:

- Für die Verifizierung der richtigen Funktion des Luftspalt-Elementes nutzten wir bisher einen Restluftspalt **dx=0 mm**!
- Bei einem realem Elektromagneten würde damit der Anzugsvorgang ebenfalls funktionieren, obwohl es in Hinblick auf Verschleiß und Geräuschentwicklung ungünstig wäre. Allerdings gibt es dann beim Abfallvorgang Probleme, weil infolge der immer vorhandenen Hysterese nach dem Abschalten eine Remanenz-Feldstärke erhalten bleibt, so dass der magnetische Fluss im Luftspalt nicht Null wird.
- Bei einem Elektromagneten muss man konstruktive Lösungen finden, welche einen Restluftspalt (z.B. **50 µm**) bei geschlossenem Arbeitsluftspalt garantieren.
- Wir ergänzen zum Testen diesen Restspalt vorläufig als Zahlenwert **50e-6** im Parameter der Kern-Wegvorgabe (bevor wir nachher diese Entwurfsgröße in CAD_Data ergänzen):

```
Weg x: CAD.x_Matrix + CAD.d_Praegung - 50e-6 in m
```

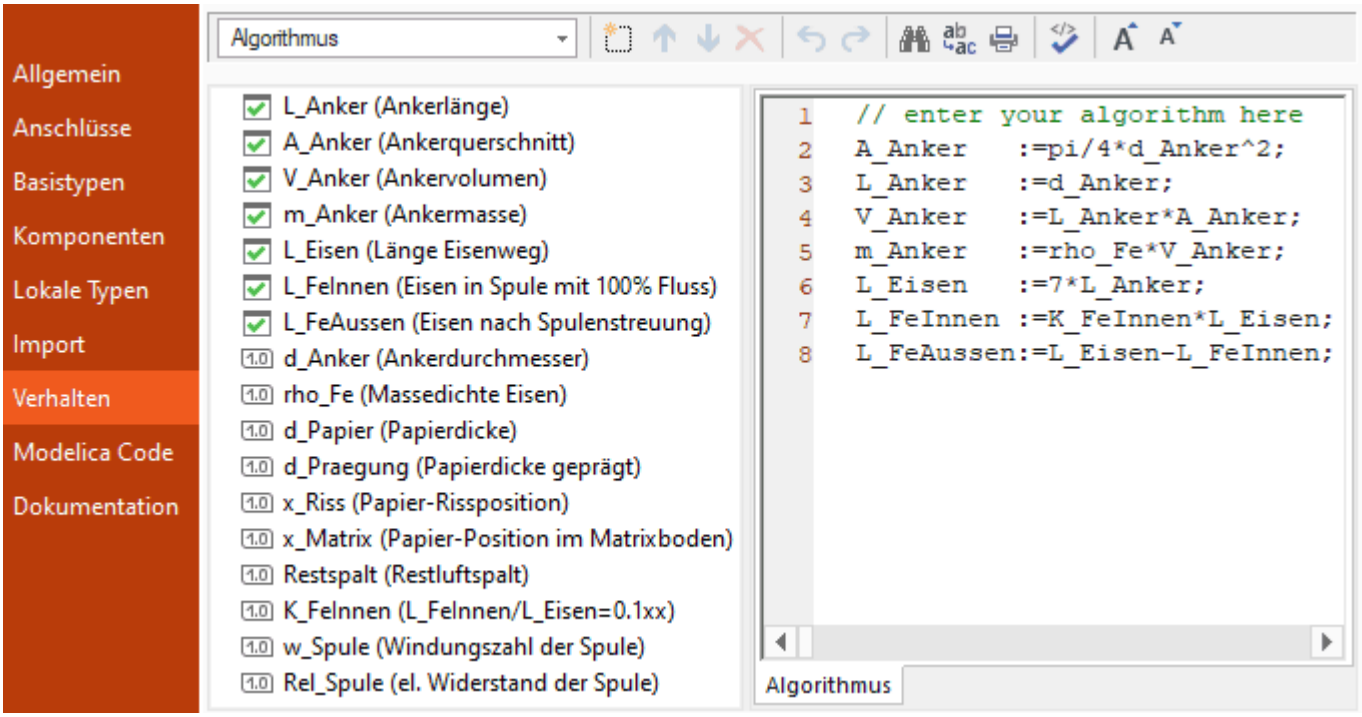
- Nach der Simulation ergibt sich dann das Ergebnis **Luftspalt.dx=50 µm**. Der Restspalt hat keinen Einfluss auf die Anschlagsposition **-0,55 mm**!
- **Wichtig:** Bevor wir im folgenden Schritt die CAD-Daten bereinigen, löschen wir im Modell die Flussquelle, weil diese zu löschende CAD-Daten benötigt!

Konstruktive Entwurfsparameter des Elektromagneten

- Vom CAD-Element sollen möglichst alle von Geometrie, Stoff und Zukauf-Bauteilen abhängigen Parameter für die idealisierten Netzwerk-Elemente des Modells bereitgestellt werden.
- Damit können diese Entwurfskenngrößen des Magnetantriebes an zentraler Stelle geändert werden und die Auswirkungen werden automatisch im gesamten Modell berücksichtigt.
- Wir nehmen in einer neuen Näherung an, das *L_Anker* dem Wert von *d_Anker* entspricht. Der in Etappe1 verwendete *L_Faktor* kann also entfallen.
- Der Kern soll doppelt so lang sein, wie der Anker. Das ergibt sich aus dem Vorwissen zur günstigen Lage des Arbeitsluftspalts innerhalb der Spule.
- Die nicht mehr benötigten Parameter und Variablen sind zu löschen:
  - **Abschaltung**
  - **L_Faktor**
  - **Bmax_zul**
  - **my0**
  - **Fmax** → zugehörige Berechnung danach im Verhalten ebenfalls löschen!

- Wir ergänzen die folgenden Größen im CAD_Data-Elementtyp:

```
Restspalt  = 50 µm              (Parameter: Restluftspalt im angezogenen Zustand)
K_FeInnen  = 0.1xx              (Parameter: Verhältnis der Eisenwiderstände mit xx=Nr.)
L_Eisen    = 7 * L_Anker        (Variable:  Länge des Eisenweges)
L_FeInnen  = K_FeInnen * L_Eisen (Variable:  Eisenabschnitt mit 100% Fluss)
L_FeAussen = L_Eisen - L_FeInnen (Variable: restlicher Eisenabschnitt)
w_Spule    = 500                (Parameter: Windungszahl der Spule)
Rel_Spule  = 1 Ohm              (Parameter: el. Widerstand der Spule)
```

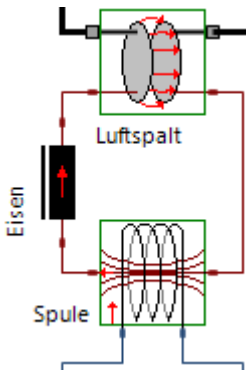


- Mit den CAD-Werten müssen innerhalb des Modells folgende Element-Parameter gespeist werden:

```
Nadel.m     = 0.001 + CAD.m_Anker                          (bereits in Etappe1 erfolgt)
Anschlag.l2 = abs(CAD.x_Matrix + CAD.d_Praegung)           (bereits in Etappe1 erfolgt)
Kern.x      = CAD.x_Matrix + CAD.d_Praegung - CAD.Restspalt (zur Realisierung eines Restluftspalts)
```

- Die entsprechenden Element-Parameter innerhalb des noch zu bildenden Magnet-Compounds speisen wir später indirekt über die Compound-Parameter!

Abstrahierte Teilmodell-Struktur



Insbesondere als Anfänger sollte man möglichst die Automatismen nutzen, welche vom *SimulationX-TypeDesigner* beim Zusammenfassen von Elementen zu einem Compound bereitgestellt werden:

- Generierung der energetischen Kopplung mit dem übergeordneten Modell an der mechanischen Seite des Luftspalt-Elementes und der elektrischen Seite der Spule.
- Das automatisch generierte Bildsymbol kann im Beispiel die Komplexität der gesamten inneren Compound-Struktur nicht mehr abbilden. Wir definieren deshalb vor dem Zusammenfassen nur jeweils ein Element pro Compound-internem Teilsystem einschließlich der Verbindungen:
  1. Luftspalt: Arbeitsluftspalt als magneto-mechanischer Wandler (*Magnetik* > *Luftspaltelemente* > ***Kreisförmiger Luftspalt***)
  2. Eisen: zur Bündelung des Magnetfeldes (*Magnetik* > *Eisenelemente* > ***Eisenwiderstand***)
  3. Spule: Draht-Windungen um Eisenkreis (*Magnetik* > *Grundelemente* > ***elektromagnetischer Wandler***)
- Die Elemente sind entsprechend zu verbinden, nachdem sie zuvor in die richtige Richtung gedreht wurden.
- Eine Parametrisierung ist noch nicht erforderlich.

- Um ein symmetrisches Struktur-Symbol zu erhalten (und die Begrenzungen der Express Edition einzuhalten), löschen wir die magnetische Masse vor dem Zusammenfassen.
- Netzteil: Gleichspannung zur elektrischen Energieversorgung (*Elektrotechnik* > *Analog* > *Quellen* >***Spannungsquelle***) verbinden wir mit der Spule, damit beim Zusammenfassen an dieser Stelle die elektrischen Anschlüsse generiert werden!

Elektromagnet-Compound

Express Edition - Workaround

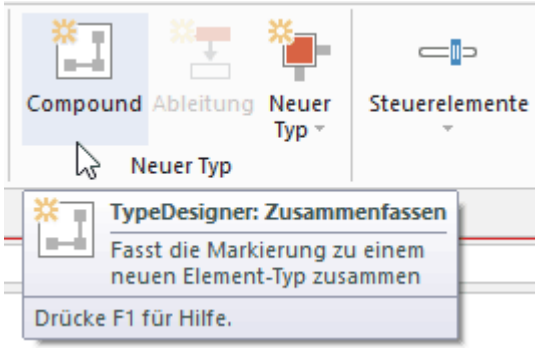
Leider schlägt auch bei dieser Compound-Bildung die Beschränkung der Express Edition auf 16 Elemente innerhalb des Modells zu:

- Vor dem eigentlichen Zusammenfassen der markierten Elemente erzeugt der *TypeDesigner* innerhalb des aktuellen Modells automatisch die zusätzlich erforderlichen Anschlüsse für die Compound-Schnittstellen zum übergeordneten Modell.
- Diese zusätzlichen Anschlüsse werden mit den bereits markierten Elementen erst danach zum Compound zusammengefasst. Diesmal sind sogar vier zusätzliche Anschluss-Elemente erforderlich (zwei mechanische und zwei elektrische!).
- So erfolgt dann die Fehlermeldung zur Überschreitung der Anzahl der Elemente bei der Generierung der elektrischen Anschlüsse für die Schnittstelle zur Spule.
- Wir behelfen uns diesmal damit, dass wir auf die automatische Generierung dieser elektrischen Anschlüsse verzichten und diese dann nachher innerhalb des *TypeDesigners* manuell ergänzen.

Beachte:

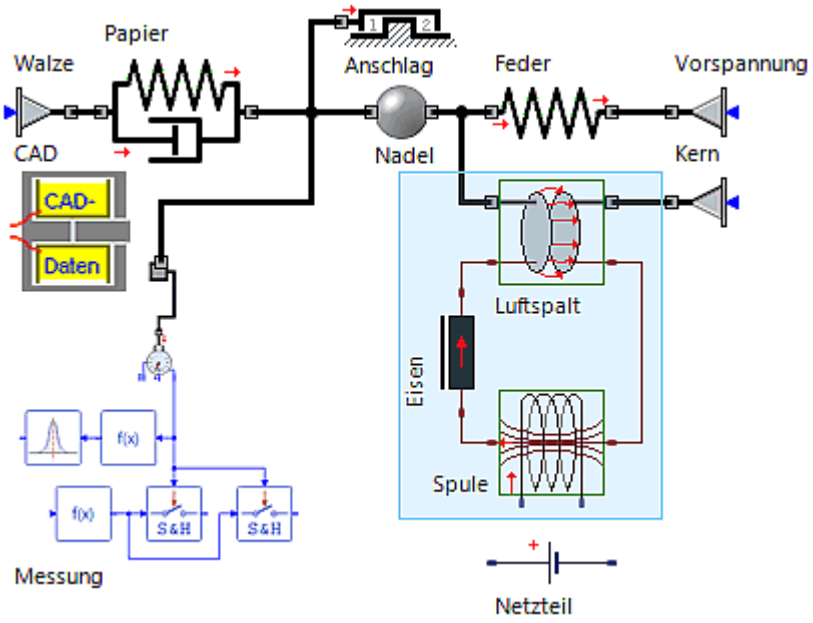
- Bei Verwendung der *Express Edition* müssen vor dem Markieren der zusammenzufassenden Elemente die beiden Verbindungen zur Spannungsquelle gelöscht werden!
- Die Anleitung beschreibt im Folgenden die in der *Express Edition* notwendigen Schritte, welche man sich in der Vollversion ersparen kann.

Zusammenfassen der abstrahierten Teilmodell-Struktur

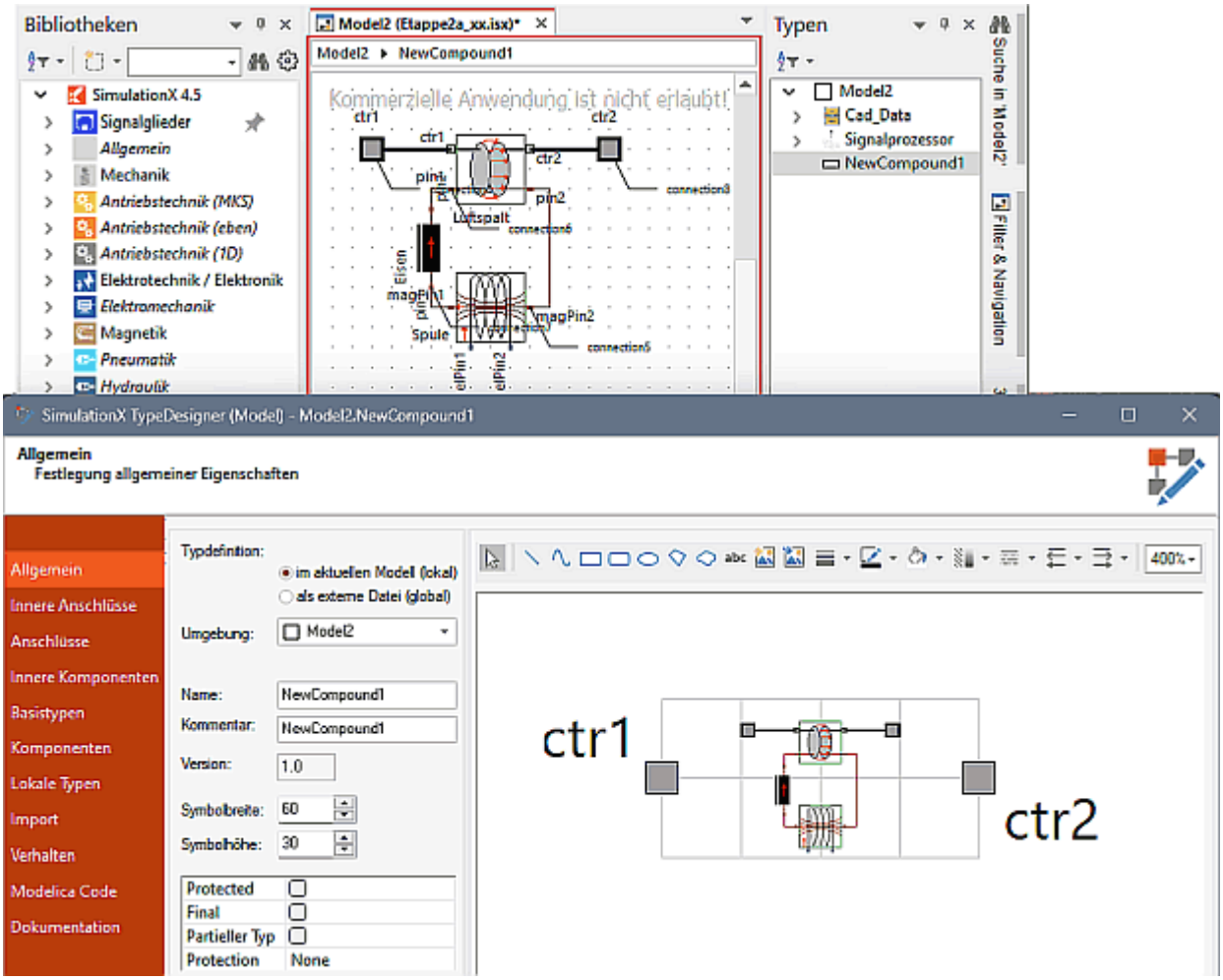


Bevor man über die Multifunktionsleiste den *TypeDesigner* zur Compound-Bildung aufrufen kann, muss man die drei Modell-Elemente markieren, welche zusammengefasst werden sollen.

Die gleichzeitige Markierung mehrerer Elemente erreicht man durch Rechteck-Auswahl mittels des Cursors bei gedrückter Maustaste (wie im Bild gezeigt). Ist dies auf Grund der Element-Anordnung nicht möglich, kann man Modell-Elemente durch zusätzlich betätigter UMSCHALT-Taste bei der Cursor-Markierung der Auswahl hinzufügen bzw. auch entfernen:



Nach Aufruf des *TypeDesigners* erscheint dieser im Bearbeitungsmodus für einen neuen Compound-Typ, welcher die markierten Modell-Elemente und deren Verbindungen enthält:



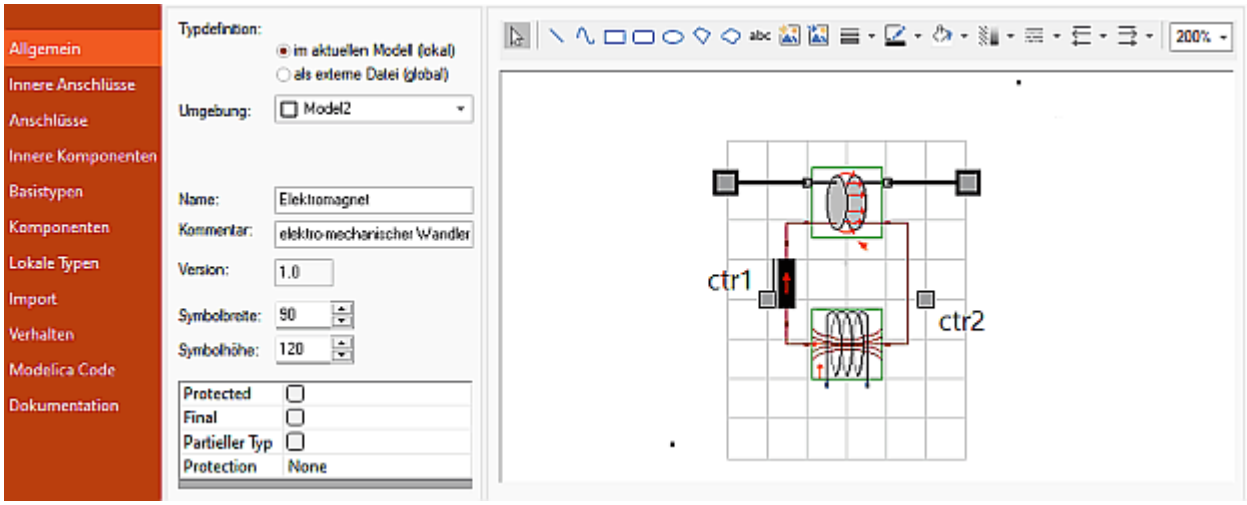
- Standardmäßig wird der neue Compound-Typ lokal im aktuellen Modell erzeugt und erscheint im Typen-Explorer (im Beispiel unter dem bereits vorhandenem Signalprozessor-Typ).
- Der grafische Editor des *SimulationX* enthält nun eine Ebene unter dem aktuellen Modell die Compound-Struktur, welche dort auch bearbeitet werden kann.
- Standardmäßig wird für den Compound-Typ ein Symbol der Größe 60x30 mm² erzeugt. Im zugehörigen Grafikeditor wird passend zu dieser Größe ein Strukturbild der zusammengefassten Elemente bereitgestellt.
- Für die Verbindungen zwischen den Compound-Elementen und der Rest der Modellstruktur werden passende Schnittstellen generiert. Im Beispiel sind dies **ctr1** und **ctr2** (translatorische Mechanik-Konnektoren), welche die mechanischen Anschlüsse des Luftspalts nach außen führt.

- Wir orientieren uns wieder an den auf der linken Seite aufgelisteten Bearbeitungsschritten zur Typ-Definition.

Allgemein

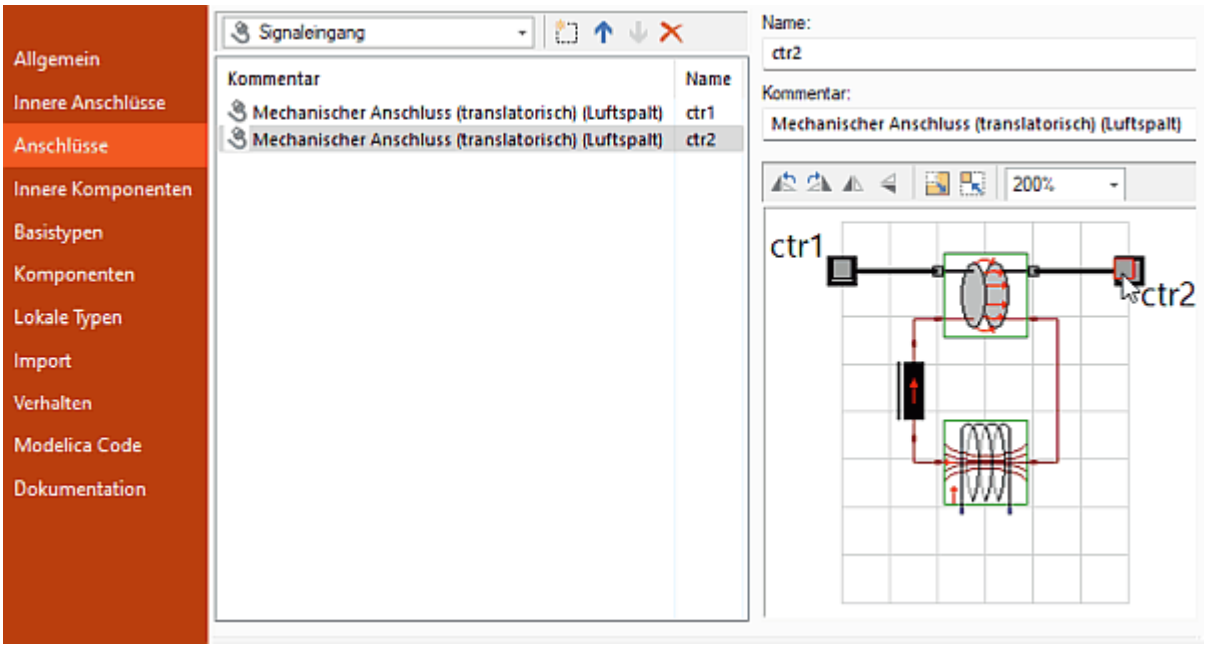
Wir modifizieren hier Namen, Kommentar und Grafiksymbol:

- **Name**: Elektromagnet
- **Kommentar**: elektro-mechanischer Wandler
- **Symbol**:
  1. **Breite x Höhe**: 90 Pixel x 120 Pixel (diese Verkleinerung auf ca. 60% ermöglicht Erkennbarkeit)
  2. **Bild-Anpassung**: nach Wahl eines geeigneten Zoom-Faktors im Symbol-Editor (z.B. 200 %) mittels Cursor an den 2 diagonalen Eckpunkten das sehr kleine Bild auf komplette Symbolgröße ziehen (Mechanik-Anschlüsse exakt an oberen Gitterpunkten beider Seitenkanten:



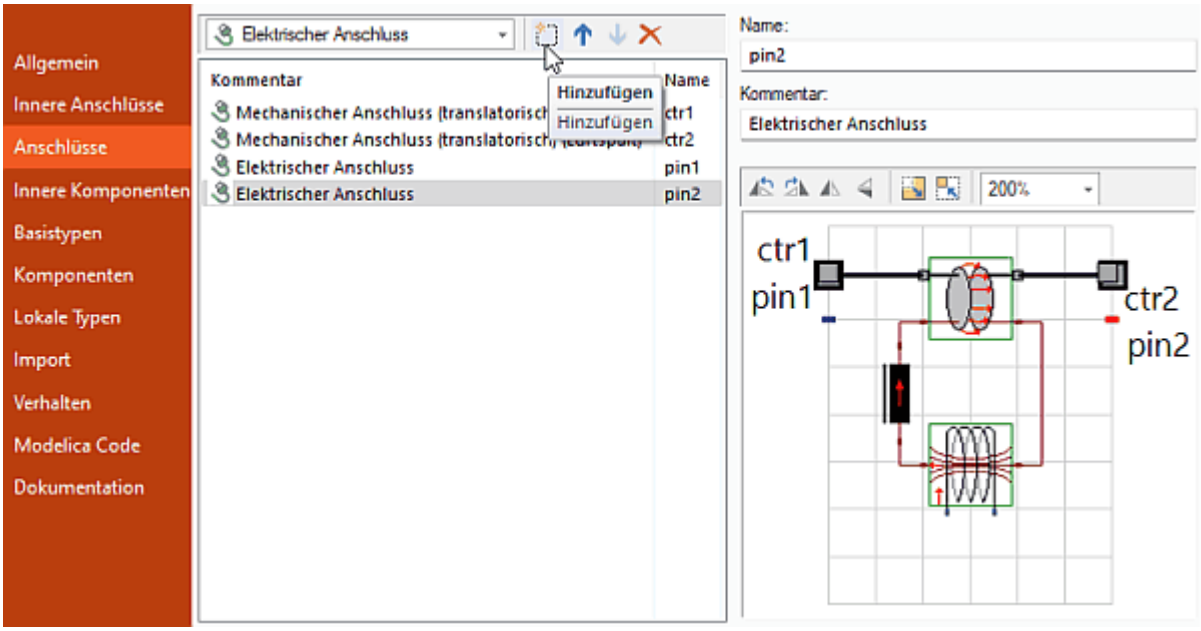
Anschlüsse

Die beiden Marker für die automatisch generierten mechanischen Anschlüsse muss man mit dem Cursor im Symbol-Editor auf die entsprechenden Positionen im Symbol-Bild schieben:

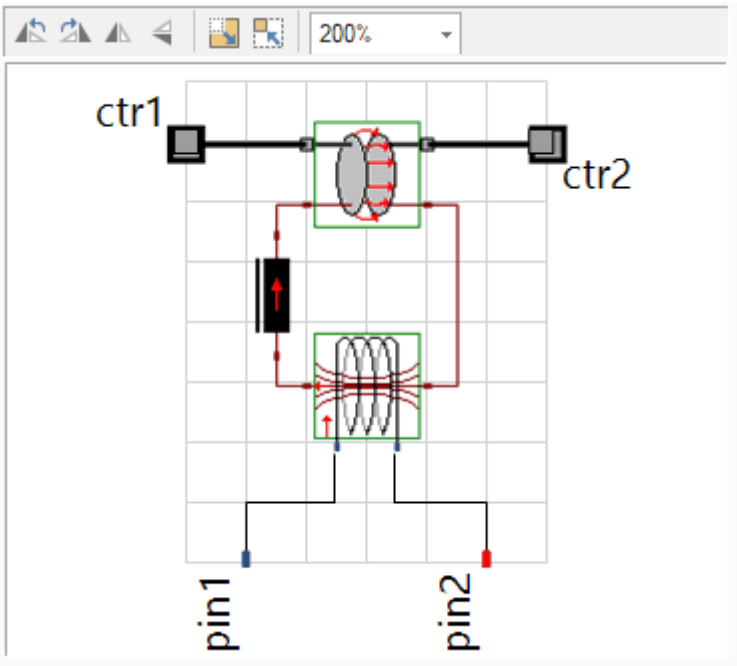


Die Express-Edition erfordert im Beispiel das manuelle Ergänzen der beiden benötigten elektrischen Anschlüsse einschließlich ihrer Verbindung mit den Spulen-Anschlüssen:

- Wir fügen zuerst im *TypeDesigner* die beiden elektrischen Anschlüsse hinzu, welche als **pin1** und **pin2** auch in der Symbolgrafik auftauchen:



- Die noch fehlenden Verbindungen zwischen den elektrischen Anschlüssen der Spule und den elektrischen Anschlüssen des Elektromagnet-Compound ergänzen wir später.
- Das von uns verwendete, automatisch generierte Compound-Strukturbild wird nur zum Zeitpunkt des Zusammenfassens erstellt. Spätere Modifikationen der inneren Struktur werden darin nicht berücksichtigt.
- Wir schieben deshalb die beiden elektrischen Pin mit dem Cursor an günstige Positionen.
- Danach nutzen den Grafikeditor im Abschnitt "**Allgemein**", um das Symbol manuell um die beiden Verbindungslinien zu ergänzen (Linienstärke **1 ½ pt** / Linienfarbe **schwarz**). Dies ergibt danach folgende Ansicht im Abschnitt "**Anschlüsse**":

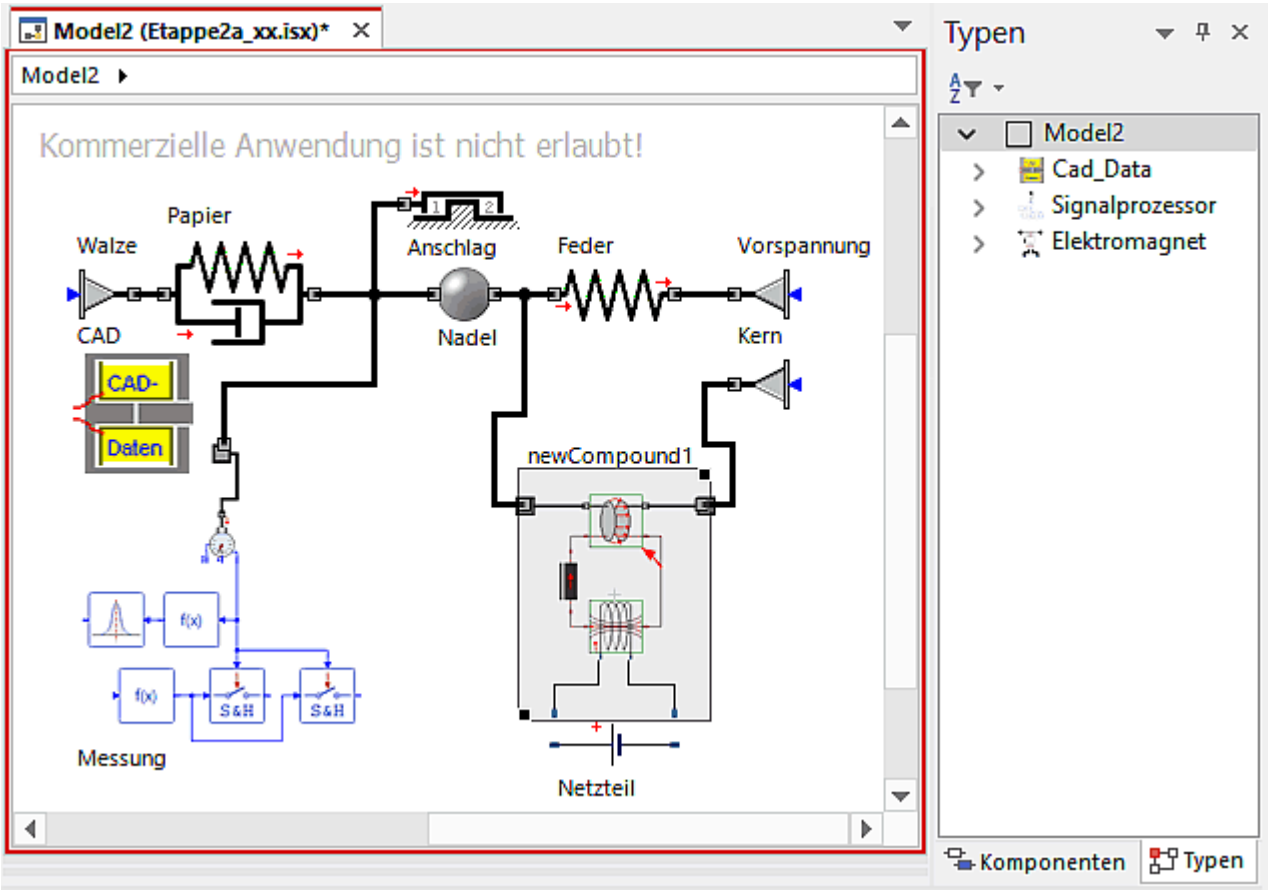


- **Hinweise**: Die Linienzüge erfordern jeweils einen Mausklick am Anfangs- und jeden Knickpunkt, sowie einen Doppelklick am Endpunkt. Misslungene Linien können markiert und dann gelöscht werden.

<u>Wichtig → Speichern des Arbeitsstandes:</u>

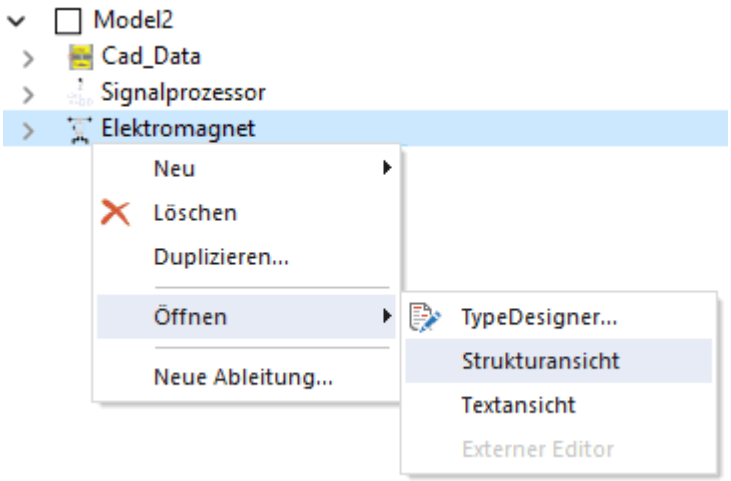
Wir haben schon einiges an Aufwand in die Bildung des Magnet-Compound investiert. Deshalb soll dieser Zwischenstand jetzt definiert auf dem Datenträger gespeichert werden:

1. **TypeDesigner > Fertigstellen**: schließt auch die Compound-Strukturansicht und zeigt das Compound-Element in der Modellstruktur als "**NewCompound1**" ("**Elektromagnet**" im Typen-Explorer):

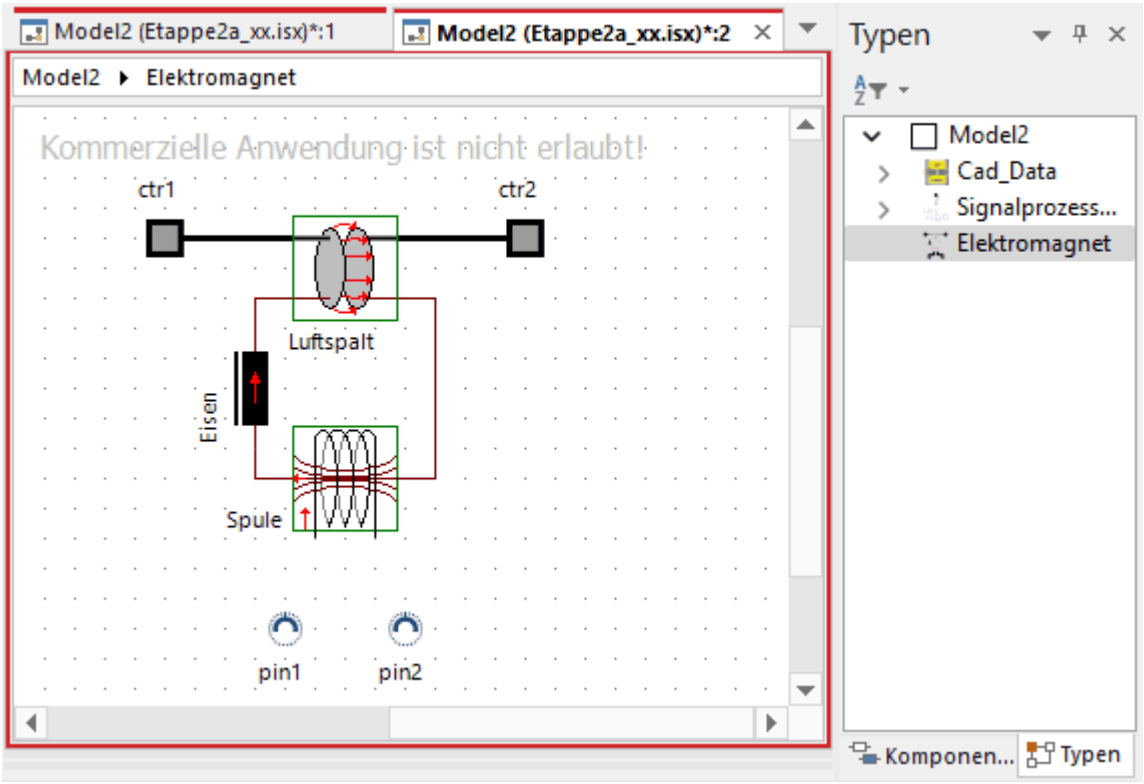


2. **Magnet**: als Name des Teilmodells im Modell eintragen
3. **Datei > Speichern**: Bei der Erstellung dieser Anleitung behielt trotz "Speichern" das Modell den Stern als Markierung (nicht gespeicherte Änderungen enthalten?).
4. **Datei > Modell schließen** und **SimulationX beenden**: führt zu einem definierten Abschluss dieses Bearbeitungszustandes.
5. **SimulationX starten** und **Datei öffnen > Etappe2a_xx.isx** : ausgehend von diesem Zustand können wir den Magnet-Compound nun weiter bearbeiten.

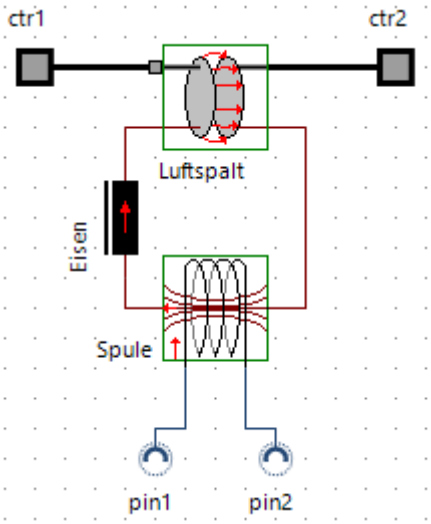
Bevor wir weiter im *TypeDesigner* arbeiten öffnen wir über das Kontextmenü im Type-Explorer die Strukturansicht des Elektromagnet-Compound und ergänzen darin die noch fehlenden Verbindungen:



- Die beiden im *TypeDesigner* hinzugefügten elektrischen Anschlüsse müssen als erstes mit dem Cursor an sinnvolle Positionen verschoben und entsprechend gedreht werden:

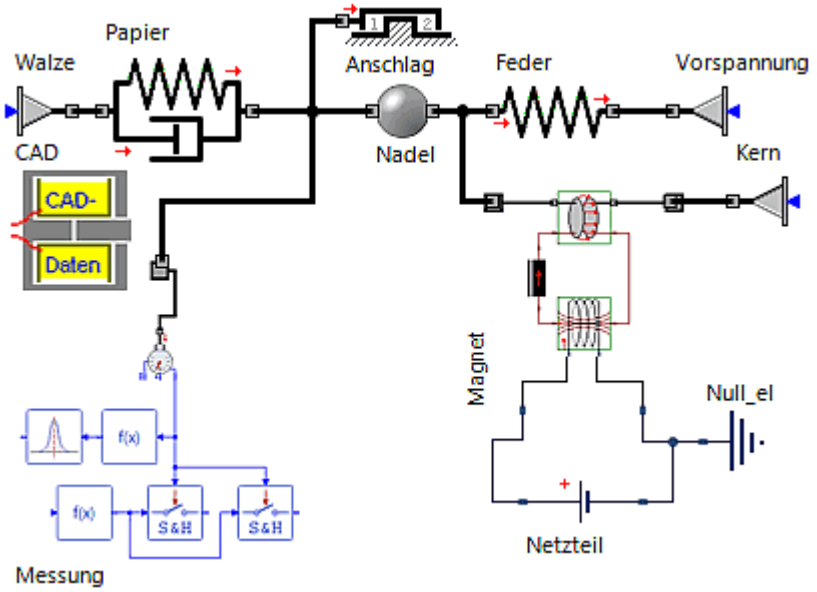


- Die Beschriftung der Pin sollte unten angeordnet werden, um Platz für die Verbindungen zu schaffen. Die Verbindungen zu den Spulen-Anschlüssen selbst sind dann kein Problem mehr:



Die Änderungen in der Strukturansicht werden mit dem Bearbeitungszustand des im *TypeDesigner* synchronisiert. Leider ist nicht dokumentiert, wann diese Synchronisation erfolgt. Um wieder einen definierten Zustand zu erreichen, sollte man den Weg über das Speichern und Schließen des Modells gehen:

1. Schließen der Strukturansicht ("**X**" am der Register): führt noch nicht zu einer Speicher-Abfrage.
2. Magnet-Compound mit Spannungsquelle verbinden und das erforderliche Nullpotential für die elektrische Domäne ergänzen (**Elektrotechnik > Analog > Grundbausteine > Masse**).
3. Zusätzlich wurden die Elemente in der Modell-Strukturansicht ansprechend platziert:



4. **Datei > Speichern**: danach **Modell schließen** und **SimulationX neu starten**

Wir haben damit den Workaround für die Begrenzungen der *Express Edition* abgeschlossen und können uns dem nächsten Abschnitt der Compound-Definition zuwenden.

Komponenten-Definition (Parameter)

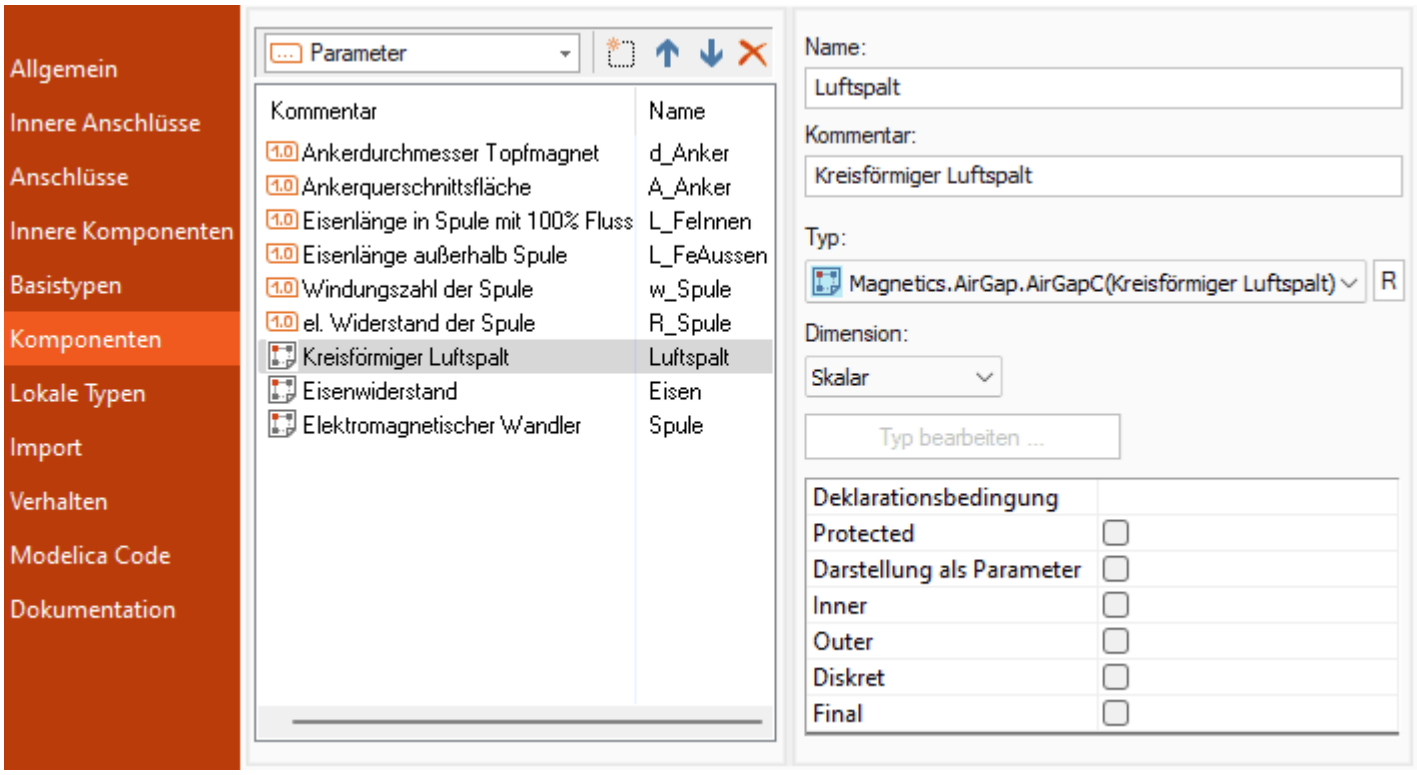
Für den Elektromagnet-Type öffnen wir wieder den *TypeDesigner*, welcher nun auch alle Änderungen enthält, die wir in der Strukturansicht vorgenommen hatten.

Parameter und Variable (Ergebnisse) des Komponenten-Abschnitts bilden die Datenschnittstelle zwischen den Elementen im Compound und der übergeordneten Modellebene.

- Innerhalb des Magnet-Compound müssen die Elemente der Magnetik-Domäne mit den entsprechenden Parametern gespeist werden, welche von den konstruktiven Entwurfsgrößen im CAD_Data-Element abgeleitet werden:
    1. Durchmesser, Querschnittsflächen und Längen der Eisen-Elemente, der Spulenstreuung und des Arbeitsluftspalts
    2. Windungszahl und ohmscher Widerstand der Spule
- Dafür sind im Komponenten-Abschnitt des Compound folgende Parameter mit sinnvoller Standardbelegung zu definieren (z.B.):

```
d_Anker    = 10 mm : Ankerdurchmesser Topfmagnet
A_Anker    = 1 cm² : Ankerquerschnittsfläche
L_FeInnen  = 10 mm : Eisenlänge in Spule mit 100% Fluss
L_FeAussen = 60 mm : Eisenlänge außerhalb Spule
w_Spule    = 500   : Windungszahl der Spule
R_Spule    = 1 Ohm : el. Widerstand der Spule
```

- Im Komponenten-Abschnitt sind bereits alle zum Compound zusammengefassten Modell-Elemente enthalten. Die später noch in der Struktur-Ansicht zu ergänzenden Modell-Elemente werden automatisch an das Ende der Komponentenliste gesetzt.
- Wir platzieren die erforderlichen neuen Parameter deshalb an den Anfang der Komponenten-Liste:



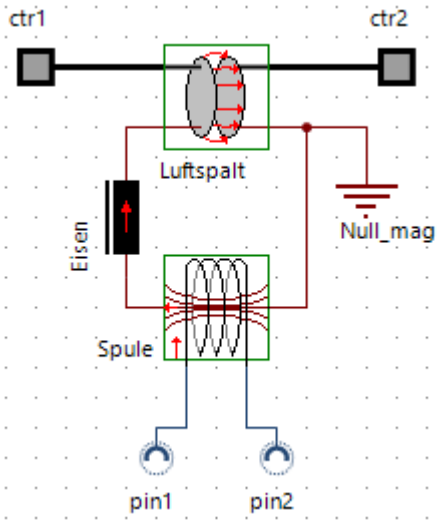
Bevor wir in die Strukturansicht des Magnet-Compounds wechseln, Speichern wir den erreichten Bearbeitungszustand:

- ***TypeDesigner > Fertigstellen***
- ***Datei > Speichern***

Struktur des Elektromagnet-Compound in der Strukturansicht vollenden

In der geöffneten Modelldatei öffnen wir für den Elektromagnet-Compound die Strukturansicht, um die "symbolische" Grundstruktur zur endgültigen Netzwerk-Struktur umzugestalten. Dabei können wir für die Parametrisierung die im Komponenten-Abschnitt definierten Schnittstellen-Parameter benutzen.

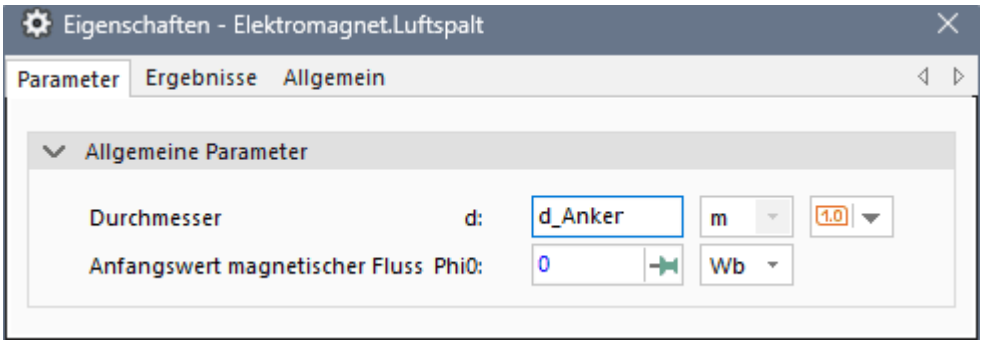
Magnetisches Null-Potential



- Jede physikalische Domäne in einem Netzwerk-Modell benötigt ein "Masse"-Element, welches den Knoten mit dem Potentialwert Null festlegt.
- Aus Gründen der Symbol-Übersichtlichkeit (und wegen der Beschränkungen der *Express Edition*) hatten wir die magnetische Masse vor dem Zusammenfassen der Compound-Elemente entfernt.
- Die feststehende Kernfläche des Luftspalts soll die magnetische Spannung **Vm=0 A** erhalten:

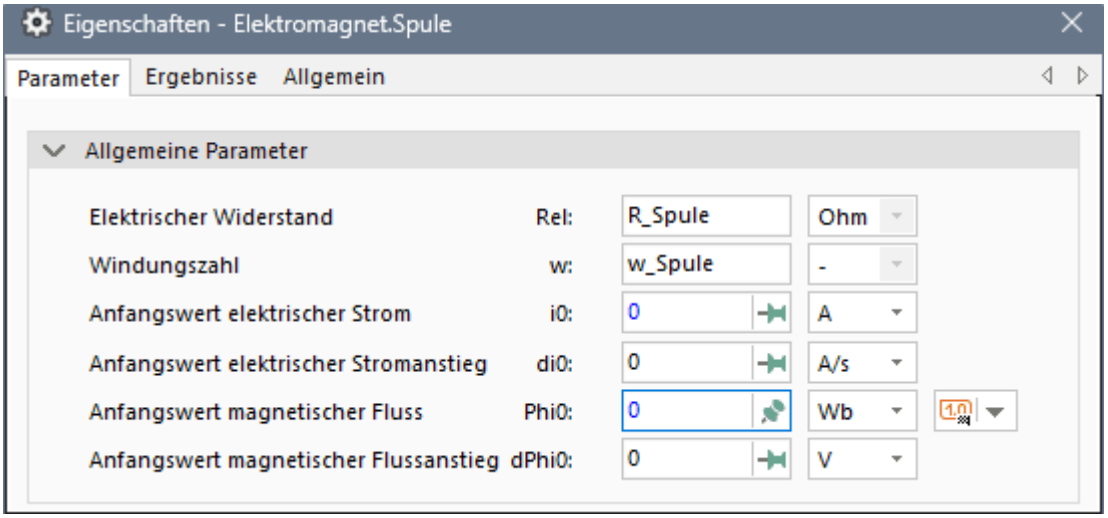
Arbeitsluftspalt

- Die magnetische Seite des magneto-mechanischen Wandlers ist innerhalb des Elektromagnet-Compounds Bestandteil der Magnetik-Domäne.
- Der Durchmesser **d** des Luftspalts muss mit dem Wert des Ankerdurchmessers **d_Anker** belegt werden:



Spule und Anfangswerte des magnetischen Flusses

- Der magnetische Kreis benötigt eine Quelle (MMK=Magneto-Motorische Kraft).
- Wir benutzen einen elektro-magnetischen Wandler in Form einer Spule.
- Die Vorgabewerte von 500 Windungen bei 1 Ohm Drahtwiderstand ersetzen wir durch die Parameter-Werte von **w_Spule** und **R_Spule**.

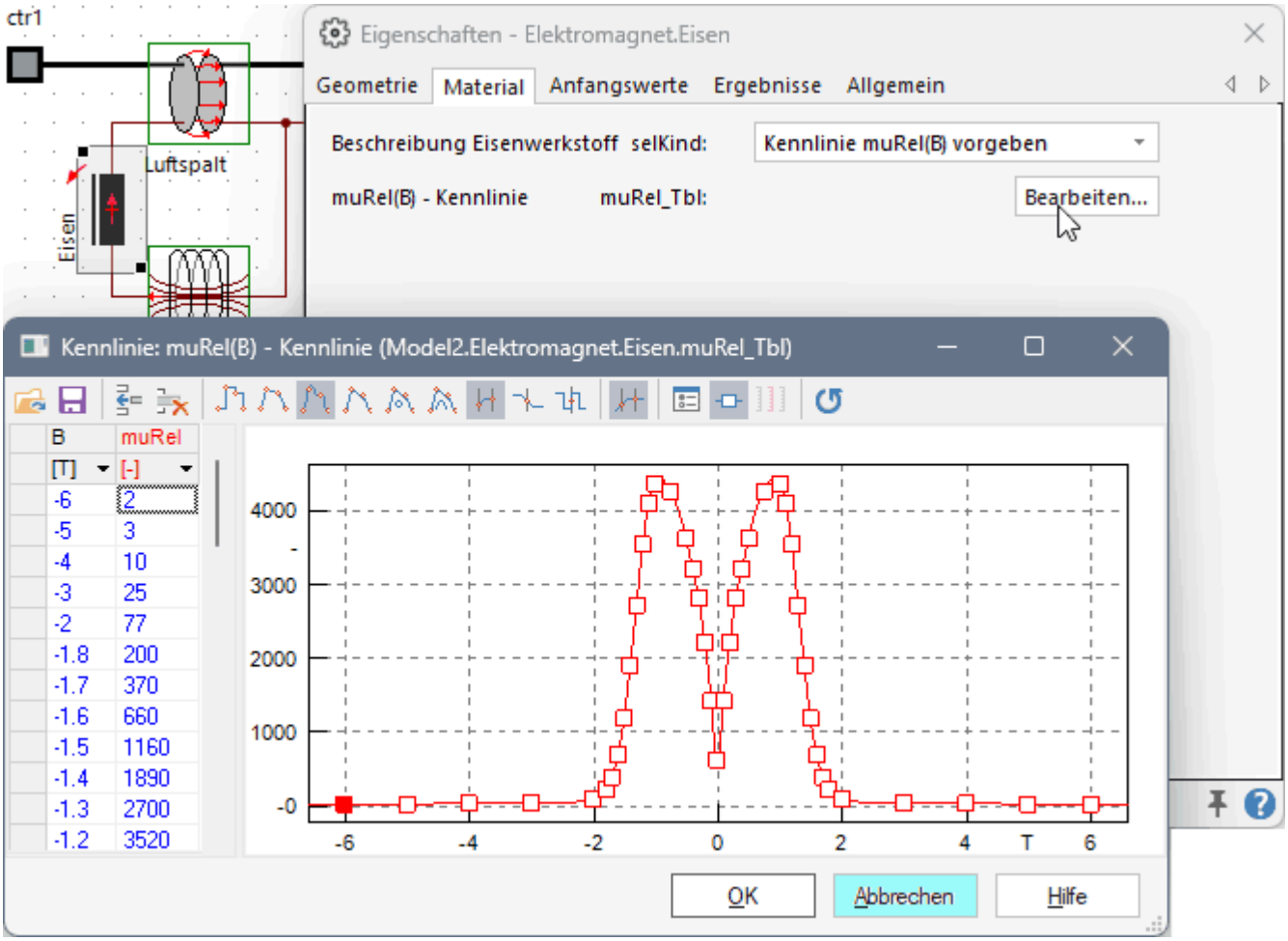


- Wir fixieren den Anfangswert des magnetischen Flusses in der Spule auf **Phi0=0 Wb**. Damit ergeben sich die Anfangswerte für den magnetischen Fluss in allen anderen Elementen des Magnetkreises ebenfalls zu **Phi0=0 Wb**.
- Da der Magnetkreis keine zusätzlichen magnetischen Spannungsquellen (z.B. in Form von Wirbelstrom-Elementen) enthält, ist der Stromfluss in der Spule über die Beziehungen des elektromagnetischen Wandlers fest mit dem magnetischen Fluss gekoppelt. Aus dem fixierten Anfangswert **Phi0=0 Wb** ergibt sich also der Anfangswert des elektrischen Stromes in der Spule zu **i0=0 A**. Deshalb darf in der Spule der Wert von **i0** nicht fixiert werden!
- ***Hinweis*:** Die Anfangswerte für die zeitlichen Ableitungen des Stromes ***di0*** und des Flusses ***dPhi0*** vertragen ebenfalls keine Fixierungen, weil sich ihre Werte aus den bekannten Zustandsgrößen ergeben.

Eisenmaterial und Eisen-Abschnitte (Innen und Aussen)

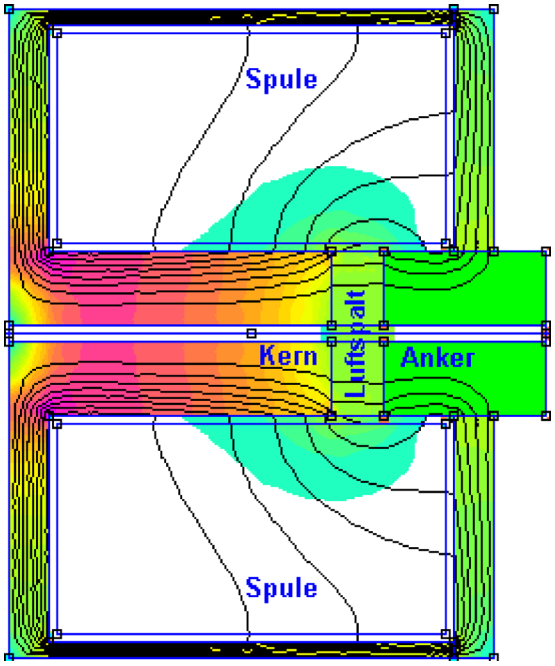
Bevor wir den gesamten Eisenwiderstand in zwei markante Abschnitte unterteilen, betrachten wir die Abhängigkeit der relativen magnetischen Permeabilität des Eisenmaterials **µRel** von der aktuellen magnetischen Flussdichte **B**:

- Mit den Eisen-Elementen werden standardmäßig die Materialkennwerte für **Trafoblech 530-50 A** mitgeliefert.
- Dieses wollen wir in Ermangelung eigener Kennwerte für unseren Magnetkreis verwenden.
- Der Zugriff auf diese Werte kann über verschiedene Methoden erfolgen. Der Anschaulichkeit halber wählen wir den Zugang über die Kennlinie **muRel(B)**. Auf diese kann man dann in der Material-Registerkarte mittels "Bearbeiten" zugreifen:



- Für die Flussdicht **B=0 T** beträgt im Beispiel die relative Anfangspermeabilität **µRel=600**.
- Steigt der Betrag |**B**| der Flussdichte (Symmetrie der Kurve um die Ordinatenachse!), so erreicht die rel. Permeabilität bei ca. **B=1** T ihren Maximalwert **µRel=4350** (Änderung fast ca. Faktor 7).
- Bei größeren **B**-Werten sinkt der Wert von **µRel** (insbesondere nach Überschreiten der Sättigungsflussdichte, im Beispiel ca. **2 T**).
- Der Wert von µRel konvergiert bei noch größeren Flussdichten gegen 1. D.h., das Eisenmaterial nähert sich in seiner magnetischen Leitfähigkeit dem Wert von Luft.
- ***Wichtig*:**
  Die vorgegebene Kennlinie **muRel(B)** entspricht nicht den Materialkennwerten für **Trafoblech 530-50 A** und sollte hier nur die qualitative Abhängigkeit der Permeabilität von der Flussdichte verdeutlichen! Deshalb muss man abschließend unbedingt für das Eisen-Material wieder **Trafoblech 530-50 A** wählen.

Die bisherige Netz-Struktur der magnetischen Domäne mit nur einem zylinderförmigen Eisenelement stellt eine extrem grobe "nullte" Näherung dar, wenn man das bereits bekannte Bild mit der realen räumliche Verteilung der magnetischen Flussdichte **B** in einem Topfmagneten als Farbverlauf betrachtet (violett: **B≥1 T** / weiß: fast feldfrei):



Eine verbesserte "erste" Näherung erhält man, wenn man den Eisenkreis in zwei zylinderförmige Abschnitte unterteilt:

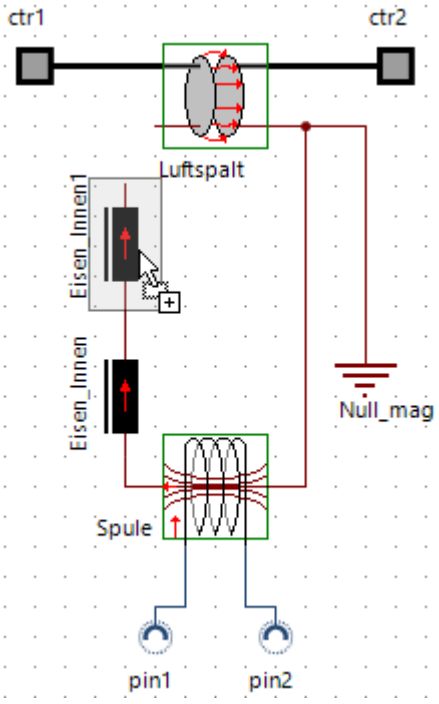
- "**Eisen_innen**": Teil des Magnetkerns innerhalb der Drahtspule, welcher "näherungsweise" vom kompletten Magnetfluss der Spule durchflossen wird. Dort wird auch die *magnetische Durchflutung (MMK)* der **Spule** als konzentriertes Netzwerk-Element platziert.
- "**Eisen_aussen**" (Kernabschnitt2, Anker, Topf): Ein Teil des Flusses strömt nicht durch den äußeren Eisenabschnitt, sondern verläuft durch den Luftraum der Spule (**Spulenstreufeld**). Den restlichen magnetischen Fluss leitet der äußere Eisenabschnitt durch den Arbeitsluftspalt.

Wir können sehr einfach den zweiten Eisenwiderstand ergänzen, einbinden und parametrisieren:

- Zuerst löschen wir die Verbindung zwischen dem jetzigen Eisenwiderstand und dem Luftspalt.
- Nach Umbenennung des vorhanden Eisenwiderstandes in "**Eisen_Innen**" (mit entsprechendem Kommentar) erhält er die zugehörigen Parameter:

```
Länge                   l    : L_FeInnen
Querschnittsfläche      A    : A_Anker
Anfangswert magn. Fluss Phi0 : 0 Wb (nicht fixieren, da durch Spule vorgegeben)
```

- Wir schaffen Platz für den zweiten Eisenwiderstand, indem wir die Elemente unterhalb des Luftspalts in der Struktur weiter nach unten verschieben.
- Man könnte sich den zweiten Eisenwiderstand auch aus der Modellbibliothek herüberziehen. "Eleganter" funktionierte es bei gedrückter **<Strg>**-Taste durch Anklicken und Ziehen des in der Struktur vorhandenen Elements:
  - Es wird dabei eine Kopie erzeugt, welche man an der gewünschten Position ablegt.
  - Dabei kann auch bereits automatisch die Verbindung zum vorherigen Element hergestellt werden, wenn man beim Ziehen die zu verbindenden Anschlüsse übereinander hält.
  - Falls diese Verbindung nicht oder falsch entsteht, muss man dies manuell korrigieren (im Bild fehlt z.B. noch die Verbindung zum Luftspalt).
  - Erforderlich ist das Umbenennen in "**Eisen_Aussen**" mit Änderung des Kommentars
- Der Vorteil der Element-Kopie besteht auch in der vereinfachten Parametrisierung, da die komplette Konfiguration übernommen wird:



```
Länge                   l    : L_FeAussen
Querschnittsfläche      A    : A_Anker
Anfangswert magn. Fluss Phi0 : 0 Wb (nicht fixieren, da durch Spule vorgegeben)
```

Spulenstreufeld

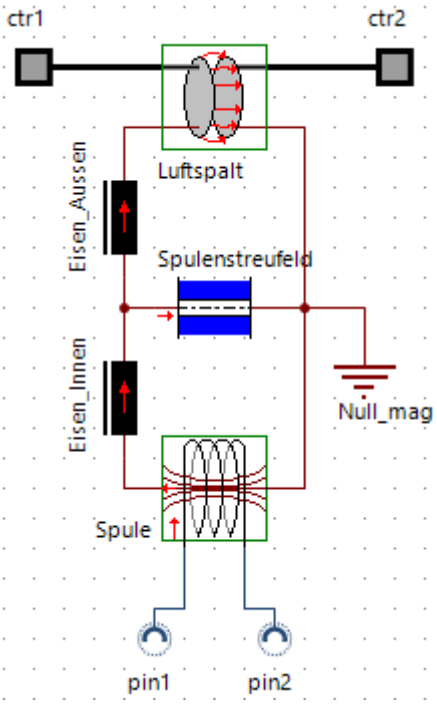
Das Magnetik-Element **Luftelemente > "Streufeld einer Zylinderspule"** berechnet den konstanten magnetischen Ersatzwiderstand, der nur von der Geometrie des Wicklungsraums der Spule abhängt:

$$\mathbf{RmStr=4 \cdot l/(\mu_0 \cdot pi \cdot (d_{out}^2 - d_{in}^2))}$$

Näherungsweise können wir in Bezug auf den Ankerdurchmesser **d_Anker** den Wickelraum vorläufig wie folgt beschreiben (dabei vernachlässigen wir die Wandstärken des Eisen-Topfes):

```
Innendurchmesser        din  :     d_Anker
Außendurchmesser        dout : 2 * d_Anker
Länge                   l    : 3 * d_Anker
Anfangswert magn. Fluss Phi0 : 0 Wb (nicht fixieren, da durch Flussteiler-Regel vorgegeben)
```

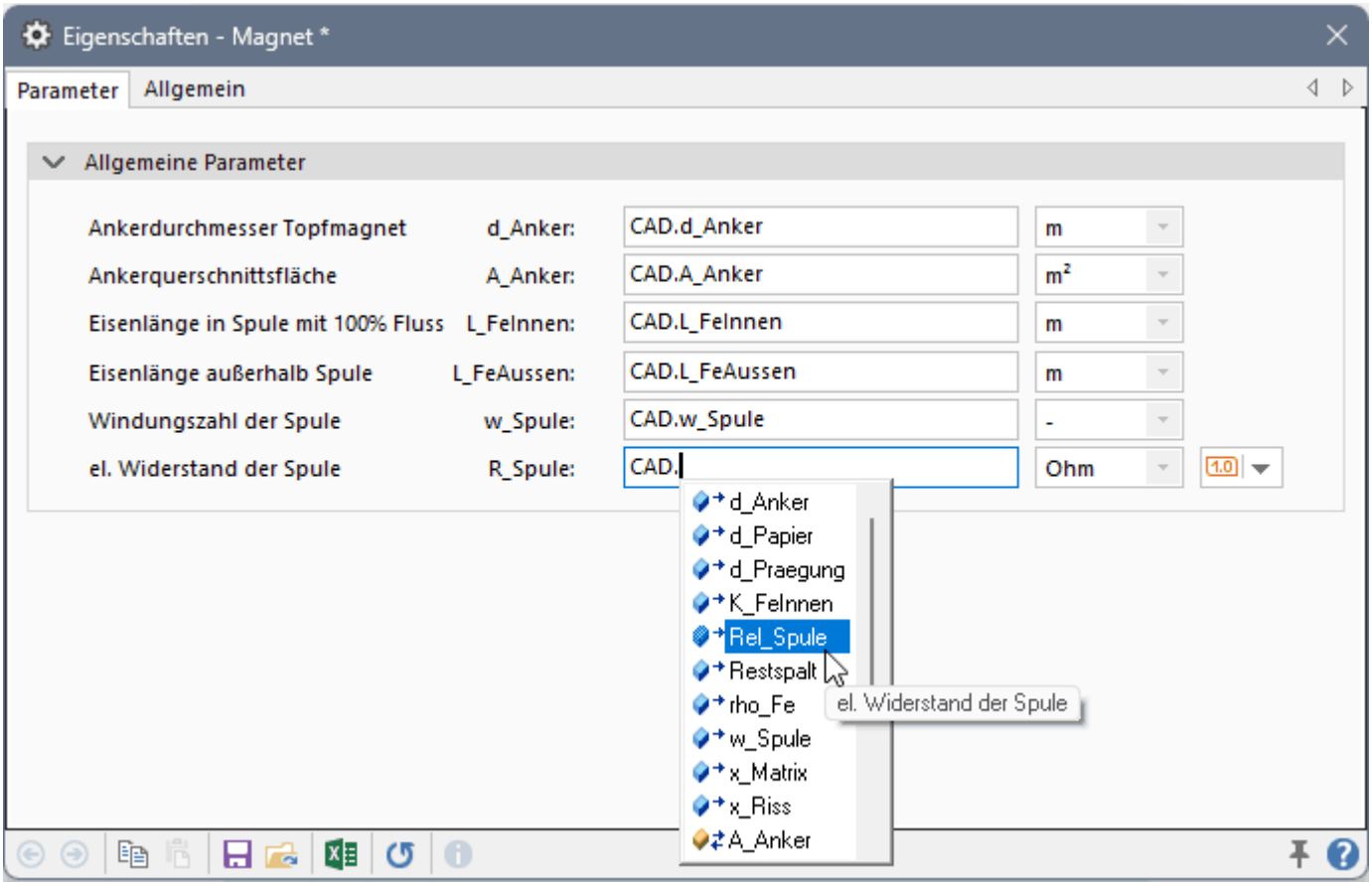
Nach dem Ergänzen der Spulenstreuung kann man die Magnet-Struktur noch etwas in Hinblick auf "Schönheit" zurechtzupfen, wobei man zum Verschieben des Null-Potentialknotens zuvor den kompletten Verbindungszug löschen muss:



Wichtig:
Den erarbeiteten Modellzustand sollte man nach Schließen der Compound-Strukturansicht Speichern. Das komplette Schließen und erneute Öffnen des Modells garantiert einen definierten Zustand.

Einspeisung der Entwurfsparameter im Magnet-Compound

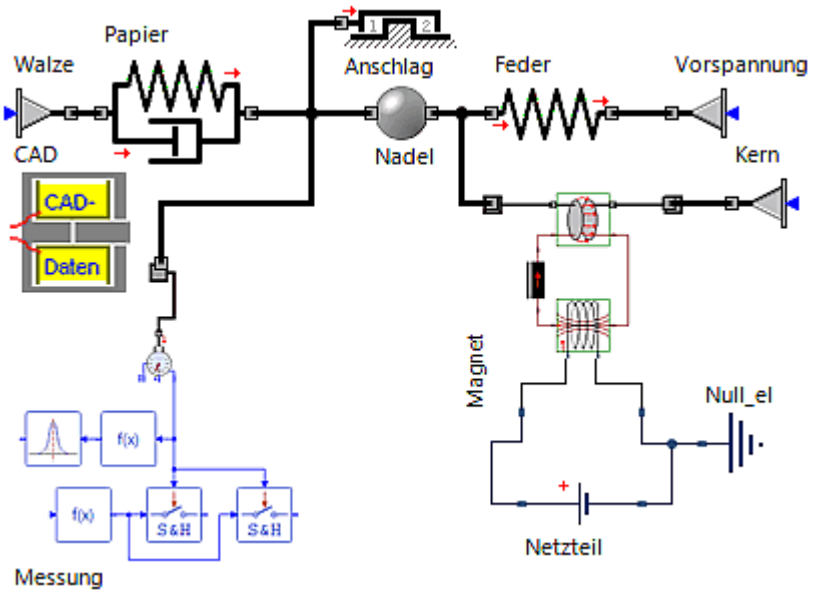
Innerhalb des Magnet-Compounds werden die Parameter (Komponenten) bereits an die einzelnen Elemente des Magnetkreises verteilt. Es fehlt jetzt noch die Einspeisung der CAD-Entwurfsparameter in die Parameter des Magnet-Compound:



Dies gestaltet sich sehr einfach, da nach Eingabe von "**CAD.**" eine Liste aller verfügbaren CAD-Werte erscheint. Durch Doppelklick wählt man daraus die gewünschte Größe.

Validierung des Magnetkreis-Modells

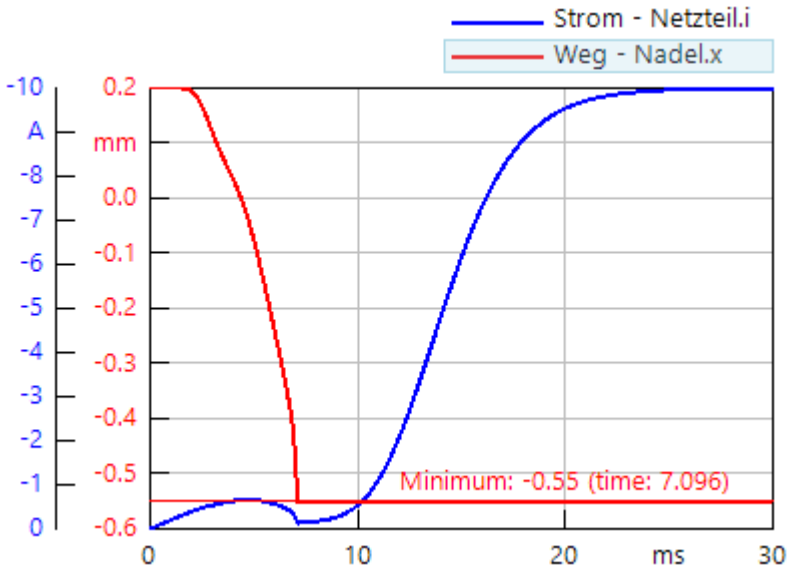
Nach Fertigstellen des Magnet-Compound einschließlich der Parametrisierung fehlt nun noch ein entscheidender Schritt - die Validierung. Infolge der nichtlinearen magnetischen Eigenschaften des Eisenmaterials kann man die Glaubwürdigkeit des Modellverhaltens überwiegend nur qualitativ überprüfen. Für bestimmte definierte Anfangs- und Endzustände kann man die Richtigkeit der Werte jedoch auch quantitativ einschätzen.



Vor dem Start der Simulation nehmen wir noch folgende Einstellungen vor:

- **tStop = 30 ms** → Verlängerung der Simulationszeit (um eingeschwungenen Endzustand für den E-Magneten zu erreichen)
- **Netzteil.V = 10 V** → ergibt mit R_Spule = 1 Ohm einen Endstrom von 10 A.

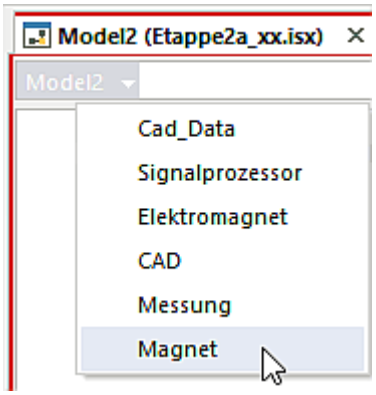
Nach der Simulation konfigurieren wir ein Ergebnisfenster mit dem Stromanstieg und dem Verlauf der Nadel-Bewegung:



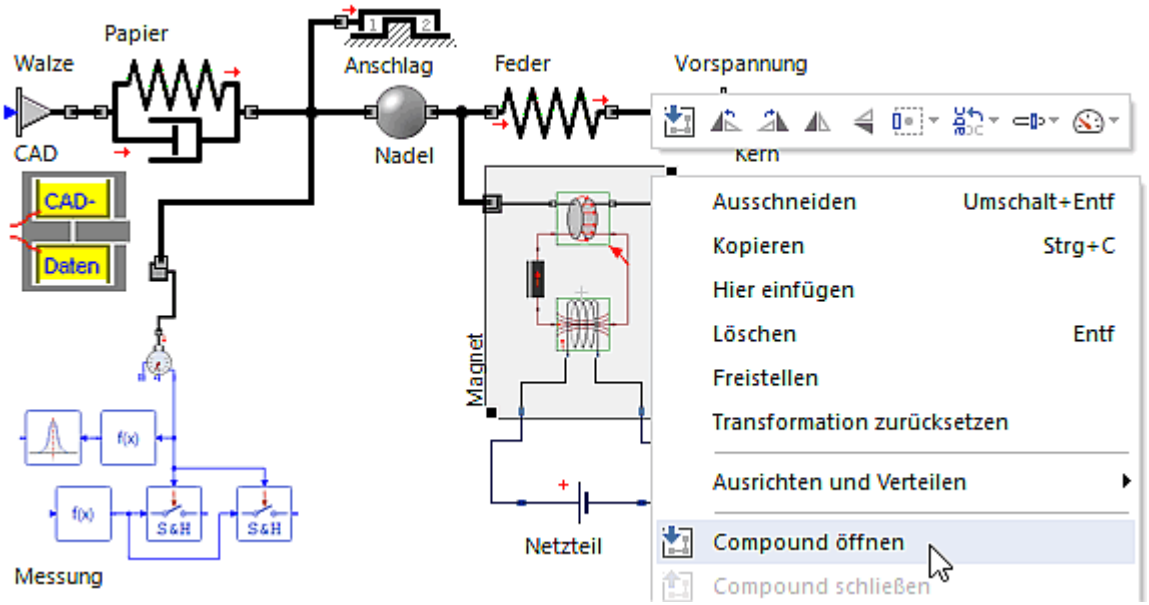
- Bei positiver Spannung ergibt sich an dem Netzteil ein negativer Stromwert → deshalb für Y-Achse des Stroms "**Negative Orientierung=True**" setzen!
- Der Anker mit der Nadel verbleibt in der Ruhelage, solange die Magnetkraft kleiner ist, als die Rückstellkraft der Federvorspannung.
- Durch die Ankerbewegung entsteht in der Spule eine Gegeninduktionsspannung, welche dem Anstieg des Stromes entgegenwirkt und dann umkehrt.
- Nach dem plastischen Anschlag der Nadel auf dem geprägten Papier steigt der Strom wieder an bis zu seinem Endwert von 10 A.
- Die Magnetkraft drückt die Nadel dauerhaft auf das Papier, da im Modell keine Abschaltung vorgesehen wurde.

Um interne Größen eines Compound auf der Modellebene in einem Ergebnisfenster darzustellen, muss man sich in die Strukturansicht des betreffenden Compound begeben. Dafür stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

- Nach Klick auf den Hierarchiepfeil neben dem Modellnamen auf der Registerkarte öffnet sich eine Liste der möglichen Compounds. Hierbei muss man jedoch beachten, dass man nicht den Compound-Typen, sondern die im Modell verwendete Instanz wählt:



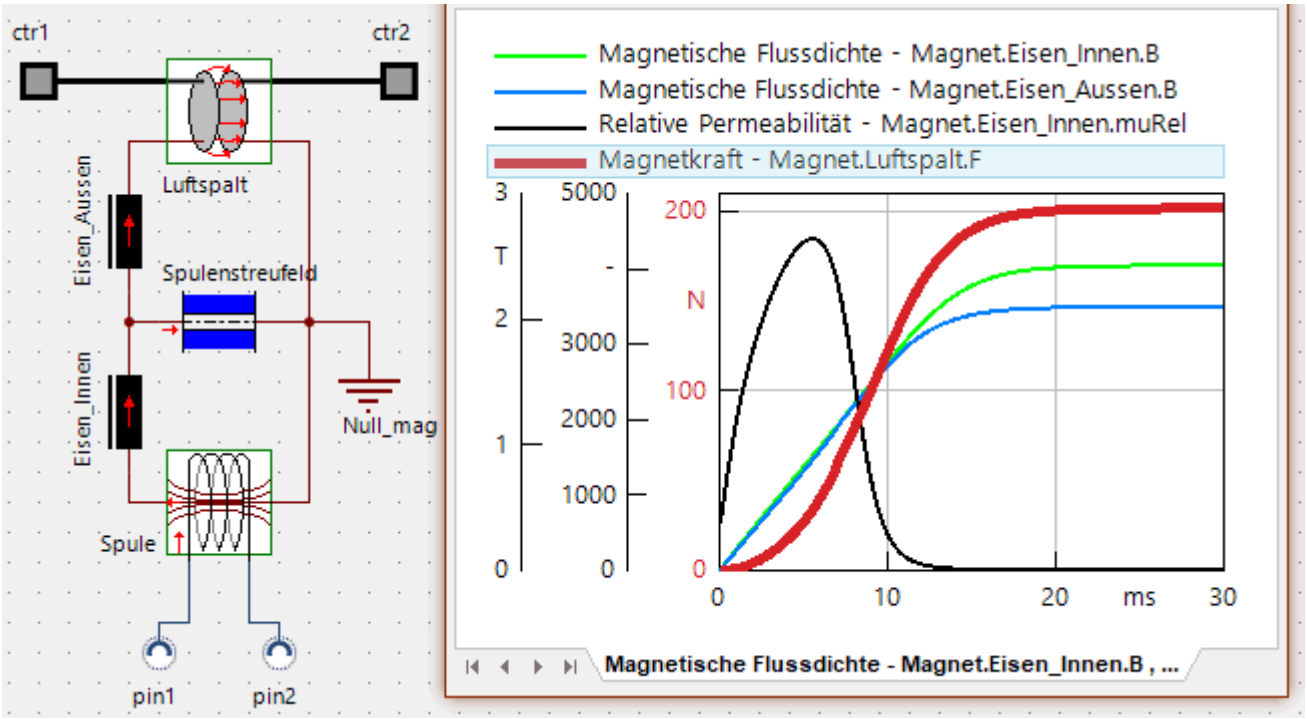
- Man kann über das Kontextmenü des Compound-Elements dessen Strukturansicht direkt öffnen:



- In der Strukturansicht des Compound ist der Hintergrund grau, wenn es sich um das Modell-Element handelt. Den Compound-Typen erkennt man am weißen Hintergrund!

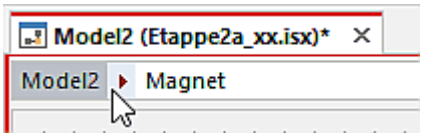
In der Strukturansicht des Magnet-Compound konfigurieren wir ein Ergebnisfenster mit:

- den magnetischen Flussdichten in den beiden Eisen-Abschnitten
- der relativen magnetischen Permeabilität (im inneren Eisenabschnitt)
- dem Kraftverlauf im Luftspalt:

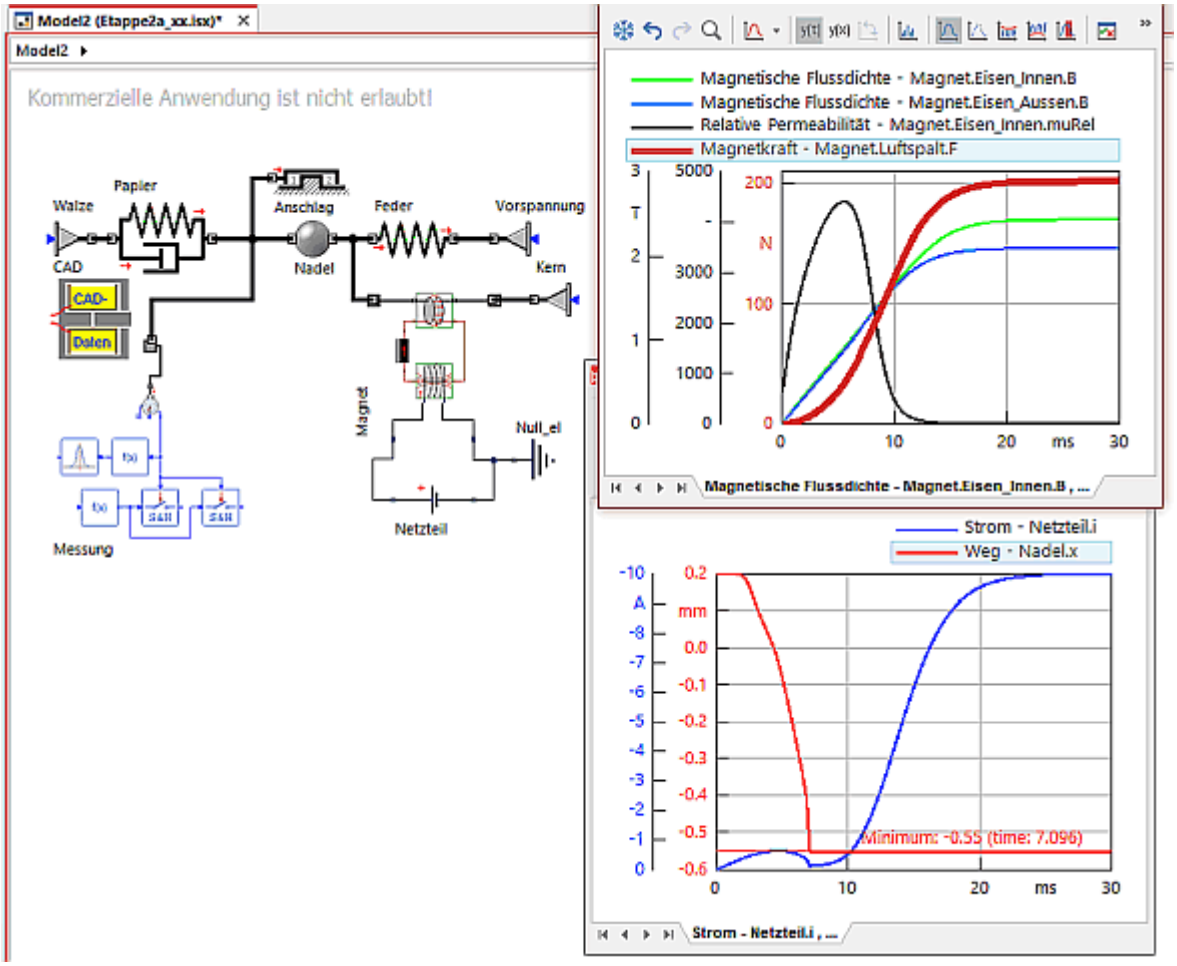


- Die magnetische Flussdichte steigt näherungsweise linear in der Zeit → der Kraftanstieg ist deshalb am Anfang quadratisch.
- Die Flussdichte wird infolge der magnetischen Sättigung des Eisens begrenzt.
- Die Abzweigung des Gesamtflusses durch das Spulenstreufeld macht sich mit steigender Sättigung des Eisens stärker bemerkbar. Allerdings werden die in der Simulation erreichten Flussdichten von über **2 T** in der Praxis kaum erreicht.
- Aus dem sehr großen Endwert der Flussdichte resultiert auch die eine wesentlich größere Haltekraft **Fmax** im Vergleich zu unseren vorherigen Annahmen.

Die Compound-Strukturansicht kann man auch schließen, indem man auf der Registerkarte die Modell-Ebene anklickt:



- Das in der Compound-Strukturebene konfigurierte Ergebnisfenster bleibt dabei geöffnet:



- Bei Bedarf könnte man die Signale der Compound-Ebene nachträglich durch Signale der Modell-Ebene ergänzen.

←→

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Magnetkreis&oldid=27793“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Elektronik

Aus OptiYummy

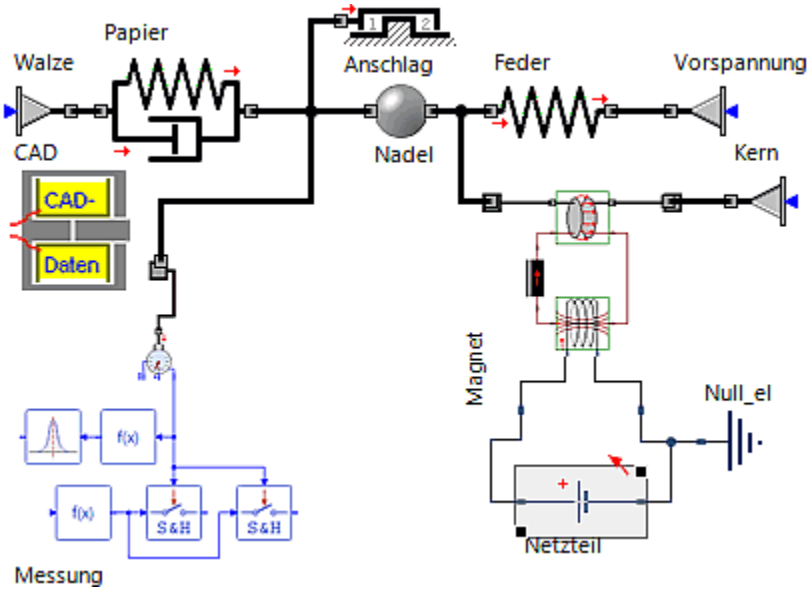
↑

← →

Elektronische Schaltung (Controller-Compound)

Anforderungen an die Magnet-Ansteuerung

Für die Inbetriebnahme des Elektromagneten verbanden wir die Spulen-Anschlüsse mit einer konstanten Gleichspannung. Damit ließ sich der Anzugsvorgang des Magneten nachbilden:



Anstatt einer einfachen Gleichspannungsquelle benötigt man einen Controller, welcher folgende Aufgaben übernimmt:

- Wählbare Betriebsspannung → wir dimensionieren aktuell den Antrieb für **Vel = +24 V** und **iMax = 1.5 A**.
- Ereignisgesteuerte Abschaltung:
  - Es soll unter unterschiedlichsten Betriebsbedingungen ein sicheres Prägen gewährleistet sein (mit konstanter Einschaltzeit kaum realisierbar!).
  - Erst nach vollständigem Prägen (**Praegung=1**) soll die Spule von der Betriebsspannung getrennt werden.
- Begrenzung der Abschaltspannung an der Spule durch eine geeignete Schutzbeschaltung.
- Schneller Abbau des Magnetfeldes nach dem Abschalten → Anker mit Nadel möglichst schnell in Ruhelage

Controller-Compound

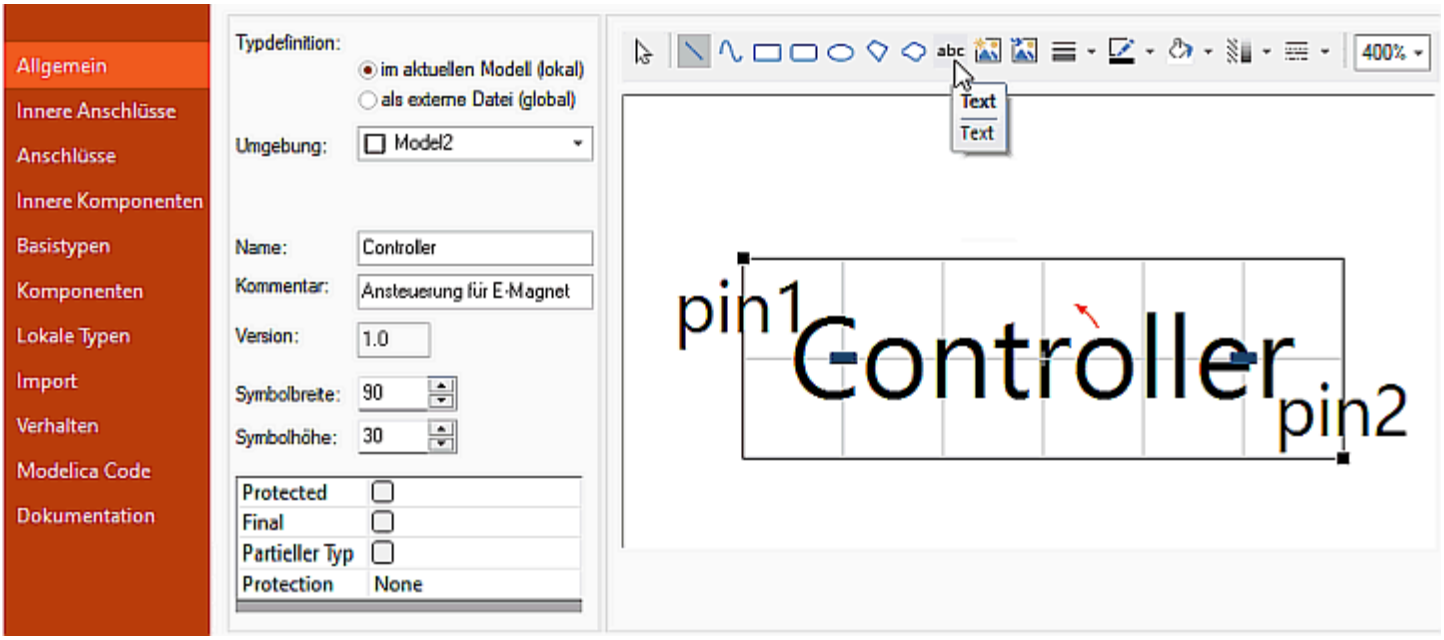
Diese Controller-Baugruppe soll in Form eines Compound-Teilmodells modelliert werden:

- Die elektrische Masse (Null-Potential der elektrischen Domäne) verbleibt auf der Ebene des Modells. Im Unterschied zur magnetischen Domäne erstreckt sich die elektrische Domäne in Form der elektrischen Anschlüsse von Magnet und Controller nicht nur in der internen Compound-Struktur.

- Wir ersetzen praktisch die Spannungsquelle "Netzteil" (nur diese markieren!) mittels "Zusammenfassen zu einem Compound" durch eine Controller-Baugruppe.
- Dabei erfolgt eine automatische Generierung der benötigten elektrischen Anschlüsse.
- Wir folgend wieder dem bekannten Schema bei der Definition und Konfiguration der Compound-Struktur.

Allgemein

Das automatisch generierte Symbolbild (nur "Spannungsquelle") widerspiegelt nicht ansatzweise die komplexe innere Struktur der Controller-Baugruppe. Deshalb verzichten wir darauf und kreieren minimalistisch den Text "Controller" innerhalb der umrahmten Symbolfläche:

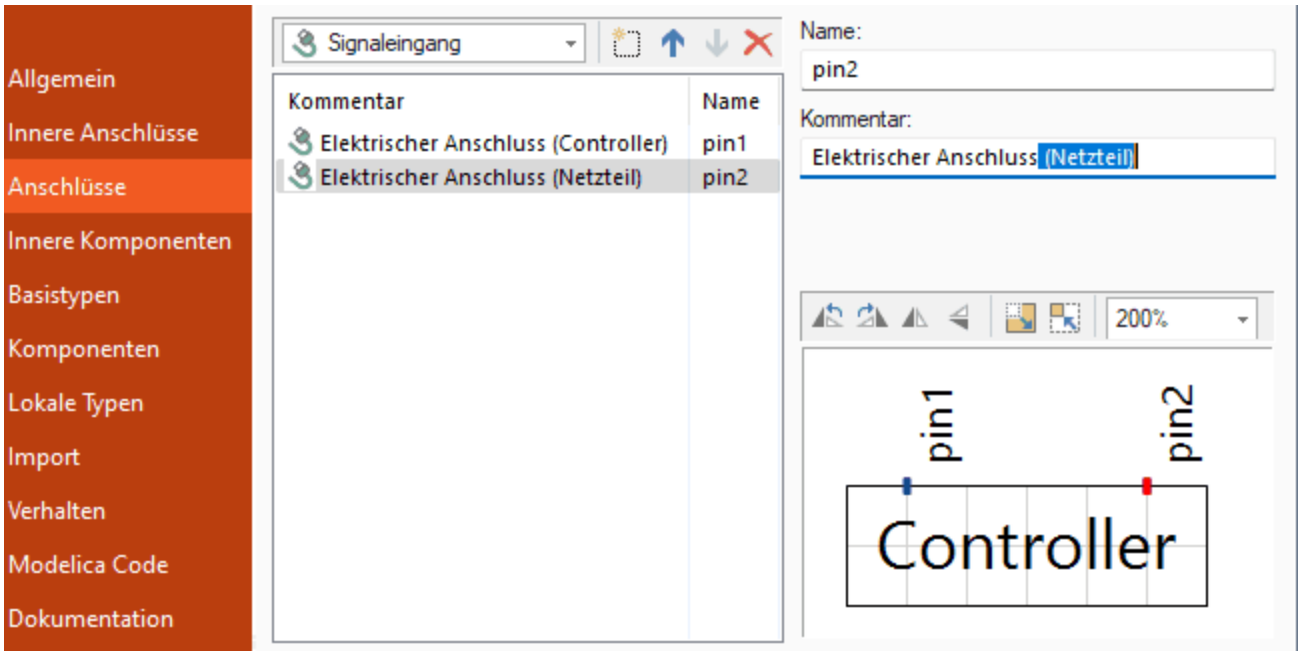


- Vergrößern der Symbolgröße auf 90 x 30
- Löschen des automatisch generierten Bilds der Spannungsquelle
- Zeichnen eines Linien-Zuges entlang der Symbolkante
- **Text='*Controller*'** erzeugen (Standard-Vorgaben zum Stil sind ausreichend)
- Verschieben und Anpassen des Textfeldes in den Symbol-Rahmen

Anschlüsse

Die beiden Marker der automatisch erzeugten elektrischen Anschlüsse befinden sich noch mitten im Symbol:

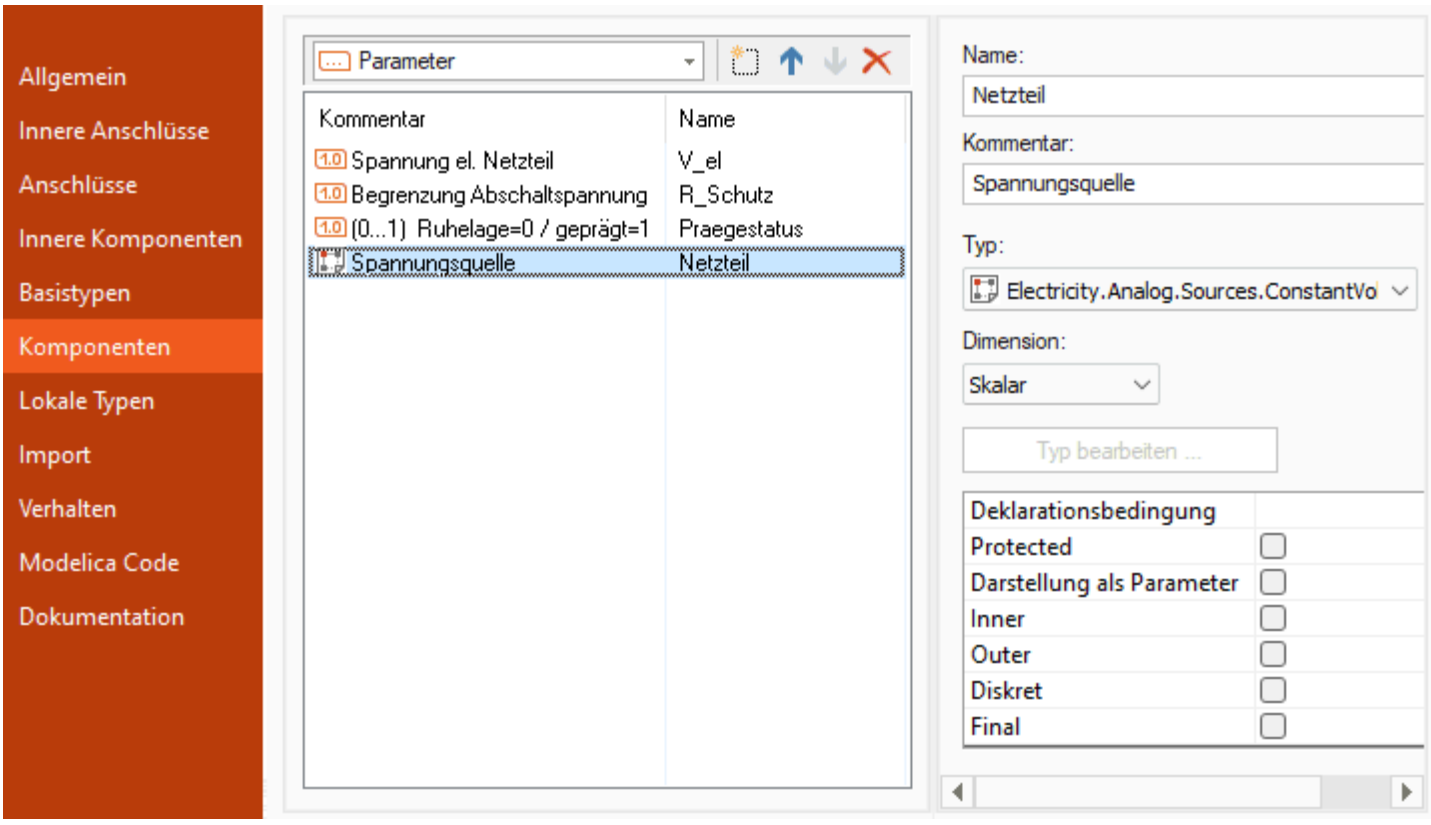
- Wir verschieben sie an die äußeren Gitterlinien der oberen Symbolkante. Damit sollte eine optisch ansprechende Verbindung mit dem Magnet-Compound gelingen.
- Der Kommentar für die Anschlüsse bezieht sich noch auf den Namen des Netzteil-Elementes → kann man in "Controller" ändern:



Komponenten (Parameter)

Hier definieren wir diejenigen Baugruppen-Parameter, welche für die Konfiguration der vorläufigen inneren Struktur benötigen:

- Wir platzieren die Parameter vor die automatisch generierte "Liste" der Modell-Elemente der inneren Compound-Struktur:

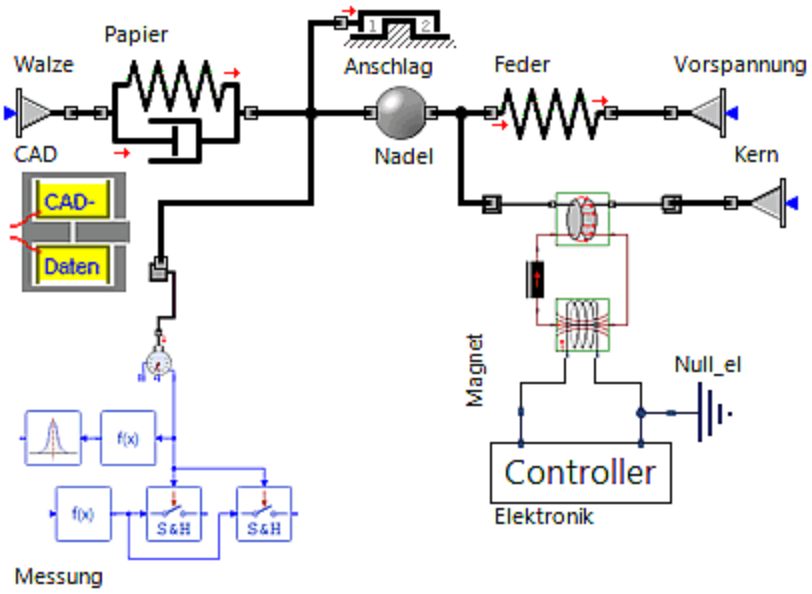


- Es sind folgende Parameter mit sinnvoller Standardbelegung zu definieren (z.B.):

```
V_el         =  24 V   : Spannung el. Netzteil
R_Schutz     = 100 Ohm : Begrenzung Abschaltspannung
Praegestatus =   0     : (0...1)  Ruhelage=0 / geprägt=1
```

Bevor wir in die Strukturansicht des Magnet-Compounds wechseln, sichern wir den erreichten Bearbeitungszustand:

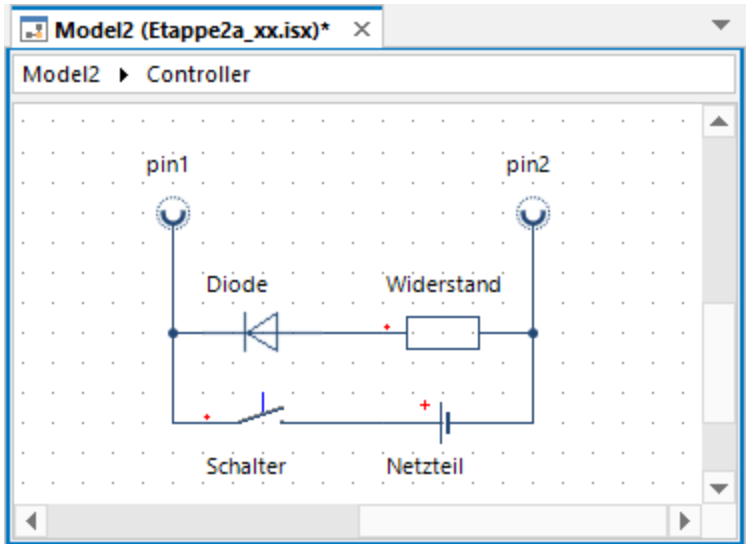
- **TypeDesigner > Fertigstellen**
- **Elektronik** als Element-Name für den Controller im Modell ("ordentlich" platzieren und verbinden)
- **Datei > Speichern**:



Strukturansicht (Elektronische Schaltung)

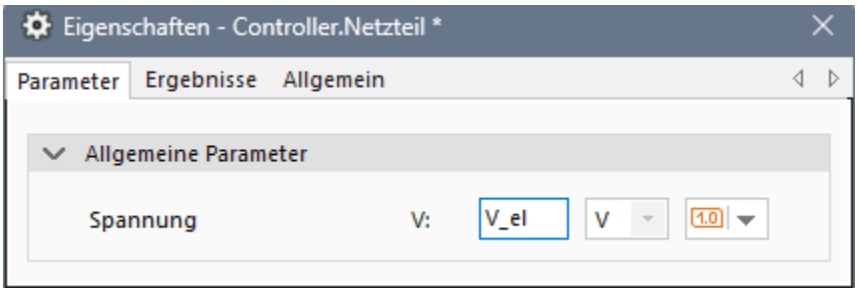
In der geöffneten Modelldatei öffnen wir für den Controller-Compound die Strukturansicht, um die erforderlichen Bauteile zur bereits vorhandenen Spannungsquelle hinzuzufügen:

- Der Minus-Pol des Netzteils bleibt dabei weiterhin mit dem elektrischen Anschluss **pin2** verbunden.
- Gelöscht werden muss die Verbindung zwischen dem Plus-Pol des Netzteils und **pin1**.
- Im Verlaufe der Schaltungserweiterung muss man die Bauelemente in ihrer Position entsprechend sinnvoll anpassen:



Netzteil

Damit man den Elektromagneten bei Bedarf für unterschiedliche Betriebsspannungen dimensionieren kann, wurde dieser Spannungswert als Compound-Parameter definiert und wird nun der Spannungsquelle zugewiesen:



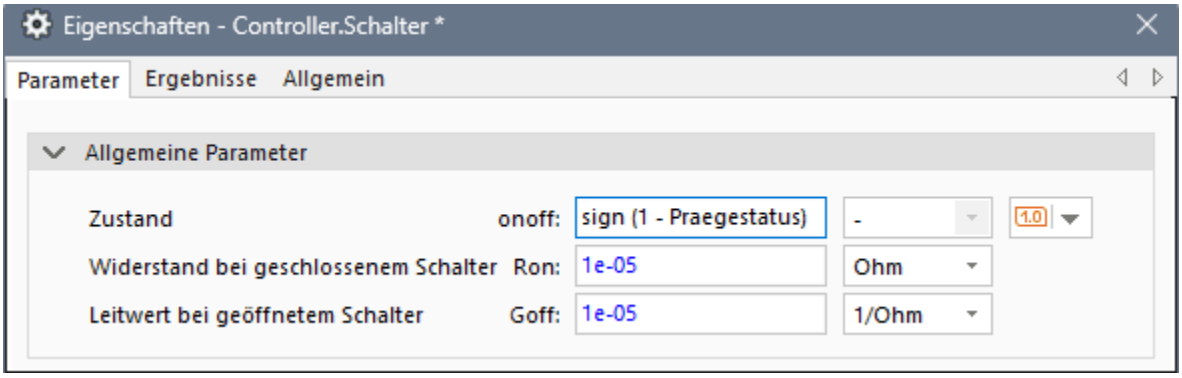
Ereignisgesteuerter Schalter

Für jeden einzelnen Prägezyklus wird der **Praegestatus** des Papiers als Realzahl [0...1] erfasst. Der Elektromagnet soll eingeschalten bleiben, solange das Papier noch nicht vollständig geprägt ist (Praegestatus<1):

- Wir nutzen einen "Idealen Schalter" (***Elektrotechnik > Analog > Ideal***).
- **Schalter.onoff** benötigt 0=geöffnet / 1=geschlossen.
- **Praegestatus** ändert sich stetig von Null zum Wert=1 → geeignete Funktion **f** für **onoff=f(Praegestatus)** benötigt
- Die Funktion **sign(x)** liefert -1 / 0 / +1 ("Vorzeichen" von **x**) → Damit kann man korrektes Schalten realisieren:

```
Schalter.onoff: sign (1 - Praegestatus)
```

- Aus numerischen Gründen erfolgt auch im geöffneten Zustand des Schalters keine Trennung der Leitungsverbindung, sondern es wird ein hinreichend großer Widerstandswert verwendet. In unserem Beispiel kann der Standardwert benutzt werden:



- Analog dazu ist im geschlossen Zustand der Kontaktwiderstand nicht Null, sondern nur hinreichend klein (in der Realität wäre dies der messbare Kontaktwiderstand im µOhm-Bereich).

Schutzbeschaltung

Infolge der Spulen-Induktivität kann sich der Strom durch die Spule nur stetig ändern. D.h., beim Abschalten entsteht schlagartig eine Spannung zwischen den Spulenanschlüssen, welche den aktuellen Stromwert aufrechterhalten kann (z.B. über eine Funkenstrecke):

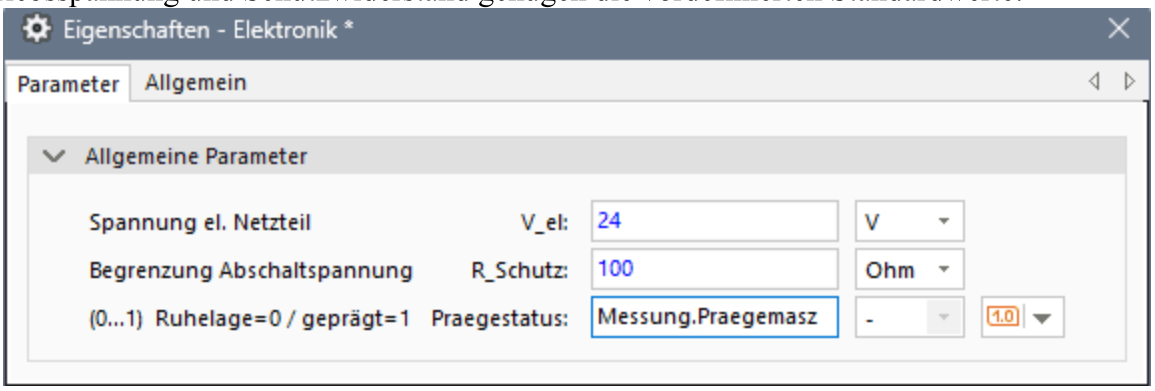
- Ein E-Magnet muss zur Vermeidung hoher Abschaltspannungen mit einer Schutzschaltung betrieben werden!
- Üblich sind z.B. Schutz-Dioden mit einem Reihenwiderstand:
  - Der Widerstand begrenzt die Abschaltspannung auf einen zulässigen Wert und gewährleistet gleichzeitig eine möglichst schnelle Umwandlung der Magnetfeld-Energie in Wärme.
  - Die Diode verhindert den Stromfluss durch diesen Parallel-Widerstand bei eingeschaltetem Magneten.
- Wir konfigurieren die ***Halbleiter > Diode*** als "**Reale Diode**" mit den Vorgabewerten.

- Der Widerstand erhält den Parameter-Wert **R_Schutz**, dessen Optimalwert wir dann für den Controller bestimmen können.

Inbetriebnahme des Elektronik-Teilmodells (Controller-Compound)

Prinzipiell sind die Parameter der Elektronik-Baugruppe (Betriebsspannung und Schutzbeschaltung) Bestandteil der CAD-Daten. Vorläufig konfigurieren wir diese Werte noch direkt ín den Eigenschaften des Elektronik-Compounds:

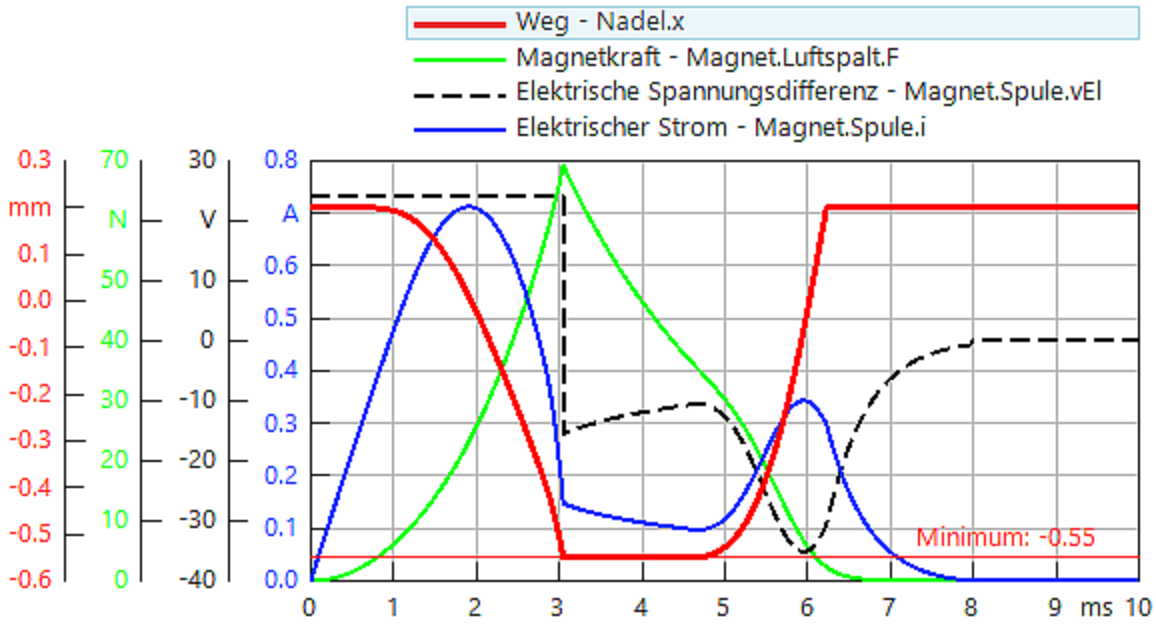
- Den Praegestatus übernehmen wir aus dem Messung-Compound.
- Für Betriebsspannung und Schutzwiderstand genügen die vordefinierten Standardwerte:



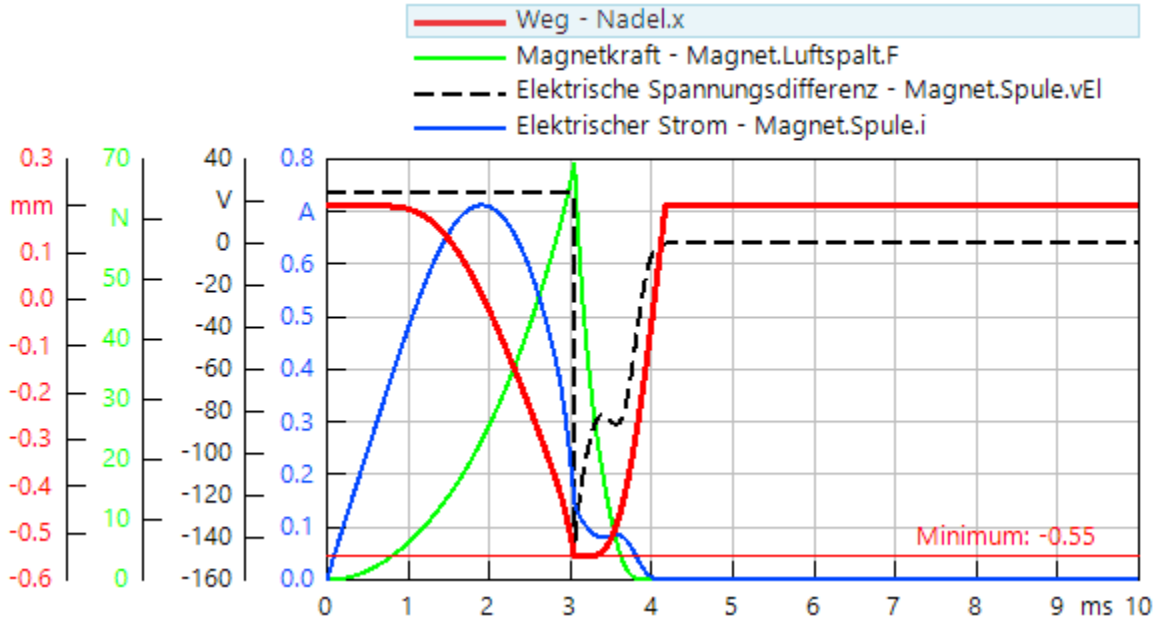
Achtung: Bevor wir das Modellverhalten durch Simulation validieren, sollte man den aktuellen Bearbeitungszustand speichern!

Es genügt im weiteren eine Simulationszeit von 10 ms:

- In einem Ergebnisfenster sind aussagekräftige Signalverläufe wesentlicher Modellgrößen darzustellen:
- Es muss sich qualitativ das folgende Verhalten eines kompletten Prägezyklusses ergeben:



- Der Abbau der Magnetkraft erfolgt ziemlich langsam und verzögert den Abfallvorgang beträchtlich.
- Ursache ist der "kleine" Wert des Schutzwiderstandes von 100 Ohm. Vergrößert man diesen um den Faktor 10 auf **R_Schutz=1000 Ohm**, so wird die magnetische Feldenergie wesentlich schneller in Wärme umgewandelt:



- Jetzt erkennt man auch deutlicher die Spannungsspitze beim Abschalten und der Einfluss der Bewegungsinduktion auf den Stromverlauf beim nun schnelleren Abfallvorgang wird geringer.
- Bei näherem Hinschauen wird man bemerken, dass der Prägezyklus von den in der ersten Etappe erreichten Optimalwerten trotzdem noch ziemlich weit entfernt ist:
  - Dass es überhaupt mit den Standardwerten der Spule zu einem sinnvollen Bewegungsvorgang kommt, ist Zufall!
  - Mit etwas Mühe könnte man die Parameter des Antriebs so ändern, dass wir uns besseren Werten nähern.
  - Das geht jedoch mit der Optimierung, die wir im Folgenden durchführen werden, viel einfacher!

←→

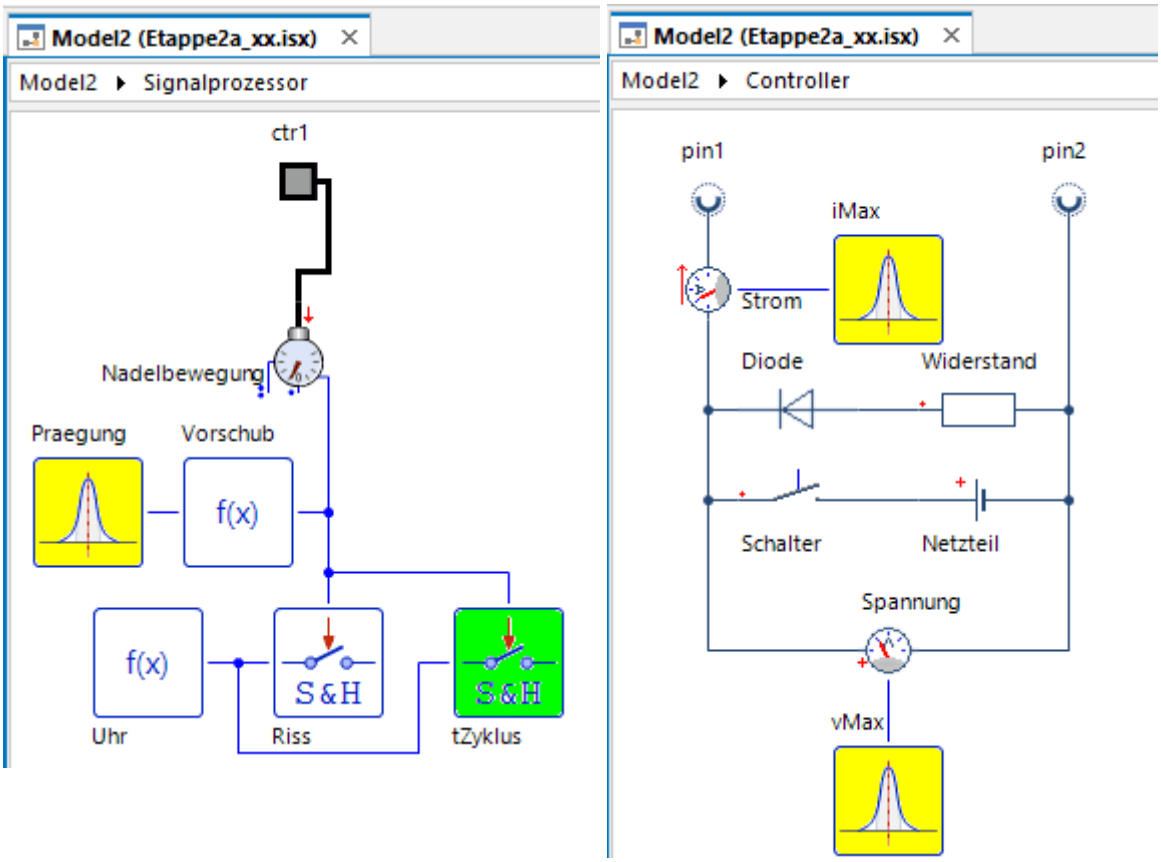
Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Elektronik&oldid=27575“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Bewertung

Aus OptiYummy

↑

←→



Bewertungsgrößen für die Optimierung

Damit ein Optimierungstool in Hinblick auf unsere Wünsche eine optimale Lösung findet, müssen entsprechende Bewertungsgrößen im Modell bereitgestellt werden (grün markiert):

- **Zeit für einen Prägezyklus "tZyklus":** für diesen einen "Wunsch" wurde im Signalprozessor bereits die Ermittlung der Zykluszeit implementiert.

Ob das Optimierungstool wirklich die gewünschte optimale Lösung findet, hängt jedoch wesentlich davon ab, ob man alle Forderungen in Form von Restriktionen berücksichtigt:

- Optimierungsverfahren nutzen "gnadenlos" jede "Lücke" aus, um unsere Wünsche zu erfüllen, z.B.:
  - Verletzung der Physik (negative Massen werden beim Bremsen schneller!)
  - Ignorierung technischer Möglichkeiten (1000 A bewirken viel Kraft!)
- Meist bemerkt man erst an sinnlosen Ergebnissen, dass man wieder eine Restriktion nicht beschrieben hat:
  - Die Lösungssuche mittels Optimierung kann zum iterativen Prozess werden.
  - Schrittweise muss man die noch fehlenden Nebenbedingungen (Restriktionen) ergänzen.

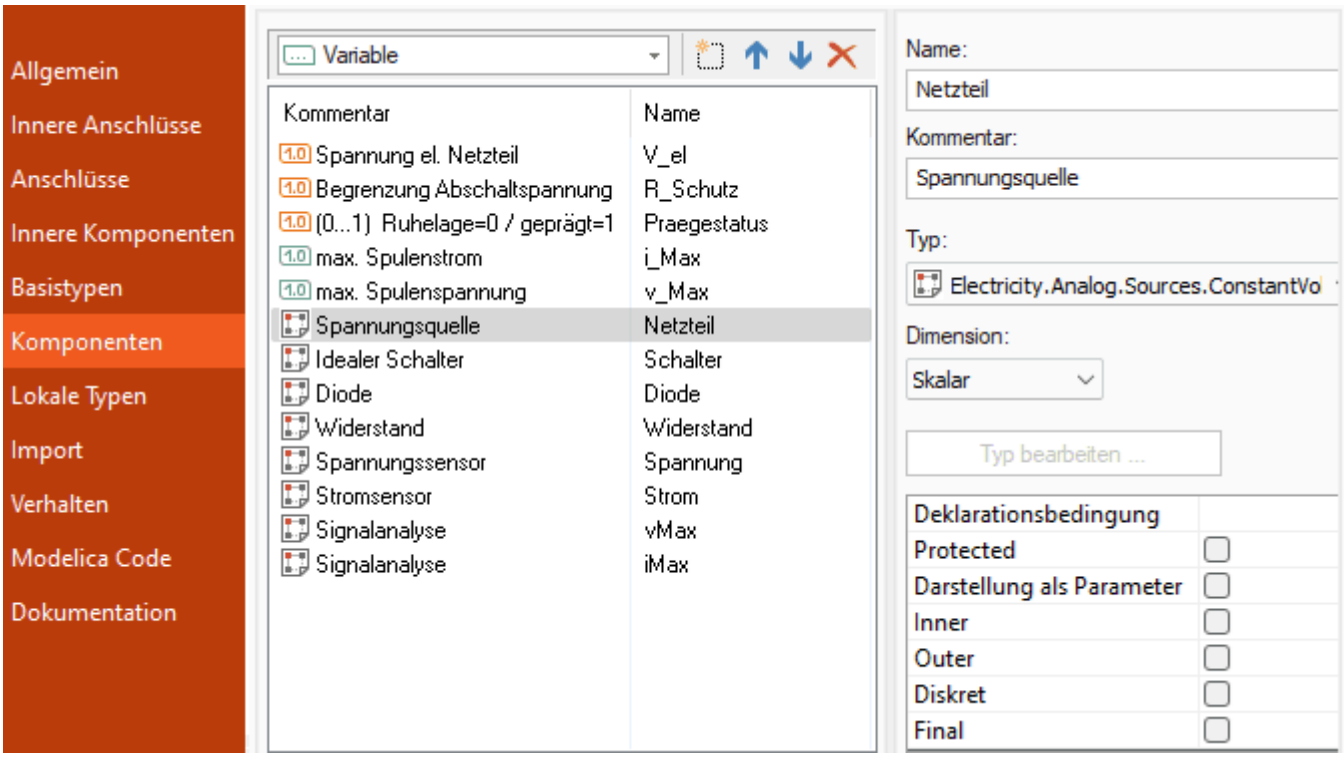
Um die Einhaltung der Forderungen in Form von Restriktionsgrößen definieren zu können, müssen noch entsprechende Bewertungsgrößen durch das Modell bereitgestellt werden. Die zugehörigen

Signalverarbeitungselemente wurden in der Compound-Struktur gelb hervorgehoben:

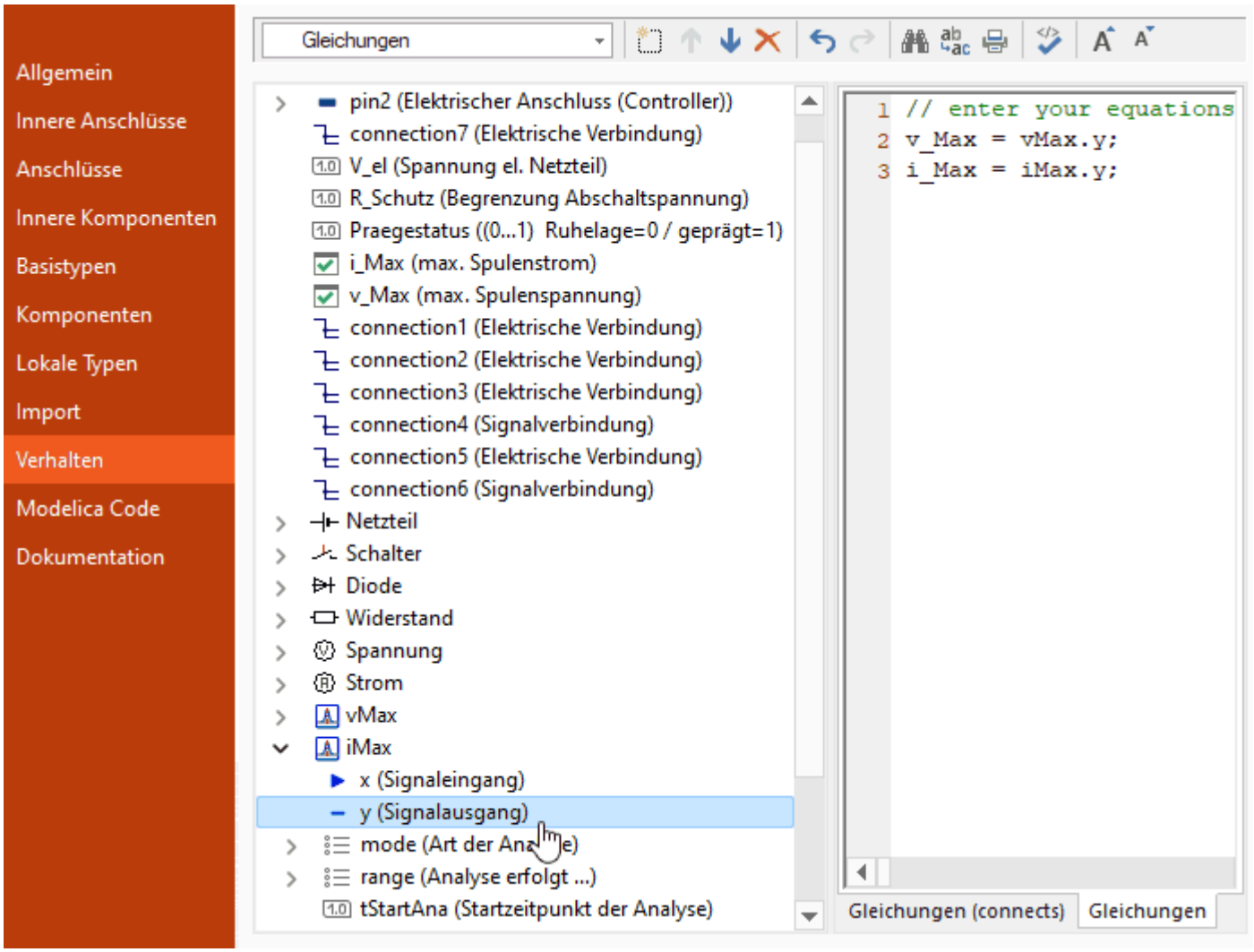
- **"Praegung" des Papiers:** wird in Form des Maximalwertes des normierten Nadel-Vorschubs (0...1) im Signalprozessor erfasst.
- **Maximum des Betriebsstroms "iMax":**
  - Voraussetzung ist ein Stromsensor in der Zuleitung der Betriebsspannung.
  - Der "gemessene" Stromwert wird einem Signalanalyse-Element zugeführt, welches den Extremwert ermittelt.
- **Abschaltspannung der Spule "vMax":**
  - Benötigt wird ein Spannungssensor zwischen den Spulenanschlüssen.
  - Man beachte bei der Extremwert-Ermittlung das Vorzeichen der Abschaltspannung!

Obwohl das von uns verwendete Optimierungstool prinzipiell auch auf die ermittelten Maximalwerte direkt innerhalb des Compounds zugreifen kann, sollten diese Bewertungsgrößen als Ergebnis-Variablen des Compounds definiert werden:

- Mit unserem Wissen zu den analogen Definitionen im Signalprozessor-Compound ist es kein Problem, diese beiden Variablen im Komponenten-Abschnitt zu ergänzen.
- Dort ordnen wir sie direkt über der automatisch generierten Liste der Compound-internen Struktur-Elemente an:



- Zusätzlich zu den automatisch generierten Gleichungen für die internen "Connects" defieren wir einen neuen Gleichungsabschnitt. Darin weisen wir den Variablen die Ergebniswerte der internen Signalglieder zu:



Nach dem Fertigstellen des Controller-Compounds speichern wir die Modelldatei und testen, ob die Ergebnisse des Elektronik-Teilmodells unseren Erwartungen entsprechen.

←→

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Bewertung&oldid=27587“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Simulationssteuerung

Aus OptiYummy

↑

← →

Optimale Simulationssteuerung

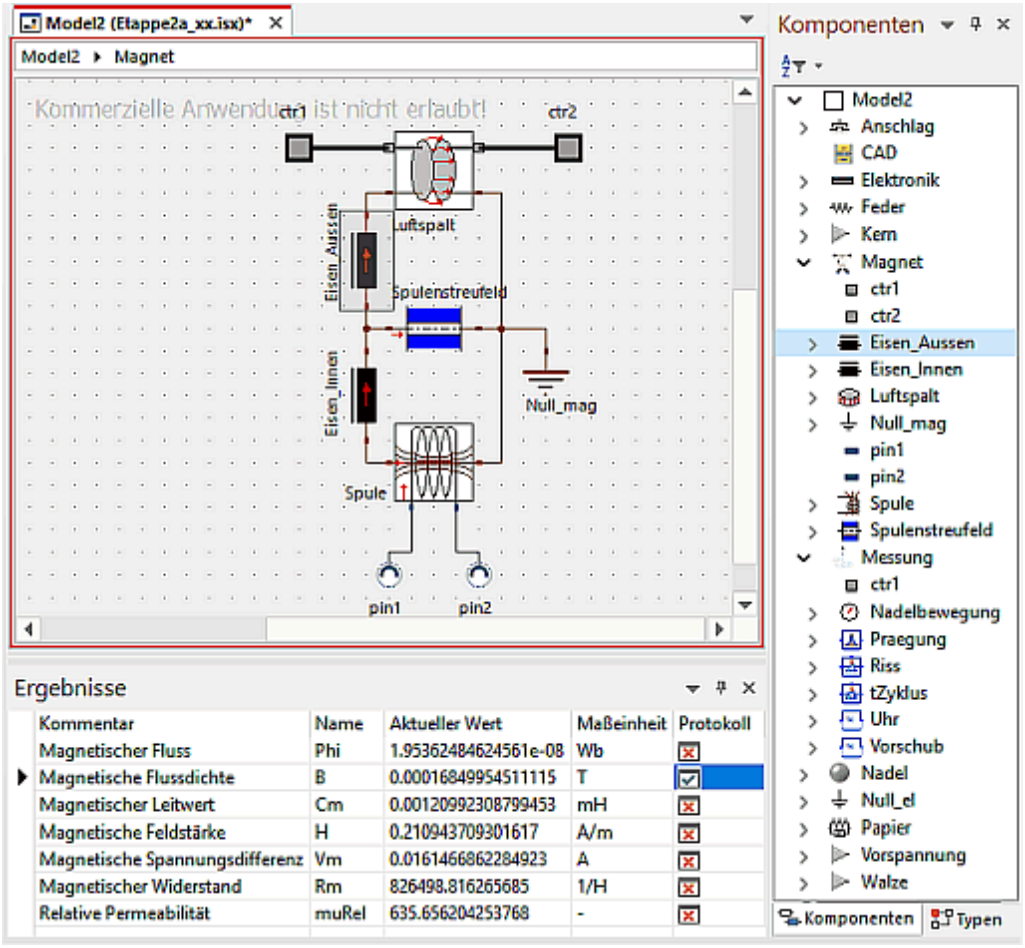
Während eines Optimierungsexperiments werden tausende Modell-Läufe mit unterschiedlichsten Entwurfsparametern durchgeführt. Das benötigt Zeit und Speicherplatz. Im folgenden werden einige Empfehlungen gegeben, was man in Hinblick auf Rechengeschwindigkeit und Speichereffizienz beachten sollte:

1. Ergebnisfenster

- Nicht mehr benötigte Ergebnisfenster (z.B. noch aus der 1. Etappe) sollte man schließen.
- Während eines Optimierungsexperiments sollte man nur Signal-Verläufe darstellen, welche prägnante Aussagen zur Güte des Modellverhaltens liefern.
- Da die Signal-Darstellung während der Optimierung im Sekundentakt wechselt, muss man die gewünschte Information mit einem Blick erfassen können.
- Wichtig in Hinblick auf eine hohe Rechengeschwindigkeit ist das Abschalten der automatischen Anpassung der Achsen in den Ergebnisfenstern! Eine feste Achsen-Skalierung verbessert auch die Erkennbarkeit!

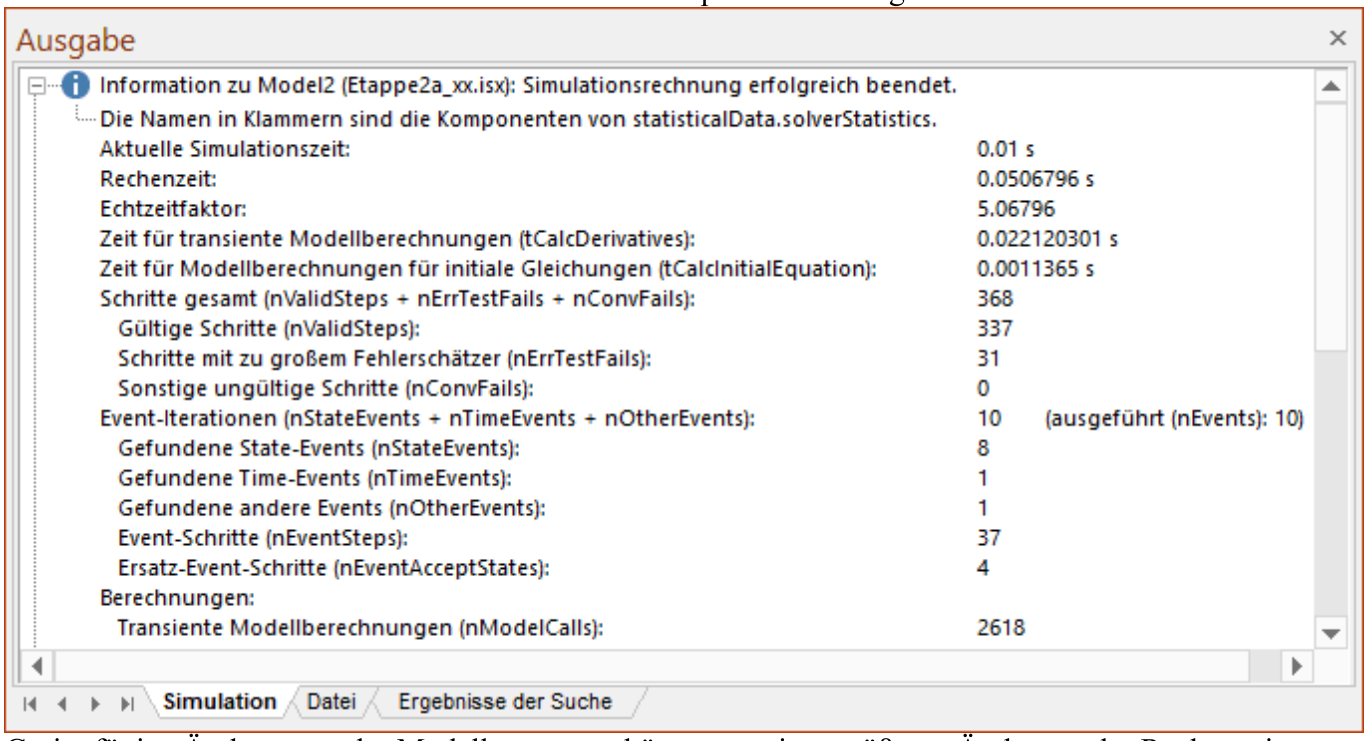
2. Signalprotokoll

- Während eines Modell-Laufes werden alle Variablen (=Ergebnisgrößen) als Signalverläufe im Zeitbereich protokolliert, welche dafür freigeschaltet sind.
- Das Signal-Protokoll einer Variablen wird auch angelegt, wenn momentan keine Ausgabe in einem Ergebnisfenster erfolgt.
- Protokollierte Signalverläufe werden Bestandteil des Modells und können die Modell-Datei enorm vergrößern!
- Spätestens vor Optimierungsexperimenten sollte man das Protokoll für alle Variablen ausschalten, welche man aktuell nicht in einem Ergebnisfenster darstellt (z.B. die Papierkräfte und Flussdichten).
- Am übersichtlichsten funktioniert das über den Modell-Explorer. Dort kann man von oben nach unten systematisch alle Modell-Elemente anwählen und sich dabei auch in die Compound-Strukturen hinein begeben:



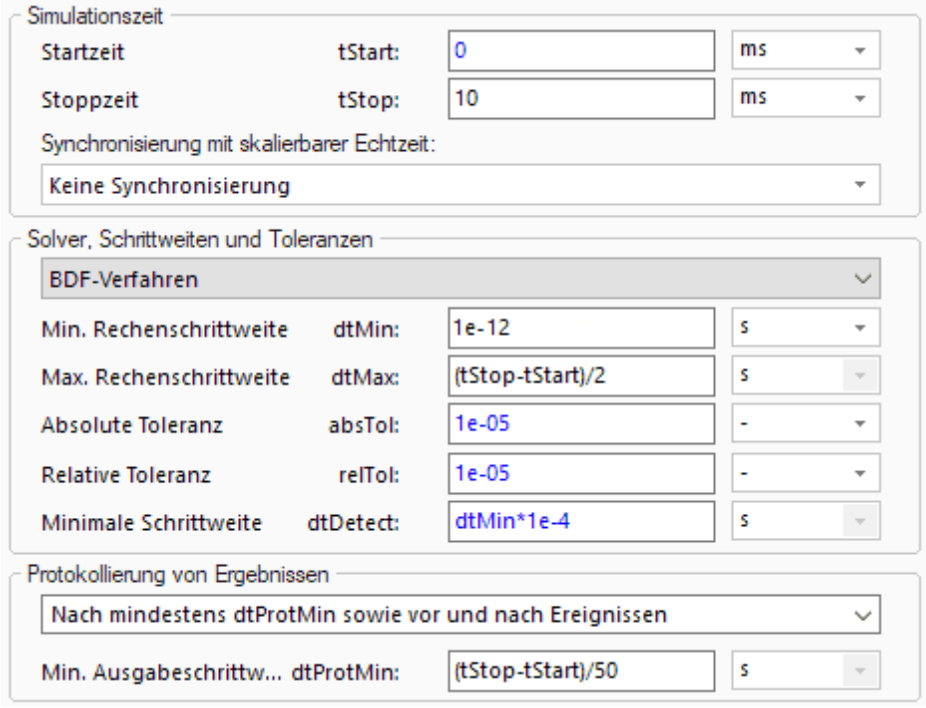
3. Simulationssteuerung

- Mit einem 3GHz-Prozessor sollten sich mit den Standard-Einstellungen der Simulationssteuerung Rechenzeiten von ca. 0,05 s pro Modell-Lauf erreichen lassen.
- Den "exakten" Wert kann man unterhalb des Modellexplorers im Ausgabe-Fenster ablesen:



- Geringfügige Änderungen der Modellparameter können zu einer größeren Änderung der Rechenzeit führen, weil die zeitkritische Behandlung der Unstetigkeiten (z.B. Abschalten der Magnetspule) unter veränderten Bedingungen stattfindet.
- In Hinblick auf die Optimierung darf man den Simulationszeitbereich nicht zu kurz wählen, damit ein Prägezyklus auch bei unterschiedlichsten Parameter-Belegungen abgeschlossen werden kann. Im Beispiel wurde **tStop=10 ms** gesetzt.

- Im Ergebnisfenster sollte man jedoch einen kürzeren Zeitbereich darstellen, damit man etwas von dem Prägezyklus erkennt.
- Die maximale Rechenschrittweite kann man z.B. auf **dtMax=(tStop-tStart)/2** vergrößern. Damit wird der Bereich nach vollendetem Prägezyklus mit wenigen Schritten durchfahren.
- Die minimale Rechenschrittweite sollte man z.B. auf **dtMin=1e-12 s** setzen, damit an Unstetigkeitsstellen immer ein hinreichende Verkleinerung der Rechenschrittweite ermöglicht wird. Dieser Wert darf nicht zu klein gewählt werden, um ein "Verklemmen" der Simulation zu vermeiden!
- Die minimale Ausgabeschrittweite sollte man auf **dtProtMin=(tStop-tStart)/50** stellen. Zusammen mit der Protokollierung aller Unstetigkeiten ergibt dies hinreichend stetige Signalverläufe.
- Die übrigen Parameter der Simulationssteuerung sollten vorläufig die Standardwerte behalten:



←→

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Simulationssteuerung&oldid=27596“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Versuchsstand

Aus OptiYummy

↑

← →

Versuchsstand-Konfiguration

Nach den Erfahrungen aus der vorherigen Etappe, sollte es keine Probleme bereiten, nach dem Start von *OptiY* einen numerischen Versuchsstand als Projekt zu konfigurieren:

1. Neues Projekt öffnen
2. Simulationsmodell einfügen
3. Entwurfsparameter (Nennwerte)
4. Forderungen (Restriktionen)
5. Wünsche (Gütekriterien)
6. Optimierungsverfahren
7. Visualisierung vorbereiten

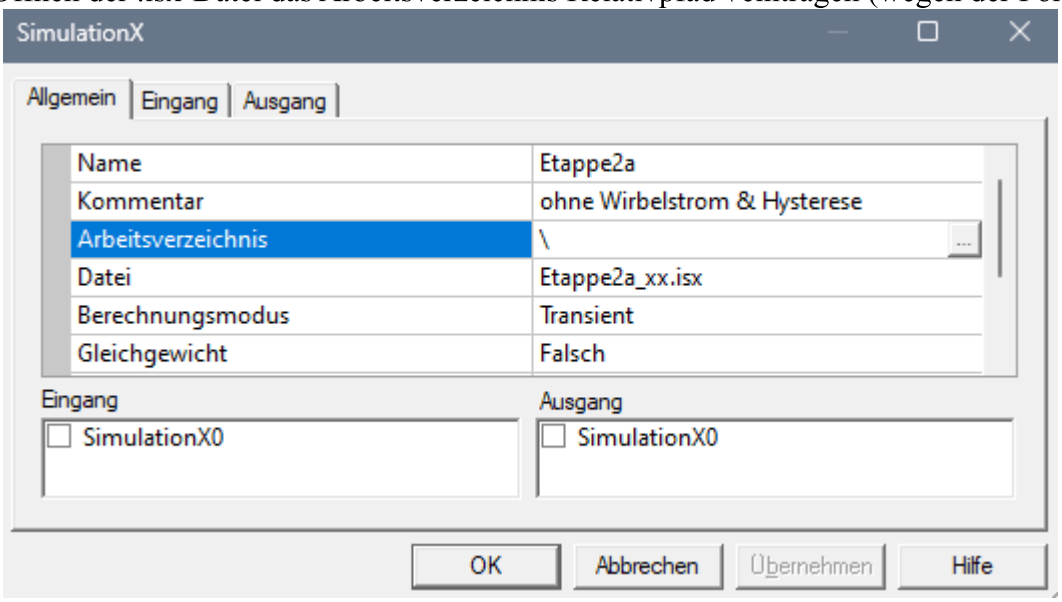
Dazu im Folgenden einige Hinweise:

1. Neues Projekt öffnen

- Nach dem Start von *OptiY* ist bereits eine neue Projekt-Datei mit einem (leeren) Experiment geöffnet.
- Diese sollte man sofort Speichern und dabei den gleichen Namen verwenden, wie für das Simulationsmodell der aktuellen Etappe (**Etappe2a_xx.opy**).

2. Simulationsmodell einfügen

- Die aktuellen Parameter des Simulationsmodells werden als Startwerte für die noch zu wählenden Entwurfsgrößen genutzt.
- Das gespeicherte Simulationsmodell sollte deshalb vor dem Einfügen in den Experiment-Workflow unbedingt mit einer sinnvollen Ausgangslösung konfiguriert sein (vollständiger Prägezyklus!).
- Vor der Auswahl der Modell-Datei im OptiY-Workflow sollte diese Modell-Datei im *SimulationX* geöffnet sein!
- Nach dem Öffnen der .isx-Datei das Arbeitsverzeichnis Relativpfad \ eintragen (wegen der Portabilität):



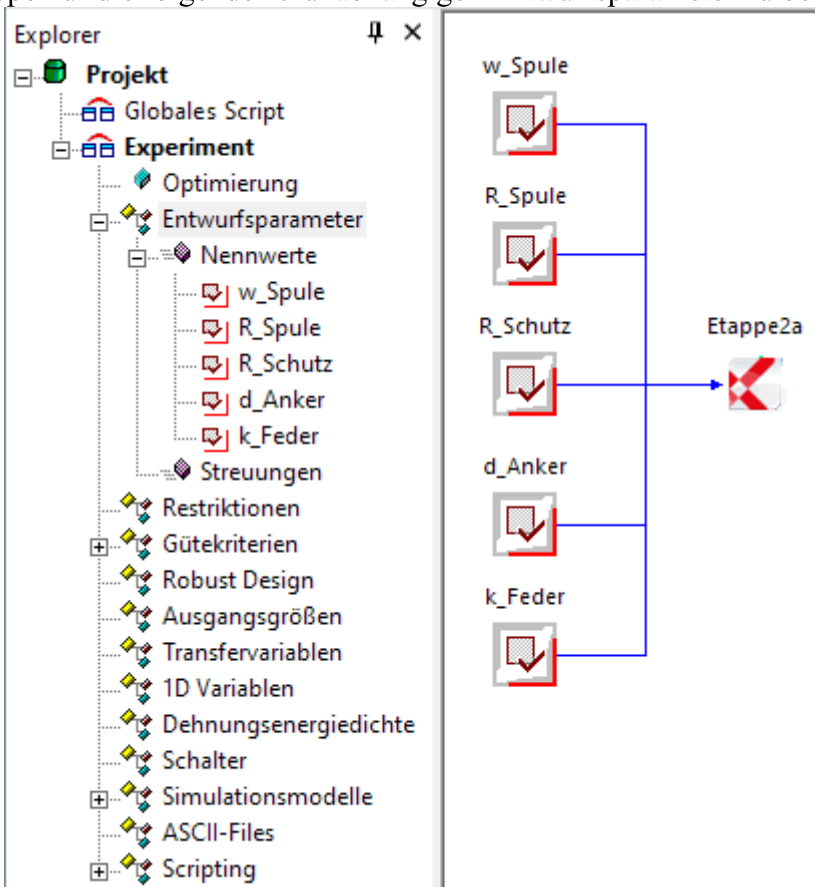
3. Entwurfsparameter (Nennwerte)

Gesucht werden innerhalb dieser Etappe die optimalen Nennwerte für folgende Entwurfsparameter:

- Windungszahl **w_Spule**
- Spulenwiderstand **R_Spule**
- Schutzwiderstand **R_Schutz**
- Ankerdurchmesser **d_Anker**
- Federsteifigkeit **k_Feder**
- Vorspannweg der Feder **s0**

Der Zeitbedarf für die Lösungssuche steigt zumindest proportional mit der Anzahl der berücksichtigten Entwurfsparameter:

- Entwurfsparameter, welche man anderweitig einfach bestimmen kann, sollte man nicht durch numerische Optimierung suchen lassen.
- Im Beispiel ist das offensichtlich der Vorspannweg **s0**, der über Abhängigkeiten aus der aktuellen Nadel-Masse und der Federkonstante berechnet wird (Siehe Etappe1).
- Es sind in dieser Etappe nur die folgenden 5 unabhängigen Entwurfsparameter zu berücksichtigen:



- *Startwerte*:

  In den Eigenschaften der einzelnen Entwurfsparameter muss der aktuelle Wert aus dem Simulationsmodell als Startwert eingetragen werden (da dieser in der aktuellen OptiY-Version nicht automatisch übernommen wird).

- *Grenzwerte*:

  Die standardmäßig eingetragenen Grenzen muss man noch im Sinne möglicher Lösungen anpassen.

1. Man sollte die Hinweise aus der 1. Etappe beachten.
2. Grenzwerte sollte man "hinreichend" weit entfernt von physikalisch sinnlosen Werten setzen:
   - z.B. sind negative Spulenwiderstände (meist) sinnlos.
   - Während der Optimierung können Lösungen außerhalb der vorgegebenen Grenzen entstehen, die infolge schlechter Bewertung jedoch wieder verworfen werden.

- Physikalisch sinnlose Parameterbelegungen führen im Modell oft zu numerischen Instabilitäten (Absturz) und können durch Wahl geeigneter Grenzwerte vermieden werden.

- *Typen*:

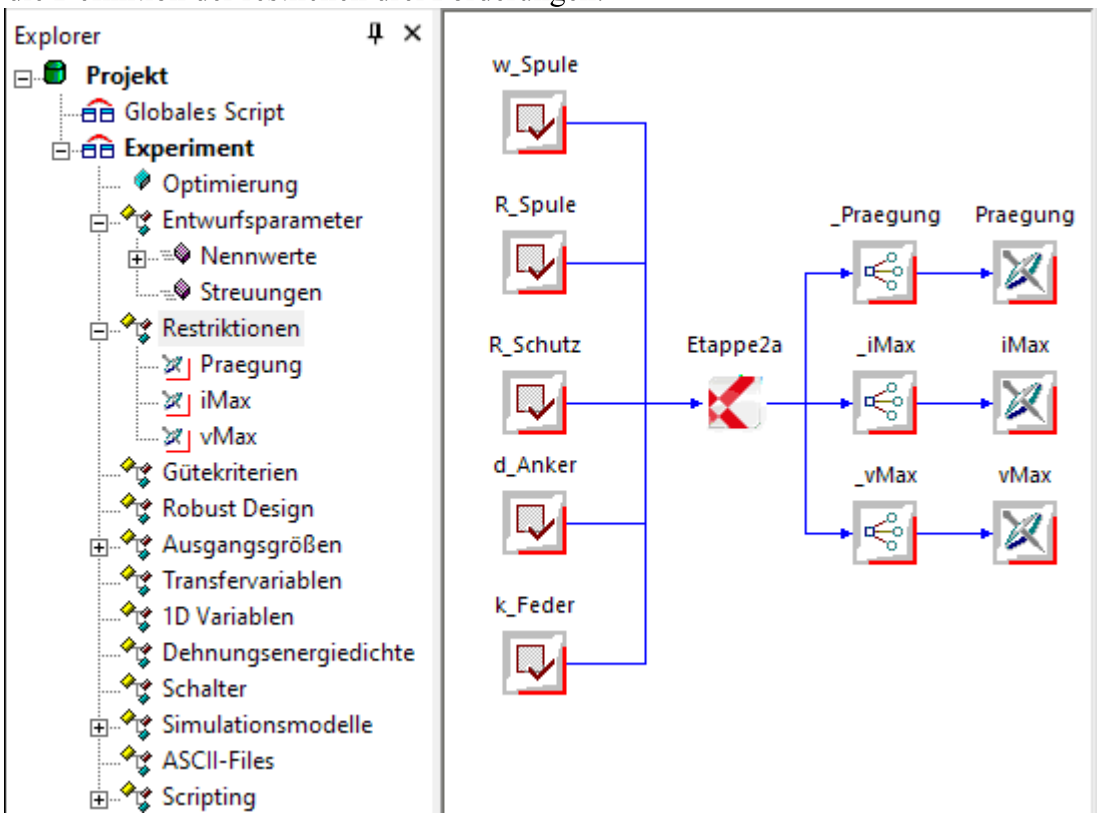
  Für unser *SimulationX*-Modell kann man ausschließlich Nennwerte vom Typ "Variable" oder "Konstante" verwenden. Dabei handelt es sich im Zahlenwerte im REAL-Format. "Variable" Entwurfsparameter sind freigegeben für die Veränderung durch das Optimierungsverfahren.
  Durch Angabe einer "Genauigkeit" beschreibt man die kleinste Abstufung zwischen zwei Werten:

Nennwert Daten	
Name	w_Spule
Einheit	-
Kommentar	Windungszahl
Werte	
Wert	500
Untergrenze	100
Obergrenze	2000
Genauigkeit	1
Typ	Variable

  - Ankerdurchmesser und Federkonstante sind weitestgehend frei fertigbar (Genauigkeit=0).
  - Durch die Wahl von geeigneter Spulengeometrie und Drahtdurchmesser lässt sich ein ermittelter Spulenwiderstand hinreichend genau realisieren (Genauigkeit=0).
  - Der Schutzwiderstand sollte einer Norm-Reihe entstammen. Da der Wert selbst wahrscheinlich ziemlich unkritisch ist, kann man den erhaltenen Optimalwert einfach auf den nächst möglichen abrunden (Genauigkeit=0).
  - Eine Besonderheit weist die Windungszahl auf:
    - Es gibt technisch nur ganze Windungszahlen.
    - Prinzipiell könnte man als Optimum auch eine gebrochene Windungszahl ermitteln und diesen Wert nachträglich runden.
    - Über "Genauigkeit=1" sollte man jedoch die Optimierung zwingen, nur ganze Werte für die Windungszahl zu verwenden.

4. Forderungen (Restriktionen)

- Die für die Bewertungsgrößen erforderlichen Ausgangsgrößen müssen "sorgfältig" mit dem SimulationX-Modell verbunden werden → nur die Variablen an den Compound-Schnittstellen verwenden!
- Die Forderung nach einer maximal zulässigen Zykluszeit von **3,6 ms** muss nicht als Restriktion formuliert werden, da wir die Zykluszeit noch als Gütekriterien definieren.
- So genügt die Definition der restlichen drei Forderungen:

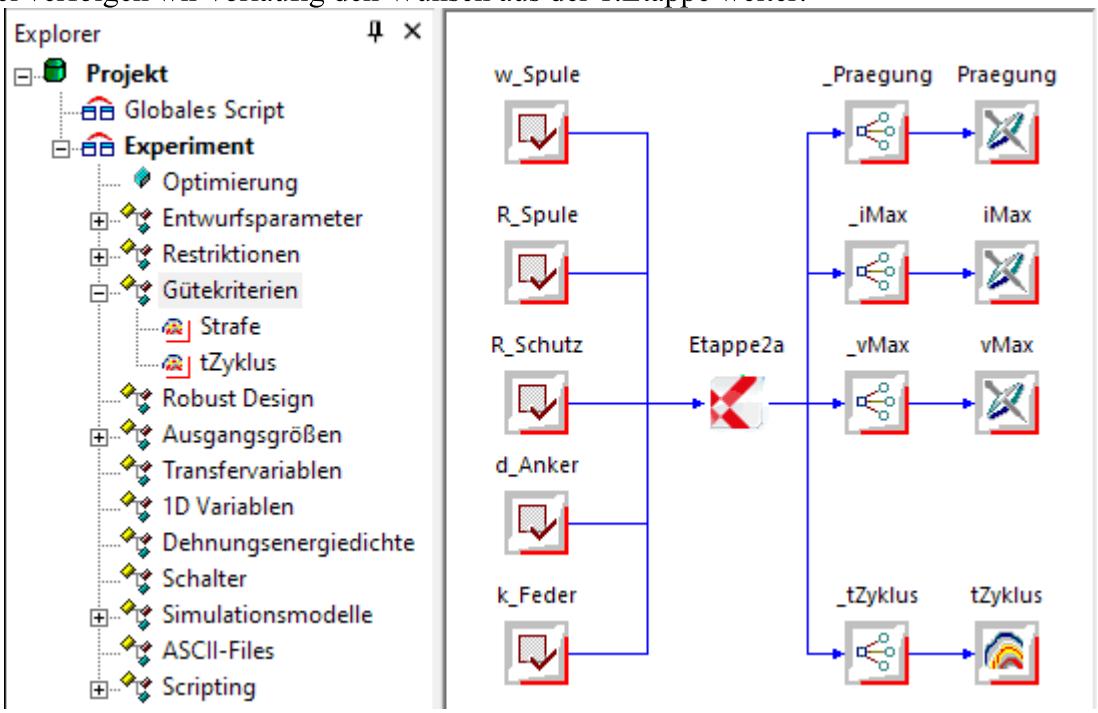


- In den Eigenschaften der Restriktionsgrößen definiert man den zulässigen Bereich über die Grenzwerte:
  - **Praegung=1.0 ... 1.1**
  - **iMax=0 A ... 1,5 A**
  - **vMax=-200 V ... 200 V**

- Alle Restriktionsgrößen sollten vorläufig mit dem gleichen Gewichtsfaktor=1 berücksichtigt werden.
- Restriktions- und Ausgangsgrößen sind im Experimentworkflow mit den gleichen Maßeinheiten zu verwenden.

5. Wünsche (Gütekriterien)

- Die Auflistung der Wünsche bereitet erfahrungsgemäß die geringsten Probleme.
- Im Beispiel verfolgen wir vorläufig den Wunsch aus der 1.Etappe weiter:



Wir wünschen uns einen möglichst kurzen Prägezyklus!

6. Optimierungsverfahren

- Wir wählen das Hooke-Jeeves-Verfahren mit manuell einzustellenden Startschrittweiten.
- Bei der Konfiguration der Startschrittweiten für die Entwurfsparameter nutzen wir die Erfahrungen aus der 1. Etappe.

Achtung: Speichern nicht vergessen!

←→

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Versuchsstand&oldid=27796“

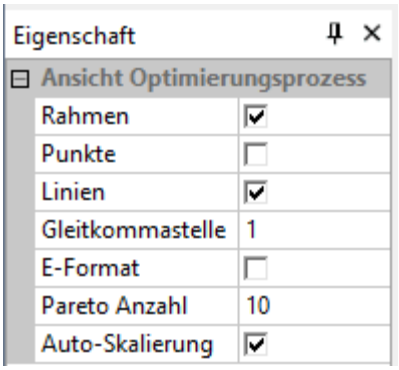
Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Nennwertoptimierung

Aus OptiYummy

↑

← →

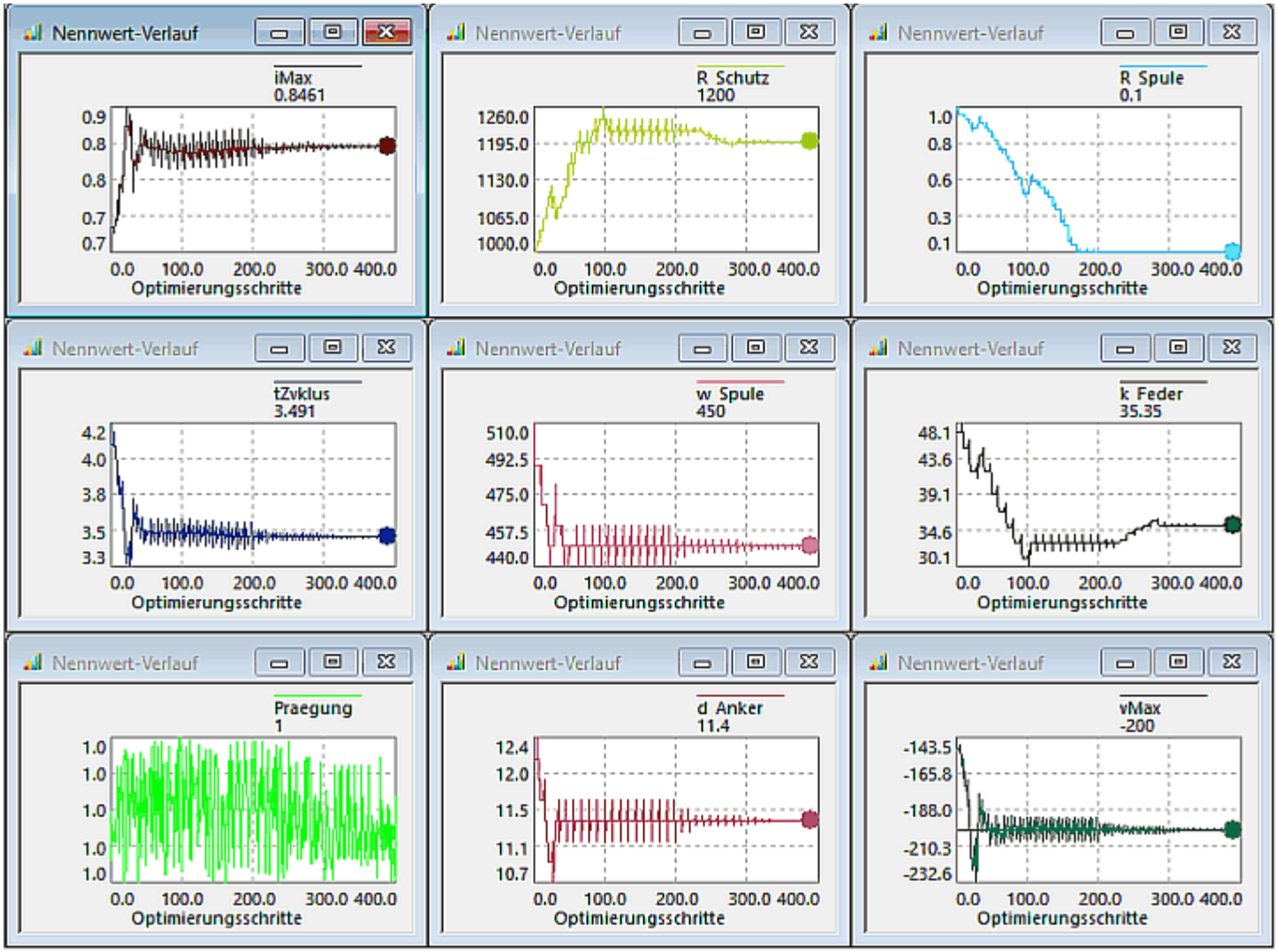
Nennwert-Optimierung



Hinweis:

- Für die "Nennwert-Verläufe" werden im *OptiY* Diagramme genutzt, deren Achsen-Beschriftung nicht unabhängig voneinander konfiguriert werden können.
- Standardmäßig werden 2 Ziffernstellen nach dem Komma angezeigt (Gleitkommastelle=2), was für die ganzzahligen Werte der Optimierungsschritte ungünstig ist.
- Deshalb wurden für die folgenden Darstellungen alle Nennwert-Verläufe mit **Gleitkommastelle=1** konfiguriert, was aber auch für die Y-Achse wirkt.

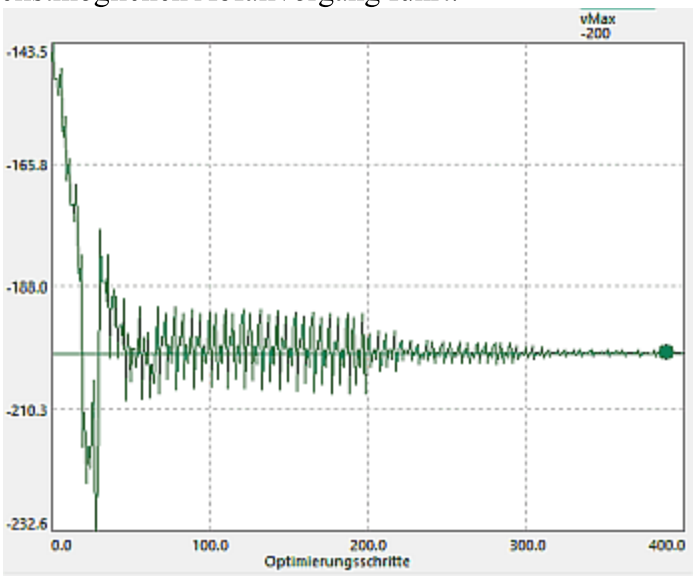
Nach dem Start des Experiments entwickeln sich die Nennwerte der Entwurfsparameter "optimistisch":



- Mit größter Wahrscheinlichkeit endet die Verringerung der Zykluszeit bald bei einem relativ großen Wert. Die im obigen Bild erreichte Zykluszeit von ca. **3,5 ms** entspricht noch nicht vollständig unseren Zielvorstellungen. Auch wenn der Wert schon die Forderung an die Zykluszeit erfüllt, wurde der Maximalstrom von 1,5 A bei weitem nicht ausgeschöpft!
- Bevor wir dieses Problem lösen, einige Erläuterungen zu den Nennwert-Verläufen.

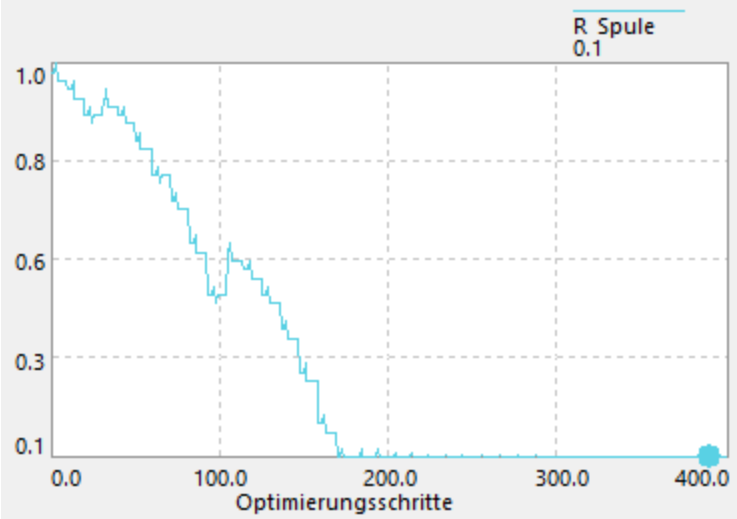
Restriktionsgrößen:

- Grenzwerte werden als waagerechte Linie eingeblendet, wenn sie sich im Darstellbereich der Y-Achse befinden.
- Man erkennt dies an der Linie für -200 V für die Abschaltspannung vMax.
- Während der Optimierung wird dieser Grenzwert -200 V angestrebt, da die max. zulässige Schaltspannung zum schnellstmöglichen Abfallvorgang führt:



Grenzen der Entwurfsgrößen:

- Bei der Konfiguration des Versuchsstandes hat man sich bereits Gedanken zu sinnvollen Grenzwerten der Entwurfsgrößen gemacht.
- Dabei hat man auch einen gewissen Sicherheitszuschlag in Hinblick auf den Optimierungsprozess berücksichtigt.
- Wenn es im Optimierungsprozess zur Konvergenz von Entwurfsgrößen an ihre Grenzwerte kommt, muss man überlegen, welche Maßnahmen man ergreift (z.B. Widerstand des Spulendrahtes):



1. *Grenzwert ändern:*
   - Wenn Werte außerhalb der bisherigen Grenzen auch technisch realisierbar sind.
   - Wenn man vermutet, dass die Verletzung der bisherigen Grenzwerte nur temporär während des Optimierungsprozesses auftritt.
   - Nach Änderung des Grenzwertes kann man eine angehaltene Optimierung fortsetzen.

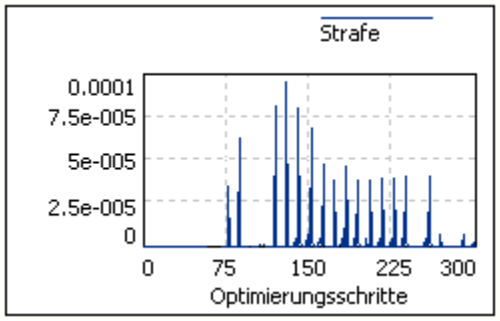
2. *Entwurfsgröße fixieren:*
    - Im Beispiel scheint ein Spulenwiderstand von 0 Ohm (und weniger) im Sinne des Optimums am besten zu sein. Das stößt auf Probleme bei der technischen Umsetzung!
    - Deshalb könnte man diese Entwurfsgröße auf einen technisch sinnvollen Wert setzen und konstant lassen (z.B. auf den Startwert=1 Ohm).

    Hinweis: Im Unterschied zur optimalen Anfangsposition der Nadelspitze (möglichst dicht an der Papieroberfläche), ist hier die Sachlage nicht so eindeutig! Im Zweifelsfall sollte man eine Entwurfsgröße nicht fixieren, sondern für die Lösungssuche noch variabel lassen. Wir warten erst noch die Ergebnisse der weiteren Optimierung ab!

Problem der Randoptima

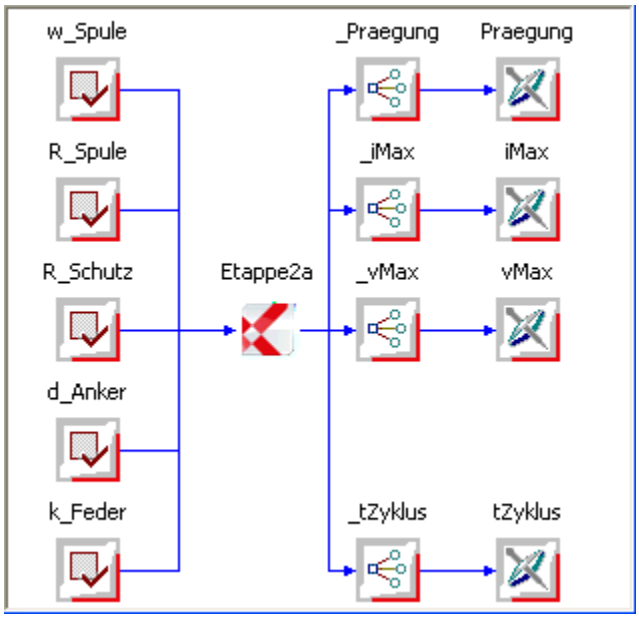
Bei technischen Problemstellungen wird die optimale Lösung meist an Restriktionsgrenzen liegen. Das wird mit großer Wahrscheinlichkeit zu Problemen mit der Konvergenz in Richtung einer optimalen Lösung führen:

- Bei der in OptiY verwendeten hierarchischen Optimierungsstrategie wird aus den aktuellen Restriktionsverletzungen der Wert einer Straf-Funktion berechnet.
- Um zuerst alle Forderungen zu erfüllen, hat die Minimierung des Straf-Funktionswertes die höchste Priorität.
- Erst wenn alle Forderungen erfüllt sind (Straf-Funktionswert=0), widmet sich die Optimierungsstrategie der Verfolgung unserer Wünsche (Minimierung der Gütekriterien).
- Eine bessere Erfüllung unserer Wünsche (tZyklus kleiner) führt zwangsläufig wieder zu einer Verletzung von Restriktionen.
- Damit schaltet der Optimierungsprozess an dieser Stelle ständig zwischen zwei Zielfunktionen hin und her (Forderungen und Wünsche).
- Die Konvergenz zur optimalen Lösung wird damit meist verhindert!
- Beispielhaft tritt dies hier für an der kritischen Grenze von "vMax" auf. Nachdem diese Grenze erreicht wurde, tritt das Pendeln zwischen den beiden Zielfunktionen auf:

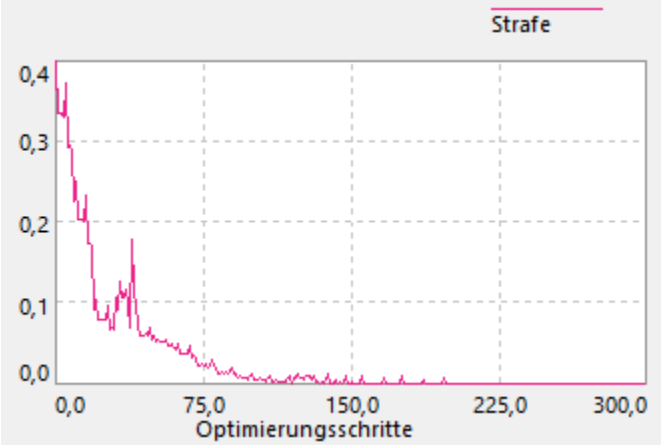


Dieses Problem lässt sich zum Glück einfach lösen, indem man alle Wünsche als Forderungen formuliert:

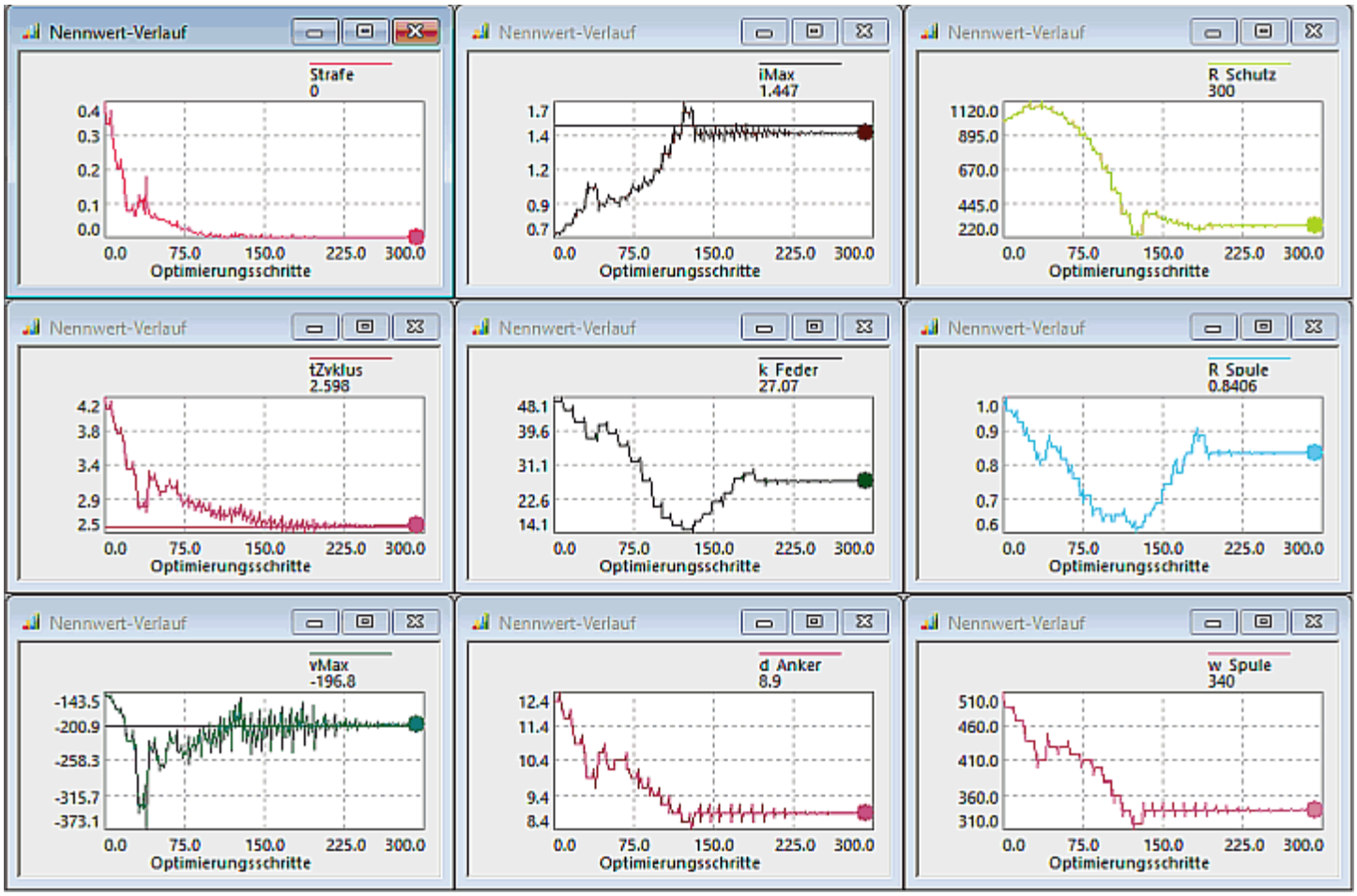
- Diese Änderung führen wir über den Workflow-Editor durch.
- Wir löschen das Gütekriterium "tZyklus".
- Ergänzen eine neue Restriktionsgröße, die wir ebenfalls "tZyklus" nennen.
- Wir verknüpfen diese Restriktionsgröße mit der zugehörigen Ausgangsgröße des Modells:



- Als oberen Grenzwert geben wir eine anzustrebende Zykluszeit ein (unter Beachtung der Maßeinheit!).
- ***Achtung*:**
  - Unvollendete Prägezyklen führen zu Zykluszeiten nahe Null. Das darf vom *OptiY* nicht als zulässige Lösung interpretiert werden!
  - Deshalb sollte man als unteren Grenzwert für tZyklus einen Wert unterhalb des physikalisch Möglichem wählen (z.B. 1 ms).
- Unser Gütekriterium "Zykluszeit" ist nun selbst Bestandteil der Straf-Funktion und es existieren keine separaten Gütekriterien.
- Damit entfällt das Umschalten zwischen den Zielfunktionen an den Restriktionsgrenzen und das Verfahren sollte numerisch stabil auf der Straffunktion zum Optimum konvergieren:



Hinweis zu R_Spule: Im konkreten Beispiel entfernte sich der Spulenwiderstand wieder von seiner unteren Grenze von **0,1 Ohm**. Der zum Schluss erreichte Wert ist technisch wahrscheinlich realisierbar. Allerdings kann abhängig von der gewählten Ausgangslösung auch eine Konvergenz des Spulenwiderstands gegen einen technisch unsinnigen Wert stattfinden. Dann muss man eine technisch sinnvolle Grenze vorgeben. Wahrscheinlich ist der Einfluss des Spulenwiderstandes in einem weiten Bereich praktisch kaum wahrnehmbar!



- Erfüllt die Optimierung alle Forderungen (Strafe=0), so können wir sie anhalten (falls wir nicht auf den automatischen Stopp warten möchten).
- Wir verschärfen unsere Forderung für die Zykluszeit in sinnvollem Maße. Und hoffen erneut, dass die Zielstellung erreicht wird.
- **Hinweis:** Eine Fortsetzung der Optimierung vom bisher erreichten Bestwert führt meist nicht zur gewünschten Verbesserung! Man sollte die Optimierung zurücksetzen und erneut von der originalen Ausgangslösung starten.
- Diese iterative Taktik führen wir solange fort, bis die Optimierung die gewünschte Zykluszeit nicht mehr erreicht.
- Den "exakt" möglichen Wert des Optimums kann man dann recht schnell eingrenzen.
- Das Nennwert-Optimum für die minimal mögliche Zykluszeit muss immer die Grenzwerte für die Abschaltspannung und den Spulenstrom ausschöpfen!
- Im gezeigten Beispiel werden diese beiden Grenzwerte noch nicht vollständig ausgeschöpft. Der Antrieb könnte also noch etwas schneller werden.

Achtung: Speichern nicht vergessen!

← →

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Nennwertoptimierung&oldid=27801“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Experimentauswertung

Aus OptiYummy

↑

← →

Experiment-Auswertung (Ergebnisse)

Mit dem erreichten Bestwert führen wir eine Simulation durch:

- Dabei muss kritisch überprüft werden, inwiefern das erreichte Optimum wirklich der Zielstellung entspricht.
- Wenn man keine Fehler im Modell oder in der Versuchsstand-Konfiguration hat, müsste ein korrektes Modellverhalten entstehen!
- Die Datei **Etappe2a_xx.isx** ist mit dem erreichten Bestwert zu speichern und ist dann Bestandteil der eingesandten Lösung.

Die Ergebnisse der optimalen Lösung sind unter Berücksichtigung der individuellen **Teilnehmernummer xx**= [01..99] mittels des Eisenteilungsfaktors **K_FeInnen=0.1xx** zu ermitteln!

Forderungen:

- Betriebsspannung **24 V**
- Max. zulässiger Spulenstrom **1,5 A**
- Max. zulässige Induktionsspannung an der Spule **200 V**

Beachtung der Annahme:

- Anfangsposition **Nadel.x0=0.2 mm**

Gesucht sind die optimalen Werte für:

- Windungszahl **w_Spule**,
- Spulenwiderstand **R_Spule**,
- Schutzbeschaltung-Widerstand **R_Schutz**,
- Ankerdurchmesser **d_Anker**,
- Rückholfeder-Federsteifigkeit **k_Feder**
- Vorspannweg der Rückholfeder **s0** (ergibt sich "automatisch" im *SimulationX*-Modell!)
- Erreichte Zykluszeit **tZyklus**

Hinweise für die Ergebnis-Aufbereitung:

1. Die Bestwerte sind mit Maßeinheiten als Text in die bereitgestellte Lösungstabelle einzutragen.
2. Das Simulationsmodell (Etappe2a_xx.isx) ist mit den gefundenen Optimalwerten zu konfigurieren. Die Zeitverläufe wesentlicher Modellgrößen sind im Modell in anschaulicher Form in Signalfenstern darzustellen.
3. Der *OptiY*-Versuchsstand (.opy-Datei) muss aussagekräftige Nennwert-Verläufe zum Optimierungsverlauf enthalten. Diese müssen ohne erneute Experiment-Durchführung betrachtbar sein.
4. Es ist zu überprüfen, dass die einzusendenden Dateien **Etappe2a_xx.isx** und **Etappe2a_xx.opy** portabel sind (lauffähig auf einem anderen PC in einem beliebigen Ordner).
5. **Achtung:** Beide Dateien sind in ein Archiv (z.B. **Etappe2a_xx.zip**) zu packen.

Damit haben wir den ersten Abschnitt (A) der Etappe2 beendet

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Wirbelstrom-Modell

Aus OptiYummy

↑

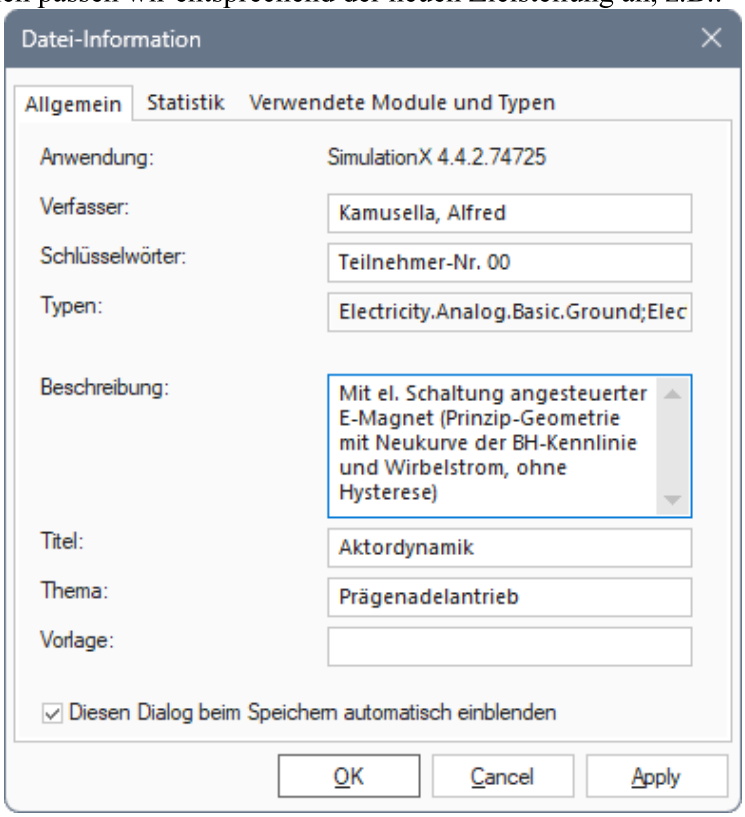
← →

Wirbelstrom-Modell

Vorbereitung des neuen Bearbeitungsabschnittes (B)

Die geöffnete Modell-Datei **Etappe2a_xx.isx** sollte mit der ermittelten Bestwerten konfiguriert und gespeichert sein:

- In der **Etappe2a_xx** berücksichtigten wir nur die nichtlineare Funktion **μ(B)** für die Neukurve der BH-Kennlinie.
- Bevor wir mit dem Ergänzen des Wirbelstrom-Effektes fortfahren, erzeugen wir dafür eine weitere Modelldatei.
- Dazu speichern wir die geöffnete Modell-Datei **Etappe2a_xx.isx** unter dem Dateinamen **Etappe2b_xx.isx**:
  - ***Datei > Speichern unter*** im bisher für Etappe2 genutzten Ordner.
  - Die Datei-Informationen passen wir entsprechend der neuen Zielstellung an, z.B.:



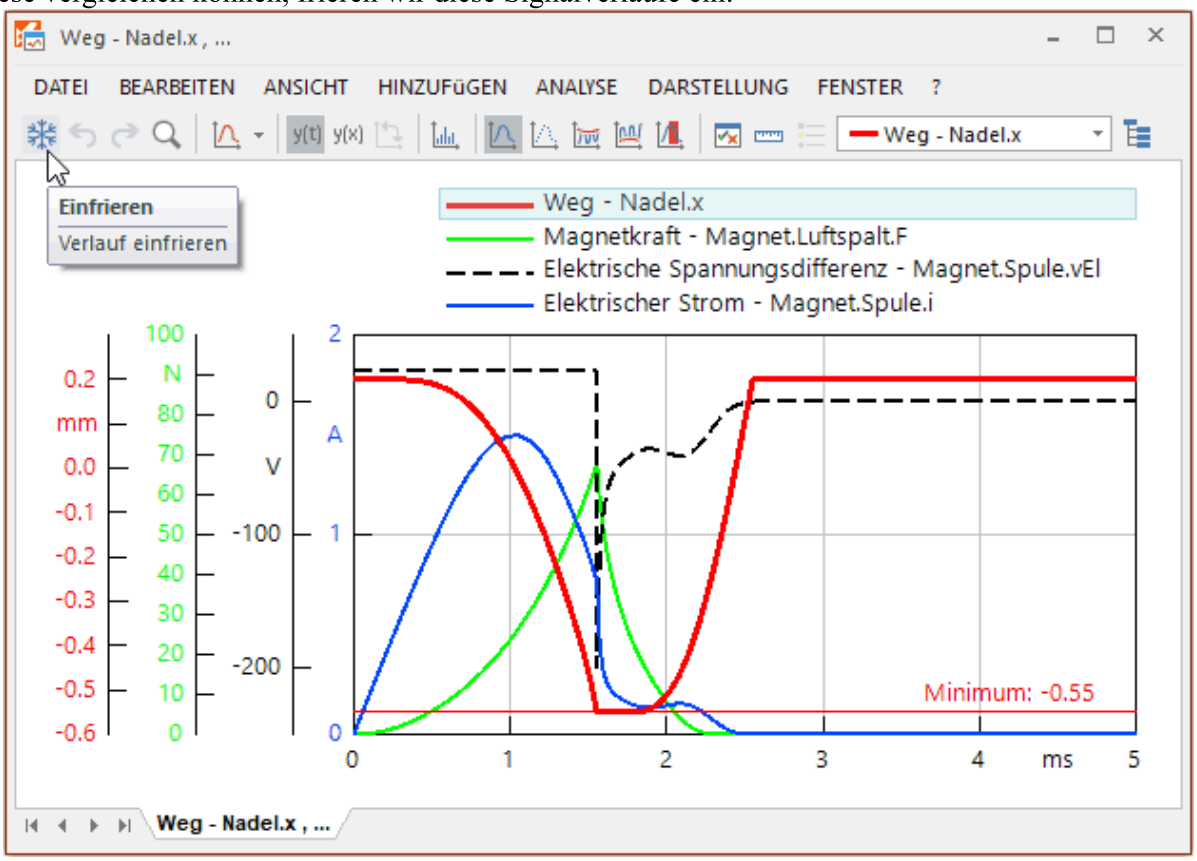
  - **Wichtig:** Der Eintrag zur individuellen **Teilnehmer-Nr.** xx im Feld "Schlüsselwörter" darf nicht verändert werden!

Nach dem Speichern steht das Modell unter dem neuen Namen **Etappe2b_xx** zur weiteren Bearbeitung im *SimulationX* bereit.

Einfrieren der Signalverläufe:

- Die aktuellen Signalverläufe im Ergebnisfenster widerspiegeln das bestmögliche Modellverhalten bei Berücksichtigung der μ(B)-Funktion für das Eisenmaterial.
- Da die Verläufe etwas eckig sind, verringern wir die min. Ausgabeschrittweite auf **dtProtMin=(tStop-tStart)/1000**, um verrundete Details hinreichend genau darzustellen.

- Zur Aktualisierung der Signalverläufe müssen wir die Simulation zurücksetzen und erneut starten.
- Damit wir das Verhalten mit den Bestwerten bei Berücksichtigung von Wirbelstrom und später auch noch der Hysterese vergleichen können, frieren wir diese Signalverläufe ein:



Vorbetrachtung

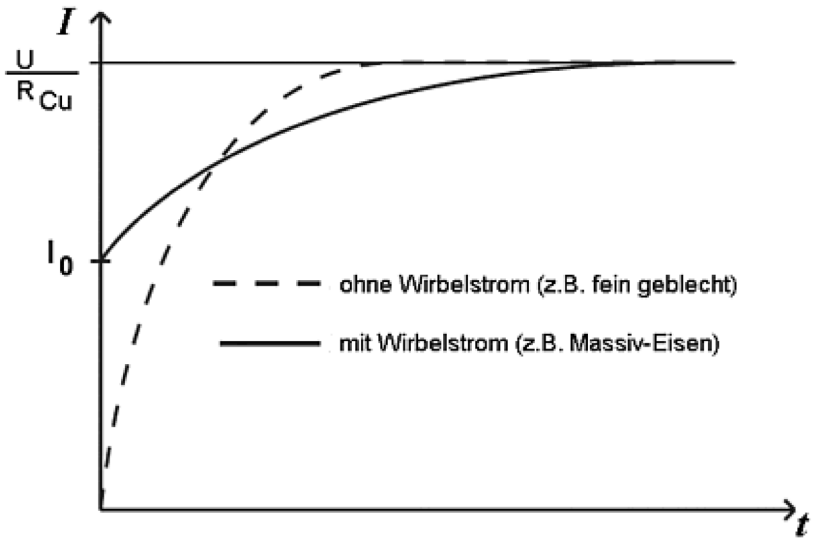
Wirbelströme entstehen durch Induktionsspannungen in elektrisch leitfähigen Materialien bei zeitlicher Änderung des sie durchdringenden magnetischen Flusses. Aus den Wirbelströmen resultiert entsprechend der *Lenzschen Regel* ein magnetisches Gegenfeld, welches das erzeugende Feld abschwächt:

- Infolge dieser Gegenwirkung wird die Feldänderung im Magnetkreis verzögert. Damit bewirken die Wirbelströme eine Ein- und Ausschaltverzögerung bei elektro-magnetischen Aktoren.
- Insbesondere bei schnellen Feldänderungen kommt es zu einer Feldverdrängung im Eisen. Dadurch verringert sich die effektiv durchströmte Fläche, was den magnetischen Widerstand der Eisen-Elemente in Abhängigkeit von der Feldänderungsgeschwindigkeit erhöht.
- Die Wirbelströme bewirken über die ohmschen Verluste entlang ihrer Bahn eine Erwärmung des Eisenmaterials. Insbesondere beim Einschaltvorgang bilden sie eine wesentliche Komponente der *Eisenverluste*.

Mit sehr großem Berechnungsaufwand kann man mittels Finite-Element-Simulationen die Wirkung der Wirbelströme innerhalb eines Magnetkreises detailliert untersuchen. Das ist innerhalb der System-Simulation mit Netzwerk-Modellen nur sehr eingeschränkt möglich!

Wir beschränken uns deshalb im Folgenden auf eine qualitative Nachbildung der Verzögerung der Feldänderung im Magnetkreis und die Auswirkung der Wirbelströme auf den Spulenstrom:

- Eine Messung des zeitlichen Verlaufs des Einschaltstroms an einem unbeweglichem Elektromagneten ergibt ohne Berücksichtigung der aussteuerabhängigen Permeabilität qualitativ folgende Stromverläufe:

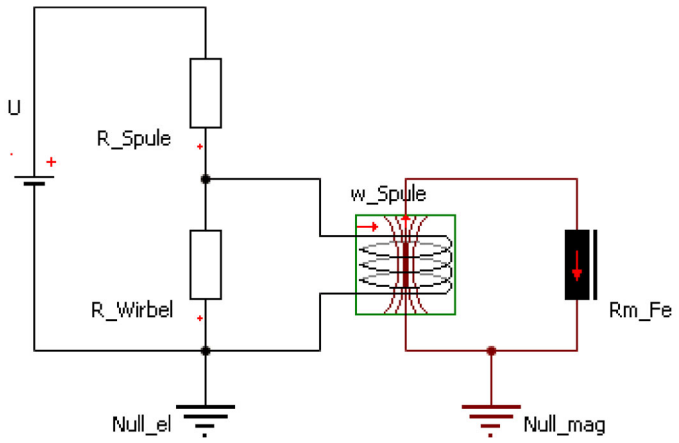


- Der Enstrom $\mathbf{I_{end}}$ wird bestimmt durch die verwendete Betriebsspannung **U** und dem ohmschen Widerstand $\mathbf{R_{Cu}}$ des Spulendrahtes.
- Der Stromsprung $\mathbf{I_0}$ resultiert aus dem praktisch sofort fließenden Wirbelstrom mit seinen ohmschen Verlusten in den Eisen-Elementen. Diese Verlustenergie $\mathbf{EW=U \cdot I_0}$ wird von der Spannungsquelle sofort bereitgestellt.
- Der Wert von $\mathbf{I_0}$ liegt bei realen Magneten bezogen auf $\mathbf{I_{end}}$ bei maximal 5 bis 10%, wenn der Magnetkreis massive Eisenabschnitte enthält. Verwendet man geblechte Eisenkreise, so liegt dieser Sprung unter 1% und ist im Mess-Signal häufig kaum erkennbar.

Wir werden unser Modell nun so umgestalten, dass wir den Wirbelstrom zumindest in einer ersten Näherung berücksichtigen.

Globaler Wirbelstrom-Ersatzwiderstand

Die einfachste Methode (welche wir **nicht anwenden!**), ist die Berücksichtigung des Wirbelstroms durch einen ohmschen Widerstand auf der elektrischen Seite des elektro-magnetischen Wandlers (Spule):



- Dieser ohmsche Widerstand **R_Wirbel** muss direkt parallel zu den widerstandslosen Windungen der Spule angeordnet werden. Dazu müsste man im *SimulationX*-Spulenelement **Rel=0** setzen!
- Der ohmsche Widerstand **R_Spule** des Windungsdrahtes liegt dann als separates Element in Reihe zur Spannungsquelle.
- Besitzt man infolge von Messungen (oder aus Erfahrung) den Wert $\mathbf{I_0}$ für den Stromsprung und kennt den Endwert $\mathbf{I_{end}}$, so kann man daraus **R_Wirbel** berechnen:

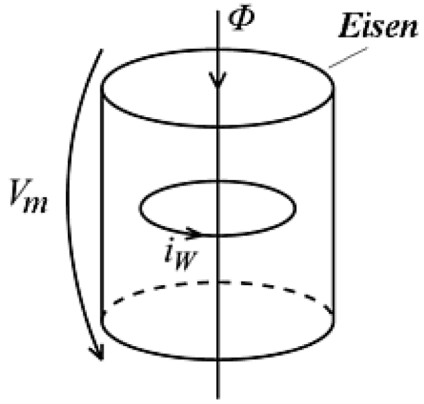
$$\mathbf{R_Wirbel = R_Spule \cdot (I_{end}/I_0 - 1)}$$

- Beim Einschalten des Magneten kommt es mit diesem Modell zum Stromsprung I_0 und zu einer geringfügigen Verzögerung des Anzugsvorgangs, da an den Windungen der Spule weniger von der Betriebsspannung ankommt.
- Beim Abschalten ergibt sich die größte Auswirkung, indem der Abfallvorgang verzögert stattfindet. Der Wirbelstromwiderstand wirkt wie ein relativ kleiner Schutzwiderstand zur Begrenzung der Abschaltspannung. Dadurch benötigt der Abbau des Stromes eine längere Zeit und die Haltekraft bleibt länger erhalten!

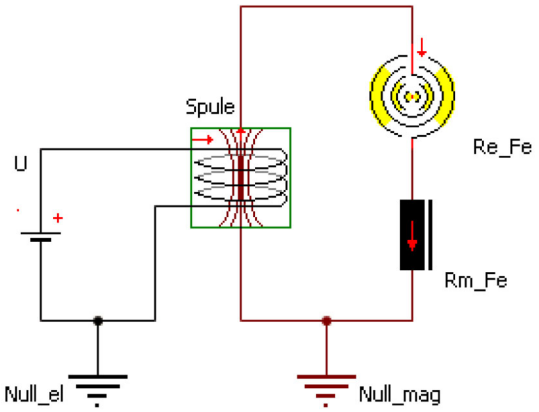
Die Wirkung dieses globalen elektrischen Ersatzwiderstandes kann man auch auf die magnetische Seite des elektromagnetischen Wandlers transformieren:

Rel_Fe = R_Wirbel/w_Spule²

- Dieses Wirbelstrom-Element in der magnetischen Domäne entspricht einer Kurzschlusswindung um das zugehörige Eisen-Element **Rm_Fe**. Infolge der Flussänderungen im Eisen wird eine Spannung in dieser kurzgeschlossenen Windung induziert. Der ohmsche Widerstand entlang des sich ergebenden Strompfades bestimmt den Betrag des Wirbelstroms:



- Verwendet man obige Umrechnungsformel zwischen **R_Wirbel** und **Re_Fe**, so ist das Verhalten beider Modelle identisch:

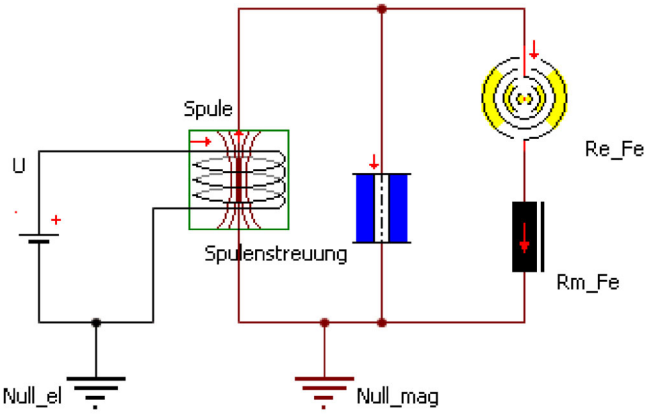


- Das *SimulationX*-Spulenelement enthält nun wieder Windungszahl und ohmschen Widerstand des Drahtes.

Lokaler Wirbelstrom in jedem Eisen-Element

Auch die folgenden Betrachtungen führen wir noch ohne Veränderung unseres Modells durch:

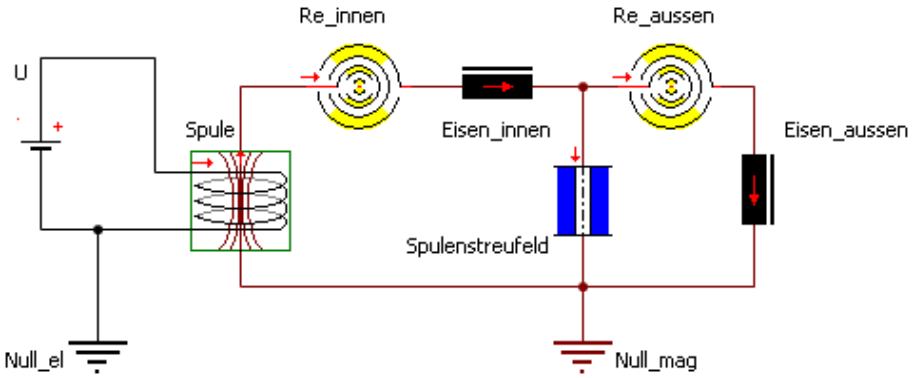
- Enthält die Netzwerk-Struktur der magnetischen Domäne Verzweigungen des magnetischen Flusses, so beeinflussen die Wirbelströme entscheidend die Aufteilung des magnetischen Flusses. Das kann man sich sehr einfach bei Berücksichtigung des Spulenstreufeldes verdeutlichen:



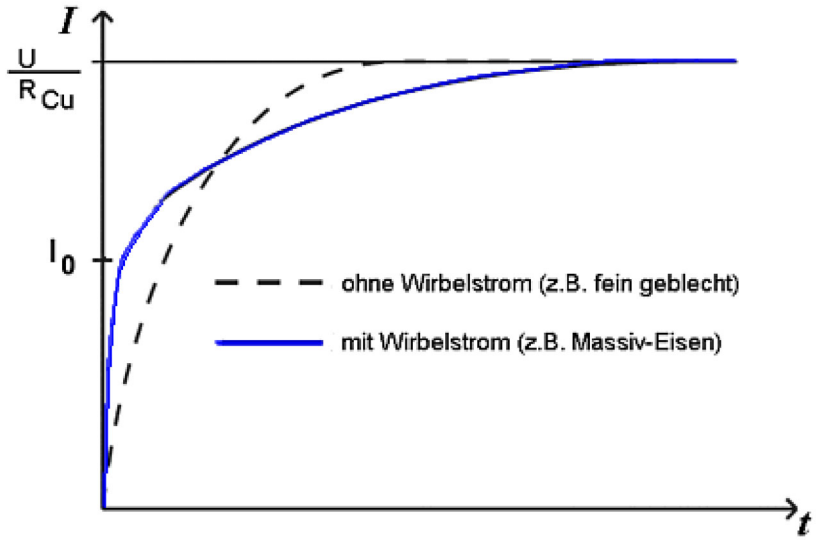
- Das Streufeld der Spule ist ein Luftelement und besitzt unabhängig vom aktuellen Magnetfeld einen konstanten magnetischen Widerstand.
- Der äußere Eisenabschnitt liegt in der Modellstruktur parallel zum Spulen-Streufeld. Bei schnellen Flussänderungen bewirkt das Wirbelstrom-Element ein Vergrößern des magnetischen Widerstandes des Eisen-

Flusszweiges. Der magnetische Fluss wird damit durch das Streufeld der Spule "gedrückt" und geht damit dem eigentlichen Arbeitskreis für diese Zeitspanne verloren.

Wir betrachten nun unsere Netzwerk-Struktur. Infolge der Teilung des Eisenkreises in ein "inneres" und ein "äußeres" Eisen-Element kommt es zu weiteren Auswirkungen des Wirbelstroms, wenn wir diesen in beiden Eisen-Elementen berücksichtigen:



Der Einschaltstromsprung wird verschliffen, sodass der Wert $\mathbf{I_0}$ nicht eindeutig ablesbar ist:



Modell-Erweiterung (Wirbelstrom)

CAD-Daten

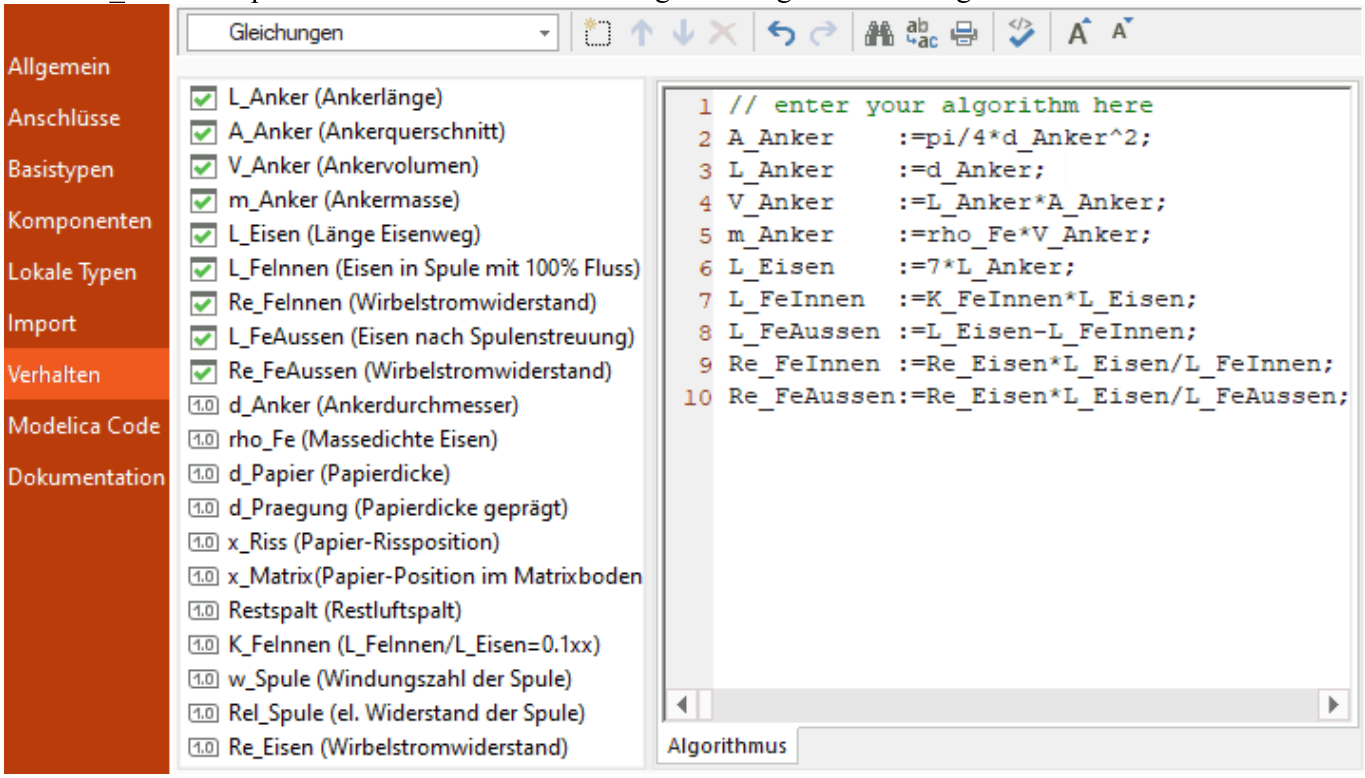
Der Wert des elektrischen Widerstands der Wirbelstrom-Bahn eines jeden Eisen-Abschnitts wird durch Geometrie und Material-Eigenschaften des Eisenkreises bestimmt. Prinzipiell könnte man die Parameter für Wirbelstrom-Elemente aus den Abmessungen und den Material-Kennwerten berechnen. Bisher wurden in der Literatur jedoch noch keine praktikablen Berechnungen zum Erreichen dieses Ziels gefunden. Deshalb wird hier ein sehr einfacher Ansatz gewählt:

- Wir gehen von der konstruktiven Randbedingung aus, dass der gesamte Eisenkreis aus gleichem Material besteht.
- Der Querschnitt entlang des magnetischen Flusses soll im gesamten Eisenkreis näherungsweise gleich groß bleiben. Wir nehmen vorläufig an, dass auch die geometrische Form des Querschnitts gleich bleibt, da die konkrete Geometrie des Magnetkreises noch unbekannt ist.
- Mit diesen Annahmen ist der elektrische Leitwert der effektiven Wirbelstrombahn eines Eisenelements nur noch proportional zu seiner Länge.
- Wir geben für die gesamte Eisenlänge einen Wirbelstromwiderstand **Re_Eisen** als Parameter vor. Den Wert dieses gesamten Wirbelstromwiderstandes legen wir so fest, dass der Stromsprung beim Einschalten vorhandene Messungen oder Erfahrungswerte widerspiegelt.
- Bei der Parameter-Definition wählen wir einen **Standardwert Re_Eisen = 1000 Ohm** → Eisenmaterial praktisch ohne Wirbelstrom!

- Für einen Eisenabschnitt Fe_i des Magnetkreises kann man den zugehörigen Wirbelstromwiderstand auf Grundlage seines Anteils an der Gesamtlänge berechnen:

$$Re_Fe_i = Re_Eisen \cdot L_Eisen \,/\, L_Fe_i$$

- Im CAD_Data-Compound werden die Zusammenhänge wie folgt berücksichtigt:



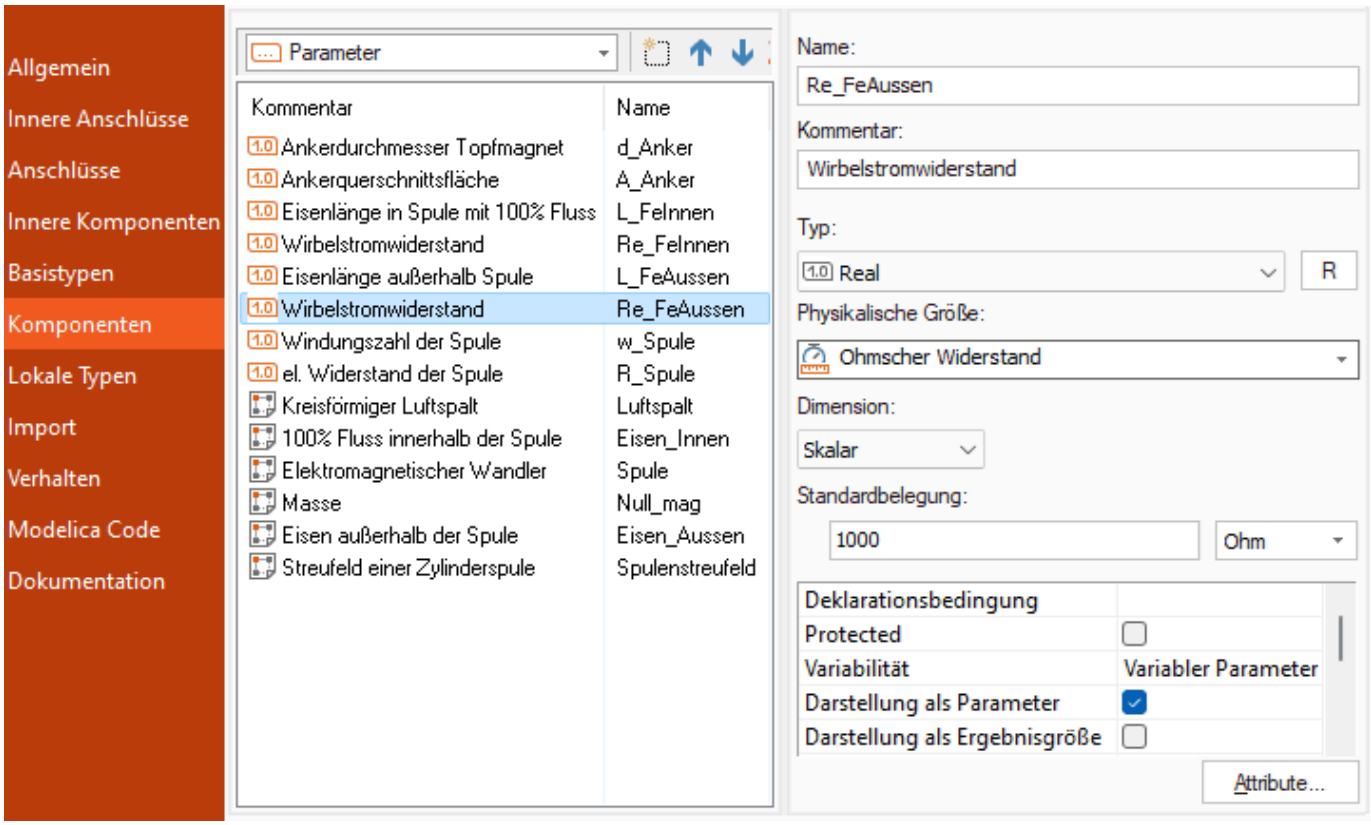
Wir konzentrieren alle weiteren Dimensionierungsberechnungen im CAD_Data-Compound, wie wir es bereits für einige Aspekte begonnen haben:

1. Alle für die Dimensionierung benötigten Größen werden als Parameter bzw. Variable im Komponenten-Abschnitt definiert.
2. Die im CAD-Element definierten Größen stehen dann anderen Modell-Elementen als Parameter zu Verfügung.

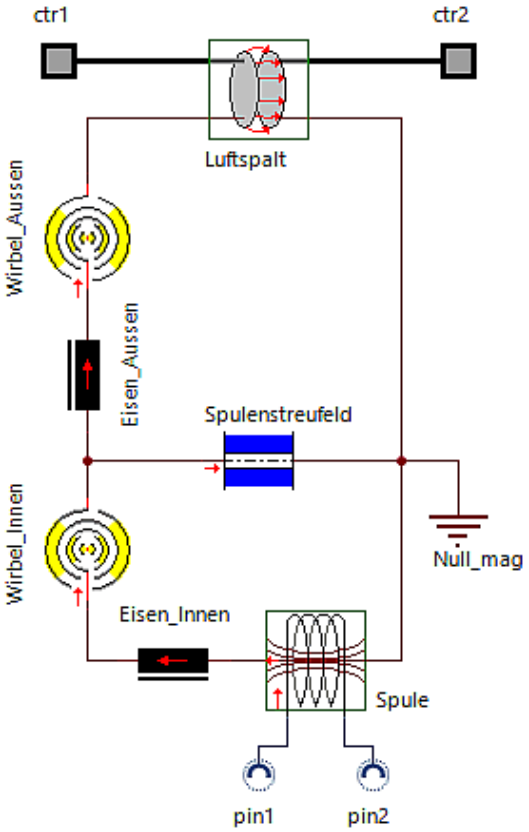
Modell-Struktur im Elektromagnet-Compound

Bevor wir die interne Modellstruktur des Elektromagnet-Compound erweitern, ergänzen wir im Komponenten-Abschnitt dieses Compounds die Parameter **Re_FeInnen** und **Re_FeAussen** für die Wirbelstrom-Elemente:

- Der große Standardwert von 1000 Ohm bewirkt praktisch unwirksame Wirbelströme im Eisenmaterial.
- Vor dem Öffnen und Erweitern der Compound-Struktur muss man die Änderungen im *TypeDesigner* **Fertigstellen** und sollte die Modelldatei speichern:

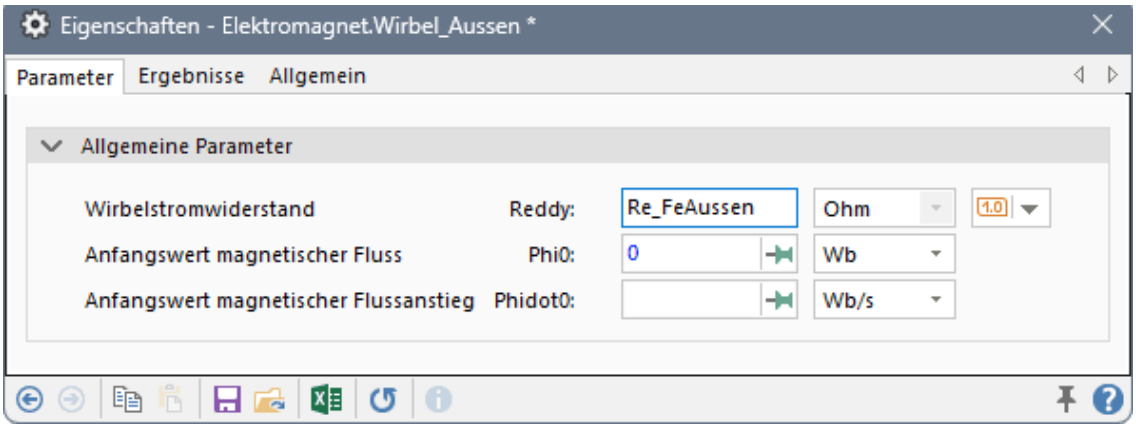


Wir benutzen den Wirbelstrom-Elementtyp aus der Bibliothek (Flussrichtung beim Einbinden berücksichtigen!):



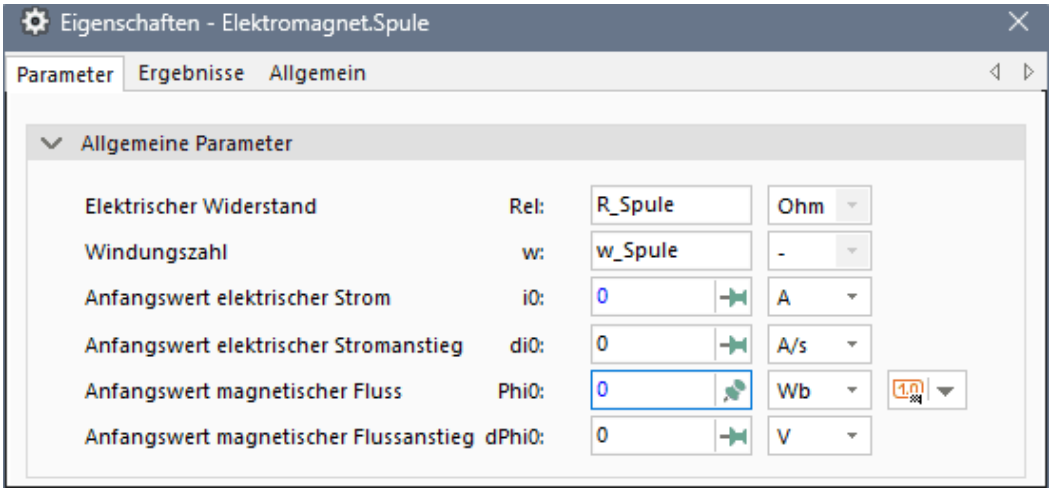
Parameter-Konfiguration und Anfangswert-Fixierungen:

- Der Wirbelstromwiderstand ***Reddy*** jedes Eisenabschnitts erhält seinen zugehörigen Wert aus den CAD-Daten über die Compound-Parameter:

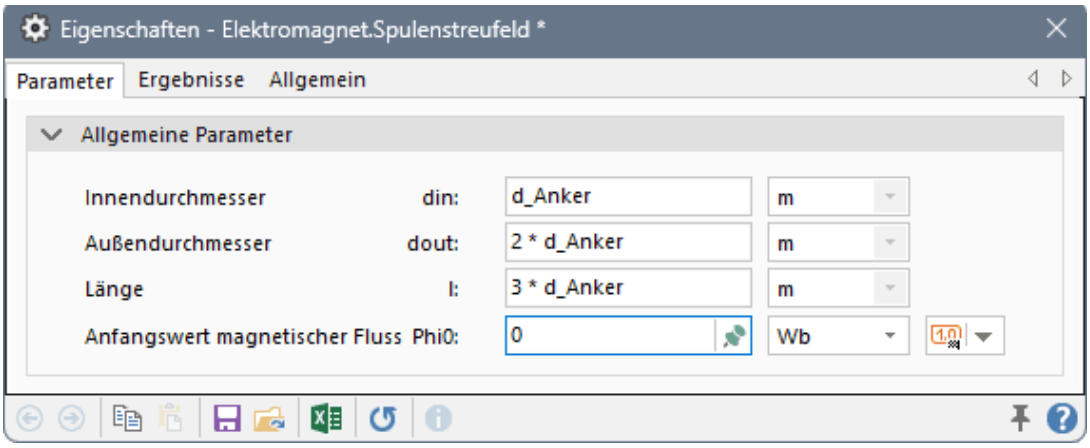


- Der Anfangswert des magnetischen Flusses ***Phi0*** wird in den Wirbelstrom-Elementen nicht fixiert. Sein Wert ergibt sich aus dem Anfangswert des Flusses des in Reihe liegenden Eisenwiderstandes.
- **Hinweis:** Die Wirbelstrom-Elemente enthalten zusätzlich die zeitliche Ableitung des magnetischen Flusses ***Phidot*** als Zustandsgröße. Dessen Anfangswert wird durch ***Phidot0*** festgelegt. Es ist es nicht erforderlich, ***Phidot0*** zu fixieren (oder einen Wert zuzuweisen), da die automatische Initialisierung den korrekten Wert ergibt.

- Im Spulen-Element wird weiterhin nur der Anfangswert des magnetischen Flusses ***Phi0*** für die Einspeisung in den Eisenabschnitt des inneren Magnetkreis-Eisenabschnittes wertmäßig festgelegt:



- Infolge der Reihenschaltung fließt der gleiche magnetische Fluss auch durch das Wirbelstrom-Element des inneren Eisenabschnittes.
- Danach verzweigt sich dieser Flusswert entsprechend der aktuellen magnetischen Widerstandswerte in zwei Äste: Spulenstreuung (also durch den Luftraum der Spule) und äußerer Eisenabschnitt.
- Da im äußeren Eisenabschnitt keine Fixierung des Fluss-Anfangswertes erfolgt, muss zur Erzielung von Eindeutigkeit eine Fixierung des Flusses in der Spulenstreuung vorgenommen werden:



- **Hinweis:** Seit dem Einfügen der Wirbelstrom-Elemente entspricht diese Anfangswert-Fixierung einer nachvollziehbaren Logik! In der **Etappe2a** (ohne Wirbelstrom) führte diese Fixierung leider zu einer Überbestimmung des generierten Gleichungssystems (anscheinend durch "intelligente" Optimierungen bei der Modell-Analyse?).

Auf der Modell-Ebene müssen die Magnet-Parameter für die Wirbelstromwiderstände noch mit den zugehörigen Werten der CAD-Parameter gespeist werden:

- Wir setzen zur Validierung des Modells vorläufig den Gesamt-Wirbelstromwiderstand ***CAD.Re_Eisen*** auf einen großen Wert, z.B. **1 kΩ**. Damit fließt praktisch kein Wirbelstrom und der Antrieb müsste sich so verhalten, wie wir es in den eingefrorenen Signalverläufen archiviert haben.
- Die Signalverläufe müssen mit diesen Einstellungen exakt deckungsgleich zur Simulation ohne Wirbelstrom-Elemente sein.

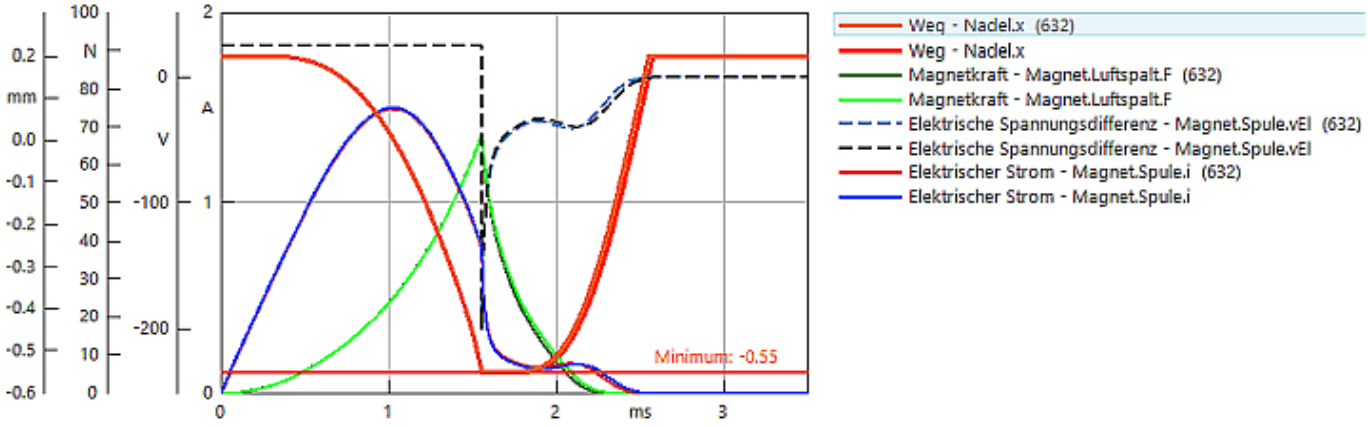
Problem:

- Leider werden bei jeglichen Änderungen innerhalb eines lokalen Compounds alle eingefrorenen Signalverläufe gelöscht!
- Man kann das Modell von Etappe2a mit seinen Ergebnissen zusätzlich im gleichen SimulationX-Programm öffnen, um die um die aktuellen Ergebnisse zu überprüfen.
- Ist man sicher, dass mit dem großen Wirbelstromwiderstand das gleiche Verhalten entsteht, wie ohne Wirbelstrom, kann man den aktuellen Verlauf als Vergleichsbasis wieder einfrieren.

Wirkung des Wirbelstroms

Nachdem unser Modell mit "unwirksamen" Wirbelstrom-Elementen funktioniert, wollen wir untersuchen, in welcher Größenordnung der Wirbelstromwiderstand praktisch liegen wird:

- Wir verringern den Wirbelstromwiderstand soweit, bis man "mit gesundem Menschenverstand" eine minimale Wirkung im Modellverhalten erkennt:

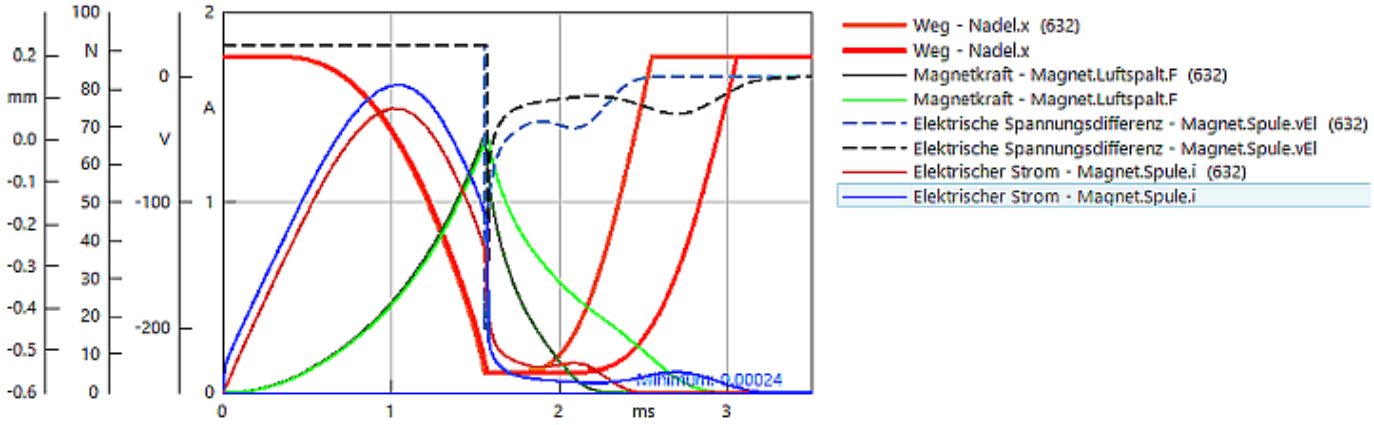


- Die Wirkung des implementierten Wirbelstromeffekts äußert sich hierbei in einer leichten Verzögerung des Abfallvorgangs. Der Stromsprung beim Einschalten liegt unter **1 mA** und ist praktisch nicht erkennbar.

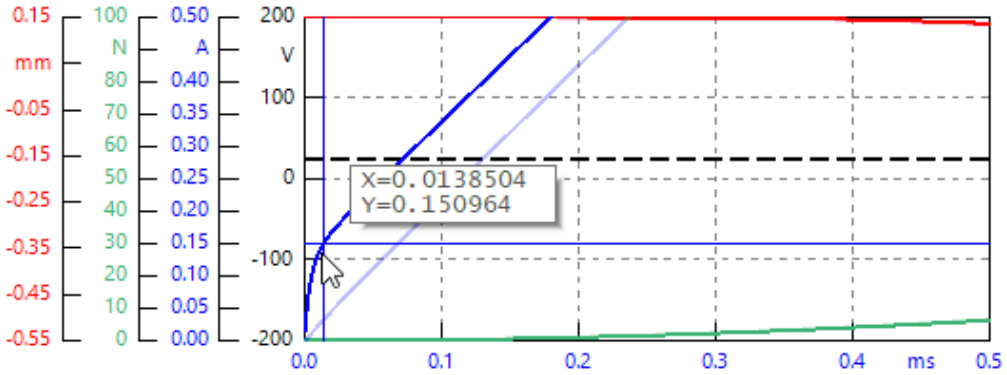
Hinweise::

- Wir merken uns die Größenordnung des Wirbelstromwiderstands, der zu einem merklichen Effekt führt.
- Für die folgenden Untersuchungen wird vorausgesetzt, dass in der Simulationsteuerung die Protokollschrittweite verringert wurde, damit wir die Wirbelstromeffekte im Spulenstrom erkennen können (z.B. **dtProtMin=(tStop-tStart)/1000**).

Als nächstes wollen wir den unteren Grenzwert für den Wirbelstromwiderstand abschätzen. Dazu verringern wir ihn soweit, bis der Stromsprung nach dem Einschalten ungefähr 10% vom maximal zulässigen Spulenstrom beträgt. Das sind **0.15 A** bei einem zulässigen Strom von **1.5 A**:



- Trotz der Änderung des Stromverlaufs beim Einschalten, ist die Auswirkung auf den Anzugsvorgang kaum erkennbar. Die Ursache liegt in der vereinfachten Modellierung des Wirbelstroms. Die Feldverdrängung innerhalb des Eisenquerschnitts wird damit nicht nachgebildet. Somit wirkt im Modell jetzt ein größerer effektiver Eisenquerschnitt als in der Realität.
- Nicht zu übersehen ist hingegen die Auswirkung auf den Abschaltvorgang. Der Kraftabbau verläuft verzögert und es dauert relativ lange, bevor die Rückholfeder den Anker zurückbewegen kann. Die optimale Dimensionierung des Antriebs wird unter Berücksichtigung dieses Wirbelstromeffekts zu veränderten Parametern führen.
- Im Zoom erkennt man deutlich, dass der Stromsprung "abgerundet" ist, wie wir es auf Grund der Modellstruktur erwartet haben:



Im nächsten Schritt werden wir unter Berücksichtigung des ermittelten Wirbelstroms eine erneute Nennwert-Optimierung vornehmen.

← →

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Wirbelstrom-Modell&oldid=27804“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Wirbelstrom-Nennwertoptimierung

Aus OptiYummy

↑

← →

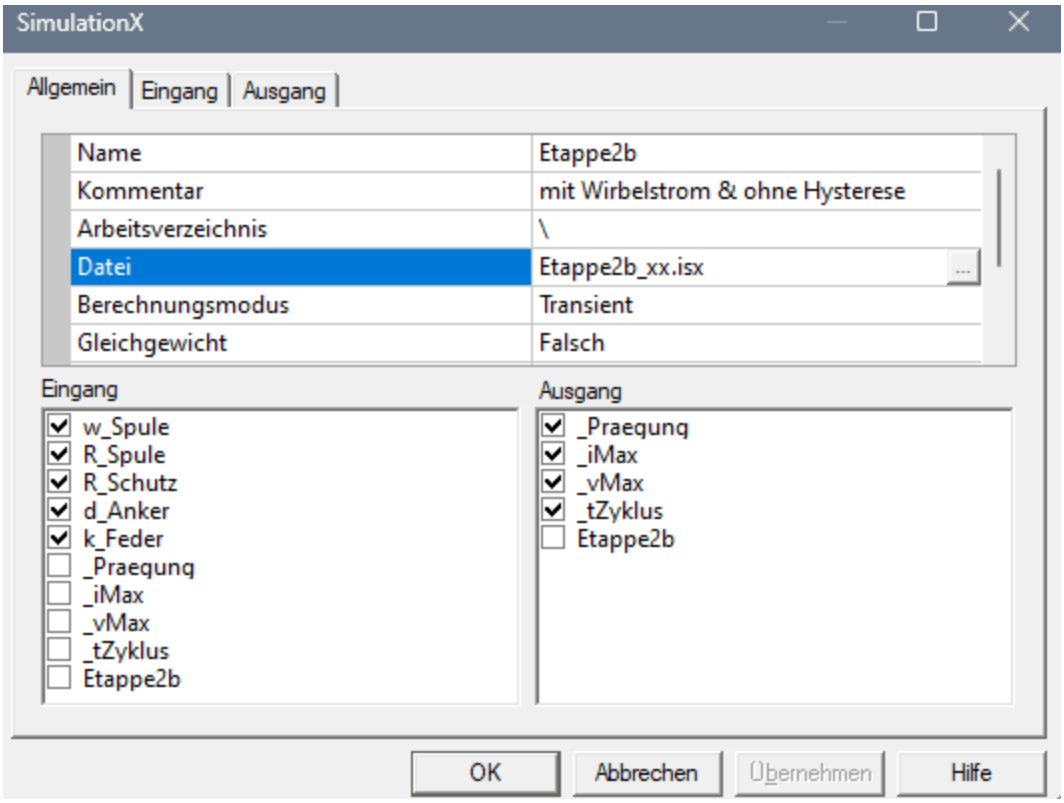
Nennwert-Optimierung mit Wirbelstrom

Mit Hilfe der numerischen Optimierung soll nun versucht werden, insbesondere die aus dem Wirbelstrom resultierende Abfallverzögerung durch eine veränderte Dimensionierung des Antriebs zu kompensieren:

- Wir benötigen dazu einen neuen *OptiY*-Versuchsstand ***Etappe2b_xx.opy***.
- Dieser ist praktisch identisch zum Versuchsstand ***Etappe2a_xx***, benutzt jedoch jetzt die *SimulationX*-Datei **Etappe2b_xx.isx**.
- **Hinweis:** Vor der Konfiguration des neuen Optimierungsexperiments sollte man im *SimulationX* die aktuelle Datei **Etappe2b_xx.isx** geöffnet haben!

Nach dem Öffnen des vorhandenen *OptiY*-Versuchsstandes ***Etappe2a_xx.opy*** gelangen wir in wenigen Schritten den Versuchsstand für das Wirbelstrom-Modell:

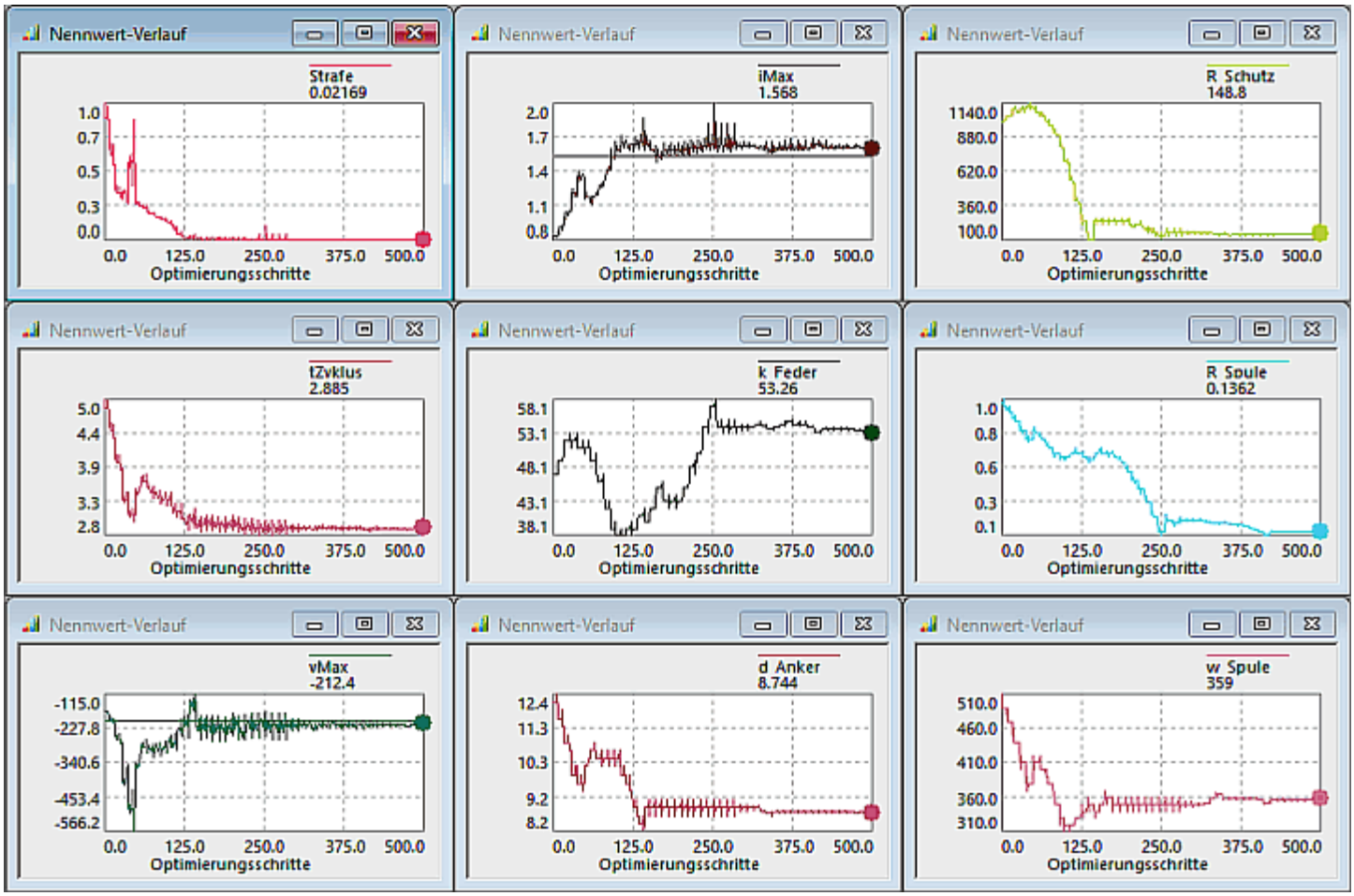
- ***Datei > Speichern unter > Etappe2b_xx.opy*** erzeugt eine Datei-Kopie unter dem neuen Namen auf dem Datenträger. Diese Datei ist danach auch im *OptiY* geöffnet.
- Im Experiment-Workflow bearbeiten wir nach Doppelklick auf das *SimulationX*-Symbol die Eigenschaften des Modells:



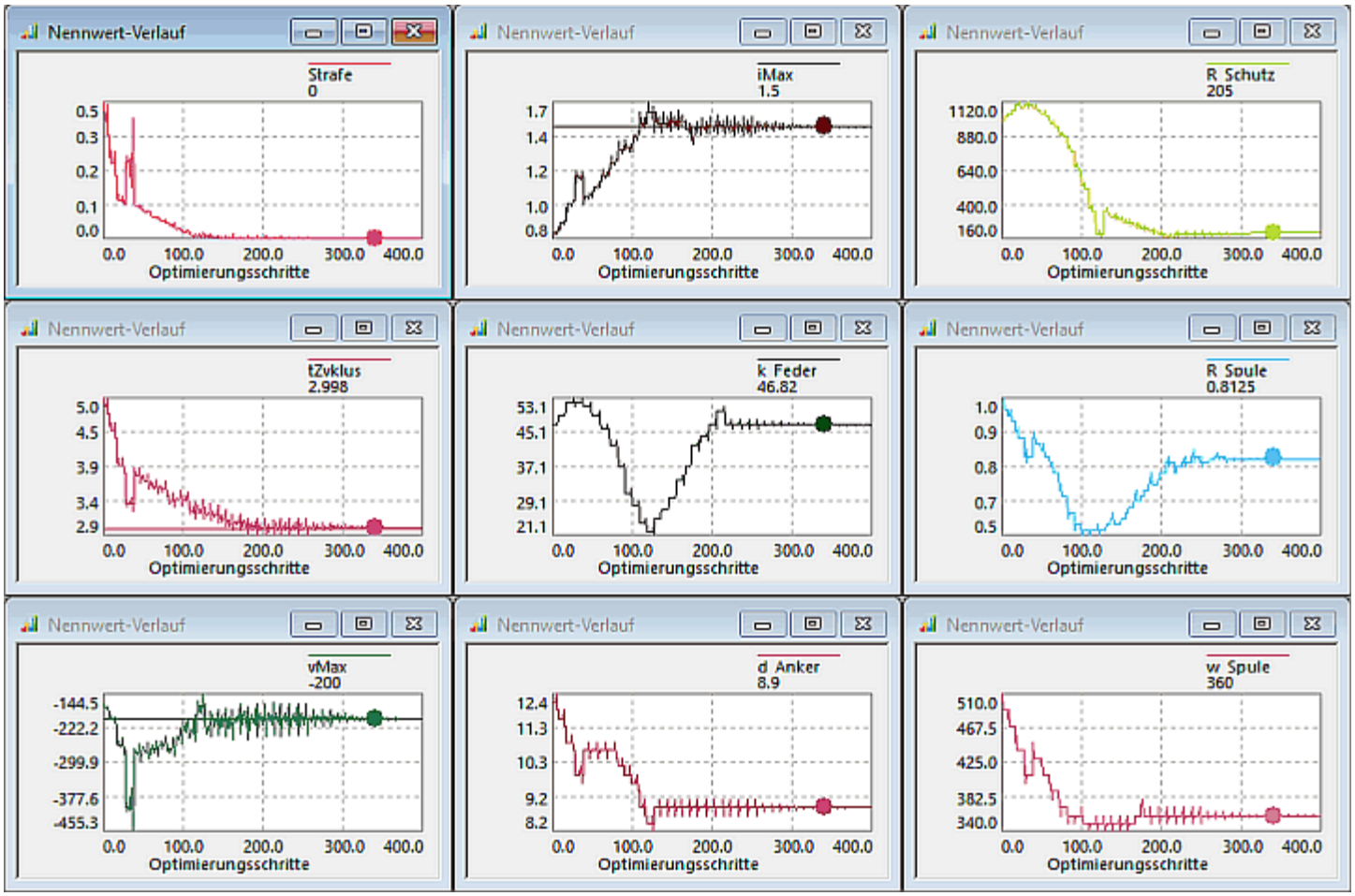
- Man darf den Dateinamen darin nicht einfach nur umbenennen, sondern muss diese *SimulationX*-Datei im Arbeitsverzeichnis auswählen und öffnen.
- Da sich an den Bezeichnern der Ein- und Ausgangsgrößen des Modells nichts geändert hat, werden die Verknüpfungen automatisch wieder hergestellt → Bitte überprüfen!
- Nach dem Öffnen der .isx-Datei als Arbeitsverzeichnis wieder den Relativpfad \ eintragen (wegen der Portabilität)
- Die Änderungen sollte man danach speichern.

Der Wirbelstrom bewirkt eine Verzögerung des Abfallvorganges nach dem Abschalten des E-Magneten. Trotz Anpassung der Geometrie und Beschaltung wird der Bestwert aus der vorherigen Optimierung nicht erreichbar sein:

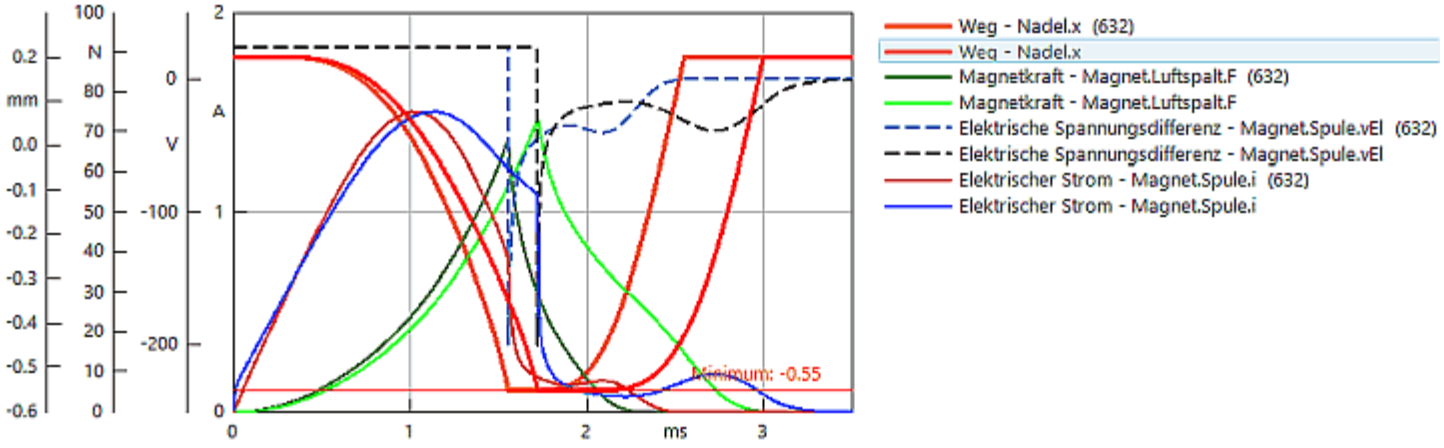
- Man gelangt mit wenigen Iterationen zum Bestwert, wenn man versucht, die vorherige Zykluszeit wieder zu erreichen (entspricht der übernommenen und nicht veränderten Konfiguration des Experiments):



- Diese Optimierung wird mit einer Strafe > 0 enden, wobei die Restriktionsverletzungen im Sinne der Straf-Funktion gleichmäßig auf die Restriktionsgrößen verteilt werden.
- Die mit etwas zu hohem Strom und zu großer Abschaltspannung erreichte Zykluszeit bietet eine gute Orientierung für erreichbare Zeiten:



- Die optimale Lösung unter Berücksichtigung des Wirbelstroms muss etwas langsamer sein, als das Optimum ohne Berücksichtigung dieses Effekts.
- Die im Bild gezeigte Lösung entspricht wahrscheinlich dem globalen Optimum, weil die maximal zulässigen Werte für Strom und Abschaltspannung ausgeschöpft werden:



Achtung: Die Signalverläufe dieser neuen optimalen Lösung frieren wir ebenfalls ein, um nach Berücksichtigung des Hysterese-Effekts der BH-Magnetisierungskurve die Wirkung der einzelnen Effekte besser vergleichen zu können.

←→

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Wirbelstrom-Nennwertoptimierung&oldid=27805“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Wirbelstrom-Experimentauswertung

Aus OptiYummy

↑

← →

Experiment-Auswertung (Ergebnisse)

Die Ergebnisse der präzisierten optimalen Lösung waren unter Berücksichtigung der individuellen **Teilnehmernummer xx**=[01..99] mittels des Eisenteilungsfaktors **K_FeInnen=0.1xx** zu ermitteln!

Forderungen:

- Betriebsspannung **24 V**
- Max. zulässiger Spulenstrom **1,5 A**
- Max. zulässige Induktionsspannung an der Spule **200 V**

Beachtung der Annahmen:

- Anfangsposition **Nadel.x0=0.2 mm**
- Wirbelstromwiderstand soll zu einem (verrundeten) Stromsprung von ca. **0.15 A** beim Einschalten führen.

Gesucht sind die Werte für:

- Wirbelstromwiderstand **Re_Eisen** für gerade erkennbaren Wirbelstrom-Effekt
- Wirbelstromwiderstand **Re_Eisen** für Stromsprung von ca. **0.15 A**

Gesucht sind die optimalen Werte für:

- Windungszahl **w_Spule**,
- Spulenwiderstand **R_Spule**,
- Schutzwiderstand **R_Schutz**,
- Ankerdurchmesser **d_Anker**,
- Federsteifigkeit **k_Feder**
- Vorspannweg der Rückholfeder **s0** (ergibt sich "automatisch" im *SimulationX*-Modell!)
- Erreichte Zykluszeit **tZyklus**

Wichtig:
Mit den optimalen Lösungen muss in dieser Übung im Sinne der "Benotung" **Strafe=0** erreicht werden! In der Praxis würde man sich mit geringfügigen Restriktionsverletzungen von wenigen Prozent zufrieden geben, da die Modelle sowieso nicht so genau sind.

Hinweise für die Ergebnis-Aufbereitung:

1. Die Bestwerte sind mit Maßeinheiten als Text in die bereitgestellte Lösungstabelle einzutragen.
2. Das Simulationsmodell (Etappe2b_xx.isx) ist mit den gefundenen Optimalwerten zu konfigurieren. Die Zeitverläufe wesentlicher Modellgrößen sind im Modell in anschaulicher Form in Signalfenstern darzustellen.
3. Der *OptiY*-Versuchsstand (.opy-Datei) muss aussagekräftige Nennwert-Verläufe zum Optimierungsverlauf enthalten. Diese müssen ohne erneute Experiment-Durchführung betrachtbar sein.
4. Es ist zu überprüfen, dass die einzusendenden Dateien **Etappe2b_xx.isx** und **Etappe2b_xx.opy** portabel sind (lauffähig auf einem anderen PC in einem beliebigen Ordner).
5. **Achtung:** Beide Dateien sind in ein Archiv (z.B. **Etappe2b_xx.zip**) zu packen.

Damit haben wir den zweiten Abschnitt (B) der Etappe2 beendet

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Hysterese-Modell

Aus OptiYummy

↑

← →

Hysterese-Modell (nach Jiles-Atherton)

Vorbereitung des neuen Bearbeitungsabschnittes (C)

Die geöffnete Modell-Datei **Etappe2b_xx.isx** sollte mit der ermittelten Bestwerten konfiguriert und gespeichert sein:

- In der bewährten Art und Weise erzeugen wir daraus eine Kopie unter dem Dateinamen **Etappe2c_xx.isx**, bevor wir den Hysterese-Effekt ergänzen.
- Den Kommentar in den Datei-Informationen passen wir entsprechend an.

Aktivierung des Hysterese-Effektes

Grundlegendes zur Compound-Modifikation

Wir entwickeln das Elektromagnet-Teilmodell auf Basis eines lokalen Compound-Typen des Modells. In den vorherigen beiden Abschnitten (A+B) erfolgte dabei eine schrittweise Erweiterung der inneren Compound-Struktur und der Compound-Schnittstelle. Diese Erweiterungen konnten wir nur am Compound-Typen selbst vornehmen:

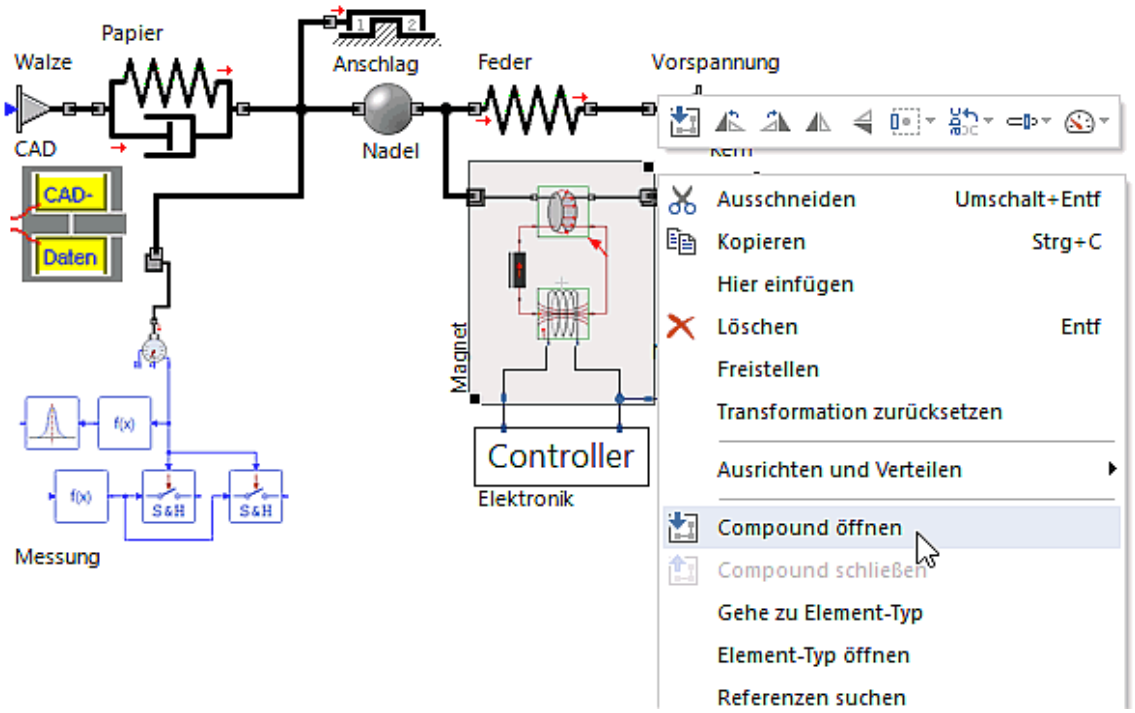
- Nach dem Fertigstellen von Änderungen am Compound-Typen, werden diese Änderungen automatisch auf alle Teilmodell-Elemente angewendet, welche auf diesem Compound-Typen basieren.
- Wir verwenden den Compound-Typen "Elektromagnet" nur einmal innerhalb des Modells als Teilmodell-Element "Magnet".

Im aktuellen Abschnitt C müssen an Elementen der inneren Compound-Struktur nur Materialparameter an den Eisen-Elementen sowie Fixierungen für Anfangswerte geändert werden:

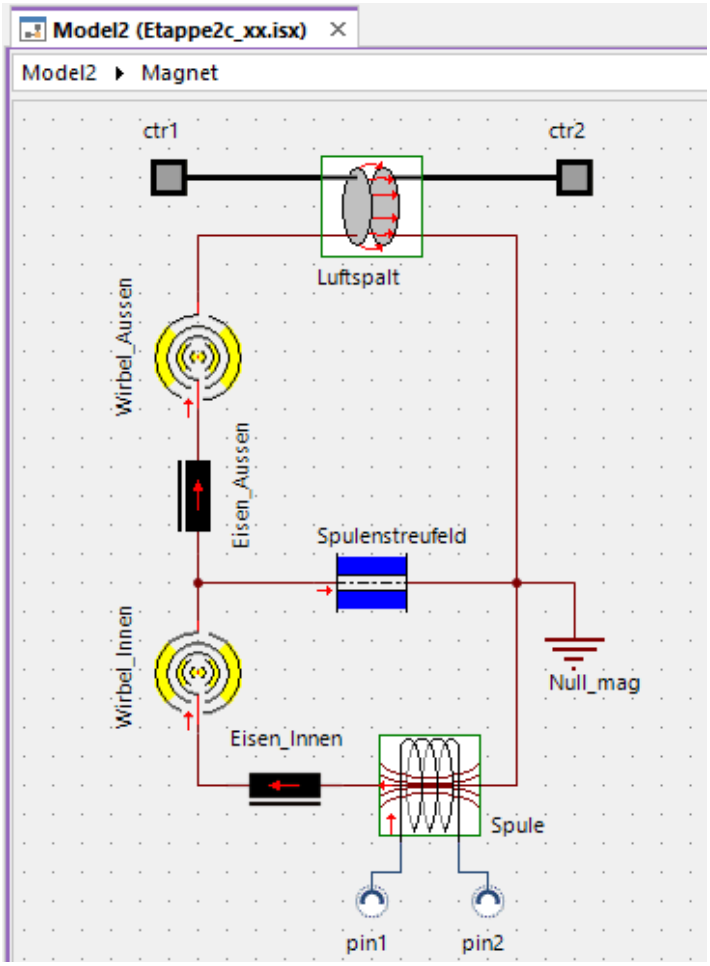
- Solche Änderungen könnte man wieder im Compound-Typen selbst vornehmen und die automatische Aktualisierung des zugehörigen Teilmodells nutzen. Im Beispiel hätte der Compound-Typ "Elektromagnet" danach eine wirksame Eisenhysterese als Standardkonfiguration bei erneuter Verwendung im Modell.
- Andererseits kann man die Element-Eigenschaften auch nur für das Teilmodell "Magnet" ändern. Der zugehörige Compound-Typ "Elektromagnet" bleibt dadurch unverändert.

Die konkrete Vorgehensweise ist davon abhängig, welche weiteren Pläne man mit dem Compound-Typen verfolgt, z.B. Überführung in eine externe Modellbibliothek:

- In unserem Fall ist es eigentlich egal, wenn nicht das Problem mit den eingefrorenen Signalverläufen wäre!
- Um die eingefrorenen Signalverläufe der vorherigen Bearbeitungsabschnitte zu bewahren, sollten wir Änderungen an Compound-Typen innerhalb dieser Übungsetappe vermeiden!
- Wir öffnen deshalb die Strukturansicht des Teilmodell-Elements "**Magnet**" über dessen ***Kontext-Menü*** > ***Compound öffnen***:



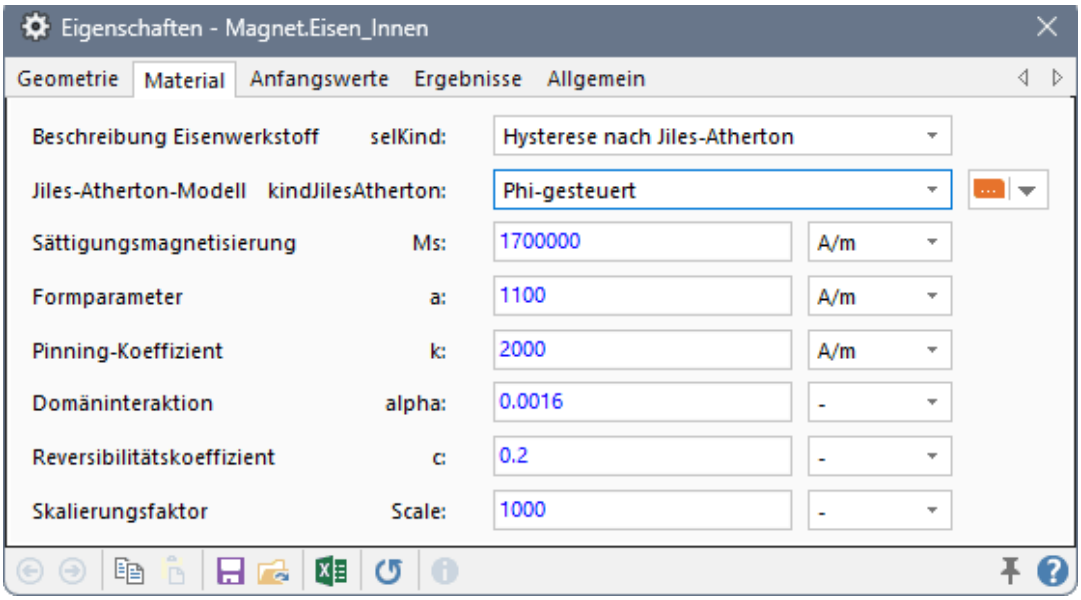
- **Hinweis:** ***Kontext-Menü > Element-Typ öffnen*** führt in die Strukturansicht des Compound-Typen "Elektromagnet"!
- Wenn wir wie geplant den Compound "Magnet" öffnen, so ist der Hintergrund der Strukturansicht grau hinterlegt und die Struktur selbst kann nicht bearbeitet werden:



- In dieser Compound-Ansicht kann man nach Doppelklick auf die Elemente ganz normal deren Eigenschaften bearbeiten.

Hysterese-Modell (nach Jiles-Atherton)

- Die Aktivierung des Hysterese-Effektes im Magnet-Compound erfordert nur wenige Mausklicks.
- In der ***Registerkarte Material*** der beiden Eisen-Elemente wählen wir die ***Hysterese nach Jiles-Atherton***:

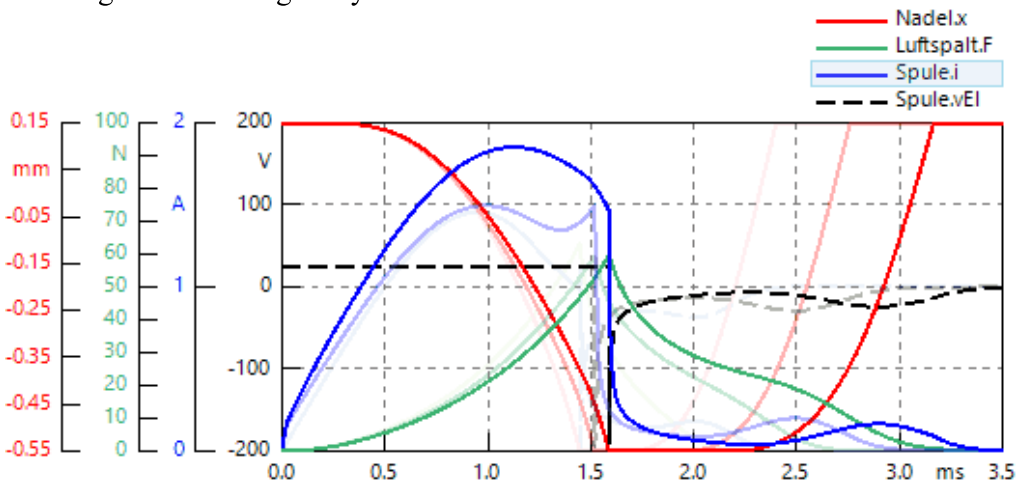


- **kindJilesAtherton = Phi-gesteuert** in den Material-Eigenschaften der Eisen-Elemente ist erforderlich, da ansonsten die maximal zulässige Anzahl von 15 Zustandsgrößen für die *Express Edition* überschritten wird.
- Unabhängig von dieser Beschränkung der *Express Edition* ist die Phi-gesteuerte Hysterese auch numerisch günstiger, weil dabei unmittelbar der magnetische Fluss als Zustandsgröße genutzt wird.
- Die Steuerung der Hysterese über die magnetische Spannung erfordert element-intern jeweils mehrere zusätzliche Zustandsgrößen, was dem Prinzip der Einfachheit widerspricht!

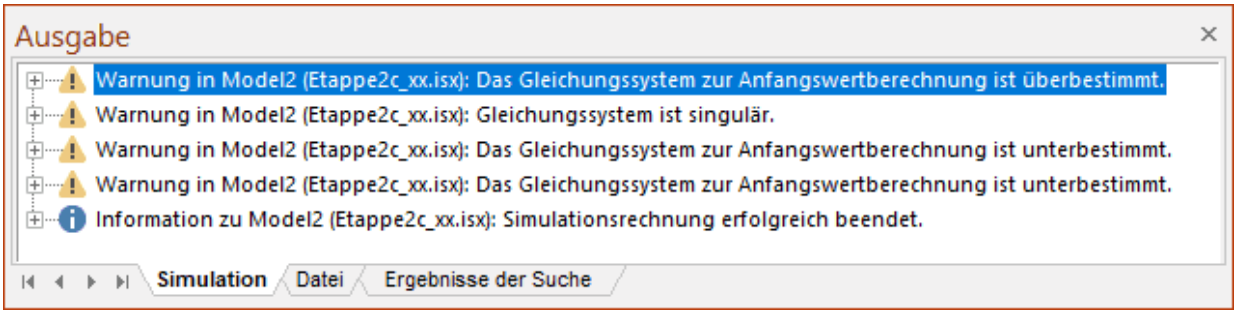
Optimierung der numerischen Robustheit des Modells

Die Simulation mit Berücksichtigung der Eisen-Hysterese ist numerisch anspruchsvoll. Deshalb vor dem Start einige Hinweise für eine günstige Konfiguration:

- **Solver** umschalten auf das **MEBDF-Verfahren** anstatt des standardmäßig genutzten BDF-Verfahrens in der Simulationssteuerung (bewirkt eine stabilere Simulation!)
- Mit den Standard-Vorgaben der übrigen Hysterese-Parameter führen wir einen Simulationslauf durch:



Bedingt durch die Aktivierung der Hysterese erfolgen auch mit dem MEBDF-Verfahren während der Simulation mehrere Warnungen, bevor die "Simulationsrechnung erfolgreich beendet" wird:

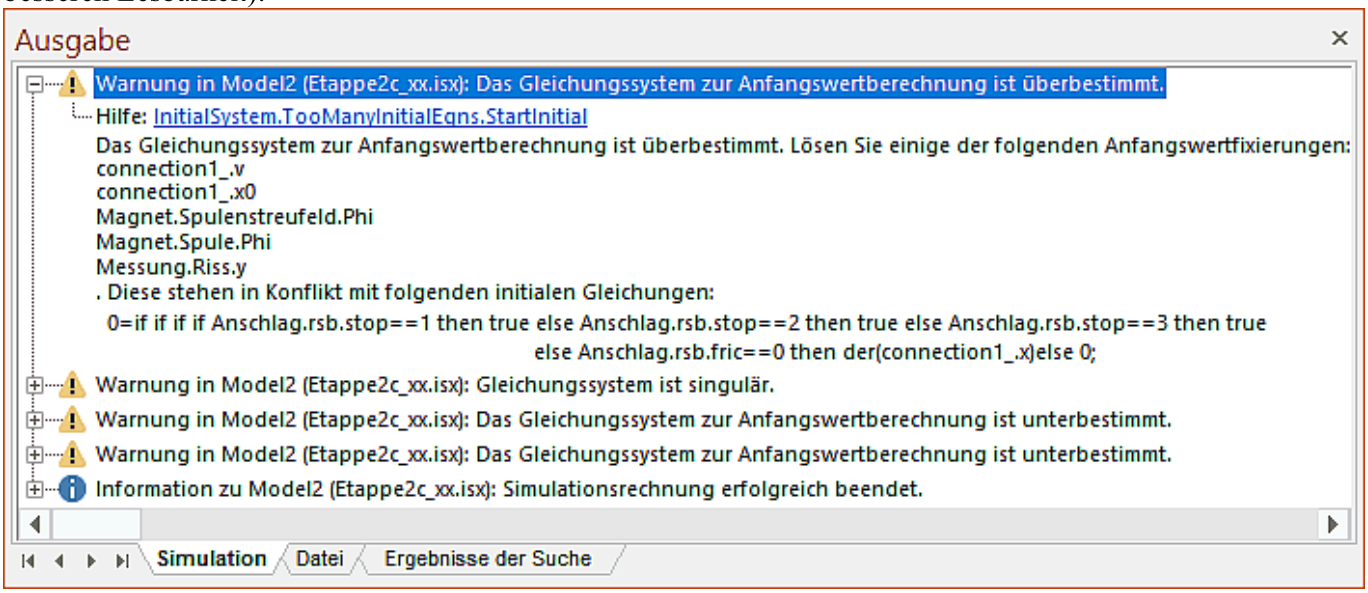


- Auch wenn die berechneten Ergebnisse plausibel erscheinen, sollte man Warnungen nicht ignorieren.

- Warnungen sind ein Hinweis darauf, dass von Seiten des Programms für fehlende oder widersprüchliche Informationen Annahmen zur Realisierung der Lösung des Gleichungssystems getroffen wurden.
- Da die Annahmen nicht immer richtig im Sinne der Physik sind, können daraus natürlich auch mehr oder weniger verfälschte Lösungen resultieren.
- Deshalb sollte man immer versuchen, die Anzahl der Warnungen zu minimieren. Es sollten nur Warnungen übrigbleiben, die man als unkritisch einschätzt und die man auch nicht durch die Konfiguration von Modell und Solver beseitigen kann.

Insbesondere bei mehreren Warnungen ist die Interpretation für den Anfänger meist nicht einfach. Auch bei exakt gleichem Modellinhalt kann es anscheinend zu unterschiedlichen Warnungen kommen, wenn sich die interne Reihenfolge der Modellkomponenten infolge nachträglicher Korrekturen unterscheidet. Am aktuellen Beispiel erfolgen Hinweise zur Vorgehensweise bei der Reduzierung der Warnungen. Falls individuell nicht die gleichen Warnungen erscheinen, muss man versuchen, die Empfehlungen entsprechend anzuwenden:

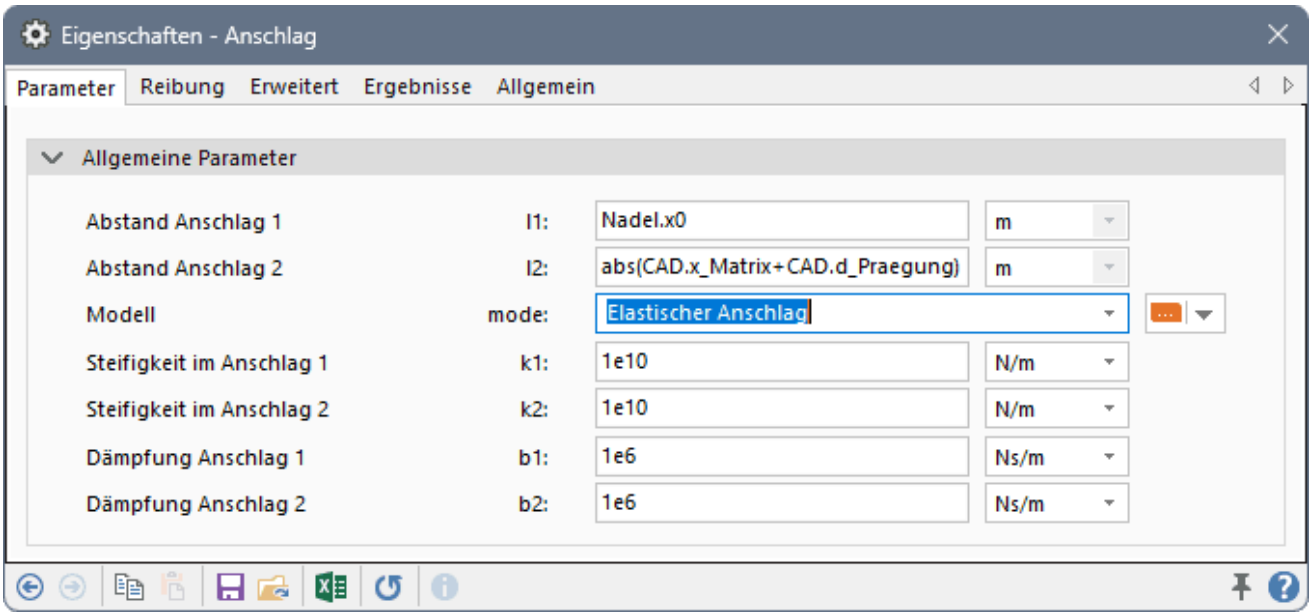
- Man sollte immer mit der Interpretation und Vermeidung der ersten Warnung beginnen, da die folgenden Warnungen häufig aus dieser ersten "Schwachstelle" resultieren (hier teilweise mit Zeilenumbruch zur besseren Lesbarkeit):



  1. "**connection1**" repräsentiert die Zustandsgrößen der Nadelmasse mit ihrem definierten Anfangszustand.
  2. "**Magnet**"-Zustandsgrößen wurden basierend auf den Flussteiler-Regeln bewusst von uns fixiert
  3. "**Riss.y**" ist eine interne Zustandsgröße des Sample&Hold-Elements, auf welche wir keinen Einfluss haben
  4. "**Anschlag**"-Zustandsgrößen dienen als interne Hilfsgrößen für die Realisierung des idealen starr-plastischen Anschlags (ohne Eindringtiefe!)
- Das Aktivieren der Magnet-Hysterese führte zu 15 Zustandsgrößen, damit ist das Maximum für die *Express Edition* erreicht (Wert in letzter Zeile nach Erweitern der Erfolgsinfo-Meldung im Ausgabe-Fenster):
  - Da unser Modell noch nicht seine endgültige Ausbaustufe erreicht hat, müssten wir sowieso noch Maßnahmen zur Verringerung der Zustandsgrößen-Anzahl ergreifen.
  - Das Anschlagselement bietet hierfür eine einfache Möglichkeit, indem man den Modus "elastischer Anschlag" mit internen Feder- und Dämpferelementen wählt. Dabei entfallen die zusätzlichen Zustandsgrößen mit ihren "problematischen" Anfangswert-Fixierungen und es besteht Hoffnung für die Beseitigung der betrachteten ersten Warnung.

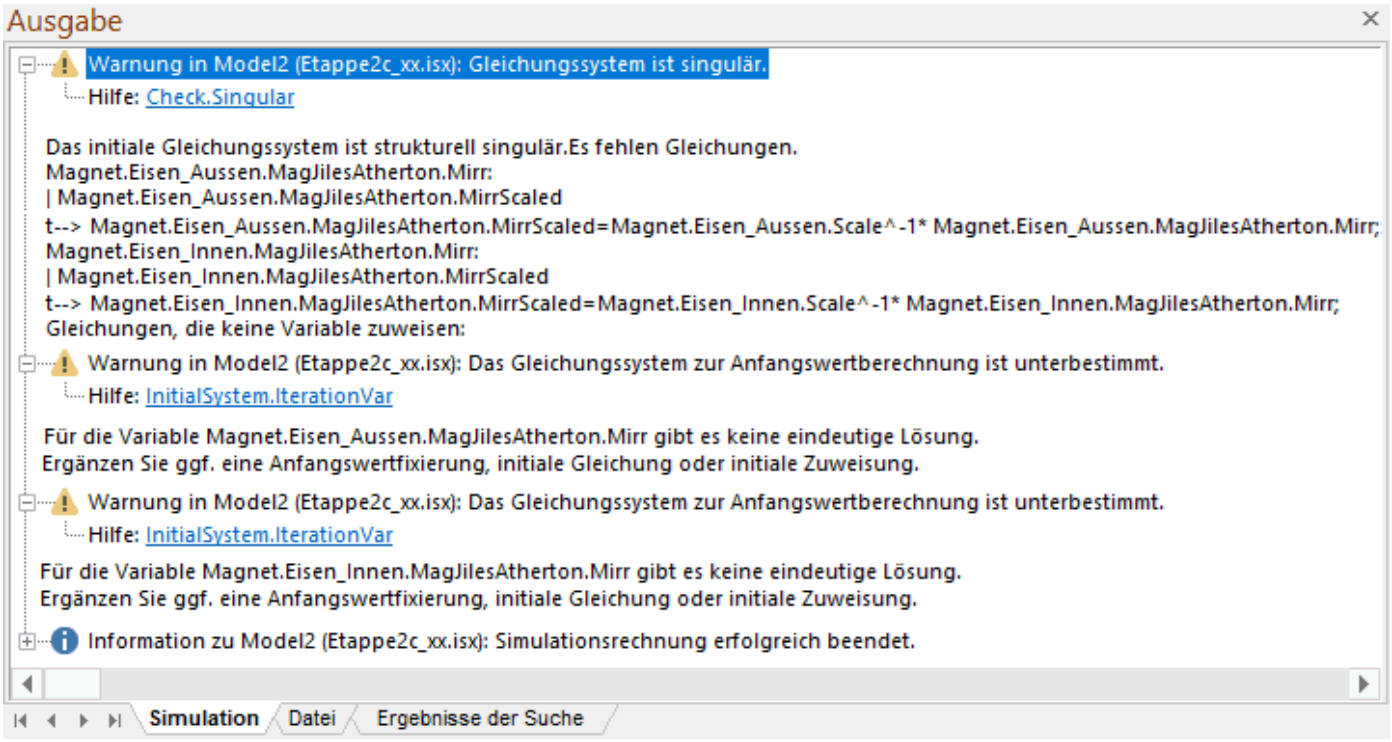
Ersatz des "idealen Anschlags" durch einen elastisch-plastischen Modellansatz (auch wenn im Einzelfall in der ersten Warnung der Anschlag nicht erwähnt wurde!):

- Wir begeben uns wieder zurück in die Strukturansicht des Gesamtmodells und öffnen dort den Eigenschaftsdialog für das Anschlagselement:



- Die Werte für die Steifigkeiten und Dämpfungen der beiden Anschlagsseiten wurden wie folgt ermittelt:
  - Mit "Steifigkeiten = Null" wurde der Wert der Dämpfungen so groß gewählt, dass beim Prägen das angezeigte Minimum von **-0,55 mm** nicht unterschritten wurde.
  - Danach wurden bei "Dämpfungen = Null" die Steifigkeiten soweit erhöht, dass nur ein geringfügiges Unterschreiten des angezeigten Minimum von **-0,55 mm** erfolgte. Damit wird ein statisches Eindringen verhindert.
  - Abschließend erfolgt unter Verwendung der zuvor ermittelten Dämpfungswerte eine Feinjustierung der Steifigkeiten in Hinblick auf das Erreichen des gleichen Wertes für **tZyklus** (wie mit dem idealen Anschlag).
  - Vereinfachend wurden die für den Matrizen-Anschlag ermittelten Anschlagswerte auch für den Ruhelagen-Anschlag der Nadel verwendet.
- **Wichtig:** Auch wenn andere Parameterwerte möglich wären, sollte jeder die im Bild eingetragenen Werte benutzen, weil diese einen merklichen Einfluss auf die Bewegungsabläufe besitzen. Dies hat entscheidende Bedeutung für die Verifizierung des Modellverhaltens in der nächsten Übungsetappe!

Die Simulation mit dem geänderten Anschlagsmodell sollte den Erfolg der Maßnahme dokumentieren, indem die betrachtete Warnung nicht mehr auftaucht:

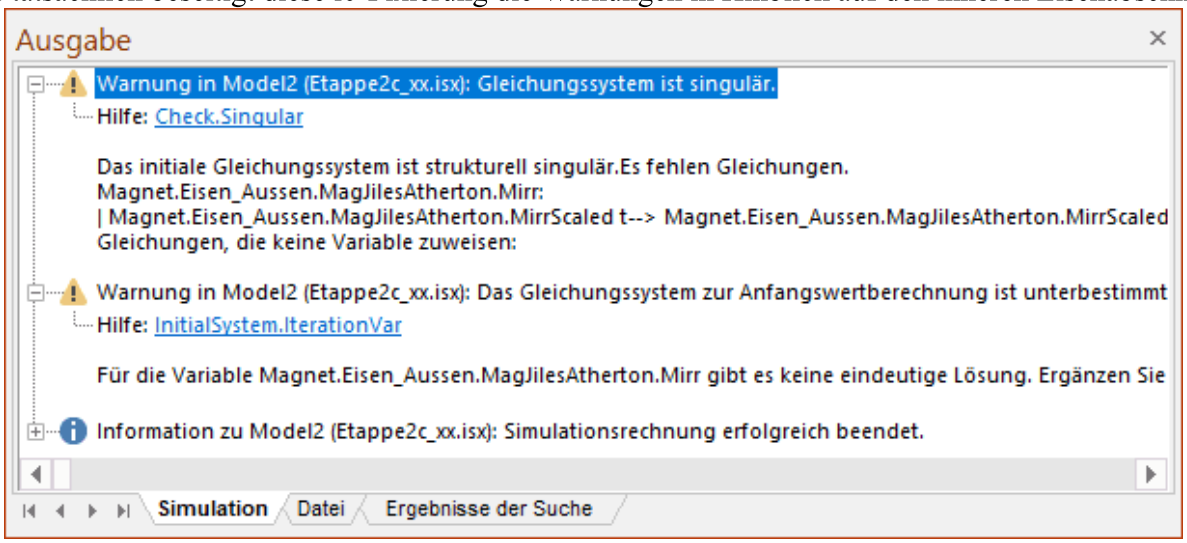


- Leider genügt es jetzt nicht mehr, einfach die nächste Warnung zu analysieren und daraus eine Aktion für ihre Beseitigung abzuleiten.
- Die letzten beiden Warnungen weisen darauf hin, dass in beiden Eisen-Elementen Anfangswerte für die eindeutige Lösung der internen Gleichung fehlen, welche in der ersten Warnung notiert ist.

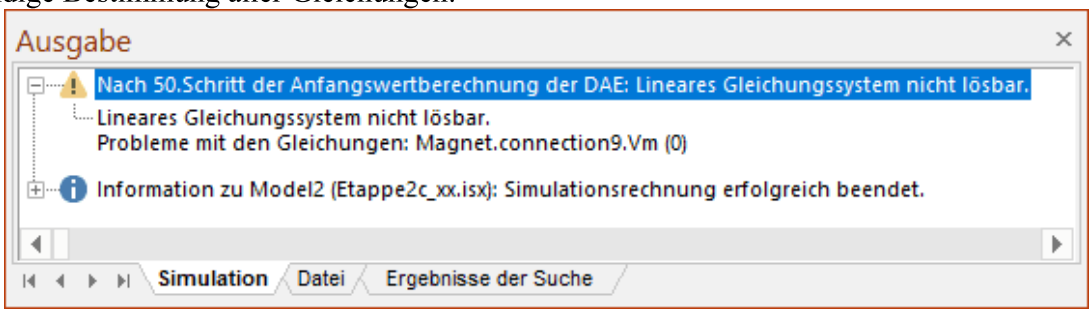
- Diese Gleichungen gehören zur Berechnung der Eisen-Hysterese. Deshalb treten die Warnungen erst nach Aktivierung der Hysterese auf.

Wir können unsere Bemühungen anscheinend auf die Zustandsgrößen im Magnetkreis beschränken. Es wird vorausgesetzt, dass der Start der Simulation immer im entmagnetisierten, stromlosen Zustand des Magneten erfolgt:

- **Spule.i0=0 A → Fixieren**: ohne Hysterese führte diese Fixierung zu Warnungen.
  - Da der Spulenstrom am Anfang jedoch definiert bei Null beginnt, fixieren wir diesen jetzt probeweise.
  - Und tatsächlich beseitigt diese i0-Fixierung die Warnungen in Hinblick auf den inneren Eisenabschnitt:

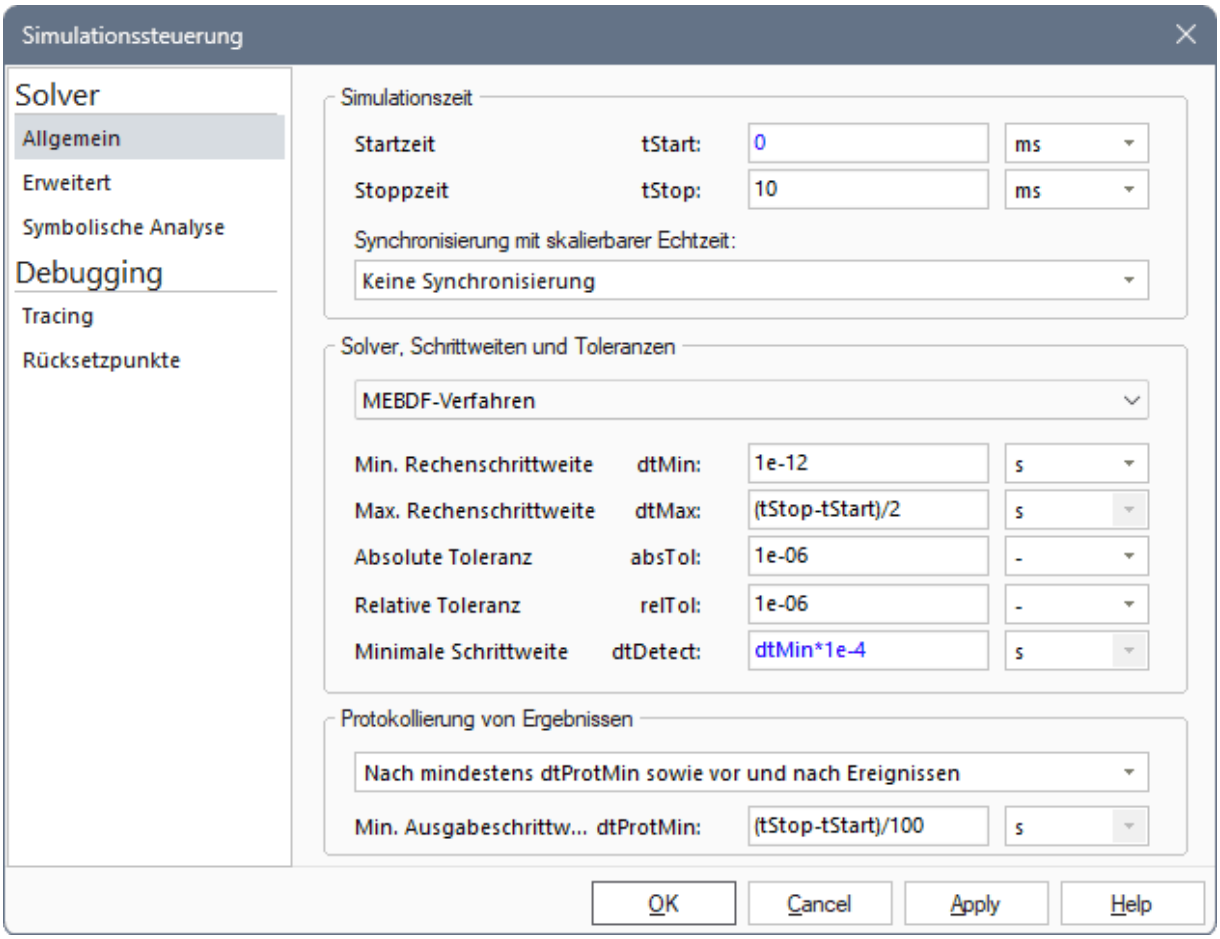


- **Wirbel_Aussen.Phidot0 Wb/s → Fixieren**:
  - Der Anfangsfluss **Phi0** durch den äußeren Eisenabschnitt (inklusive Wirbelstrom-Element) ist infolge des Knotensatzes bestimmt, weil **Phi0** in Spule und Spulenstreuung fixiert ist.
  - In der Magnet-Domäne wird zusätzlich zum Fluss **Phi** auch die Flussänderungsgeschwindigkeit **Phidot** als Zustandsgröße berücksichtigt (in Analogie zu Weg und Geschwindigkeit in der Mechanik).
  - Die Fixierung von **Phidot0** durch den äußeren Eisenabschnitt bewirkte tatsächlich die gewünschte vollständige Bestimmung aller Gleichungen:

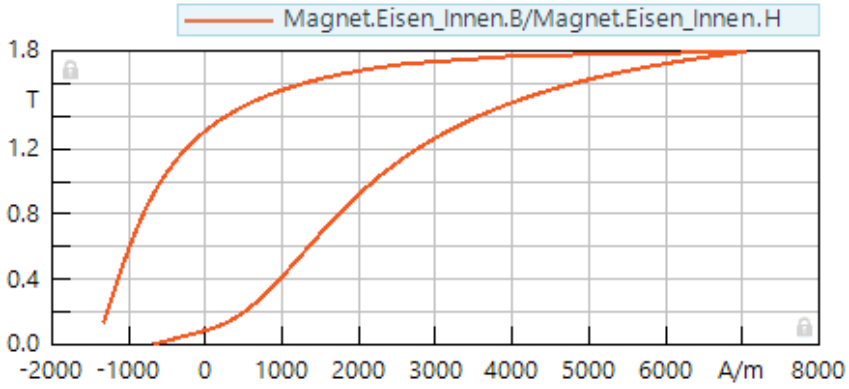


- Allerdings erschien nun im Beispiel (zum Glück für diese Anleitung!) eine gefährlich klingende Warnung, deren Auftreten stark von den konkreten Modellparametern abhängt:
  - Bei "connection9" handelt es sich im Beispiel um den Knotenpunkt, an dem die Spulenstreuung von den Eisenabschnitten abzweigt.
  - Es gab anscheinend Probleme bei der Anfangswert-Berechnung der magnetischen Spannung **Vm** in diesem Punkt, was erst einmal dramatisch klingt.
  - Eine Analyse ergab, dass dieses Problem bei der Ereignisbehandlung des Abschaltvorganges beim Erreichen des vollständigen Prägens auftritt. Auswirkungen auf das weitere Verhalten sind nicht erkennbar!
- Zum Zeitpunkt des Abschaltens finden mehrere numerische Ereignisse statt (Anschlag, Schalter on/off, Diode on/off), welche mit starken Nichtlinearitäten im Gleichungssystem und schnellen Änderungen von Zustandsgrößen verbunden sind.
- Die Berechnung dieser Unstetigkeitsstelle ist numerisch sehr anspruchsvoll.
- Auch wenn die globale Berechnung nicht verfälscht wird, sollte man versuchen, dieses sporadische lokale Problem möglichst zu vermeiden:
  - Es wurden einige Maßnahmen innerhalb der Simulationssteuerung getestet. Das Problem besteht darin, dass fast jede Änderung die aktuelle Warnung beseitigt (weil der Abschaltpunkt etwas anders erreicht wird!).
  - **dtMin=1e-12**: Eine weitere Verringerung der min. Rechenschrittweite erschien erst erfolgsversprechend, brachte aber bei den nachfolgenden vielen Parameterkombinationen während der Optimierung weiterhin diese Abschalt-Warnungen.

- **absTol=1e-6** und **relTol=1e-6**: Tendenziell als günstig erwies sich eine Erhöhung der Berechnungsgenauigkeit (absolute und relative Toleranz) durch Verringerung um 1 Zehnerpotenz.
- **dtProtMin=(tStop-tStart)/100** ergibt einigermaßen gerundete Signalverläufe trotz schneller Simulation:



- Infolge der BH-Hysterese verbleibt nach dem Abschalten eine Restflussdichte im Eisen. Damit wird der Abfallvorgang zusätzlich zu den Wirbelstrom-Effekten weiter verzögert.
- Durchfahren wird ohne weitere Vorgaben die Neukurve beginnend im entmagnetisierten Zustand. Der Endzustand (links vom Startpunkt) zeigt für das innere Eisen-Element einen Restfluss von ca. **0.15 T**:



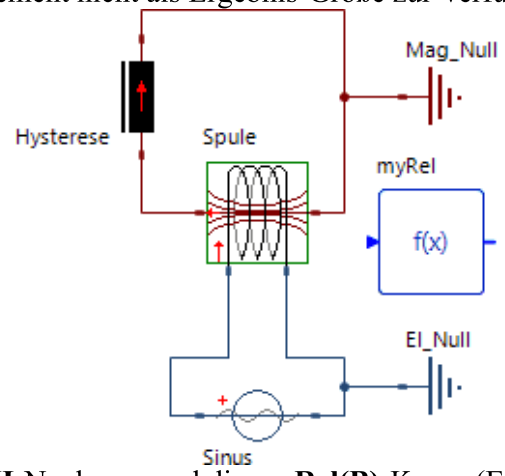
Ermittlung der passenden Hysterese-Parameter

Schwieriger als die Implementierung des Hysterese-Effektes ist das Finden hinreichend genauer Parameter für die Hysterese. Wir werden im Rahmen der Übung pragmatisch herangehen und eine Vorgehensweise zur manuellen Einstellung der Hysterese-Parameter wählen:

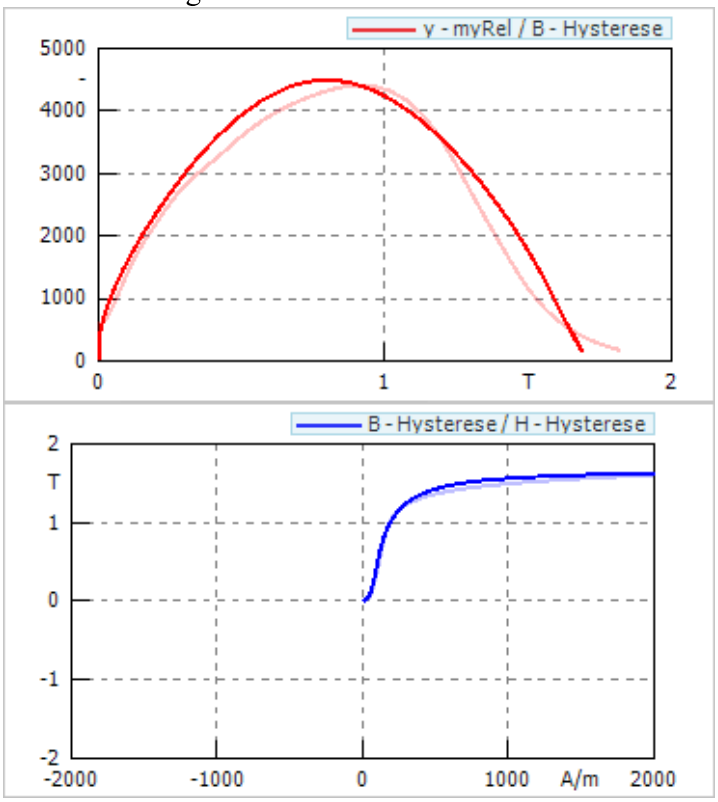
1. die Neukurve der BH-Hysterese muss mit der **BH**-Kurve der vorgegebenen **µrel(B)**-Kennlinie einigermaßen übereinstimmen,
2. die Koerzitivfeldstärke und Remanenzflussdichte sollen ungefähr diesem Eisentyp entsprechen.

Wir benutzen dafür das einfache *SimulationX*-Modell **Hysterese_Parameter.isx**, welches sich in der herunterladbaren ZIP-Datei befindet:

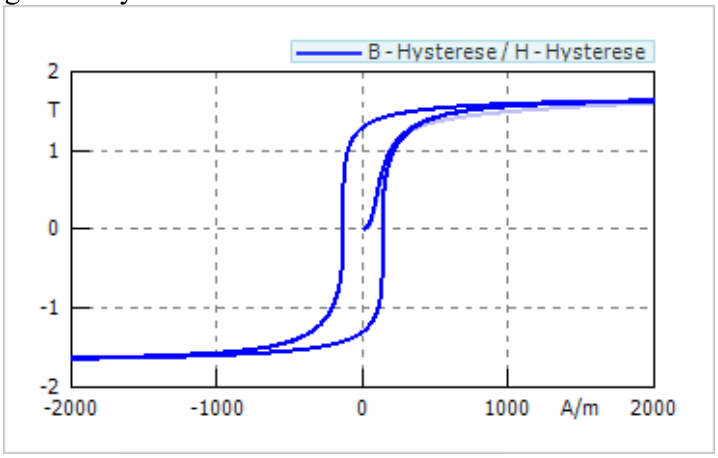
- Diese Modelldatei kann man zusätzlich zum Antriebsmodell öffnen.
- Ein geschlossener Eisenkreis mit Spule wird von einer Sinus-Spannung (**f=2 Hz**) gespeist.
- Die relative Permeabilität **myRel** wird aus **H** und **B** des Eisen-Elements berechnet, da bei Verwendung der Hysterese das **myRel** im Eisen-Element nicht als Ergebnis-Größe zur Verfügung steht:



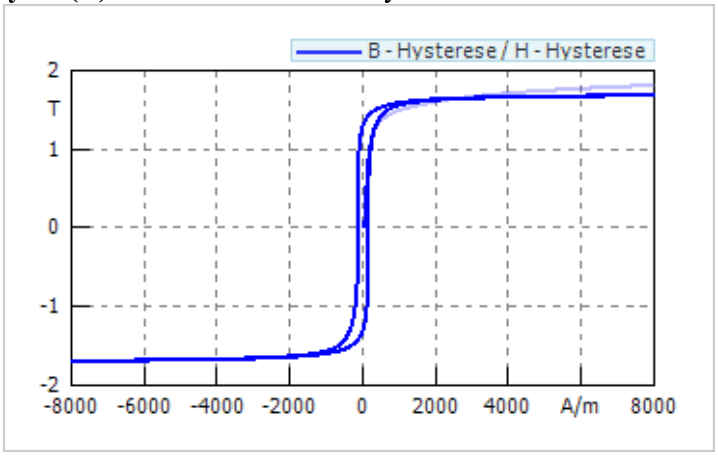
- In den Signal-Fenstern sind die **BH**-Neukurve und die **myRel(B)**-Kurve (Eisen ohne Hysterese) als eingefrorene Verläufe hinterlegt.
- Für das hysteresebehaftete Eisen wurden darüber die zugehörigen Verläufe gelegt, welche beim Magnetisieren entlang der Neukurve entstehen. Der Zeitbereich wurde dafür so kurz gewählt, dass auf der Hysteresekurve noch keine Umkehr erfolgte:



- Vergrößert man den Zeitbereich auf **1 s**, so wird die Hysterese-Schleife komplett durchfahren. Die Darstellung der **myRel(B)**-Kurve wird dadurch unübersichtlich und ist physikalisch nicht ganz sinnvoll. Dafür sieht man jetzt aber gut die Hysterese-Schleife der **BH**-Kurve:



- Vergrößert man den Darstellbereich der **H**-Achse, so erkennt man, dass für größere Aussteuerungen die Sättigungsinduktion des **myRel(B)**-Ansatzes durch die Hysterese nicht erreicht wird:



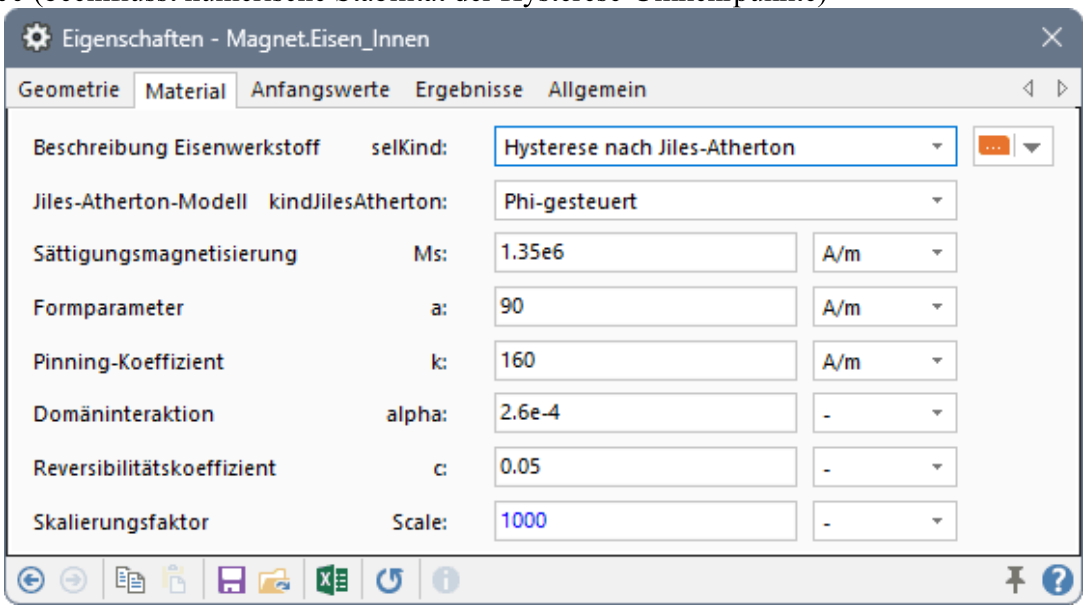
- Das bedeutet, dass unser Modell bei diesen Hysterese-Parametern eher die Eisen-Sättigung erreicht, als mit dem **myRel(B)**-Ansatz.

Achtung: Im Rahmen der Lehrveranstaltung benutzen wir aus Zeitgründen die bereits eingestellten, manuell optimierten Hysterese-Parameter für unser Antriebsmodell:

- Insbesondere der abfallende Verlauf der **myRel(B)**-Kennlinie konnte für die Neukurve der Hysterese nicht besser nachgebildet werden. Die Krümmung zum sanften Übergang in die Sättigung ist mit dem Hysterese-Ansatz nicht realisierbar.
- Die geringere Sättigungsinduktion wurde als Kompromiss gewählt, um die Neukurve besser nachbilden zu können. Hier müssten praktische Untersuchungen stattfinden, welcher Effekt für das Antriebsverhalten von größerer Bedeutung ist.
- Die Breite der Hysteresekurve wurde so gewählt, dass eine Koerzitiv-Feldstärke von etwas über **100 A/m** entsteht.
- Zur Neigung der Hysterese-Kurve müssten eigentlich noch exakte Vergleiche zu realen Eisenwerkstoffen durchgeführt werden. Die Neigung der Kurve hängt auch zusammen mit der Remanenzflussdichte. Wir benutzen in der Übung die eingestellten Werte.

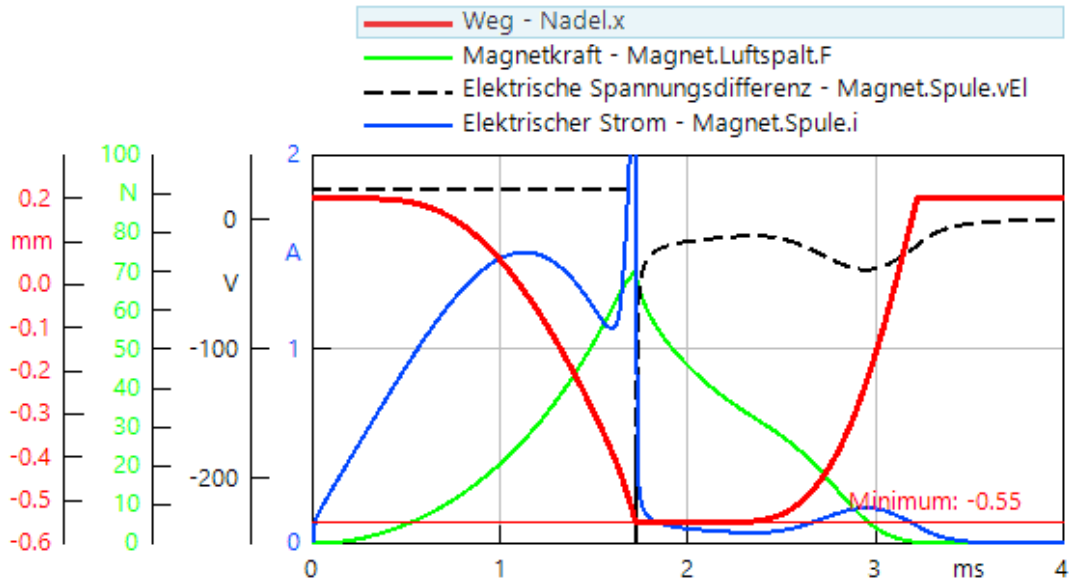
Folgende Hysterese-Parameter sind im Antriebsmodell für beide Eisenabschnitte zu benutzen (Einfluss der einzelnen Parameter ist kommentiert):

- **kindJilesAtherton = Phi-gesteuert**
- **Ms = 1.35e6 A/m** (Sättigungsmagnetisierung)
- **a = 90 A/m** (bestimmt myRel(B)-Maximum)
- **k = 160 A/m** (Hysterese-Breite: bestimmt Koerzitiv-Feldstärke)
- **alpha = 2.6e-4** (Neigung der Hysterese: bestimmt Remanenz-Flussdichte)
- **c = 0.05** (Für Neukurve Anfangswert myRel(B0) und Maximum von myRel)
- **Scale = 1000** (beeinflusst numerische Stabilität der Hysterese-Umkehrpunkte)



Wirkung der Magnet-Hysterese

Das Einsetzen dieser Hysterese-Parameter in beide Eisen-Elemente unseres Antriebsmodells führt zum folgenden Verhalten (eingefrorene Signale wurde zur Erstellung des Bildes ausgeblendet):



Einschaltvorgang:

- Kurz vor dem Ausschalten kann es zu einem steilen Strom-Anstieg kommen, wenn das Eisen in die Sättigung gelangt. Das ist kein Hysterese-Effekt, sondern die Wirkung der geringeren Sättigungsinduktion, zu der die aktuellen Modell-Parameter im obigen Beispiel führen! Sichtbar wird dieser Effekt nur bei Lösungen mit relativ kleinem Ankerdurchmesser.
- Für das zuvor entmagnetisierte Eisen (Neukurve) kann man die Wirkung der Hysterese auf den Zeitbedarf für den Einschaltvorgang vernachlässigen. Praktisch sollte ja die zuvor genutzte **μ(B)**-Kurve durchfahren werden, so dass für diesen Teilprozess die Hysterese noch gar nicht existiert!
- Würde man unseren bereits benutzten Magneten einschalten, so wäre dieser bereits vormagnetisiert. Die Magnetisierung unterstützt den Anzugsvorgang etwas, so dass er um einige Prozent schneller erfolgen wird.

Ausschaltvorgang:

- Der Abfallvorgang verläuft verzögert. Jedoch ist die Verzögerung geringer, als zuvor mit den Standard-Vorgaben der Hysterese, denn nun besitzt die Hysterese eine geringere Breite.
- Da unser Magnet beim Einschalten das Eisen fast bis zur Sättigung aussteuert, wird sich der Ausschaltvorgang des bereits benutzten Magneten kaum von dem zuvor entmagnetisierten Magneten unterscheiden.

Wir besitzen nun ein Antriebsmodell, welches einen kompletten Prägezyklus ausführt. Die Effekte von Wirbelstrom und Hysterese des Eisenkreises werden dabei berücksichtigt.

← →

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Hysterese-Modell&oldid=27817“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Hysterese-Nennwertoptimierung

Aus OptiYummy

↑

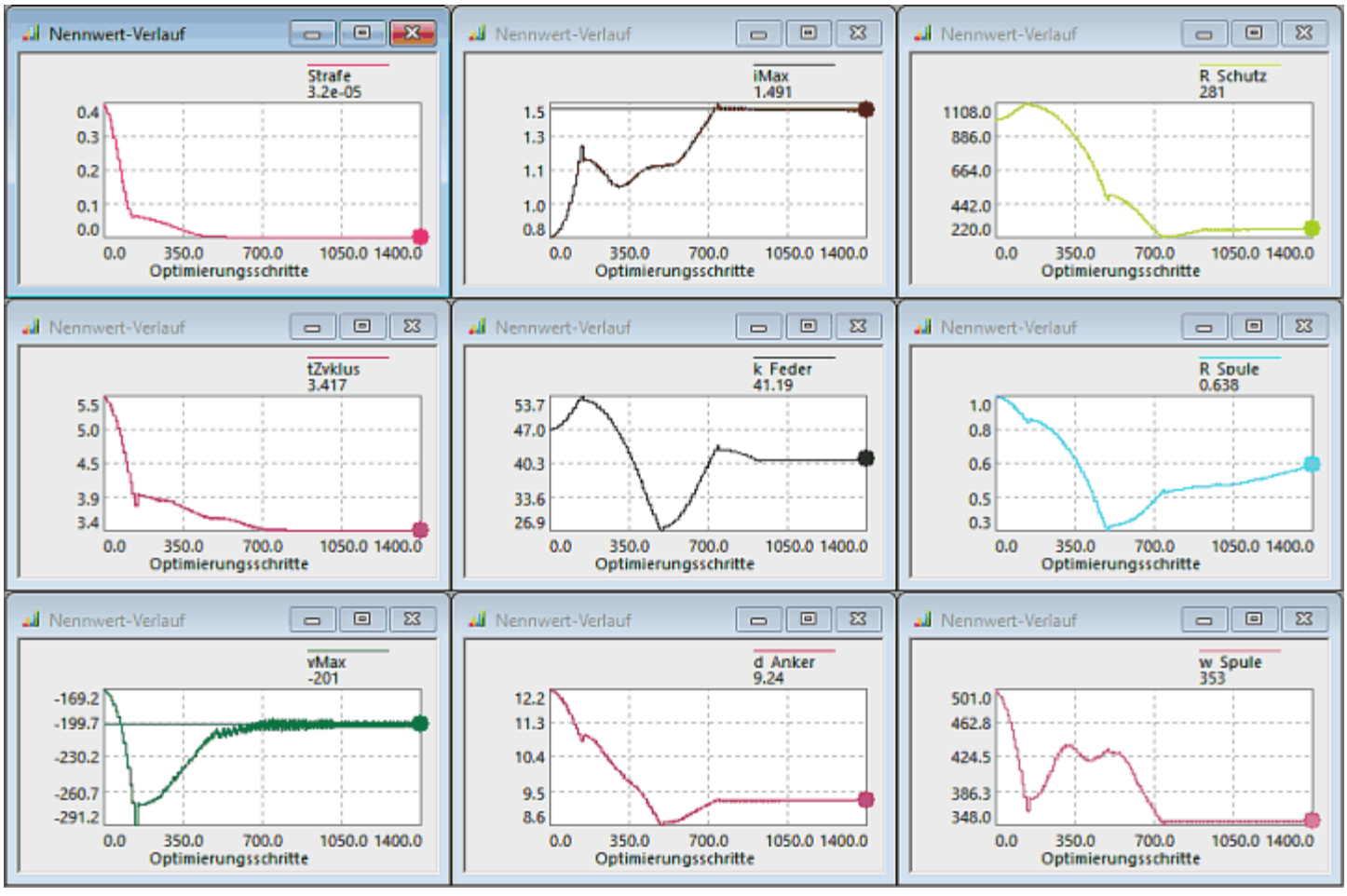
← →

Nennwert-Optimierung mit Wirbelstrom und Hysterese

Nach dem Öffnen des vorhandenen OptiY-Versuchsstandes **Etappe2b_xx.opy** gelangen wir mit den **bereits geübten Schritten** zum benötigten Versuchsstand **Etappe2c_xx.opy** für das Hysterese-Modell:

- Günstig für die Konvergenz des Hooke-Jeeves-Verfahrens zum Optimum ist eine Reduktion der **Startschrittweiten auf ca. 1/1000 der Start-Nennwerte**. Dies ist möglich, weil das Rauschen des Simulationsmodells infolge der Erhöhung der Rechengenauigkeit gering ist!
- Es kommt in seltenen Fällen zu "ewigem Rechnen" eines Simulationslaufes mit extrem kleinen Schrittweiten an kritischen Stellen. Wir können für solche Fälle durch *OptiY* einen Abbruch der Simulation veranlassen. Dazu setzen wir im *OptiY*-Workflow für das *SimulationX*-Modell in der Registerkarte "Allgemein" die "**Max. Prozesszeit = 1 s**".

Falls das Modell erst einmal stabil rechnet, ist die Nennwert-Optimierung kein großes Problem:



- Im obigen Beispiel wurde eineZykluszeit von **3,4 ms** angestrebt, aber nicht ganz erreicht.
- Man müsste die Optimierung mit einem leicht vergrößertem Zielwert für die Zykluszeit wiederholen. Für solche Iterationen sollte man den folgenden Hinweis berücksichtigen.

***Hinweis*:**

- Der Wert von **R_Spule** wird zwar "optimiert", der tatsächliche Einfluss auf das Antriebsverhalten geht aber gegen Null!
- Es ist günstig, **R_Spule als Konstante** mit einem Wert von **1 Ohm** zu berücksichtigen → der Bestwert wird dann ca. mit der Hälfte der Optimierungsschritte erreicht.

← →

Abgerufen von „http:///index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Aktordynamik_-_Hysterese-Nennwertoptimierung&oldid=27818“

Software: SimX - Nadelantrieb - Aktordynamik - Hysterese-Experimentauswertung

Aus OptiYummy

↑

← →

Experiment-Auswertung (Ergebnisse)

Mit dem erreichten Bestwert sollte man eine Simulation durchführen:

- Es muss kritisch überprüft werden, inwiefern das erreichte Optimum wirklich der Zielstellung entspricht.
- Wenn keine Fehler im Modell oder in der Experiment-Konfiguration existieren, müsste ein korrektes Modellverhalten entstehen!

Die Ergebnisse der optimalen Lösung sind unter Berücksichtigung der individuellen **Teilnehmernummer xx**= [01..99] mittels des Eisenteilungsfaktors **K_FeInnen=0.1xx** für **Strafe=0** zu ermitteln!

Forderungen:

- Betriebsspannung **24 V**
- Max. zulässiger Spulenstrom **1,5 A**
- Max. zulässige Induktionsspannung an der Spule **200 V**

Beachtung der Annahmen:

- Anfangsposition **Nadel.x0=0.2 mm**
- Wirbelstromwiderstand soll zu einem (verrundeten) Stromsprung von ca. **0.15 A** beim Einschalten führen.
- Es sind die im Modell *Hysterese-Parameter* vorgegebenen Parameter für die Eisen-Hysterese nach Jiles-Atherton zu benutzen.

Gesucht sind die optimalen Werte für:

- Windungszahl **w_Spule**,
- Spulenwiderstand **R_Spule**,
- Schutzbeschaltung-Widerstand **R_Schutz**,
- Ankerdurchmesser **d_Anker**,
- Rückholfeder-Federsteifigkeit **k_Feder**
- Vorspannweg der Rückholfeder **s0** (ergibt sich "automatisch" im *SimulationX*-Modell!)
- Erreichte Zykluszeit **tZyklus**

Hinweise für die Ergebnis-Aufbereitung:

1. Die Bestwerte sind vergleichend zu den vorherigen Bestwerten der Etappe2 in einer **Textdatei** einzutragen..
2. Das Simulationsmodell (Datei **Etappe2c_xx.isx**) ist mit den gefundenen Optimalwerten zu konfigurieren. Die Zeitverläufe wesentlicher Modellgrößen sind im Modell in anschaulicher Form in Signalfenstern darzustellen.
3. Das *OptiY*-Projekt (Datei **Etappe2c_xx.opy**) muss aussagekräftige Nennwert-Verläufe zum Optimierungsverlauf enthalten. Diese müssen ohne erneute Experiment-Durchführung betrachtbar sein.
4. Es ist zu überprüfen, dass die Dateien **Etappe2c_xx.isx** und **Etappe2c_xx.opy** portabel sind (lauffähig auf einem anderen PC in einem beliebigen Ordner).
5. **Achtung:** Alle Dateien sind am Ende der Etappe gemeinsam mit den Abschnitten (A) und (B) in ein Archiv (**Etappe2_xx.zip**) zu packen.

Damit haben wir den letzten Abschnitt (C) der Etappe2 beendet