

# Software: SimX - Nadelantrieb - Struktur-Optimierung

Aus OptiYummy

↑

← →

## 5. Etappe im Übungskomplex "Nadelantrieb" Struktur-Optimierung (Stabilität) Autor: Dr.-Ing. Alfred Kamusella

*Es steckt oft mehr Geist und Scharfsinn  
in einem Irrtum als in einer Entdeckung.  
- Joseph Joubert -*

### Gliederung:

- **Grundlagen (Struktur-Optimierung)**
- **Schwachstellen-Analyse (Optimierungsziele)**
- **Ablauf eines Optimierungsschrittes:**
  1. Struktur-Modifikation (Modell)
  2. Nennwert-Optimierung
  3. Probabilistische Simulation
  4. Bewertung der Struktur-Modifikation

### 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 und Antworten auf die gestellten Fragen.
  - **Etappe5\_xx.isx** und Sicherungskopie **Etappe5\_xx\_Nennwert.isx**
  - **Etappe5\_xx\_Nennwert.opy**
  - **Etappe5\_xx\_Sample.opy** und **Etappe5\_xx\_Moment.opy**
- Die Experimente sind so zu konfigurieren, dass die Inhalte aller Ergebnis-Fenster ohne erneute Modellberechnung bewertbar sind.

### Einsendeschluss:

- Die Nacht vor der nächsten Übungsetappe. Die Nacht endet morgens um 10:00 Uhr.

← →

Abgerufen von „[http://index.php?title=Software:\\_SimX\\_-\\_Nadelantrieb\\_-\\_Struktur-Optimierung&oldid=28477](http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Struktur-Optimierung&oldid=28477)“

# Software: SimX - Nadelantrieb - Struktur-Optimierung - Grundlagen

Aus OptiYummy

↑

← →

## Grundlagen (Struktur-Optimierung)

Struktur-Optimierung wird im Folgenden unter dem Aspekt der ganzheitlichen Optimierung eines Gerätes (bzw. einer gerätetechnischen Baugruppe) betrachtet:

- Die Struktur eines Gerätes ergibt sich aus der wechselwirkenden Verbindung seiner Komponenten.
- Bisher haben wir mittels Parameter-Optimierung versucht, für eine vorhandene Struktur im Sinne der Bewertungskriterien optimale Lösungen zu finden. Die Struktur des Gerätes wurde dabei nicht verändert.

Es existiert ein qualitativer Unterschied zwischen den Optimierungstypen:

- **Parameter-Optimierung** befasst sich in diesem Sinne nur mit der *Dimensionierung* der zum Gerät verbundenen Komponenten. Das wird in der Literatur nicht einheitlich betrachtet. In der unten angegebenen Literatur-Empfehlung wird z.B. die *Dimensionierung* als ein Typ der Struktur-Optimierung behandelt.
- **Struktur-Optimierung** im Sinne einer ganzheitlichen Geräte-Optimierung bezieht sich auf die zielgerichtete Veränderung der Geräte-Struktur durch Änderung von Komponenten und ihrer wechselwirkenden Verbindungen. Veranschaulicht am Beispiel einer elektronischen Schaltung werden dabei Bauelemente oder Verbindungen entfernt bzw. hinzugefügt.

Industriell nutzbare Software-Pakete zur Struktur-Optimierung beschränken sich auf **Topologie-Optimierung** unter Nutzung von Finite Element Modellen:

- Damit kann man die räumlich-stoffliche Struktur einzelner Geräte-Komponenten (Bauteile) optimieren.
- Dies ist meist beschränkt auf die Berücksichtigung einer physikalischen Domäne (Strukturmechanik bzw. diverse Potential- und Strömungsprobleme).
- Das "Erfinden" einer neuen Geräte-Struktur durch freie Kombination und Verbindung unterschiedlichster Komponenten ist mit heutiger Software praktisch nicht möglich!

Favorisierte Lösungsvarianten für ein Gerät werden trotz optimaler Dimensionierung aller Komponenten noch Schwächen aufweisen. In der Praxis wird man versuchen, durch möglichst geringe Änderungen der Funktions- oder auch der Wirkstruktur diese Schwachstellen zu beseitigen:

- Der Austausch bzw. die Ergänzung einzelner Gerätekomponenten erfordert die Modifikation der vorhandenen Simulationsmodelle. Der Prozess der Modellbildung einschließlich der Modellvalidierung muss für jede Strukturänderung erneut durchlaufen werden!
- Jede Änderung einzelner Komponenten erfordert infolge der starken Wechselwirkung zwischen den Gerätekomponenten eine erneute ganzheitliche parametrische Optimierung des Gerätes.
- Die Analyse und Bewertung in Hinblick auf vorhandene Schwachstellen muss für die veränderten optimalen Lösungen erneut vorgenommen werden.
- Die Optimierung struktureller Details einer Lösungsvariante gestaltet sich zu einem iterativen Prozess. Infolge des hohen Anteils kreativer Ingenieur Tätigkeit ist dieser Prozess der Struktur-Optimierung noch nicht vollständig automatisierbar!

Im Rahmen dieser Übung werden wir einen derartigen Prozess der gerätetechnischen Struktur-Optimierung gestalten. Damit werden wir die mittels Probabilistischer Simulation aufgedeckten Schwachstellen unseres Magnet-Antriebs beseitigen.

**Literatur-Empfehlung: Harzheim, Lothar: Strukturoptimierung - Grundlagen und Anwendungen**

# Software: SimX - Nadelantrieb - Struktur-Optimierung - Schwachstellen-Analyse

Aus OptiYummy

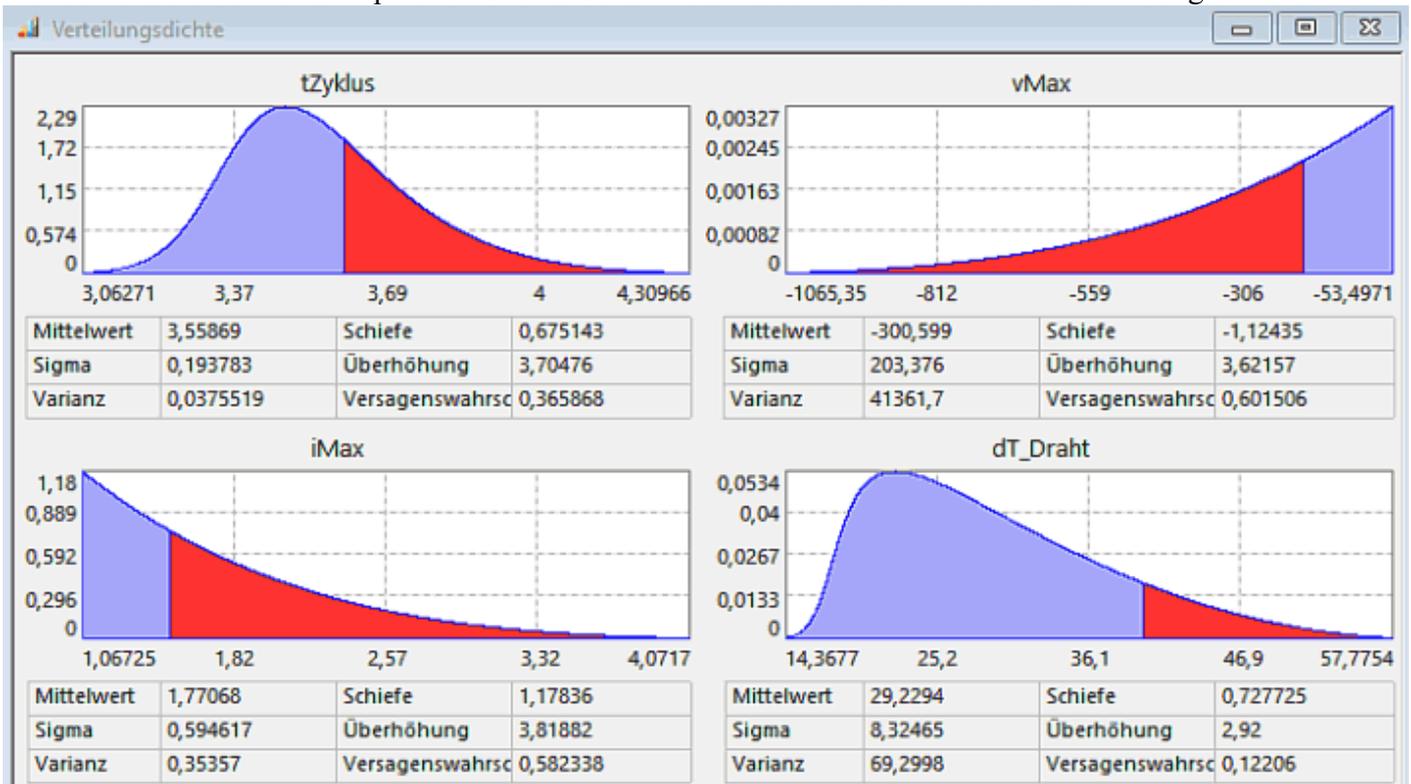
↑

← →

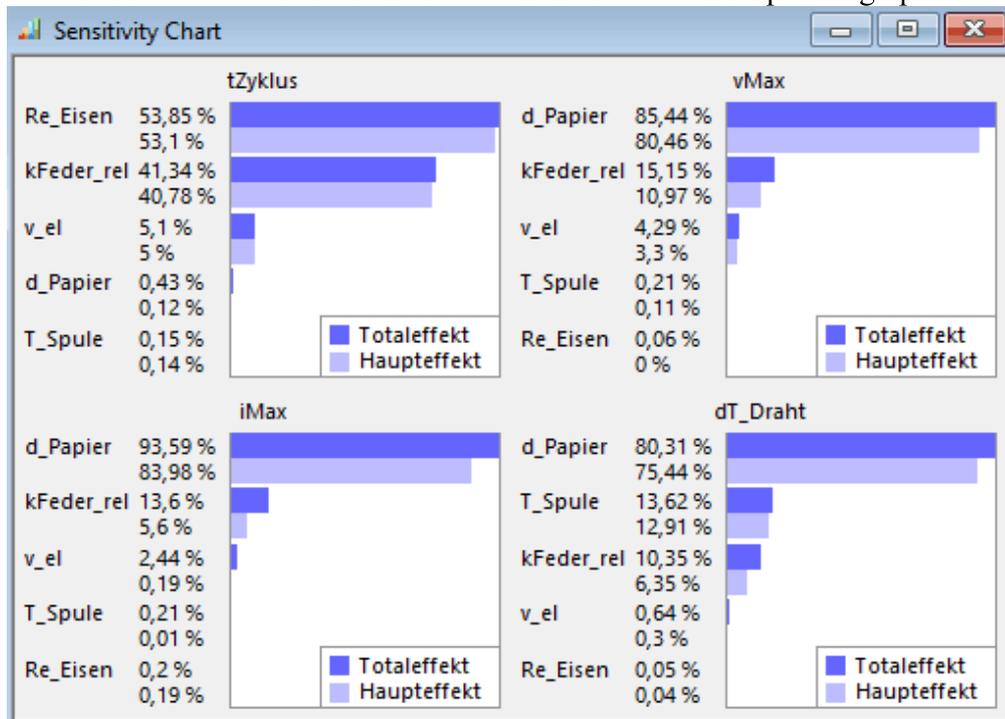
## Schwachstellen-Analyse (Optimierungsziele)

Die Nennwert-Optimierung führte zu einer idealen Lösung, welche alle Forderungen erfüllte:

- Erst durch die anschließende probabilistische Simulation wurden die Schwächen dieser Lösung sichtbar:

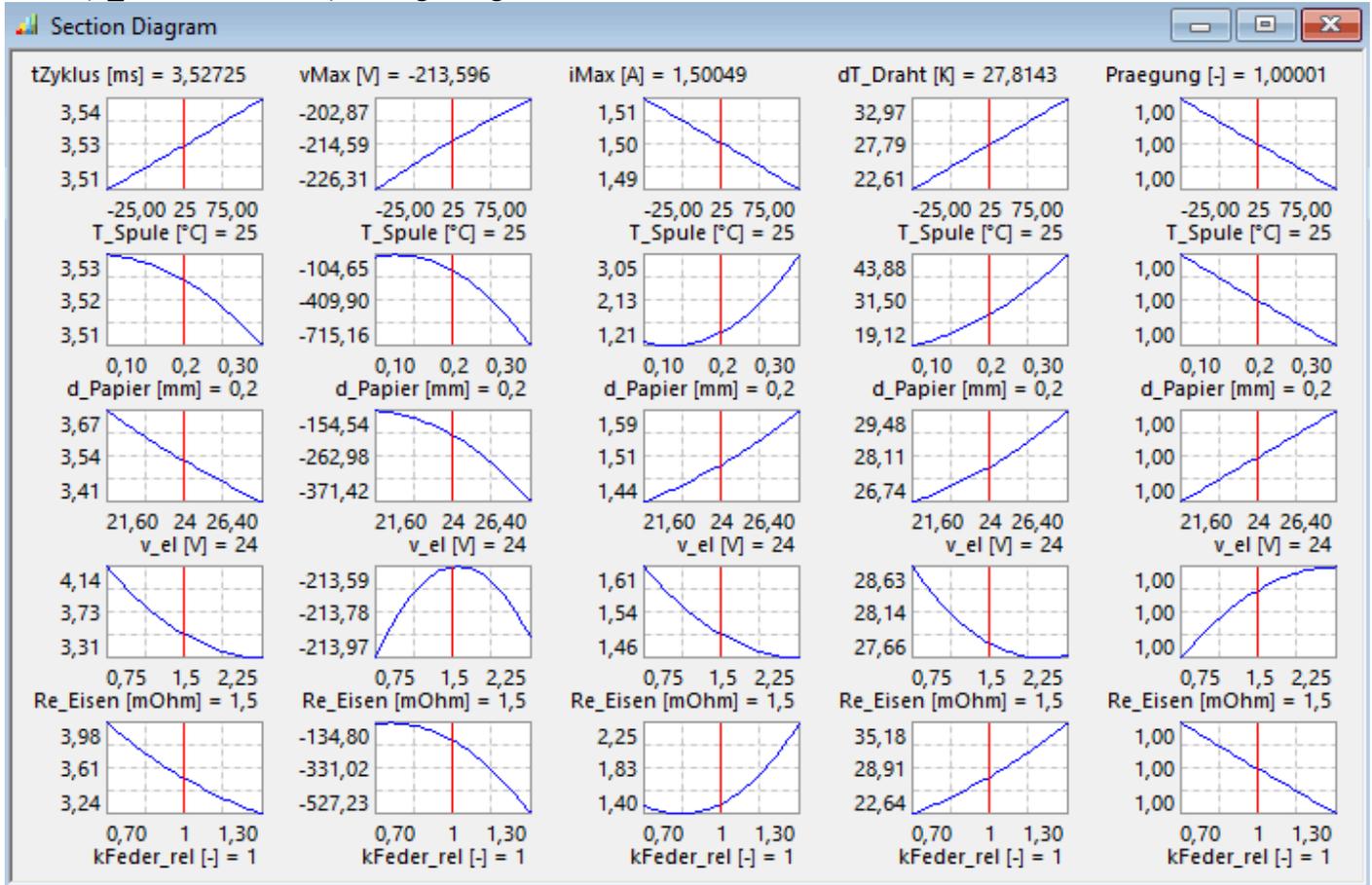


- Infolge der Verhaltensstreuung arbeitet der Antrieb in über 50% der Fälle außerhalb der Spezifikation. Kritisch sind die selten auftretenden Maximalströme von ca. 4 A und vor allem die Spannungsspitzen von ca. 1 kV.



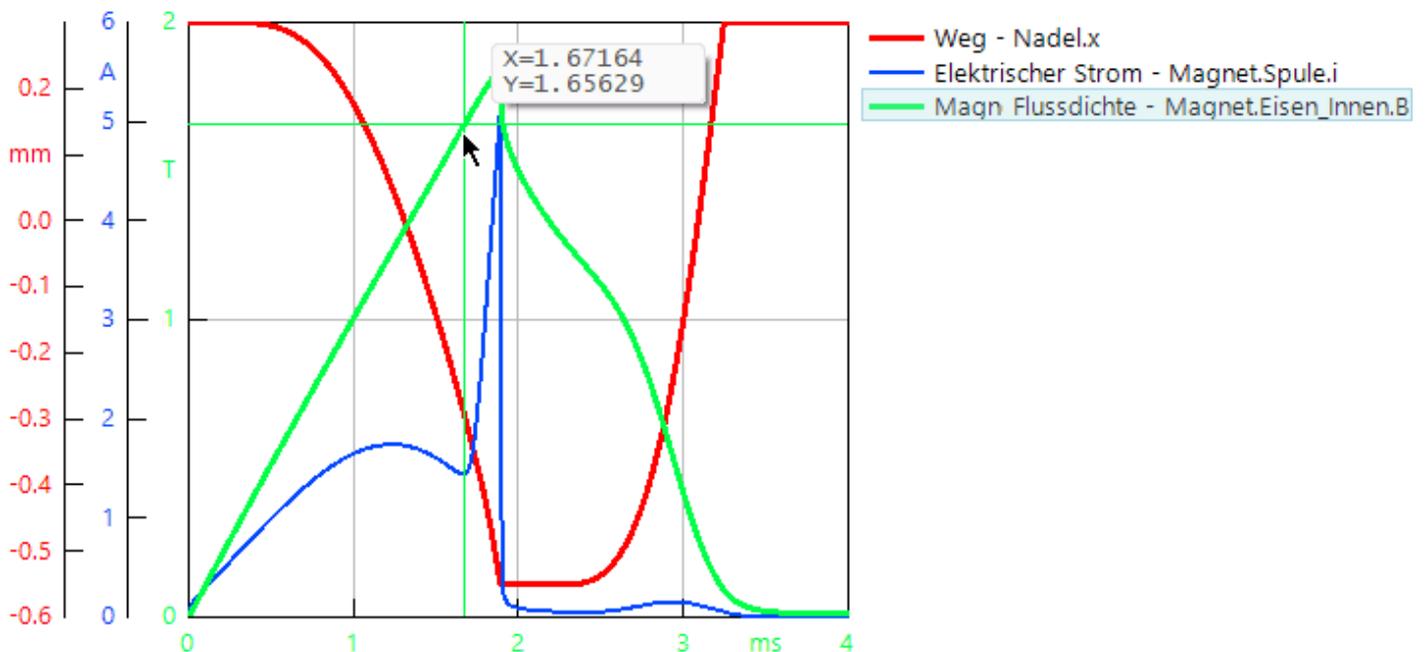
Das Optimierungsziel einer Struktur-Optimierung sollte darin bestehen, eine sichere Begrenzung von Maximalstrom und -spannung unter allen Umständen zu gewährleisten. Auch hier helfen uns die Ergebnisse der probabilistischen Simulation, einen Ansatz für eine Strukturänderung in unserem Magnetantrieb zu finden:

- Den größten Effekt (= größte Auswirkung) auf Maximalstrom und -spannung besitzt die Streuung der Papierdicke.
- Die Schnittdiagramme zeigen, dass insbesondere dickeres Papier (**d\_Papier** → **0,3 mm**) und eine steifere Feder (**k\_Feder** → **130 %**) zu ungünstigeren elektrischen Maximalwerten führt:



In der DOE-Tabelle der Moment-Methode findet man die ungünstigste Kombination sehr schnell, wenn man die Tabelle nach der Abschaltspannung **vMax** sortiert:

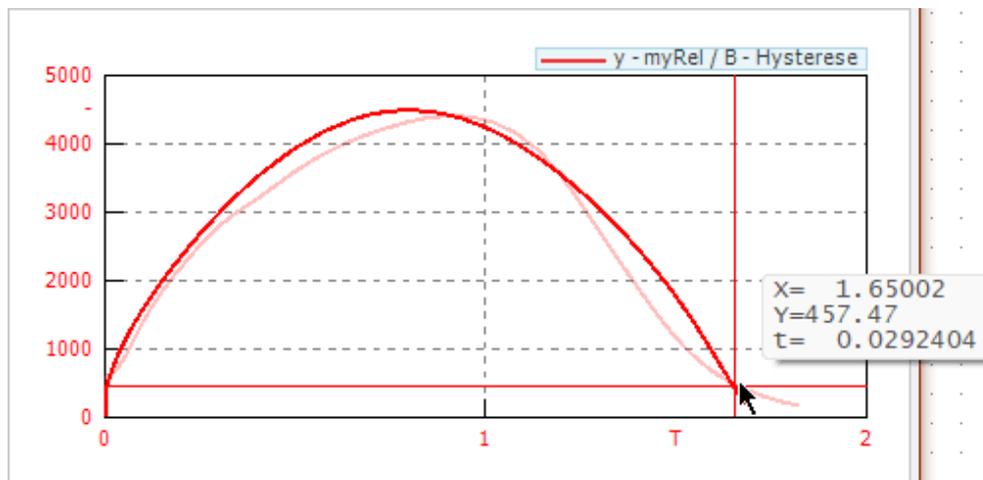
- Die Simulation dieser konkreten Parameter-Kombination zeigt nach dem Stromabfall infolge der Bewegungsinduktion einen steilen Stromanstieg (blaue Kurve) kurz vor dem Abschalten:



- Ursache für den steilen Stromanstieg ist das Erreichen der Sättigungsflussdichte im Magnetanker. Damit sinkt die relative Permeabilität schnell unter ihren Anfangswert, die Induktivität der Spule wird immer kleiner, was wiederum den Stromanstieg beschleunigt → dieser Prozess schaukelt sich schnell auf und führt zur messbaren Stromspitze:
  - Im Extremfall des Verklemmens der Präge-Nadel z.B. infolge eines "Fremdkörpers" im Papier, der das Prägen verhindert, würde der Maximalstrom nur durch den ohmschen Widerstand der Spule begrenzt.
  - In diesem Extremfall führt das Abschalten der Spule zu einer Abschaltspannung von mehreren kV, da dann dieser hohe Strom durch den Schutzwiderstand fließt!
- Zur Quantifizierung der magnetischen Flussdichte an diesem Kipp-Punkt wurde im obigen Diagramm die magnetische Flussdichte des inneren Eisenelementes eingeblendet und mit dem Mess-Cursor der Zeitpunkt des Stromanstiegs angesteuert.
- Die magnetische Flussdichte besitzt zu diesem Zeitpunkt einen Wert von **ca. 1,65 T**.

In der Etappe 2 benutzen wir das Modell **Hysterese\_Parameter.isx** für die Einstellung der Hysterese-Parameter an den Eisen-Elementen:

- An dem dort konfigurierten Diagramm der **myrel(B)**-Kennlinie kann man mittels Mess-Cursor überprüfen, ob der Wert von **B=1,65 T** eine "tiefere" Bedeutung besitzt:



- Und tatsächlich markiert dieser Flussdichte-Wert ungefähr den Punkt, an welchem die Anfangspermeabilität des Eisenmaterials unterschritten wird!

### Beachte:

- In unserem konkreten Modell beginnt hier der Bereich, wo die Permeabilität viel schneller sinkt, als in der Realität → das berechnete Verhalten des Magnetantriebes wird also tendenziell ungenauer! Aufgrund der beschränkten Modellgenauigkeit sollte man diesen Bereich der Sättigung bei der Optimierung unbedingt vermeiden. So ist z.B. der im Modell zu beobachtende steile Stromanstieg nach Überschreiten von **B=1,65 T** in der Realität nicht in dieser extremen Form vorhanden!
- Der reale Betrieb eines Magnetantriebes in Bereichen der Sättigung ist kein "verbotener Zustand". Allerdings erhält man in der Sättigung im Verhältnis zum Stromanstieg weniger Kraft, es sinkt also der Wirkungsgrad.
- Für uns ergibt sich die Schlussfolgerung, dass der Magnetantrieb zur Erreichung eines hohen Wirkungsgrades im Normalfall nicht den Zustand der Sättigung erreichen sollte. Im Spezialfall ist es dann aber nicht schlimm, wenn dadurch die Prägung des Papiers unter ungünstigen Umständen noch stattfinden kann.

### Fazit:

- Die voreilige Fixierung auf die klassische Schutzbeschaltung der Magnetspule mit einem Parallelwiderstand führte trotz "erfolgreicher" Nennwert-Optimierung in eine Sackgasse.
- Diese auf den ersten Blick kostengünstige Lösung führt in unserem Magnetantrieb unter realen Betriebsbedingungen mit großer Wahrscheinlichkeit infolge Spannungsdurchschlag der Magnetspule zum Totalschaden!
- Eine "Rettung" dieser Lösung bestünde in einer schaltungstechnischen Strombegrenzung auf **iMax** und eine entsprechende Dimensionierung des Schutzwiderstands **R\_Schutz=vMax/iMax** zur sicheren Vermeidung unzulässiger Spannungen:
  - Da der Abschaltstrom bei der optimierten Lösung meist unterhalb des zulässigen Maximalstroms liegt, verschenkt man Zeit beim Abfallvorgang, weil die maximal mögliche Abschaltspannung nicht

ausgenutzt wird.

2. Um eine möglichst kleine Zykluszeit zu erreichen, sollte man den maximal zulässigen Strom höher wählen, als die bisherigen **1,5 A**. Damit steigt jedoch auch die Gefahr, dass der Magnetkreis in die Sättigung gelangt.

- Nach Möglichkeit sollte der einfache "Schutzwiderstand" zum Schutz gegen Überspannung durch eine robustere Lösung ersetzt werden, auch wenn diese etwas teurer in der Realisierung wird.

### **Ziele der Struktur-Optimierung:**

1. Sichere Begrenzung der Spulenspannung auf den zulässigen Wert.
2. Sichere Begrenzung des Spulenstroms auf einen realisierbaren Wert.
3. Vermeidung von magnetischer Sättigung im Eisenkreis.
4. Trotzdem Erreichen eines möglichst kurzen Prägezyklusses.

← →

Abgerufen von „[http://index.php?title=Software:\\_SimX\\_-\\_Nadelantrieb\\_-\\_Struktur-Optimierung\\_-\\_Schwachstellen-Analyse&oldid=28501](http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Struktur-Optimierung_-_Schwachstellen-Analyse&oldid=28501)“

---

# Software: SimX - Nadelantrieb - Struktur-Optimierung - Struktur-Modifikation

Aus OptiYummy

↑

← →

Struktur-Modifikation (Modell)

□

## Vorbereitung des SimulationX-Modells

Das für die aktuelle Etappe benötigte Simulationsmodell **Etappe5\_xx.isx** (mit **xx**=Teilnehmer 00..99) erzeugen wir als Kopie aus der Modell-Datei der vorherigen Etappe:

- Dieses *SimulationX*-Modell muss mit den Parametern des in der **Etappe3** erreichten Nennwert-Optimums konfiguriert sein.
- Es enthält die erforderlichen Ergänzungen für die Durchführung der probabilistischen Simulation.

### Wichtig:

- Die Nennwert-Optimierung in **Etappe3** erfolgte mit einer angenommenen Spulen-Temperatur **T\_Spule=90°C**.
- Im Rahmen der Toleranz-Analyse wurde der obere Grenzwert für den zulässigen Temperaturbereich auf **70°C** präzisiert.
- Um dies zu berücksichtigen, muss für die erneute Nennwert-Optimierung **CAD.T\_Spule=70°C** gesetzt werden!

Wir haben uns noch nicht auf eine konkrete neue Schutzbeschaltung als Ersatz für den Schutzwiderstand festgelegt. Jedoch ist die Dimensionierung einer elektrischen Schutzbeschaltung für die Magnet-Spule immer abhängig von den zulässigen elektrischen Grenzwerten. Deshalb erweitern wir die Liste der CAD-Parameter um die elektrische Grenzwerte der Spule im "CAD\_Data-Compound":

```
i_Grenz_Spule = 1.5 A      [Max. Spulenstrom  ]  
v_Grenz_Spule = 200 V     [Max. Spulenspannung ]
```

- Diese CAD-Parameter ermöglichen eine nachträgliche Anpassung bzw. Präzisierung der elektrischen Grenzwerte an zentraler Stelle.
- Die Einspeisung dieser Grenzwerte in die zugehörigen Schaltelemente gewährleistet eine automatische Anpassung an die aktuellen Vorgaben.
- **Hinweis:** Der Wert **i\_Grenz=1.5 A** entspricht der aktuellen Forderung aus Sicht des verfügbaren Netzteils. Dieser Wert muss im Verlaufe der Struktur-Optimierung an die funktionellen "Bedürfnisse" des E-Magneten angepasst werden!

## Modifikation der Ansteuerschaltung im Controller-Compound

Die elektrischen Spulen-Grenzwerte werden für die Dimensionierung der Schaltungselemente benötigt. Dafür sind im Controller-Compound die beiden zusätzlichen Parameter-Komponenten zu ergänzen:

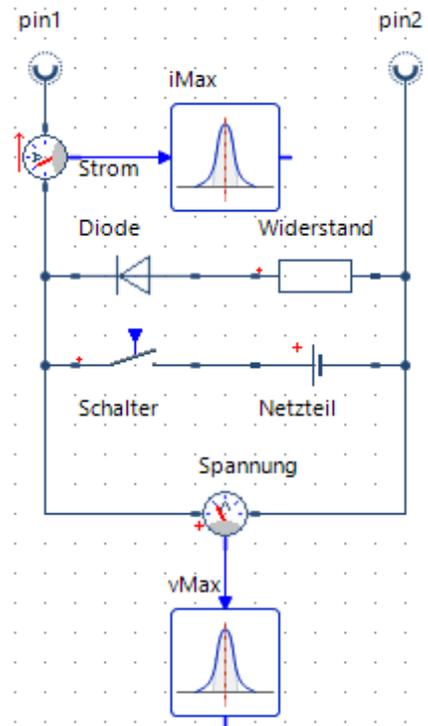
```
i_Grenz = CAD.i_Grenz_Spule  [Max. Spulenstrom  ]  
v_Grenz = CAD.v_Grenz_Spule  [Max. Spulenspannung ]
```

**Beachte:**

- Innerhalb des Type-Designers sollte nicht Bezug auf übergeordnete Bezeichner des konkreten Modells genommen werden!
- Deshalb sollten bei der Definition der neuen Parameter im Controller-Compound unsere vorläufigen Werte als Standardwerte benutzt werden.
- Die Zuweisung der CAD-Werte erfolgt dann erst über die Parameter des aktualisierten Elektronik-Teilmodells.

Die Änderung der Schutzbeschaltung für die Magnet-Spule muss in der Strukturansicht des Controller-Compound erfolgen:

- Bisher wurde darin nur eine Spannungsreduktion mittels des zu einer Freilauf-Diode in Reihe geschalteten ohmschen Widerstands vorgenommen:

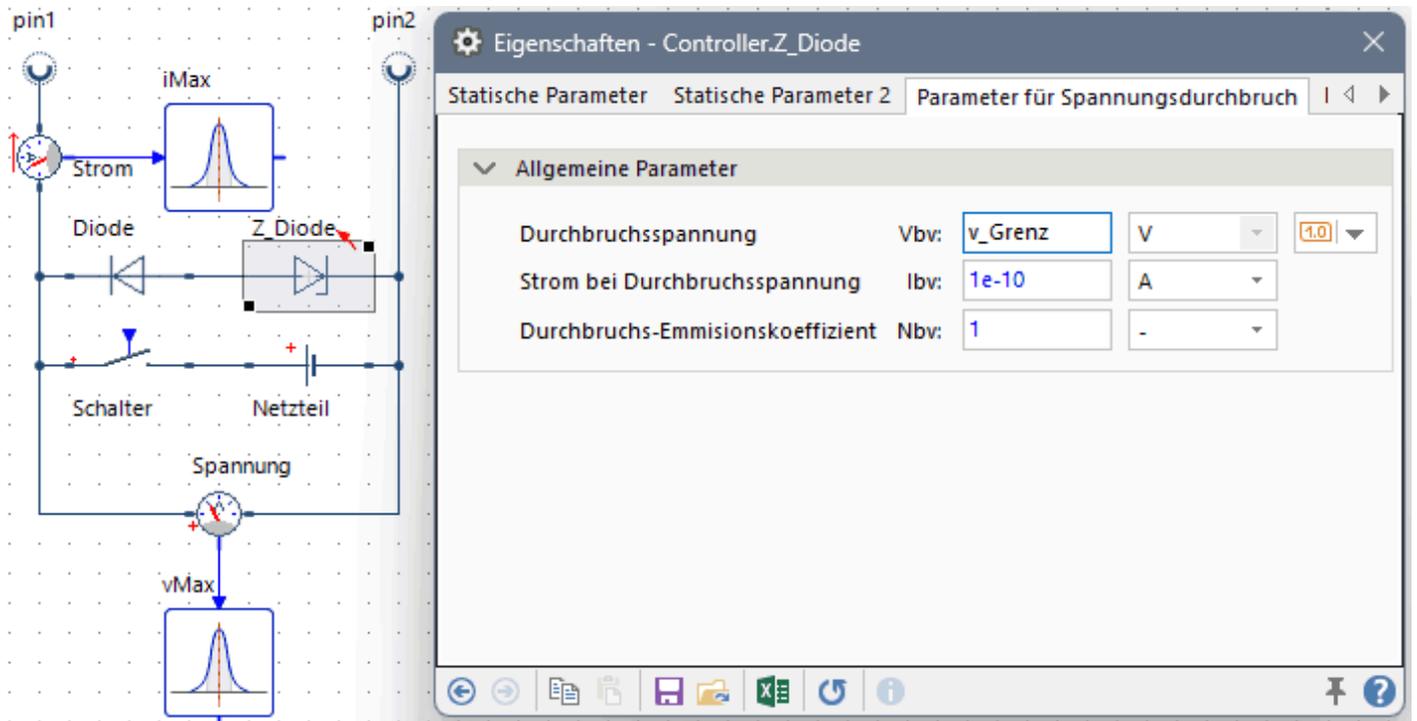


## Spannungsbegrenzung mit Z-Diode

Der bisherige konstante ohmsche Widerstand kann einfach durch eine sogenannte **Z-Diode** ersetzt werden. Damit wird der Spannungsabfall über die Spule automatisch bei jedem Abschaltstrom auf die vorgegebene Grenzspannung begrenzt:

- In Durchlassrichtung verhalten sich Z-Dioden wie normale Dioden. In Sperrichtung sind Z-Dioden bei geringen Spannungen sperrend, genauso wie normale Dioden. Ab einer gewissen Sperrspannung, der so genannten Durchbruchspannung, steigt der Strom innerhalb weniger hundert Millivolt um viele Größenordnungen an.
- Z-Dioden sind zwar für Durchbruchspannungen für bis zu **300 V** verfügbar, können aber dabei aber nicht den im Beispiel erforderlichen Strom von mehreren Ampere aufnehmen!
- Es gibt aber die Möglichkeit, durch eine einfache Zusatzschaltung funktionell eine Z-Diode beliebig hoher Leistung zu erzeugen (Siehe: **Die Power-Zenerdiode aus Z-Diode und Transistor**).

Vereinfacht verwenden wir nur das Modell-Element der **Z-Diode** (aus *Bibliotheken > Elektronik > Analog > Halbleiter*) mit seinen Standard-Parametern:



- Als Durchbruchspannung  $V_{bv}$  der **Z-Diode** weisen wir den  $v\_Grenz$ -Wert des Controller-Compound-Parameter zu.
- $R\_Schutz$  als Parameter wird im Controller-Compound nicht mehr benötigt -> mit dem *SimulationX*-TypeDesigner in den Compound-Komponenten löschen.
- Mit  $v\_Grenz=200\text{ V}$  dürfte sich am Verhalten des Magnet-Antriebs nichts merklich ändern, da der Kraftabbau hierbei nur sehr wenig beeinflusst wird.
- Die gemessene Maximalspannung  $v\_Max = -201,4\text{ V}$  resultiert:
  1. aus die Durchlass-Spannung von **ca. 0,8 V** der in Reihe geschalteten Freilaufdiode und
  2. aus der um **ca. 0,6 V** über der Durchbruchspannung sich einstellenden Z-Diodenspannung.
- Diese systematische Überschreitung der Grenzs-spannung von **ca. 1,4 V** kann man akzeptieren (insbesondere da bei den Kennwerten der Spule Sicherheitsfaktoren berücksichtigt sind!).
- Als Wert für die Spannungsbegrenzung ist der entsprechende CAD-Parameter zuzuweisen:

Elektronik.v\_Grenz = CAD.v\_Grenz\_Spule [Max. Spulenspannung ]

## Strombegrenzung

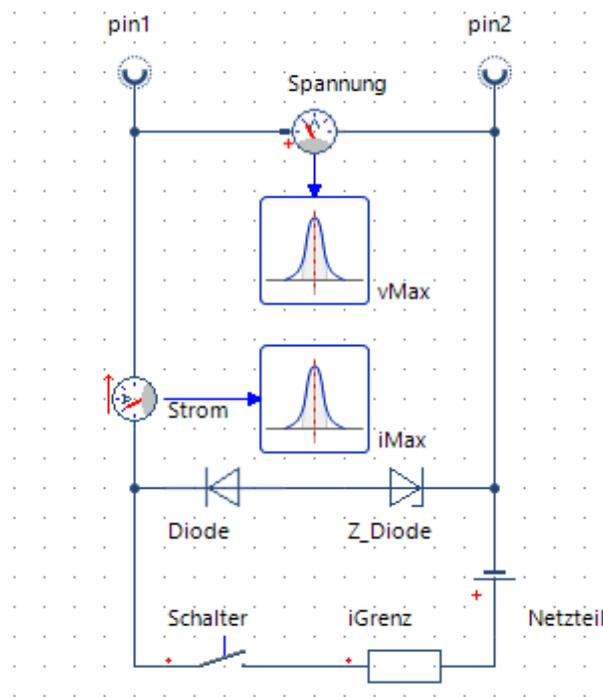
Bisher sollte durch die Dimensionierung des Magnet-Antriebs gewährleistet werden, dass der resultierende maximale Spulenstrom die verwendete Stromversorgung nicht überlastet. Dieses Konzept ist gescheitert:

- Unter ungünstigen Umständen gelangen jedoch Teile des magnetischen Eisenkreises während des Prägevorgangs in den Bereich der Sättigung. Dies führt zu hohen Stromspitzen im Bereich von bis zu **ca. 5 A**.
- Im schlimmsten Fall des "Nichtprägens" des Papiers wird der Maximalstrom nur durch den ohmschen Widerstand des Spulendrahtes begrenzt und kommt somit fast auf **20 A**.

Eine reversible Strombegrenzung ist für das Netzteil unbedingt erforderlich, wenn man das Netzteil nicht überdimensionieren möchte:

- Durch diese Strombegrenzung sollte jedoch der benötigte Maximalstrom für einen "bestmöglichen" Magnetantrieb nicht unnötig eingeschränkt werden.
- Die Strombegrenzung sollte nur für die Stromspitzen nach Erreichen der Magnetkreis-Sättigung wirken, um Auswirkungen auf die erreichbare Prägegeschwindigkeit zu vermeiden.

Wir greifen die naheliegende Idee auf und versehen das Netzteil mit einem zusätzlichen Strombegrenzungselement  $iGrenz$ :



- Leider enthält die Modell-Bibliothek keinen Strombegrenzer als Elementtyp, so dass wir selbst ein solches Element entwickeln müssen.
- Wir benutzen dafür direkt einen normalen elektrischen Widerstand, dessen Widerstandswert **R** sich in Abhängigkeit vom durchfließenden Strom ändern soll:

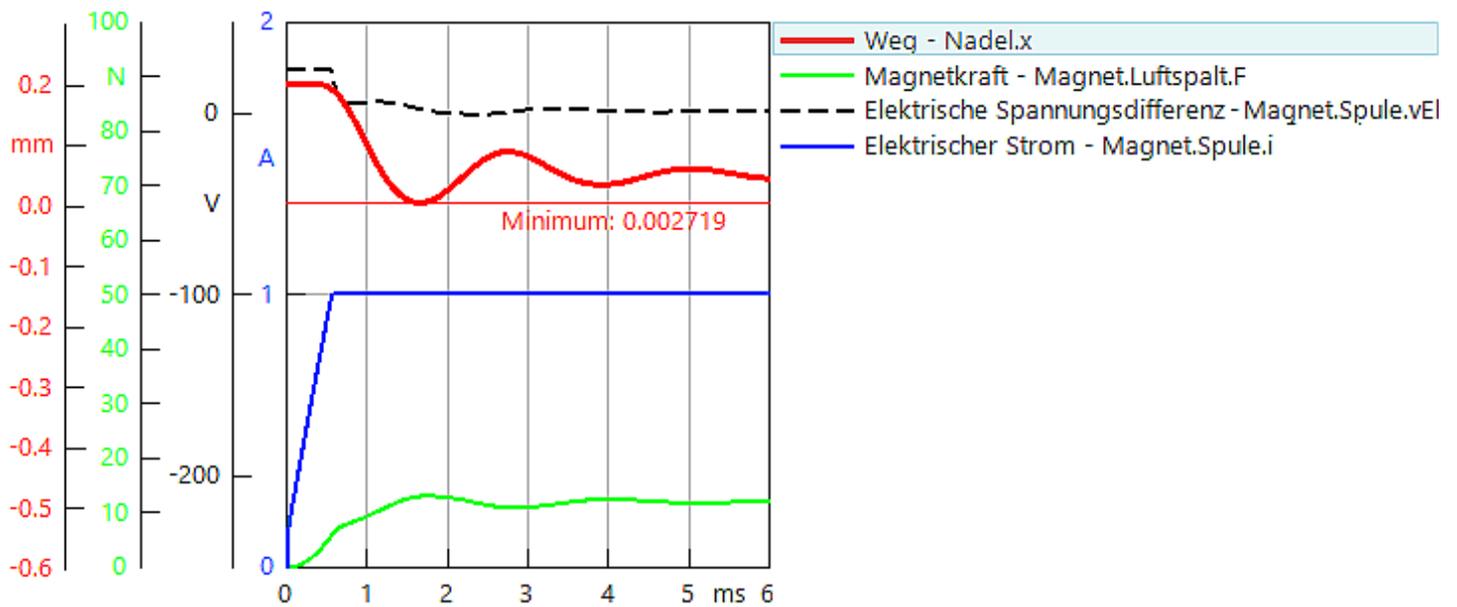
$$R = |i / i_{\text{Grenz}}|^{512}$$

- Der Wert für den Maximalstrom **i<sub>Grenz</sub>** wurde im Controller-Compound als zusätzlicher Komponenten-Parameter definiert.
  1. Für  $i < i_{\text{Grenz}}$  geht der Widerstandswert gegen Null.
  2. Für  $i > i_{\text{Grenz}}$  nimmt der Widerstandswert große Werte an, um den Strom zu begrenzen.
- Der **Exponent=512** hat sich als numerisch günstiger Kompromiss zwischen numerischer Stabilität und Begrenzungsfunktion erwiesen.
- Insbesondere der 2. Fall führt infolge der Exponentialfunktion im Zusammenspiel mit den Eigenarten der numerischen Simulation schnell zu numerischen Problemen. Deshalb erfolgt für den Widerstandsparameter **iGrenz.R** eine Begrenzung der Exponentialfunktion unter Berücksichtigung der Ereignisbehandlung (noEvent-Funktion):

```
if noEvent(abs(self.i/i_Grenz)<1.1)then pow(abs(self.i/i_Grenz), 512)else pow(1.1,512)
```

Die Simulation mit einem Grenzwert von **1.5 A** dürfte das Verhalten des Antriebs nicht ändern, da der Maximalwert der zuvor optimierten Lösung unter **1.5 A** bleibt:

- Zur Verifizierung der Strombegrenzung muss man temporär einen geringeren Wert wählen (z.B. **Elektronik.iGrenz=1.0 A**) -> infolge des begrenzten Stroms findet dann auch kein Prägen des Papiers statt:



- Als Wert für die Strombegrenzung ist der entsprechende CAD-Parameter zuzuweisen:

```
Elektronik.i_Grenz = CAD.i_Grenz_Spule [Max. Spulenstrom ]
```

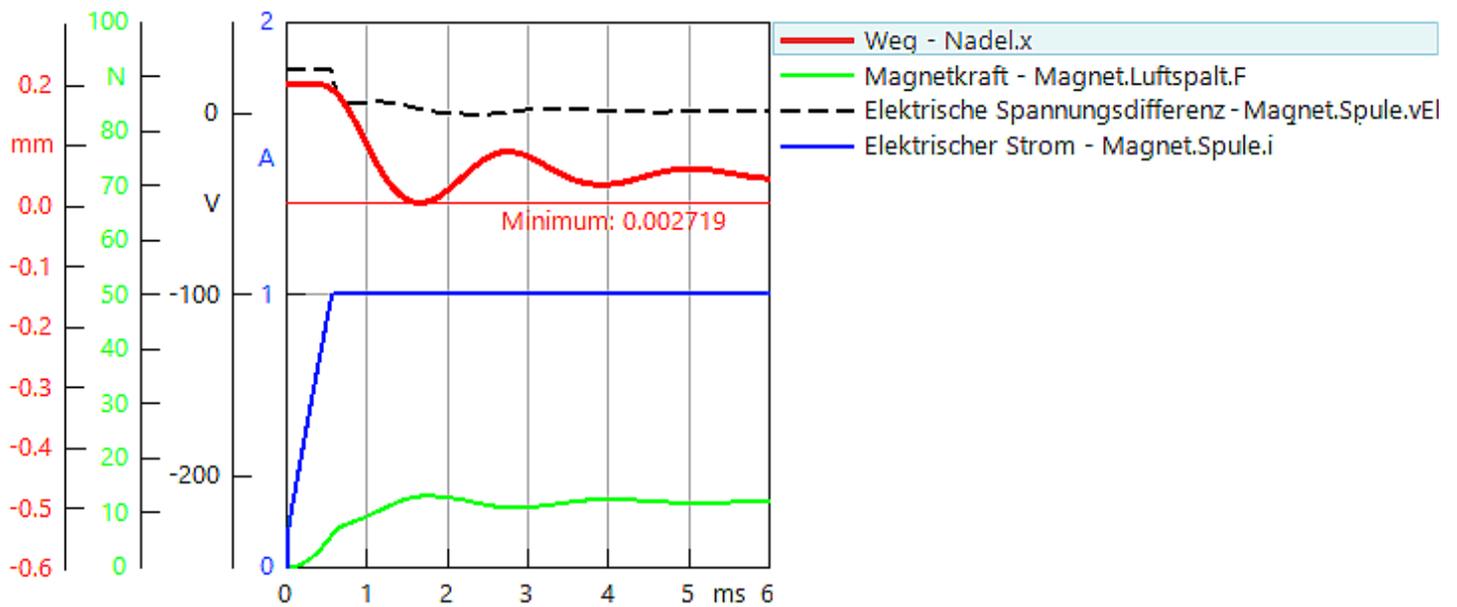
## Realisierung der erforderlichen numerischen Robustheit

Bisher gab es bei der Simulation sporadisch Warnungen in Hinblick auf die Ereignisbehandlung beim Abschaltvorgang. Diese Warnungen treten nur beim Vorhandensein der Freilauf-Diode auf. Als Ursache wird das Zusammenspiel der starken Nichtlinearitäten von Dioden-Kennlinie und Magnet-Hysterese vermutet:

- Da trotz dieser Warnungen jede Simulation erfolgreich zu Ende geführt wird, mussten wir uns um diesen "Schönheitsfehler" bisher nicht weiter kümmern.
- Nach Ersatz des Schutzwiderstands durch die Z-Diode kommt es immer noch zu diesen Warnungen:
  - Leider merkt man erst später bei den vielen Simulationsläufen der Optimierung, dass nun zusätzlich vereinzelt an dieser Stelle Fehler auftreten. Diese führen zur abnormalen Beendigung des betroffenen Simulationslaufes ohne verwertbare Ergebnisse.
  - Ein Nennwert-Optimierung würde solche vereinzelt fehlerhaften Läufe ignorieren und trotzdem ein Optimum finden.
  - Probleme gibt es dann jedoch spätestens bei der probabilistischen Simulation mit einer Moment-Methode. Dort muss jede Stützstelle erfolgreich berechnet werden!

Im Rahmen der Übung soll bereits an dieser Stelle dieses Problem der mangelnden numerischen Robustheit möglichst endgültig gelöst werden:

- Die Freilaufdiode ist funktionell in Reihe zur Z-Diode erforderlich und kann nicht einfach durch einen "Draht" ersetzt werden.
- Durch "Zufall" wurde bei der Entwicklung dieser Übungsanleitung bemerkt, dass es keine Warnungen und Fehler mehr gibt, wenn man die Diode durch eine Z-Diode mit hinreichend großer Durchbruchspannung ersetzt.
- Nach Löschen des Dioden-Elements platziert man an diese Stelle mit der richtigen Orientierung das Element einer Z-Diode. Diese konfiguriert man exakt wie die eigentliche Z-Diode mit der Durchbruchspannung  $V_{bv}=v\_Grenz$ :



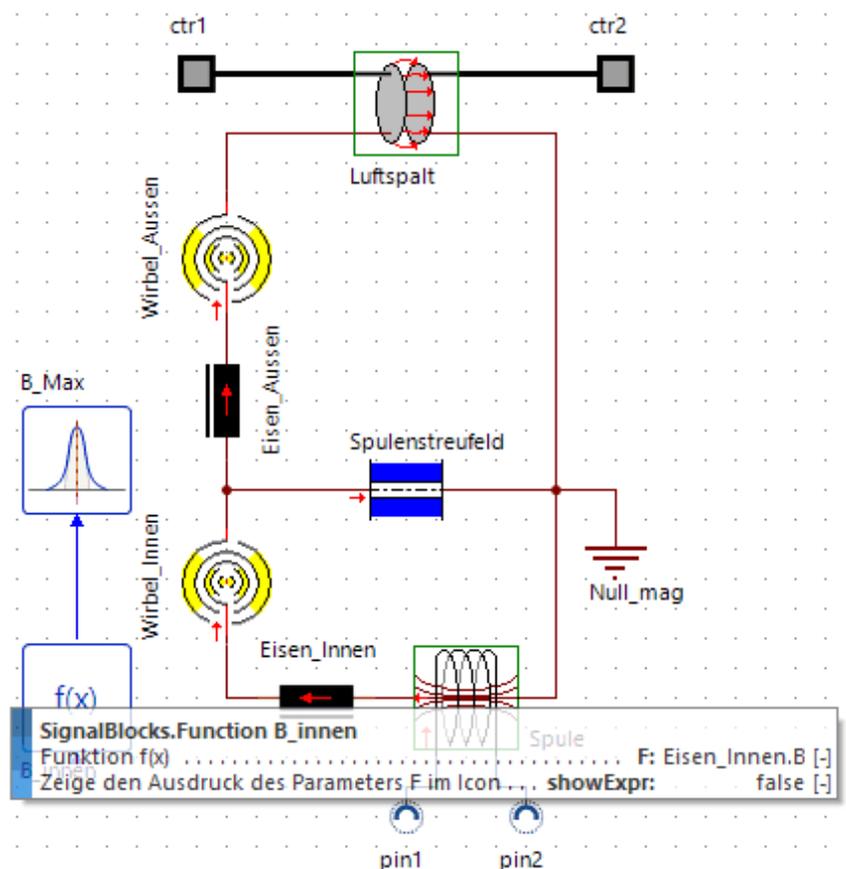
- Auch Schaltungstechnisch ist diese Lösung nicht abwegig, da damit die Spulen-Spannung unabhängig von ihrem Vorzeichen begrenzt wird. Natürlich würde man in der Praxis an dieser Stelle eher ökonomisch handeln!

**Hinweis:** Der beschriebene Workaround bezieht sich auf die *SimulationX*-Version 4.5.2.

## Flussdichten-Sensor im Elektromagnet-Compound

Während des Optimierungsprozesses muss vermieden werden, dass Antriebe entstehen, welche durch Ausnutzung der magnetischen Sättigung des Eisens zu kürzeren Zykluszeiten gelangen:

- Dazu ist ein "virtueller" Sensor im Simulationsmodell erforderlich, welcher für jeden Prägezyklus die maximal auftretende Flussdichte **B\_max** im Eisenmaterial erfasst.
- Da im inneren Eisenabschnitt die höchste Flussdichte auftritt, genügt die Verarbeitung von **Eisen\_Innen.B**.
- Leider existiert für die magnetische Domäne kein Sensor-Element in der Modell-Bibliothek von *SimulationX*.
- Wir verwenden stattdessen ein einfaches **Signalglied f(x)** und belegen dessen Parameter **F** mit **Eisen\_Innen.B**:



- Den Signalausgang des hier **B\_innen** genannten Signalgliedes **f(x)** verbinden wir mit dem Signaleingang des speziellen Signalgliedes zur Signalverarbeitung **B\_Max**. Dieses konfigurieren wir für die Maximalwert-Erfassung.

Dies würde im Prinzip schon genügen, um während der Optimierung auf den **B\_Max**-Wert zugreifen zu können:

- Um den Zugriff zu vereinfachen, erweitern wir mittels des *SimulationX*-TypeDesigners den Elektromagnet-Compound um eine Ergebnis-Variable **B\_max** im Komponenten-Abschnitt.
- **Beachte:** Da es keine Objekte gleichen Namens im aktuellen Namensraum geben darf, muss hier bewusst eine andere Schreibweise im Vergleich zum **B\_Max**-Element genutzt werden!
- Die Zuweisung des Wertes für diese Ergebnis-Variable erfolgt in einem neuen Gleichungsabschnitt im Verhalten:

The screenshot shows the SimulationX TypeDesigner window for 'Model2.Elektromagnet'. The 'Verhalten' (Behavior) tab is selected, and the 'Gleichungen' (Equations) section is active. The left sidebar shows the component tree, with 'B\_Max' selected under the 'Verhalten' section. The main area displays a list of components and their properties, including 'B\_max (max. Flussdichte)' which is checked. The code editor on the right contains the following code:

```

1 // enter your equations
2 B_max = B_Max.y;

```

- Die Ergänzung des Flussdichte-Sensors war erfolgreich, wenn sich das Verhalten bei der Simulation dadurch nicht verändert hat und der korrekte Maximalwert für **Magnet.B\_max** angezeigt wird.

← →

Abgerufen von „[http://index.php?title=Software:\\_SimX\\_-\\_Nadelantrieb\\_-\\_Struktur-Optimierung\\_-\\_Struktur-Modifikation&oldid=28499](http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Struktur-Optimierung_-_Struktur-Modifikation&oldid=28499)“

# Software: SimX - Nadelantrieb - Struktur-Optimierung - Nennwert-Optimierung

Aus OptiYummy

↑

## ← → Nennwert-Optimierung

### Vorbereitung des SimulationX-Modells

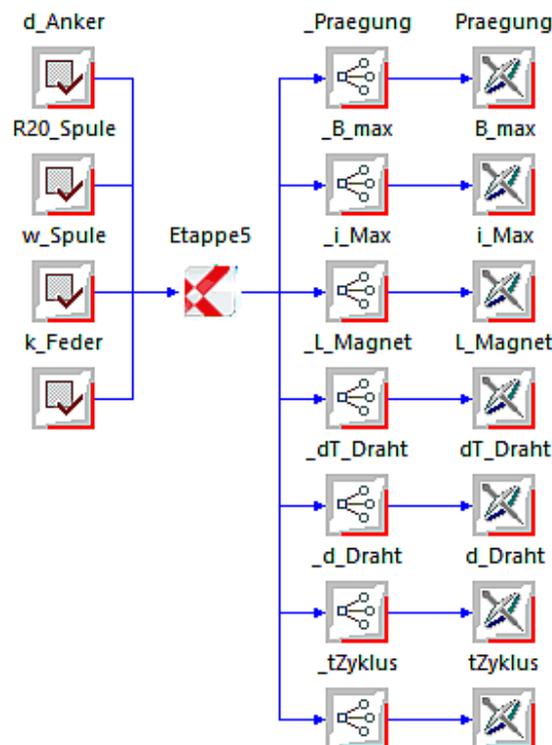
- Bei der folgenden Optimierung soll untersucht werden, welchen maximalen Strom der Magnetantrieb tatsächlich benötigen würde.
- Deshalb soll die technische Begrenzung im SimulationX-Modell von bisher **1,5 A** auf **3,0 A** erhöht werden:

CAD.i\_Grenz\_Spule = 3,0 A

- Dieser Stromwert resultiert aus den unseren Erfahrungen, dass damit bereits die magnetische Sättigung des Eisenkreises erreicht wird.
- Eventuelle Stromspitzen kurz vor dem Abschaltvorgang würden damit auf **3,0 A** begrenzt. Dieser Stromwert kann von einem Netzteil problemlos bereitgestellt werden.
- Das SimulationX-Modell ist mit diesem erhöhten Stromgrenzwert zu speichern!

### Modifizierter Experiment-Workflow

Bei der Nennwert-Optimierung brauchen wir im Experiment-Workflow des OptiY-Versuchsstands **Etappe5\_xx\_Nennwert.opy** nur noch vier Entwurfparameter berücksichtigen:



Am schnellsten gelangt man zu diesem Versuchsstand, wenn man eine Datei-Kopie von der Datei **Etappe3\_xx.opy** erzeugt und im OptiY öffnet:

1. **R\_Schutz**-Entwurfparameter (für den Abschaltvorgang) im Workflow löschen.
2. **v\_Max**-Restriktionsgröße (mit zugehöriger Ausgangsgröße) im Workflow löschen

3. **Etappe5\_xx.isx**-Datei anstatt **Etappe3\_xx.isx** im **SimulationX**-Modell des **Workflows** öffnen.
4. **k\_Feder**-Entwurfsparameter mit **CAD.k\_Feder** verbinden.
5. **B\_max**-Restriktionsgröße (mit zugehöriger Ausgangsgröße) ergänzen und mit **Modell** verbinden
6. **Etappe5\_xx\_Nennwert.opy**-Datei speichern.
7. **Definierter Abschluss der Änderungen** → *OptiY* und *SimulationX* beenden.

### Konfiguration der Restriktionsgrößen:

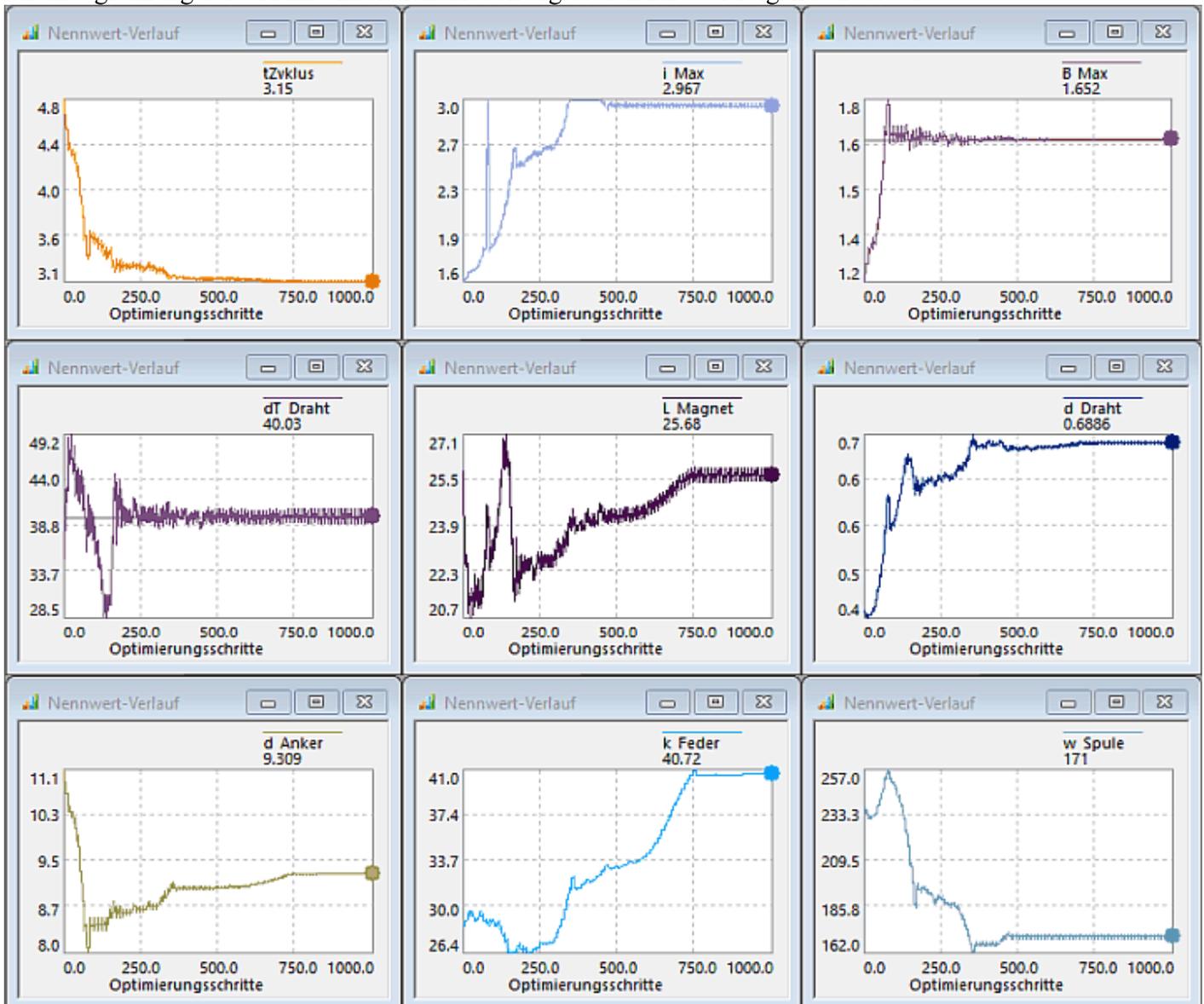
- **i\_Max** dient nur noch zur Information (mit unwirksamen Grenzwerten versehen!)
- **B\_max** soll auf **Obergrenze=1.65 T** begrenzt werden. Da das Eisenmaterial möglichst weit magnetisch angesteuert werden soll, kann man z.B. als **Untergrenze=1.2 T** vorgeben.
- **d\_Draht** anfangs ohne Wirkung, um den "exakten Wert" des optimalen Drahtdurchmesser zu erkunden.

### Konfiguration der Entwurfsparameter (Nennwerte):

- Der Suchbereich aus der **Etappe3** kann weiterhin genutzt werden.
- Zur Erzielung einer höheren Konvergenzgeschwindigkeit hat es sich als günstig erwiesen, die Startschrittweite für die Optimierungsschritte auf ungefähr 1/100 des Startwertes des jeweiligen Entwurfsparameters zu setzen. Die Startschrittweite für die Windungszahl sollte bei 1 bleiben!

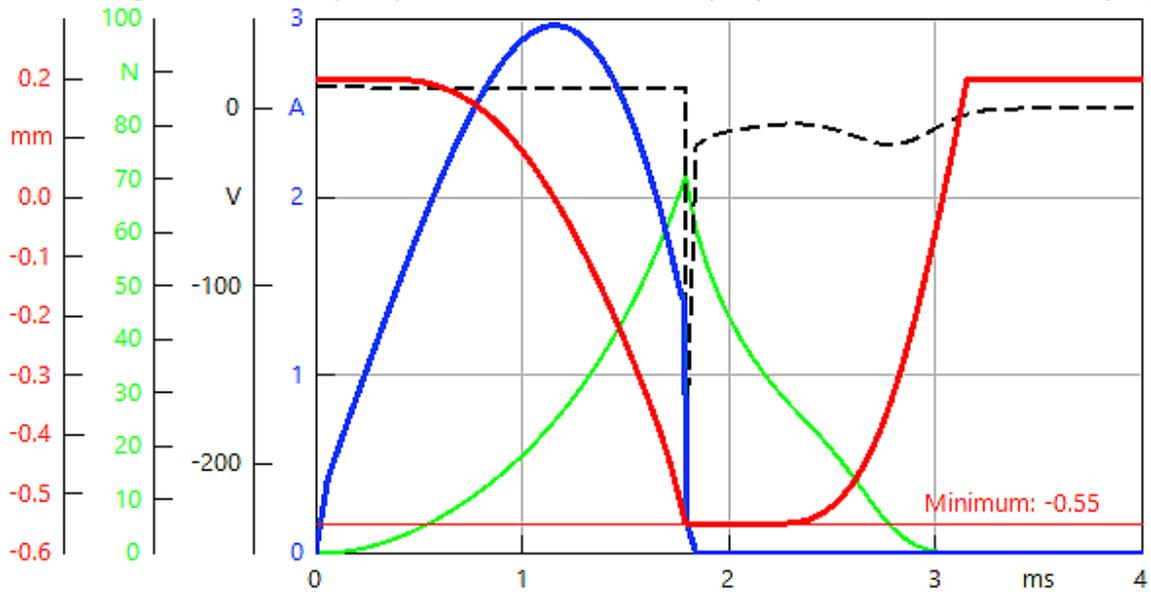
### Optimierung mit unterschiedlichem Maximalstrom

- Die Nennwert-Optimierung erfolgt vorläufig ohne der Berücksichtigung der Draht-Normreihe. Mit einer Strombegrenzung auf **3 A** im Simulationsmodell ergibt sich z.B. der folgende Bestwert:



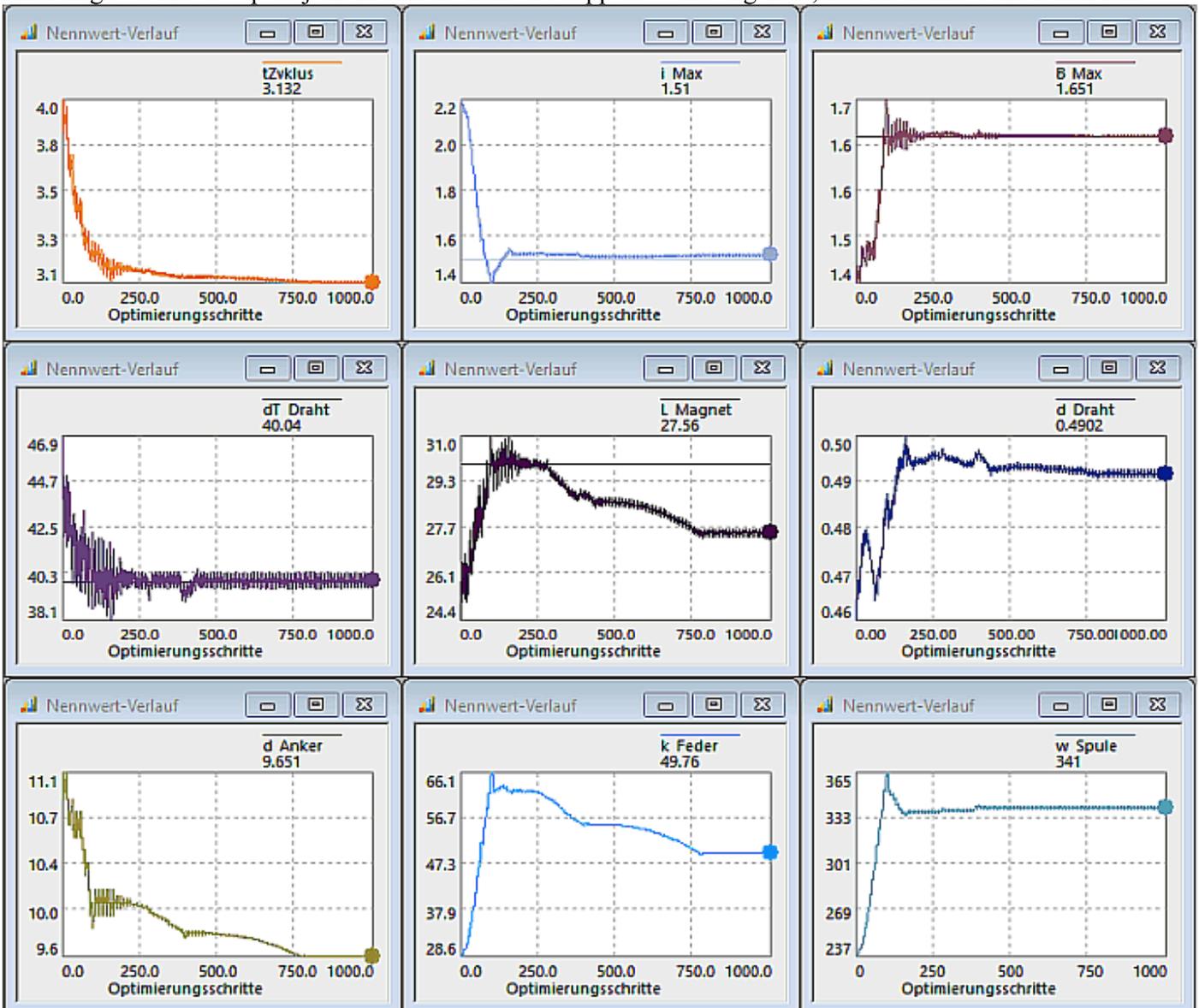
- Auffallend ist, dass im Vergleich zum Bestwert aus **Etappe3** die optimale Spule nur noch ungefähr die Hälfte der Windungen besitzt!
- Dieses Ergebnis hätte man nach gründlicher Vorüberlegung erwarten können, denn entscheidend ist das Produkt **i\*w** für die sich aufbauende magnetische Spannung.

- Die Simulation der optimalen Lösung zeigt, dass keine Eisen-Sättigung kurz vor dem Abschaltvorgang auftritt:

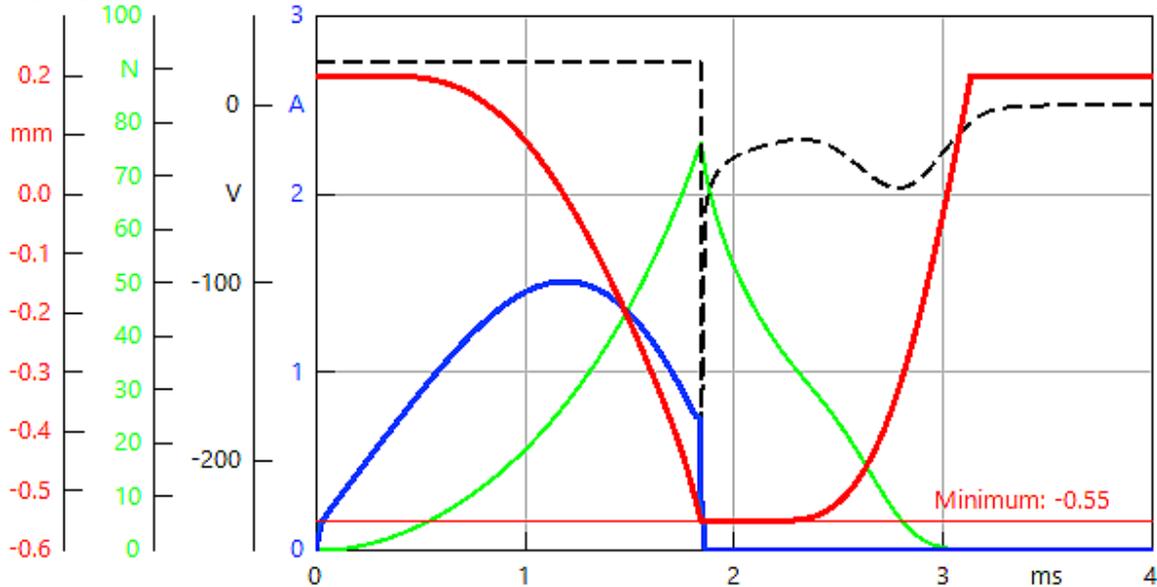


Anscheinend kann man innerhalb eines weiten Strombereiches immer eine passende optimale Spule dimensionieren und erreicht damit ein ähnliches Bewegungsverhalten. Allerdings darf dabei infolge einer resultierenden größeren Induktivität die elektrische Zeitkonstante nicht zu groß werden:

- Wir lassen im Simulationsmodell die Strombegrenzung auf dem Wert von  $i_{\text{Grenz}} = 3 \text{ A}$ .
- Innerhalb des Optimierungsexperiments setzen wir für die Restriktion  $i_{\text{Max}}$  die **Obergrenze = 1.5 A**.
- Die erneute Optimierung ergibt wieder eine optimale Lösung mit fast identischen funktionellen Eigenschaften. Allerdings besitzt die Spule jetzt ziemlich exakt die doppelte Windungszahl, natürlich mit dünnerem Draht:



- Auch hier zeigt die Simulation der optimalen Lösung, dass keine Eisen-Sättigung kurz vor dem Abschaltvorgang auftritt:



- **Hinweis:** Der Versuch einer Optimierung mit einem auf 1 A verringerten Maximalstrom führte zu einer wesentlich höheren Zykluszeit von über 3.4 ms → Wir haben uns also dem minimal möglichen Maximalstrom mit 1.5 A schon hinreichend genau genähert!

### Beachte:

- Die beiden hier im Detail betrachteten Lösungen verhalten sich im mechanischen Bewegungsablauf unter den idealen Nennwert-Bedingungen gleich.
- Die für einen Maximalstrom von 1.5 A optimierte Magnet-Spule besitzt jedoch Reserven. Wird für das Prägen etwas mehr Kraft benötigt, so kann ein Stromimpuls mit bis zu 3 A doch noch ein Prägen des Papiers bewirken. Das dabei der Eisenkreis kurzzeitig in der Sättigung betrieben wird, stört nicht.
- Aus diesem Grund wählen wir die zweite Lösung mit 1.5 A als Grundlage für die weitere Bearbeitung!

Im Beispiel ergibt sich ein optimaler Drahtdurchmesser von 0.49 mm:

- Wir streben in bekannter Art und Weise den nächsten Normdraht-Durchmesser von 0.5 mm an (Normdurchmesser aus Etappe 3).
- Da die mögliche Magnetlänge noch nicht ausgeschöpft war, sollte der etwas dickere Draht bequem in den verfügbaren Wickelraum passen.

Für den Bestwert mit Normdraht führen wir abschließend eine Simulation durch und speichern diese Konfiguration als Grundlage für die nachfolgende probabilistische Simulation.

## Archivierung der optimierten Modell-Konfiguration

**Etappe5\_xx.isx** als Modelldatei wurde nach Abschluss der Nennwert-Optimierung konfiguriert mit den Parametern des Bestwertes gespeichert.

**Wichtig:** Zur Archivierung dieses Zustands erzeugen wir davon eine Datei-Kopie **Etappe5\_xx\_Nennwert.isx**:

- Mit der Nennwert-optimierten Originaldatei sollen im Anschluss die Toleranz-Analysen durchgeführt werden.
- Dabei besteht leider immer die Gefahr, durch eine versehentliche Speicherung eines Stichproben-Exemplars die ursprüngliche Konfiguration zu überschreiben.
- Dies ist besonders kritisch, wenn Toleranz-Größen im Modell so verstellt werden, dass man anschließend in einer erneuten Nennwert-Optimierung systematisch mit verstellten Werten simuliert (z.B. mit falscher Papierdicke oder zu straffer Feder).

← →

Abgerufen von „[http://index.php?title=Software:\\_SimX\\_-\\_Nadelantrieb\\_-\\_Struktur-Optimierung\\_-\\_Nennwert-Optimierung&oldid=28502](http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Struktur-Optimierung_-_Nennwert-Optimierung&oldid=28502)“

# Software: SimX - Nadelantrieb - Struktur-Optimierung - Probabilistische Simulation

Aus OptiYummy

↑

← →

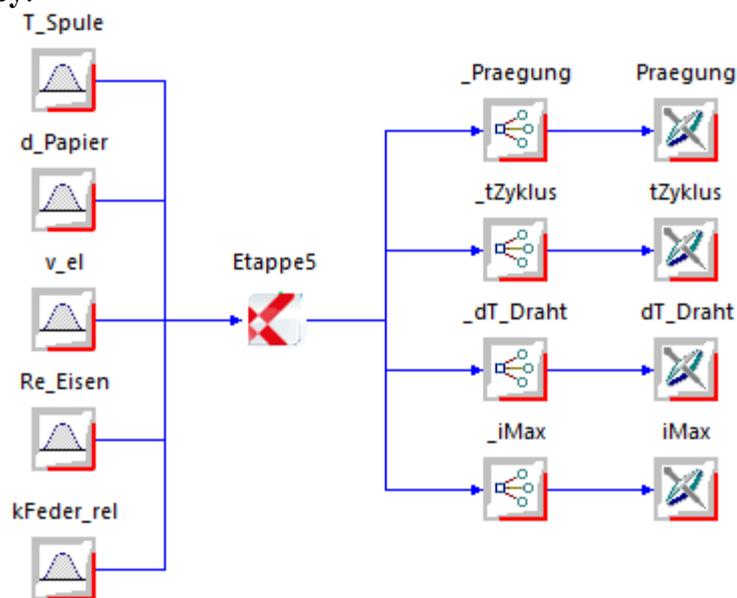
Probabilistische Simulation

□

## Experiment-Planung

Die Funktionalität unseres Antriebs hat sich für die exakten Nennwerte durch die Struktur-Änderung wesentlich verbessert. Insbesondere in Hinblick auf die Zykluszeit erreicht man nach Ausschöpfen aller Restriktionen markant bessere Werte:

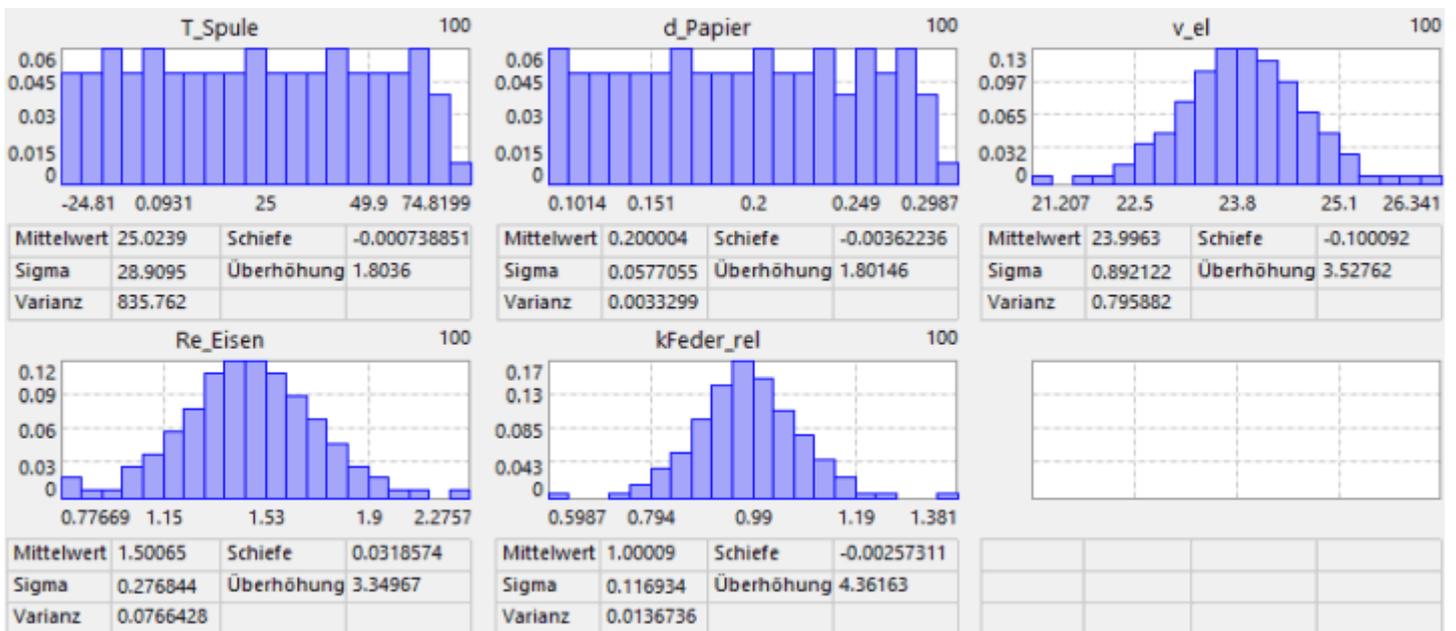
- Erst die probabilistische Simulation kann zeigen, in welchem Maße wir durch die Struktur-Änderung eine akzeptable Verbesserung unserer Antriebslösung in Hinblick auf die Robustheit gegen Parameter-Streuungen erreichen konnten.
- Sowohl mit der Sample-Methode als auch mit der Moment-Methode soll in Anlehnung an die *Etappe4* eine probabilistische Simulation der neuen Nennwert-optimalen Lösung vorgenommen werden.
- Wir benutzen dafür zwei neue OptiY-Versuchsstände **Etappe5\_xx\_Sample.opy** und **Etappe5\_xx\_Moment.opy**:



- Diese kann man analog zur Nennwert-Optimierung aus Kopien der entsprechenden Dateien von **Etappe4** gewinnen:
  1. **Etappe5\_xx.isx** als Modelldatei anstelle **Etappe4\_xx.isx** im Workflow beider Experimente öffnen
  2. **vMax** und **kFeder**-Hilfsgröße aus beiden Experiment-Workflows entfernen, da die Streuungen dieser Größen nicht mehr relevant sind.
  3. **iMax**-Restriktion dient nur noch zur Information (unwirksame **Obergrenze = 3.1 A**)

## Sample-Methode

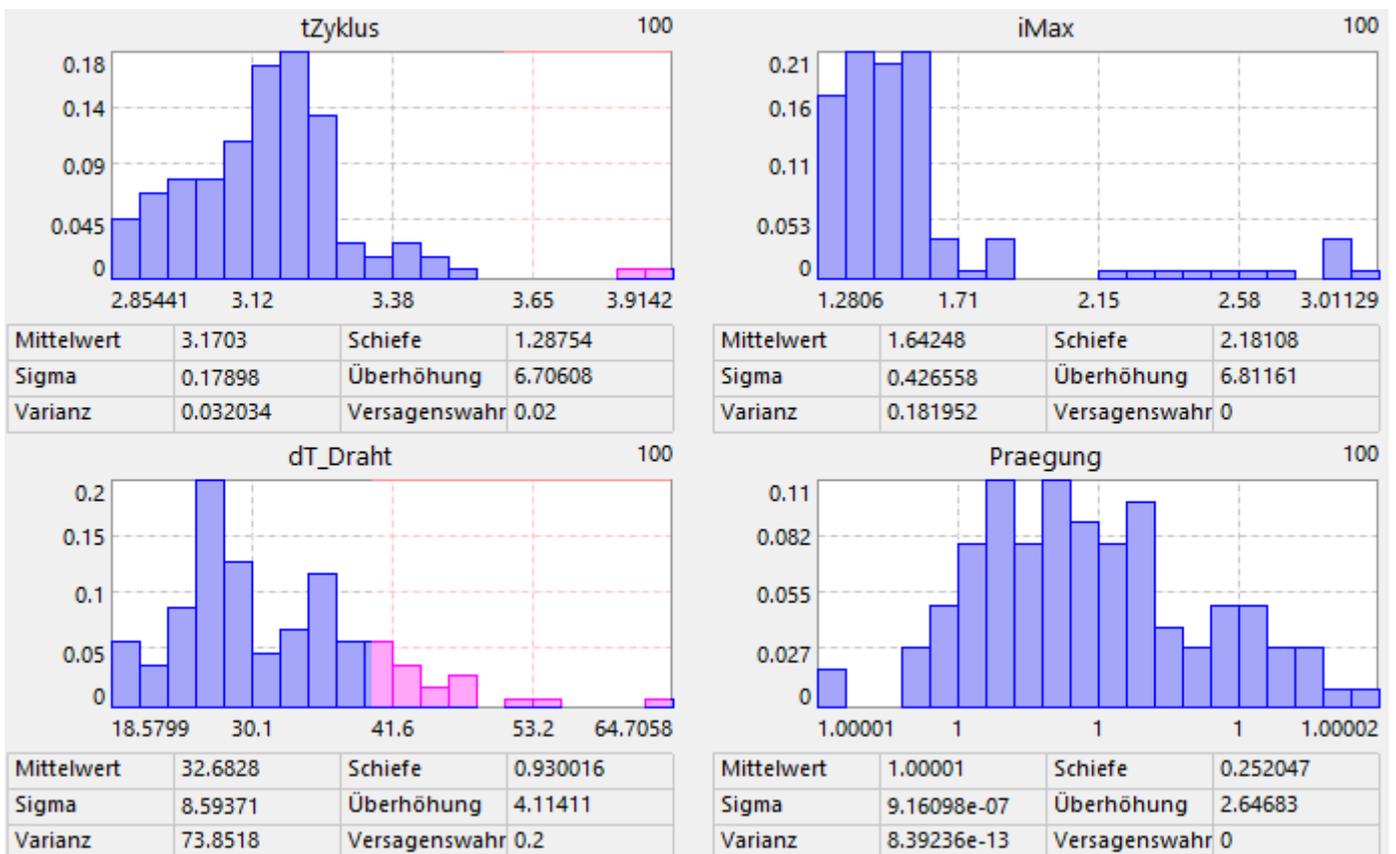
Hier soll das Augenmerk darauf gerichtet werden, dass eine Normalverteilung laut Definition keine Grenzen besitzt! Das erkennt man an einzelnen "Ausreißern" bei der Generierung der Stichprobe:



- Solche "Ausreißer" bewirken bei grenzwertigen Lösungen häufig ein unzulässiges Verhalten.
- Alle nicht normalverteilten Streuungen (im Beispiel die Spulentemperatur und die Papierdicke) bewegen sich nur innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte.

## Robustes Praegen

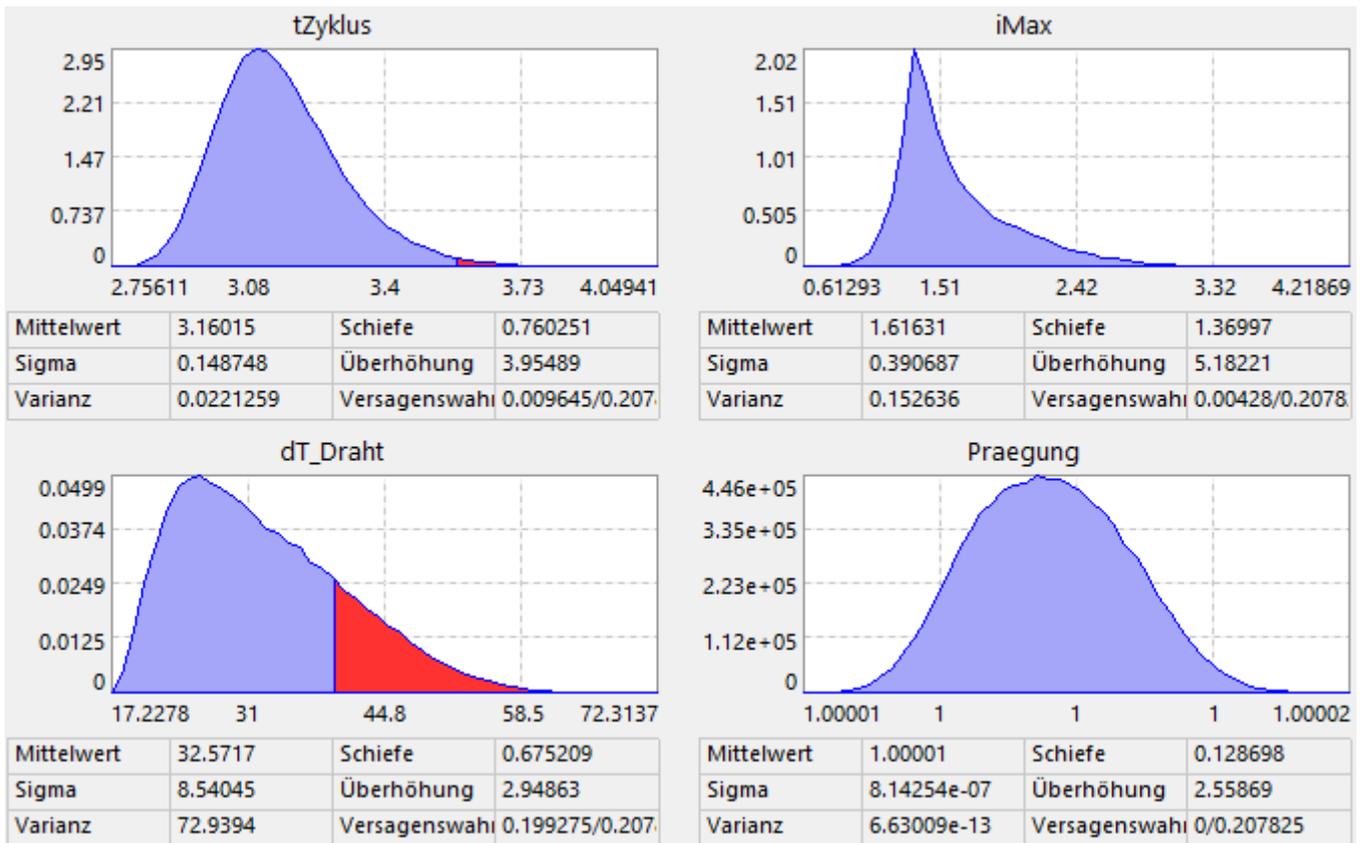
Falls die gesamte berechnete Stichprobe zu einer vollständigen Praegung des Papiers führt, so ist die Interpretation der Ergebnisse relativ einfach:



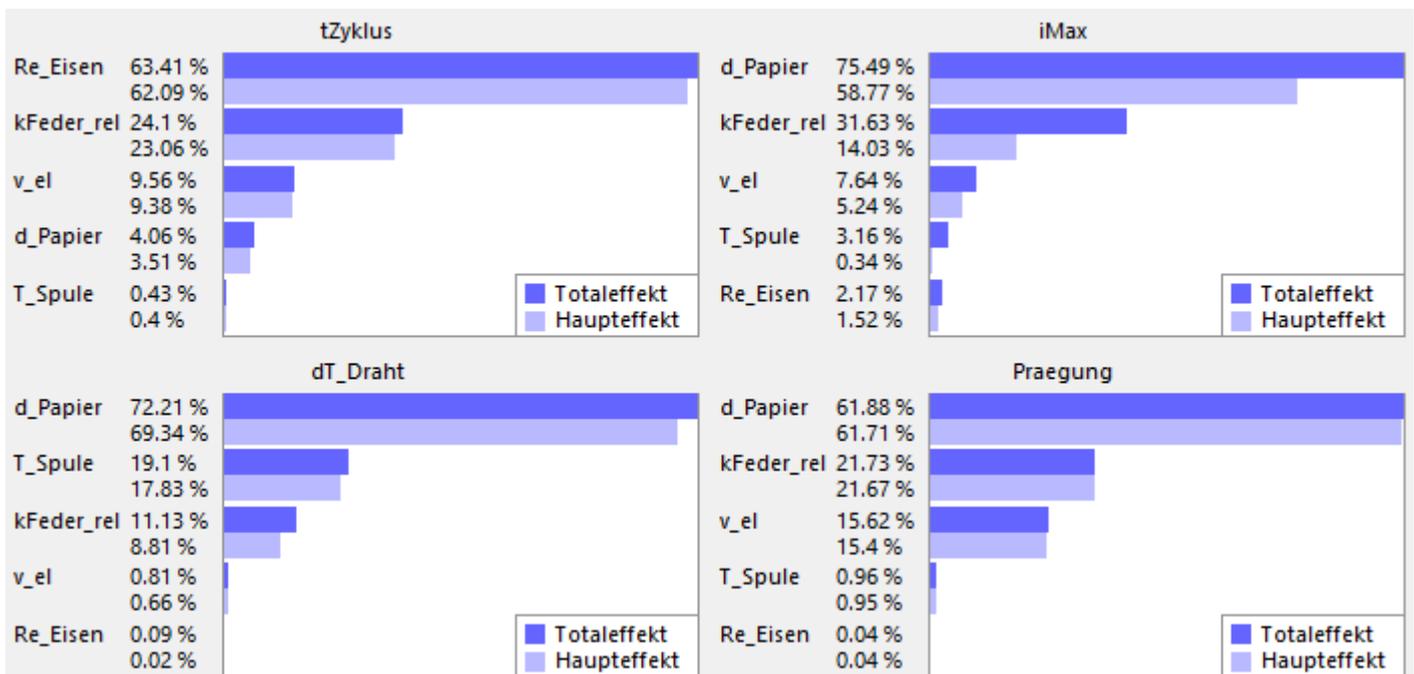
- Die etwas "unterschiedlichen" Werte für **Praegung=1** widerspiegeln die Stärke des Aufpralls der Nadel auf den Matrizenboden.
- Fast die gesamte Stichprobe unterschreitet die Forderung für die Zykluszeit von **3.6 ms**. Es existieren 2% Ausreißer mit einer Zykluszeit von fast **4 ms**.
- Die angestrebte Zykluszeit wird überwiegend im Rahmen eines Maximalstroms von ca. **1.5 A** erreicht. Nur in einigen Prozent der Stichprobe kam es vor den Abschalten zu einer Eisen-Sättigung, welche sich einem 19

auf **3 A** begrenzten Stromimpuls widerspiegelt.

- In 20% der Stichprobe kommt es zu einer erhöhten Spulenerwärmung, welche aber überwiegend unkritisch ist (max. 65°C in 1% der Stichprobe).
- Die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit von ca. 21% resultiert überwiegend aus der Teilversagenswahrscheinlichkeit der Spulen-Erwärmung. Dies widerspiegelt sich sehr gut in den Verteilungsdichten aus der virtuellen Stichprobe:



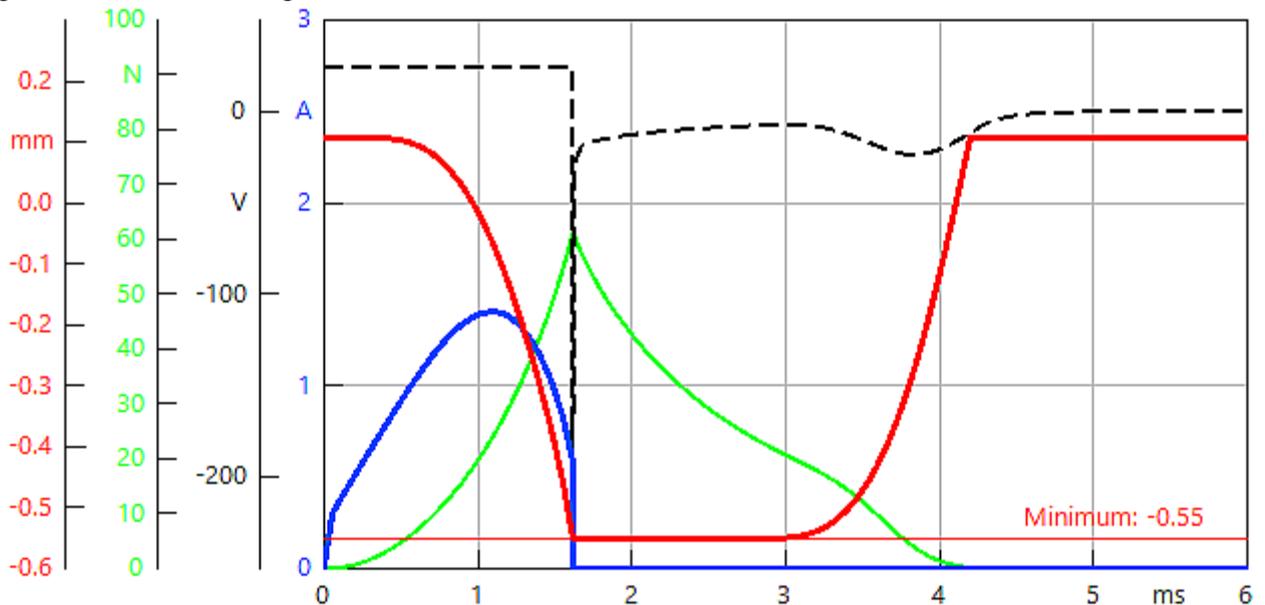
Die Sensitivitäts-Charts zeigen den Einfluss der einzelnen Streuungen auf die Bewertungsgrößen:



- Bei vollständigem Prägen der Stichprobe zeigt der Sensitivity-Chart für die **Praegung** im Beispiel, dass die Anschlagstärke vor allem durch die Papierdicke bestimmt wird.
- Der Einfluss der Papierdicke hat sich durch unsere Struktur-Optimierung insgesamt vergrößert. Neben dem auftretenden Maximalstrom wird jetzt sogar die Spulen-Erwärmung maßgeblich von der Papierdicke bestimmt.
- Die Zykluszeit dagegen wird jetzt überwiegend vom Wirbelstrom-Widerstand des Eisenmaterials bestimmt.

Sortiert man die **DOE-Tabelle** nach den Werten von **tZyklus**, so erkennt man, dass die längsten Zykluszeiten mit den kleinsten Wirbelstromwerten zusammenhängen:

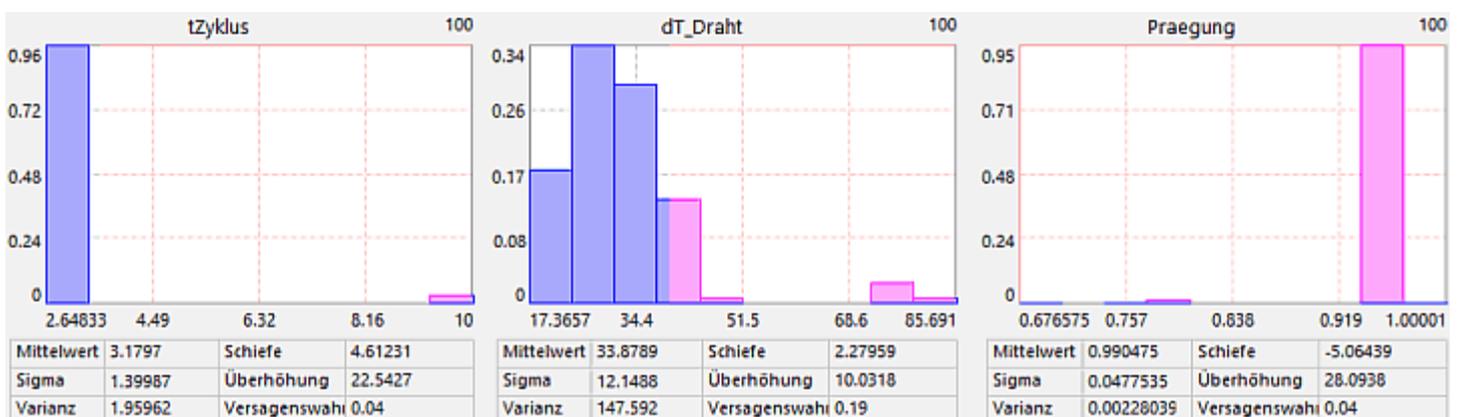
- Für die entsprechende Zeile der DOE-Tabelle sollte man eine Simulation veranlassen.
- Wie bereits bekannt, wird der Anzugsvorgang durch den Wirbelstrom kaum beeinflusst.
- Die langsame Zykluszeit resultiert ausschließlich aus der Abfallverzögerung infolge eines stark verzögerten Abbaus der Magnetkraft:



## Behandlung von teilweise Nichtpraegen

Nach einer qualifizierten Nennwert-Optimierung unserer modifizierten Antriebsstruktur sollte es innerhalb des vorgegebenen Streubereiches immer zu einem erfolgreichen Prägen des Papiers kommen. Es soll im Folgenden trotzdem erläutert werden, wie man "teilweises Nichtprägen" durch eine geeignete Konfiguration der Restriktionsgrenzen berücksichtigen kann:

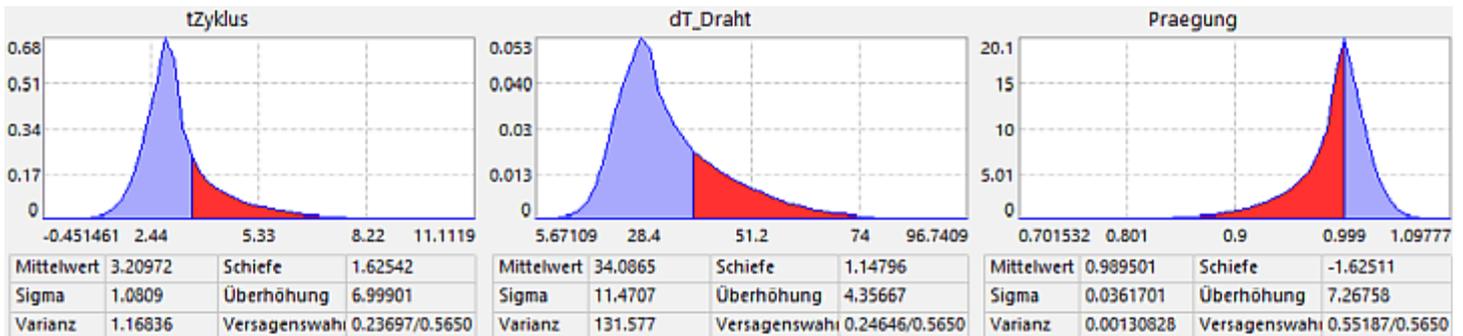
- **Hinweis:** Die hierfür verwendeten Diagramme gehören nicht zur aktuellen Lösung!
- Bisher hatten wir die Grenzen des zulässigen Bereichs für das **Praegen** auf **1.0 ... 1.1** gesetzt.
- "Teilweises Nichtprägen" kann man im zugehörigen Histogramm leicht erkennen. Die Teilversagenswahrscheinlichkeit der realen Stichprobe für das **Praegen** wird dabei exakt durch Abzählen ermittelt (im Beispiel 4%):



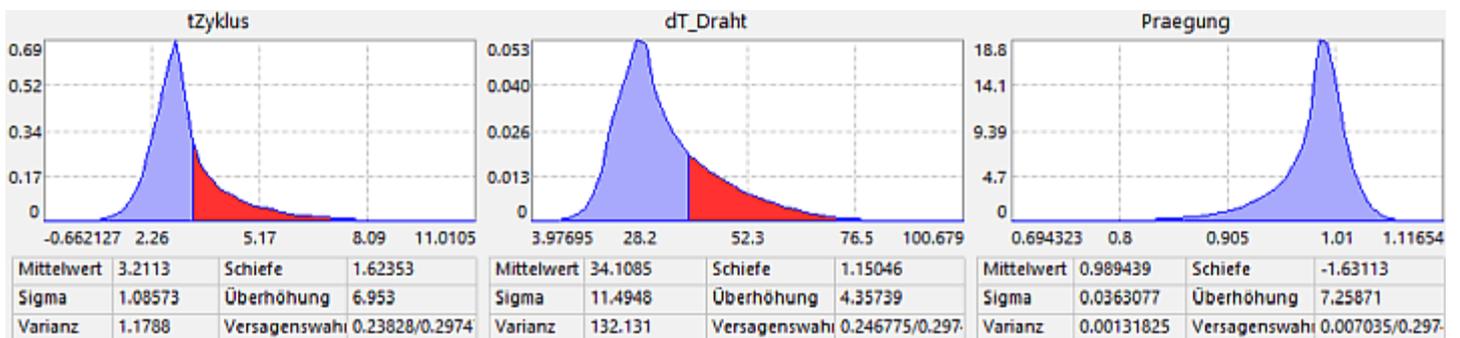
- Im Histogramm erkennt man zwei völlig voneinander getrennte Teilmengen für das **Praegen**: vollständiges Praegen=1 / unvollständiges Prägen < 0.78
- Dies erkennt man auch in der DOE-Tabelle, wenn man die Zeilen nach dem Wert von "Praegen" sortiert.
- Es ist natürlich nicht möglich, über diese "Lücke" eine hinreichend genaue Polynom-Ersatzfunktion für das **Praegen** zu legen!

Die Teilversagenswahrscheinlichkeit für das Prägen wird deshalb im Beispiel extrem verfälscht, wenn man die bisherigen Grenzen von z.B. **1 ... 1.1** beibehält:

- Die gesamte Fläche links neben dem unteren Grenzwert 1 wird rot markiert (im Beispiel ca. 55%). Das hat Auswirkung auf die angebliche Gesamtversagenswahrscheinlichkeit, welche dadurch auch wesentlich größer erscheint (56% anstatt 30%):



- Hier kann man sich mit einem Trick behelfen, indem man die Grenzen des zulässigen Bereichs z.B. auf **0.85 ... 1.3** setzt (danach "**Probabilistik neu berechnen**" erforderlich!):



- Erreicht die Nadelspitze den korrigierten unteren Grenzwert von 0.85, dann erfolgt in jedem Fall ein Prägen.

### Hinweise:

- Für kleine Teilversagenswahrscheinlichkeiten der Präegung funktioniert der Trick noch nicht perfekt → ca. 1% anstatt 4% in der realen Stichprobe!
- Probleme mit einer verfälschten Ersatzfunktion gibt es auch für die Zykluszeit, da beim "Nichtprägen" **tZyklus=10 ms** registriert wird (entspricht der Simulationsendzeit "**tStop**"). Dies widerspiegelt sich auch in der Berechnung der Spulenerwärmung.
- Bei Existenz von Verhaltensunstetigkeiten im Streu-Bereich sind die Ergebnisse im Hinblick auf die Rangfolge der Effekte und das Maß ihrer Interaktionen mit großen Unsicherheiten behaftet, weil die Ersatzfunktionen in den Unstetigkeitsbereichen sehr ungenau sind.
- Um trotzdem Aussagen in Hinblick auf die Effekt-Eigenschaften zu erhalten, muss man in solchen Fällen die Toleranzen aller Streuungen proportional soweit verkleinern (z.B. auf 10%), dass kein unstetiges Verhalten für die simulierte Stichprobe mehr auftritt.

### Anpassung der Grenzwerte für unstetige Restriktionsgröße "Praegung":

- Für unseren Struktur-optimierten Antrieb wird mit der Nennwert-optimierten Lösung ein robustes Prägen erreicht (wenn keine Fehler passieren!).
- Trotzdem ändern wir für diese "unstetige" Restriktionsgröße den zulässigen Bereich so, dass auch im anderen Fall eine hinreichend genaue Teilversagenswahrscheinlichkeit ermittelt wird.
- Untergrenze = 0.85 / Obergrenze = 1.3**

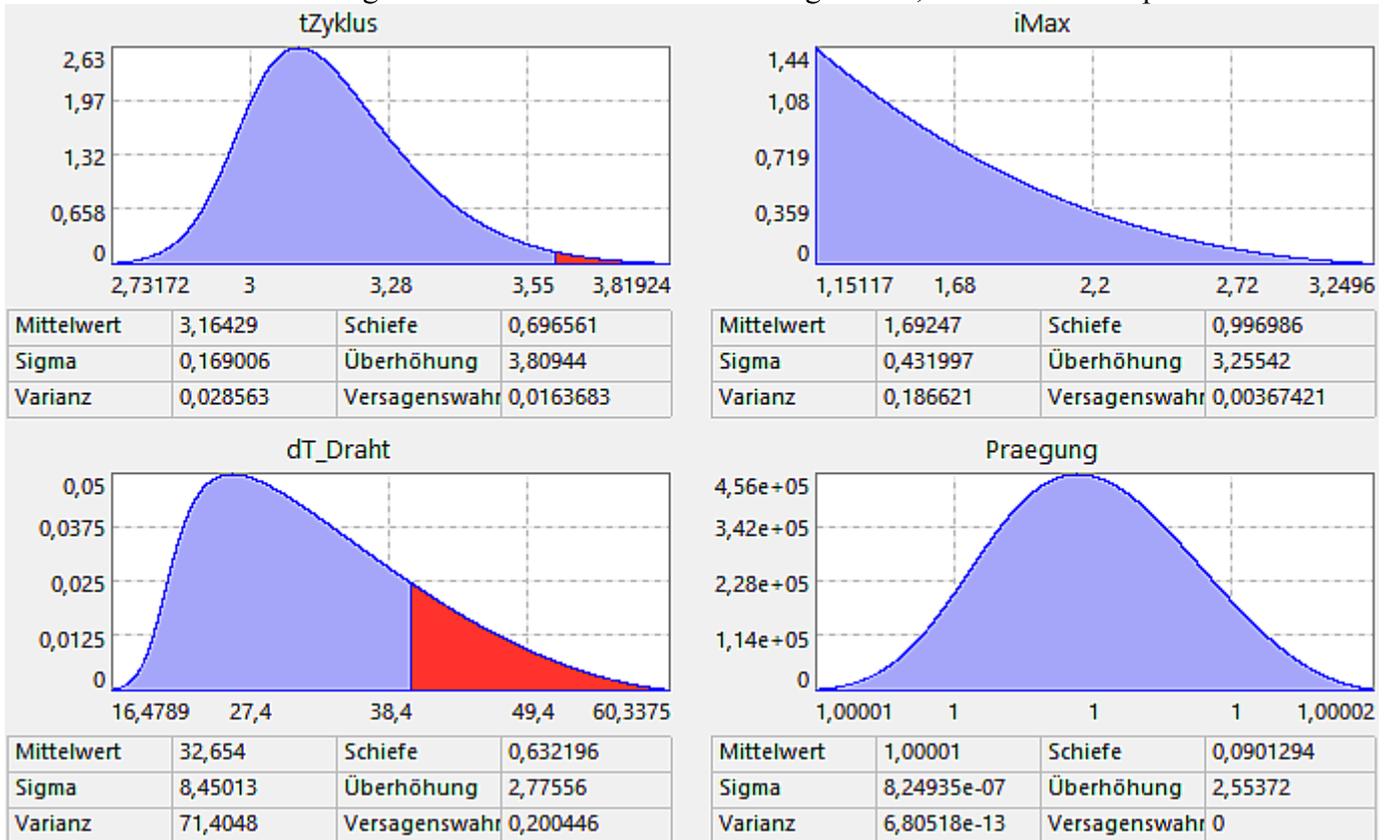
## Moment-Methode

Wir nutzen für die Moment-Methode "2. Ordnung mit Interaktionen" die separate Datei **Etappe5\_xx\_Moment.opy**:

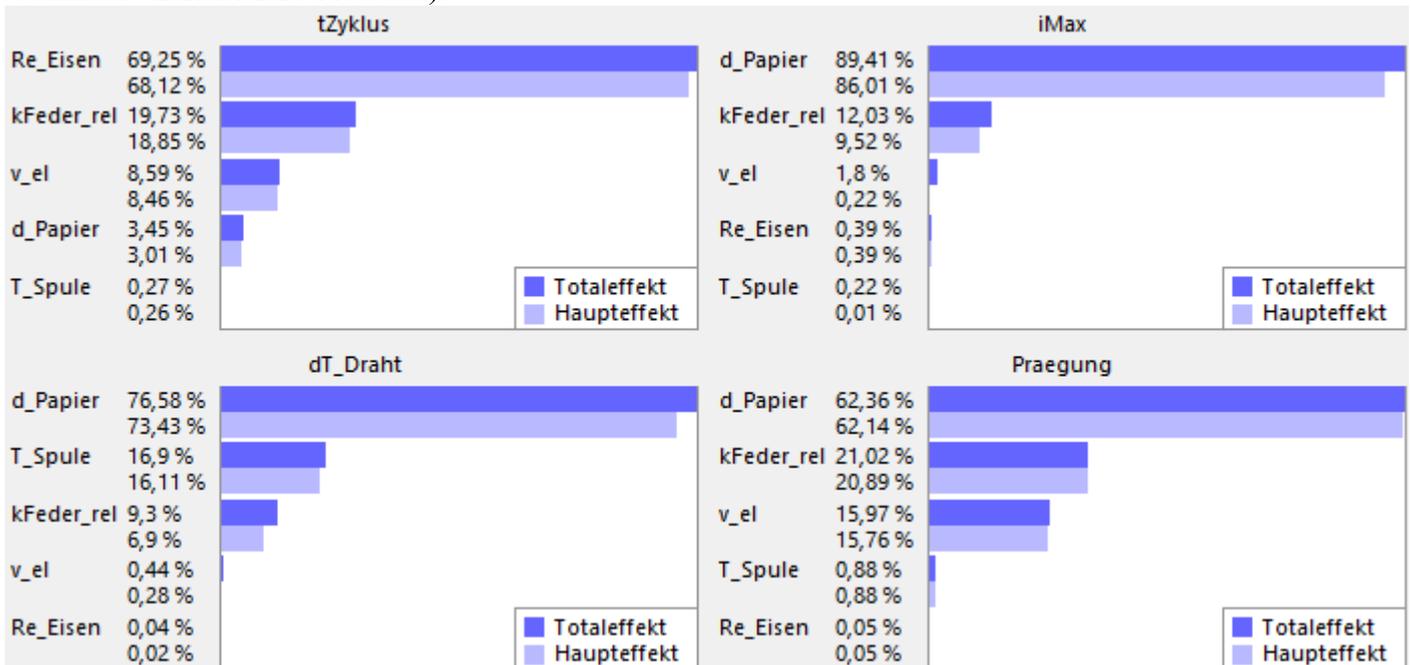
- Falls diese bereits im Vorfeld erstellt wurde, wie in der Experimentvorbereitung beschrieben, so muss man noch die Grenzwerte für das "Praegen" entsprechend anpassen (**0.85 ... 1.3**).
- Anderenfalls kann man die benötigte .opy-Projektdatei auch aus einer Kopie von **Etappe5\_xx\_Sample.opy** gewinnen, welche man umkonfiguriert.

Die Struktur-optimierte Lösung zeigt ein robustes Prägeverhalten im gesamten Streubereich der Toleranzen:

- Man erhält mit der vollständigen Moment-Methode ähnliche Ergebnisse, wie mit der Sample-Methode:



- Auch die Rangfolge der Effekte ist identisch zur Sample-Methode (mit Ausnahme fast gleich großer "Minimal"-Effekte z.B. bei iMax):



- Es treten keine wesentlichen Interaktionen zwischen den Streuungen auf (Total- und Haupteffekt jeweils fast gleich groß).

← →

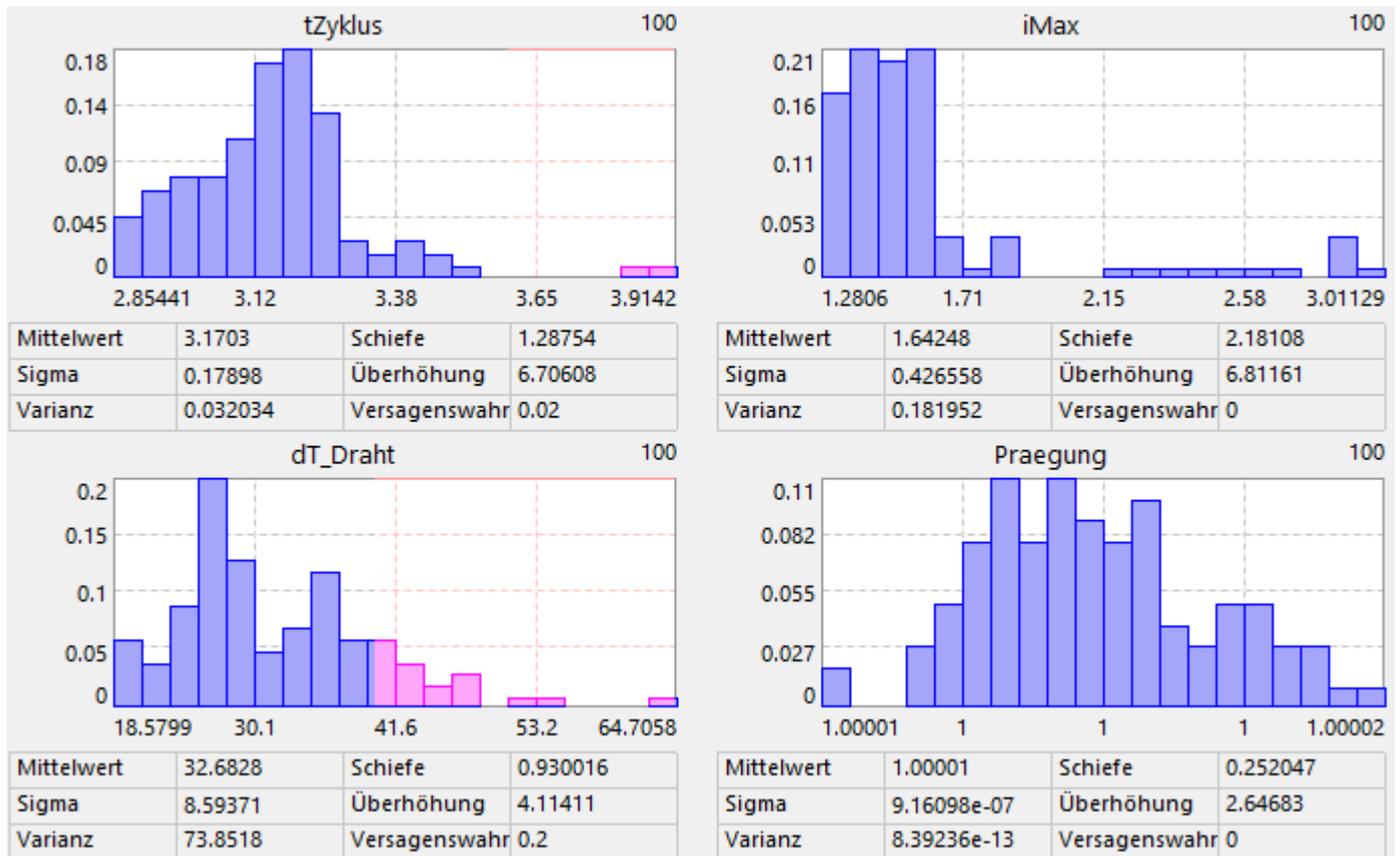
# Software: SimX - Nadelantrieb - Struktur-Optimierung - Bewertung

Aus OptiYummy

↑

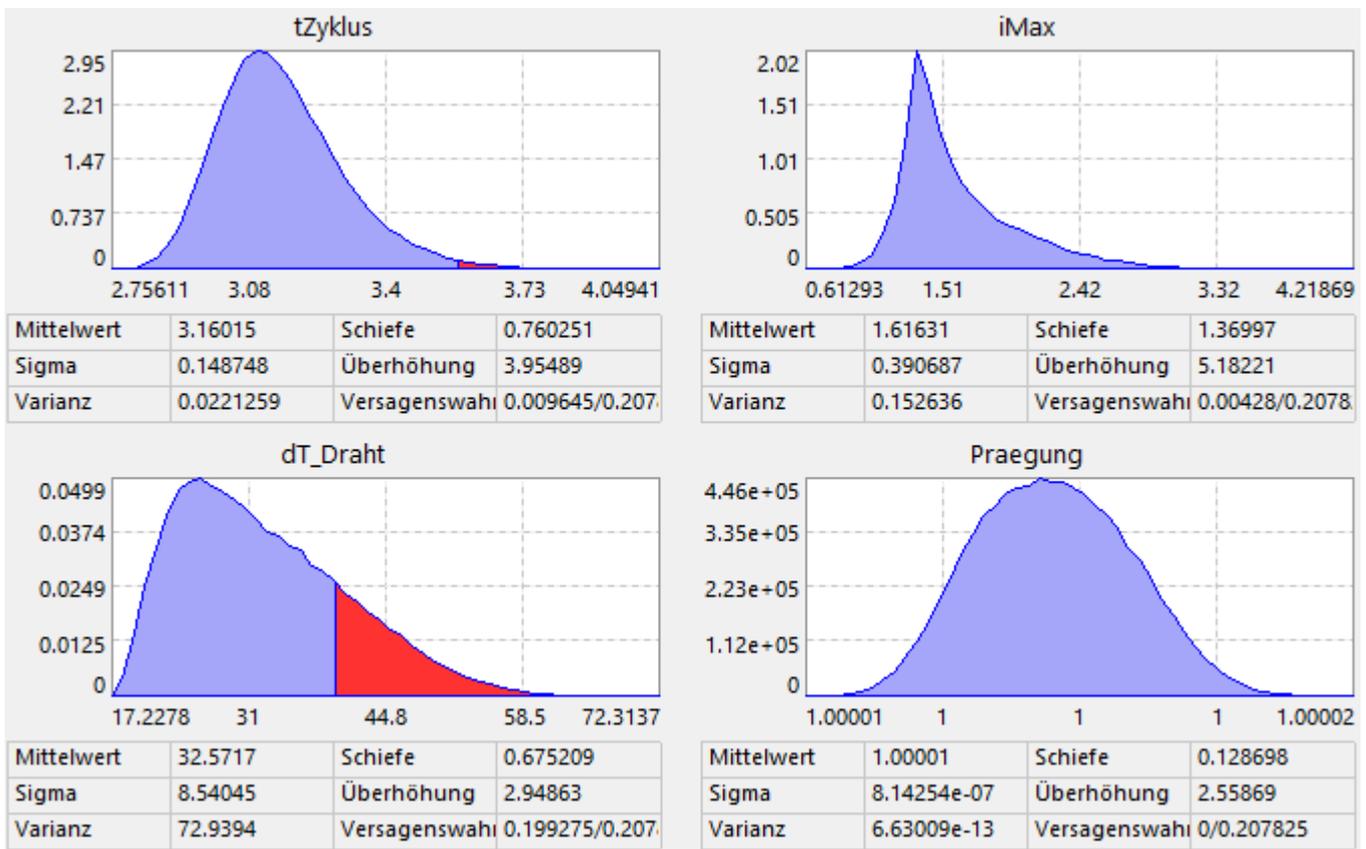
← →

## Bewertung der Struktur-Modifikation



Bereits das obige Histogramm der realen Stichprobe zeigt → die am Magnetantrieb vorgenommene Änderung von Schutzbeschaltung und Ansteuerung führte zu einer qualitativ veränderten Lösung:

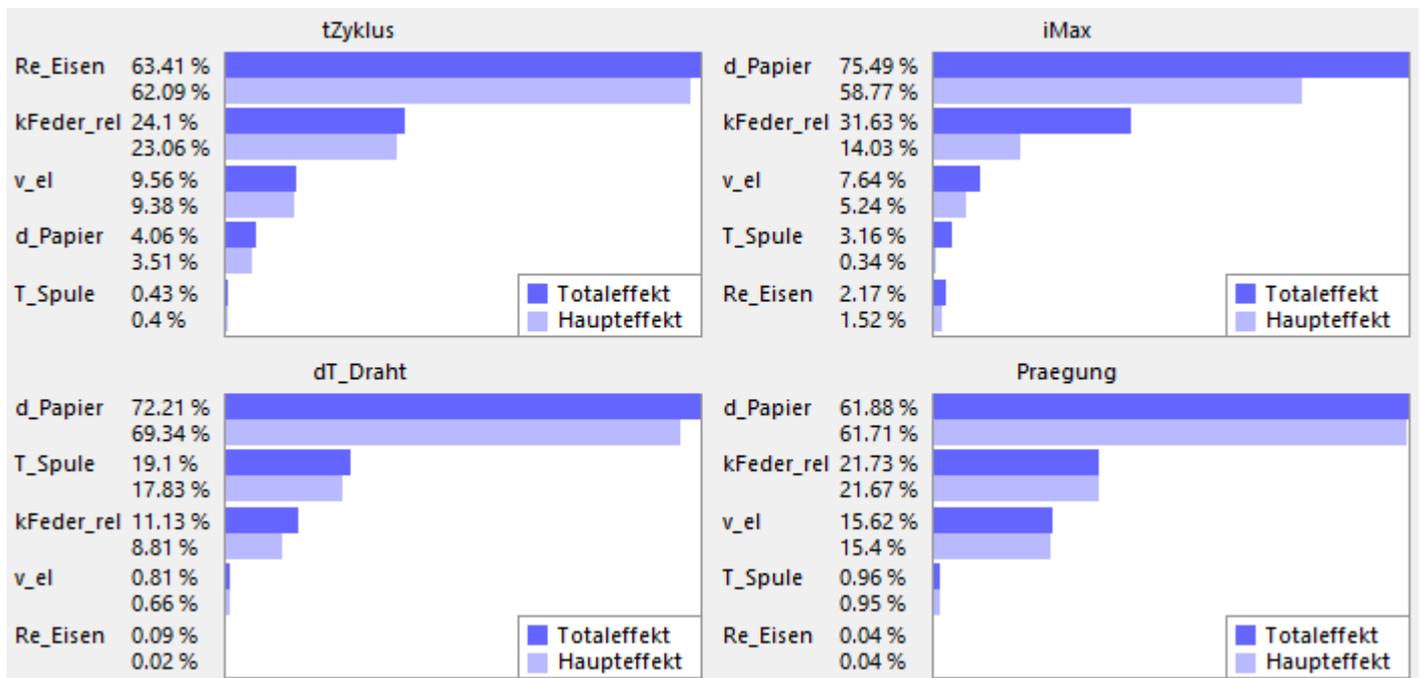
1. Die Überschreitung der maximalen Spulenspannung wird durch die Z-Dioden zuverlässig verhindert und deshalb im OptiY-Experiment nicht mehr erfasst.
2. Die Zeit für einen Prägezyklus hat sich im Vergleich zur vorherigen Lösung verbessert.
3. Die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit von ca. 21% resultiert überwiegend aus der Teilversagenswahrscheinlichkeit der Spulen-Erwärmung. Dies widerspiegelt sich sehr gut in den Verteilungsdichten aus der virtuellen Stichprobe:



Die höhere Prägeschwindigkeit verbunden mit einem robusten Prägen innerhalb der Toleranzbereiches resultiert vor allem aus der modifizierten Nennwert-Optimierung:

- Während der Nennwert-Optimierung wurde überwacht, dass der Eisenkreis des E-Magneten nicht in die magnetische Sättigung gelangt. Das verhinderte zuverlässig die Tendenz zu einem möglichst kleinen Ankerdurchmesser!
- Die restlichen Randbedingungen blieben bei praktisch unverändert, denn für den Nennbetrieb wurde der Antrieb wie zuvor für einen maximalen Strom von **1.5 A** optimiert.
- Das Netzteil für die Ansteuerung des Elektro-Magneten begrenzt den Strom auf einen höheren Wert. Hier wurden **3 A** gewählt, weil diese von einem Netzteil problemlos bereitgestellt werden können.
- Der dickere Magnet-Anker besitzt eine höhere Masse. Sein größere kinetische Energie unterstützt ein robustes Prägen!
- Zusätzlich bietet der höhere Begrenzungsstrom praktisch eine Energie-Reserve, um auch unter ungünstigen Bedingungen noch ein schnelles Prägen zu ermöglichen. Das funktioniert allerdings nur, wenn der Magnet nicht bereits in der Sättigung arbeitete.
- Es zeigt sich, dass es infolge der erhöhten Energiezufuhr teilweise zu einer Überschreitung der vorgesehenen maximalen Temperaturerhöhung um **ca. 25 K**.
- Diese "moderate Überhitzung" auch noch zu vermeiden, wird Anliegen der Ausschuss-Minimierung in der nächsten Entwurfsetappe sein.

Die Sensitivitäts-Charts zeigen den Einfluss der einzelnen Streuungen auf die Bewertungsgrößen:



Bei den berücksichtigten Toleranzen kann man unterscheiden zwischen fertigungsbedingten Toleranzen und den variablen Einsatzbedingungen:

### 1. Fertigungsbedingte Toleranzen:

- Jedes gefertigte Produkt besitzt dafür seine konkreten ISTWERTE, welche sich während des Einsatzes im Normalfall nicht mehr ändern (außer durch Alterung).
- Fertigungsbedingte Toleranzen führen zu "konstanten" systematischen Abweichungen vom idealen Nennwert-Verhalten → "Verhaltens-Offset"
- Im Rahmen einer Justage lässt sich solch ein "Verhaltens-Offset" teilweise Minimieren (wenn technisch möglich und konstruktiv vorgesehen).
- Die Ursachen für "fertigungsbedingte Toleranzen" können unterschiedlich sein:
  1. Normale Bauteil- und Montage-Toleranzen, deren Größe bekannt ist und bei Bedarf noch angepasst werden kann (z.B. Federkonstante).
  2. Schätzwerte für noch zu präzisierender Materialeigenschaften (z.B. Wirbelstromwiderstand des Eisenmaterials).

### 2. Variable Einsatzbedingungen:

- Während des Betriebs streut das Verhalten um den fertigungsbedingten Verhaltens-Offset.
- Die Einsatzbedingungen kann man nur teilweise beeinflussen (z.B. Bereitstellung einer stabileren Betriebsspannung).
- Im Beispiel gehören die Papierdicke, die Spulentemperatur und die schwankende Betriebsspannung zu diesem Toleranz-Typ.

Betrachtet man unter diesem Aspekt die Rangfolge der Effekte auf die wesentlichen Bewertungsgrößen unserer struktur-optimierten Lösung, so kann man zu folgender Erkenntnis gelangen:

### 1. Zykluszeit:

- Die Einsatzbedingungen haben praktisch keinen Einfluss mehr auf die Zykluszeit.
- Dies ist besonders wichtig in Hinblick auf die Papierdicke, da eine Grundfunktionalität des Prägenadelantriebs in der Verarbeitung unterschiedlicher Papiersorten besteht.
- Den größten Einfluss hat unser "Nichtwissen" in Hinblick auf den tatsächlichen Wirbelstromwiderstand des Eisens. Dieser bestimmt entscheidend die Abfallverzögerung des Magnetankers nach dem Abschalten.
- Im Rahmen der noch anstehenden Ausschuss-Minimierung und Robust-Optimierung der nächsten Etappe wird noch versucht, diesen Wirbelstrom-Einfluss zurückzudrängen.
- Spätestens am realen Versuchsmuster kann man dann den Wert des Wirbelstromwiderstandes durch geeignete Experimente präzisieren.

### 1. Erwärmung des Spulendrahtes:

- Die fertigungsbedingten Toleranzen haben praktisch kaum Einfluss auf die Draht-Erwärmung.
- Die Erwärmung wird vor allem durch die unterschiedlichen Papierdicken bestimmt.

- Die Papierdicke hat den größten Effekt auf den benötigten Maximalstrom, welcher wiederum über den Energieumsatz im Magneten die Erwärmung bestimmt.

#### 1. **Prägungsstärke:**

- Wie stark die Präge-Nadel auf dem Matrizenboden aufschlägt wird vor allem durch die Papierdicke bestimmt.
- Die anderen Streuungen besitzen darauf nur einen geringeren Einfluss.
- Wenn es Probleme mit dem robusten Prägen geben sollte, dann resultieren diese wahrscheinlich vor allem aus den unterschiedlichen Papierdicken (der Einfluss der Federtoleranz ist wesentlich geringer).

#### **Ergebnisse der Struktur-Optimierung:**

- Wie groß ist Gesamtversagenswahrscheinlichkeit des Nennwert-optimierten Antriebs?
- Wie groß sind die Teilversagenswahrscheinlichkeiten (Zykluszeit, Prägen, Erwärmung)?
- Welche drei streuungsbehafteten Parameter besitzen den größten Einfluss auf das Verhalten des Antriebs? (Mit Begründung der Entscheidung!)
- Kann man die Interaktionen zwischen den streuungsbehafteten Parametern vernachlässigen? (Mit Begründung der Entscheidung!)

**Die Antworten auf diese Fragen sind als Bestandteil der Lösung einzureichen!**

← →

Abgerufen von „[http://index.php?title=Software:\\_SimX\\_-\\_Nadelantrieb\\_-\\_Struktur-Optimierung\\_-\\_Bewertung&oldid=28474](http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Struktur-Optimierung_-_Bewertung&oldid=28474)“

---