

Parameteroptimierung von Simulationsmodellen mit Evolutionären Algorithmen in optiSLang

Kopplung mit CAE-Tools SimulationX und Simulink

Dipl.-Ing. M. Koch

Weimarer Optimierungs- und Stochastiktage 6.0
15.-16. Oktober 2009



Themenübersicht

Parameteroptimierung von Objektorientierten Simulationsmodellen mit Evolutionären Algorithmen in optiSLang

- Motivation
- Optimierungsbeispiel 1: DC-Motor-Modell in Matlab-Simulink
- Anforderungen für die Optimierung
- Ablauf der Parameteroptimierung
- Vorbereitung für die Optimierung
- Optimierung mit Evolutionärem Algorithmus
- Optimierungsbeispiel 2: Gurtstraffer-Modell in SimulationX
- Optimierungsbeispiel 3: Fensterheber-Modell in SimulationX
- Zusammenfassung und Ausblick

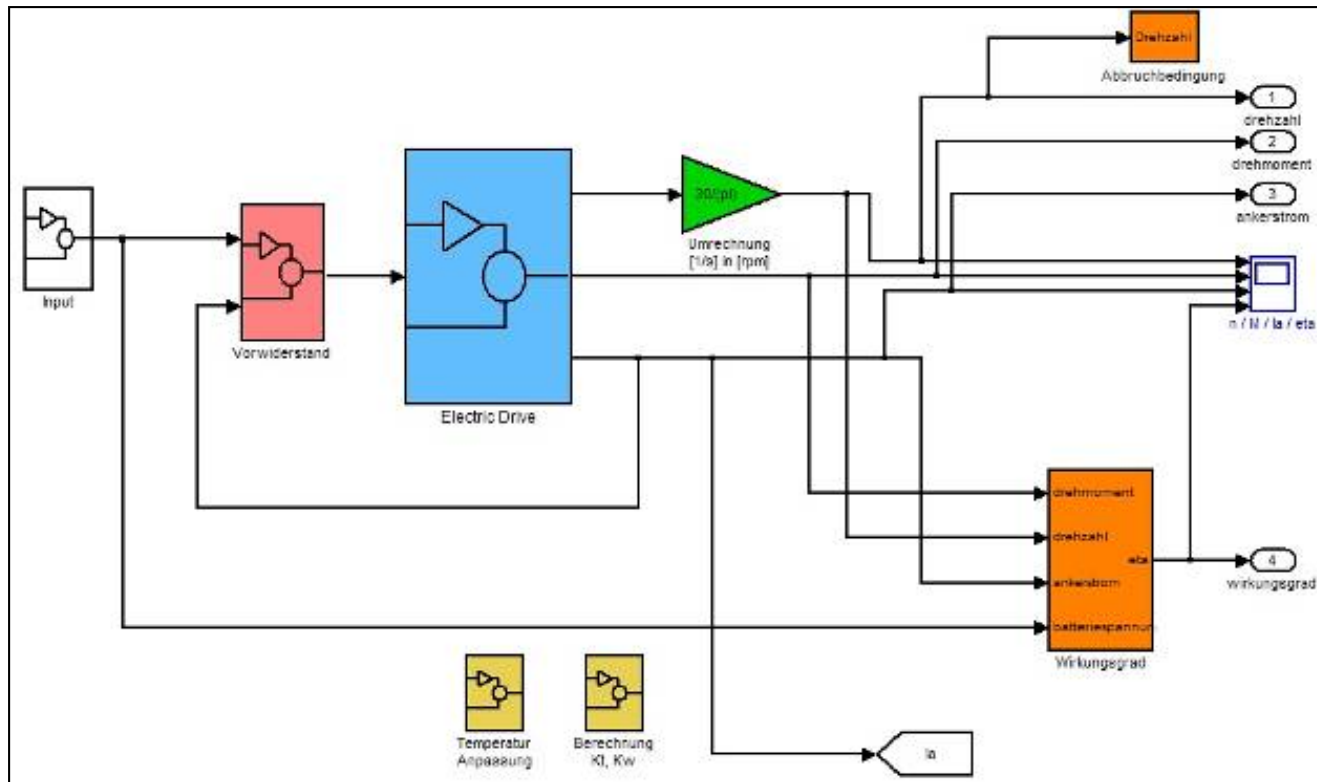
Motivation

Warum Optimierung?

- Einsatz in der frühen Phase der Vorentwicklung eines Produkts
- Werkzeug zur Designfindung oder Designverbesserung
- Effizientere Nutzung von physikalisch validierten Ersatzmodellen, d.h. Vermeidung von Trial-and-Error und Variantenrechnungen
- Sensitivitätsstudien und Robustheitsbewertungen verbessern das Verständnis über Parameter und deren Wirkungen
- Einsparung von Musteraufbauten durch Kenntnis der Einflüsse auf die Varianz

Modellbeispiel Optimierung Matlab-Simulink-Modell

Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

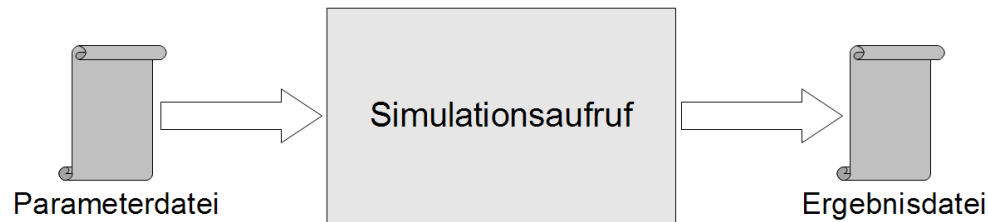


- Geometrische, elektrische, magnetische und thermische Parameter
- Mit Messdaten validiertes Modellverhalten (dynamisch und statisch)

Anforderungen für die Optimierung

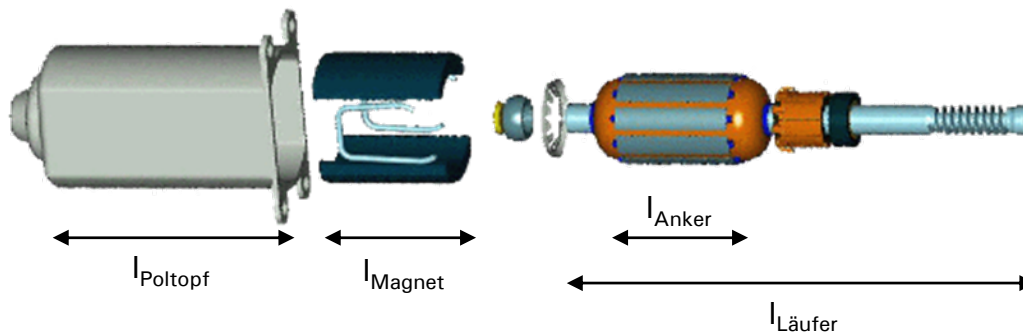
Anforderungen an die Simulationssoftware

- Externe Parametrierbarkeit
- Lösungsergebnisse extern ersichtlich
- Batchfähiger Aufruf

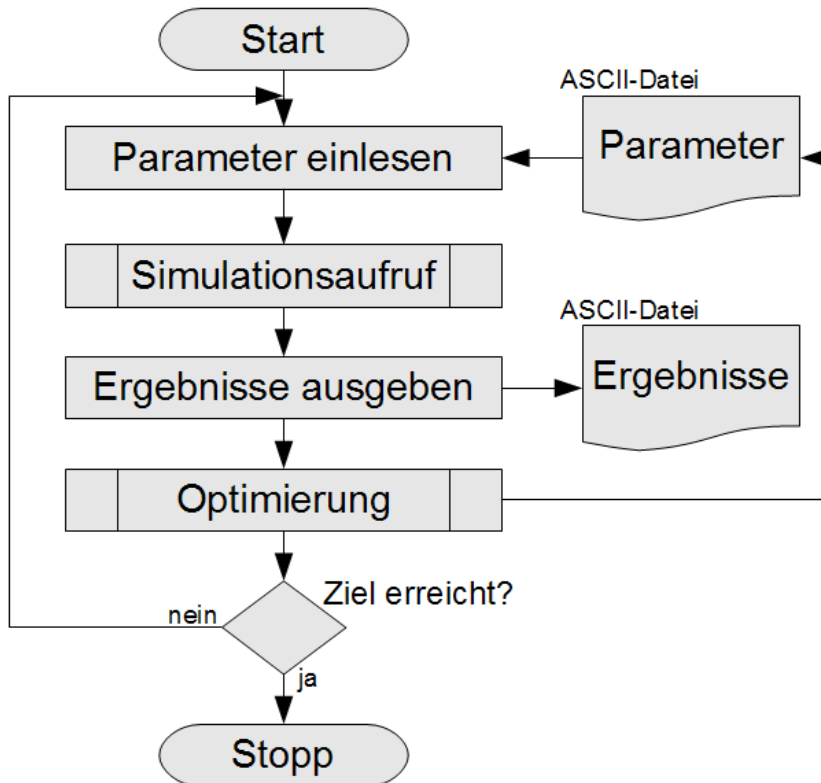


Anforderungen an die Parameter

- Zu optimierende Parameter sollten unabhängig sein
→ Jede Änderung eines Parameters muss sich auf alle davon betroffenen Eigenschaften im Modell auswirken

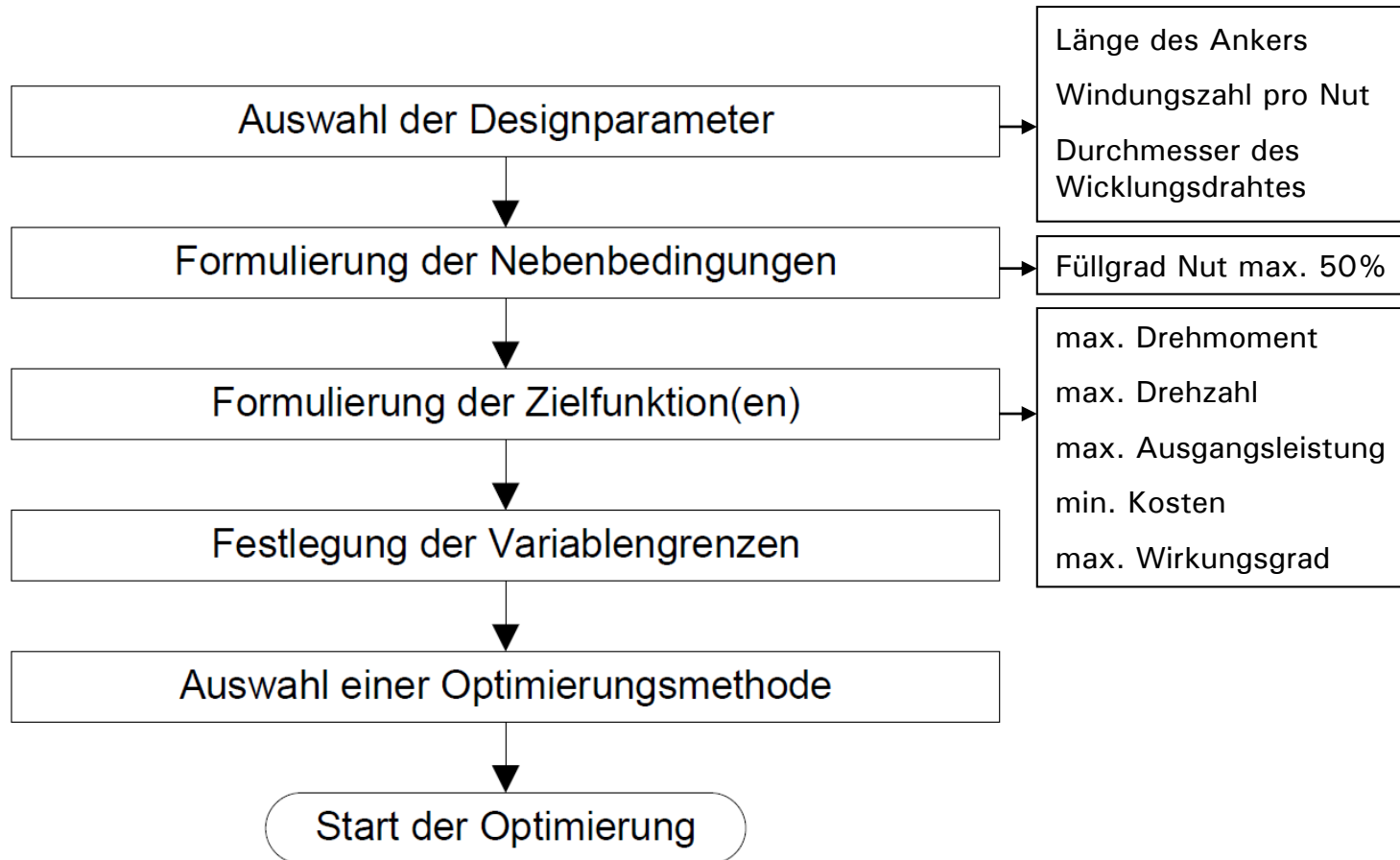


Ablauf der Parameteroptimierung

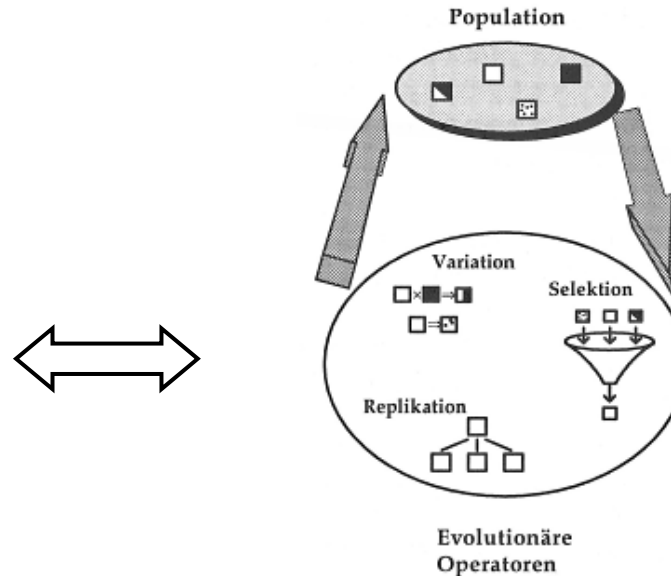
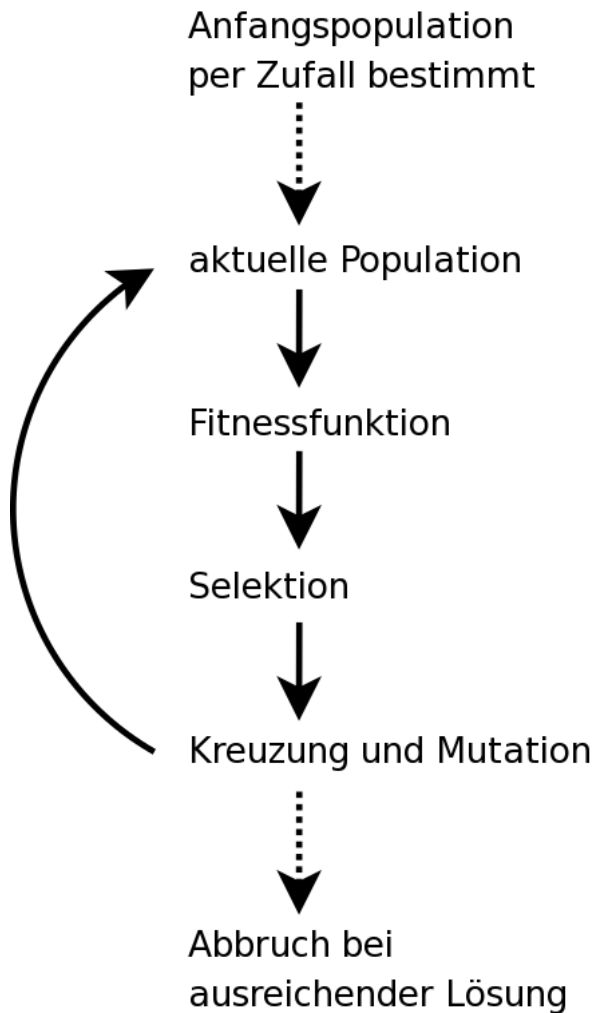


- Eingabeparameter und Lösungsergebnisse über ASCII-Dateien
- SimulationX-Steuerung über die COM-Schnittstelle (VB-Scripts), Parameterdateien
- Matlab-Steuerung über m-file und Ausgabevektoren

Vorbereitung für die Optimierung



Optimierungsmethode Evolutionärer Algorithmus (EA)



Warum EA?

- Mehrere potentielle Lösungen durch parallele Suche
 - Flexible Problembeschreibung möglich, d.h. Problemwissen nicht erforderlich, auch bei diskontinuierlichen Problemen anwendbar
 - Stochastisches Suchverfahren (nicht gradientenbasiert)
 - Nachteil: Großer Rechenzeitbedarf
- ⇒ Gute Eignung für vorhandene Simulationsmodelle

Parameter und Zielfunktionen

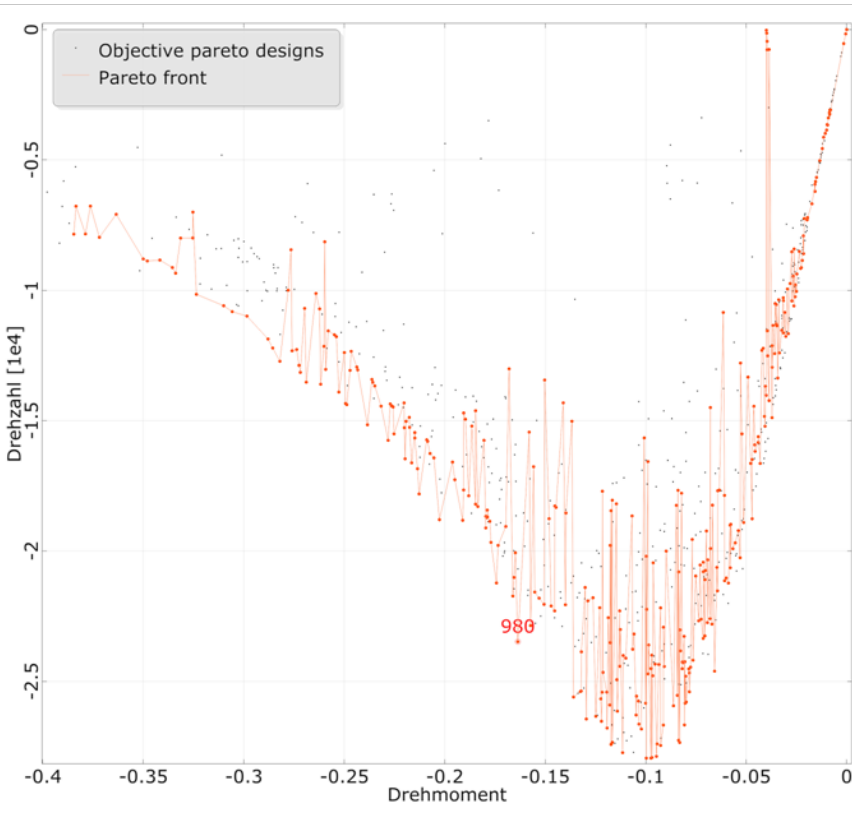
| Veränderliche Parameter | alt | Min | Max |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| Länge des Ankers [mm] | 35,0 | 1,0 | 35,0 |
| Windungszahl pro Nut | 37 | 10 | 80 |
| Durchmesser des Wicklungsdrahtes [mm] | 0,53 | 0,2 | 0,7 |

| Zielfunktionen | Art der Zielfunktion | Einheit |
|-----------------------|-----------------------------|----------------|
| Drehmoment | Maximierung | Nm |
| Drehzahl | Maximierung | U/min |
| Ausgangsleistung | Maximierung | W |
| Kosten | Minimierung | Euro |
| Wirkungsgrad | Maximierung | % |

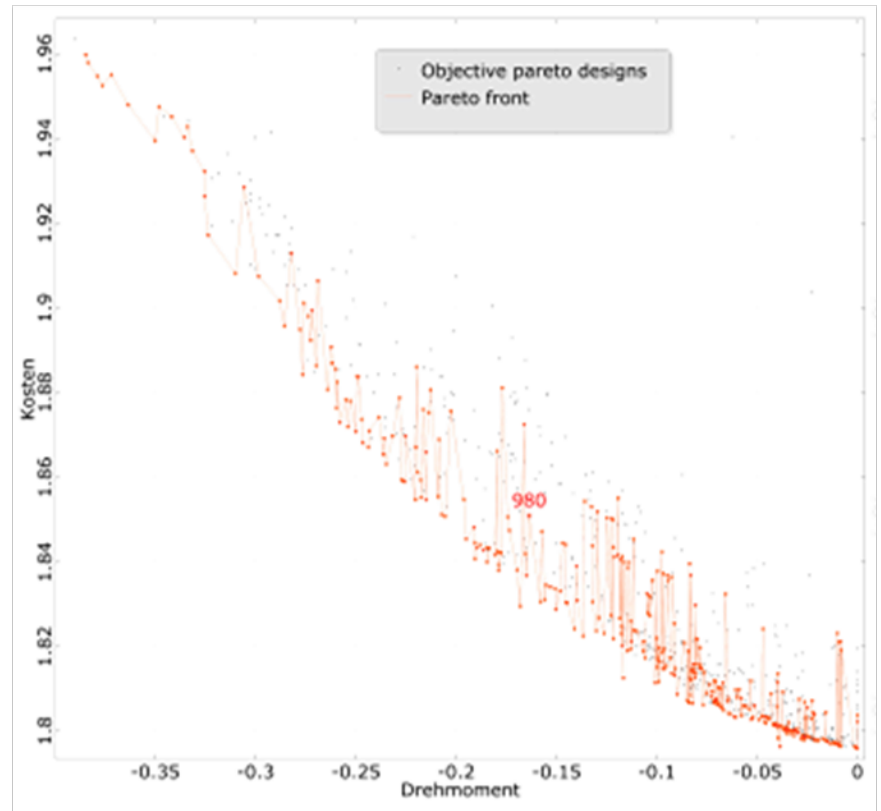
Ergebnis Optimierung DC-Motor-Modell

Pareto-Front

Drehzahl [U/min] (Drehmoment [Nm])



Kosten [€] (Drehmoment [Nm])

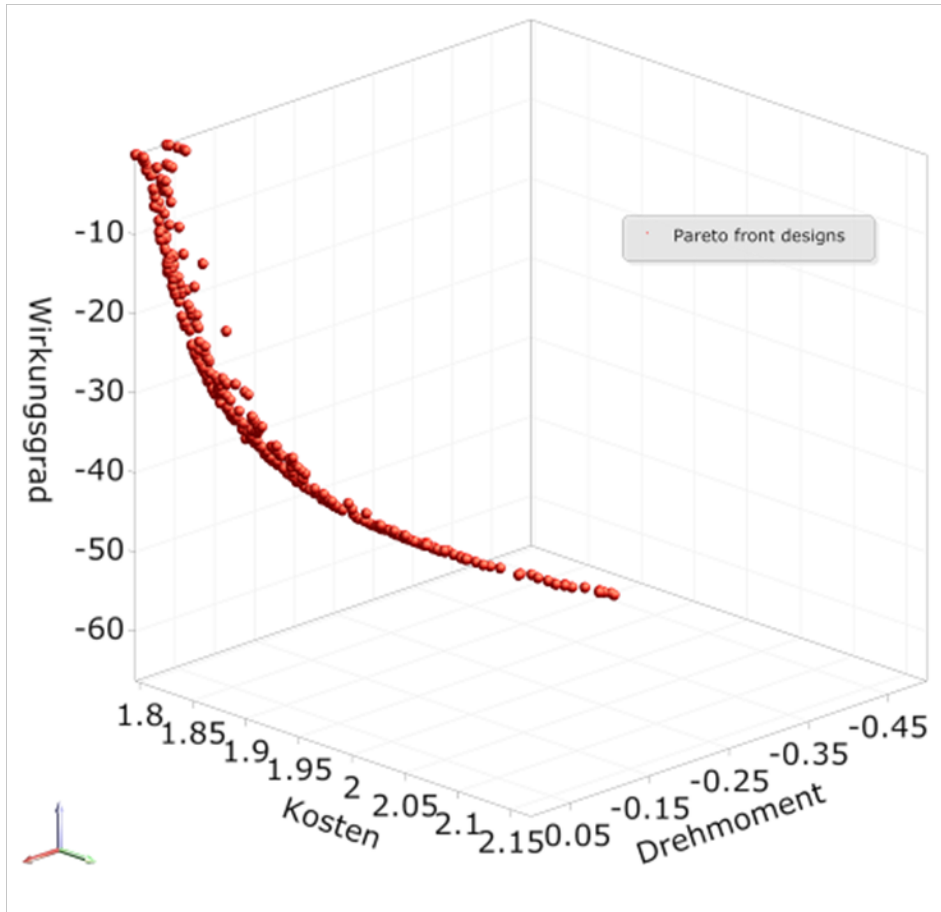


- Ca. 1500 Designs wurden berechnet

Ergebnis Optimierung DC-Motor-Modell

Pareto-Front

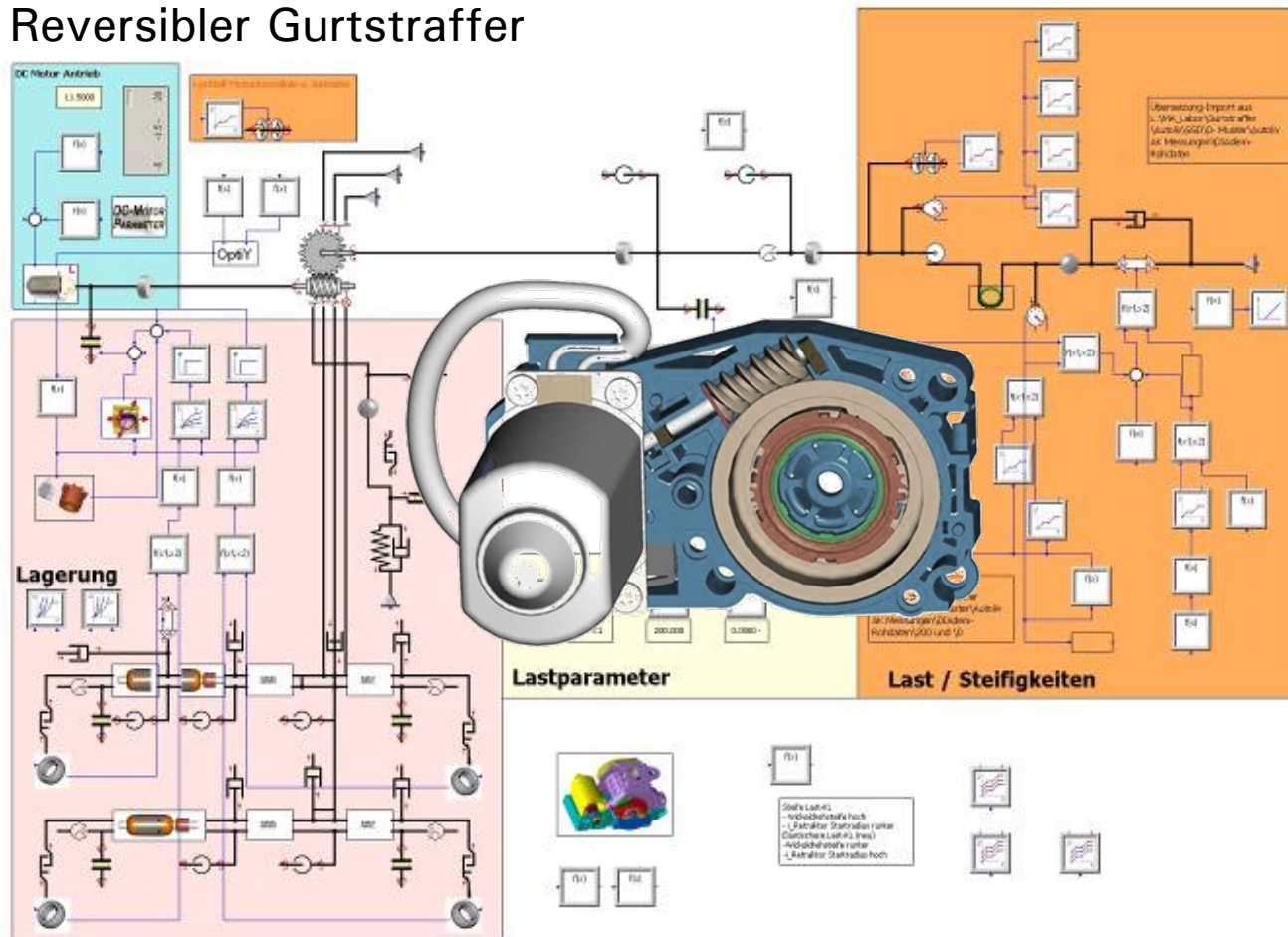
Wirkungsgrad [%] (Kosten [€] , Drehmoment [Nm])



- Einfluss von Fixkosten und variablen Kosten
- Quadratische Abhängigkeit zwischen Wirkungsgrad, Kosten und Drehmoment

Modellbeispiel Optimierung SimulationX-Modell

Reversibler Gurtstraffer



- Geometrische, elektrische, magnetische, mechanische und thermische Parameter
- Mit Messdaten validiertes Modellverhalten (dynamisch und statisch)

Parameter und Zielfunktionen

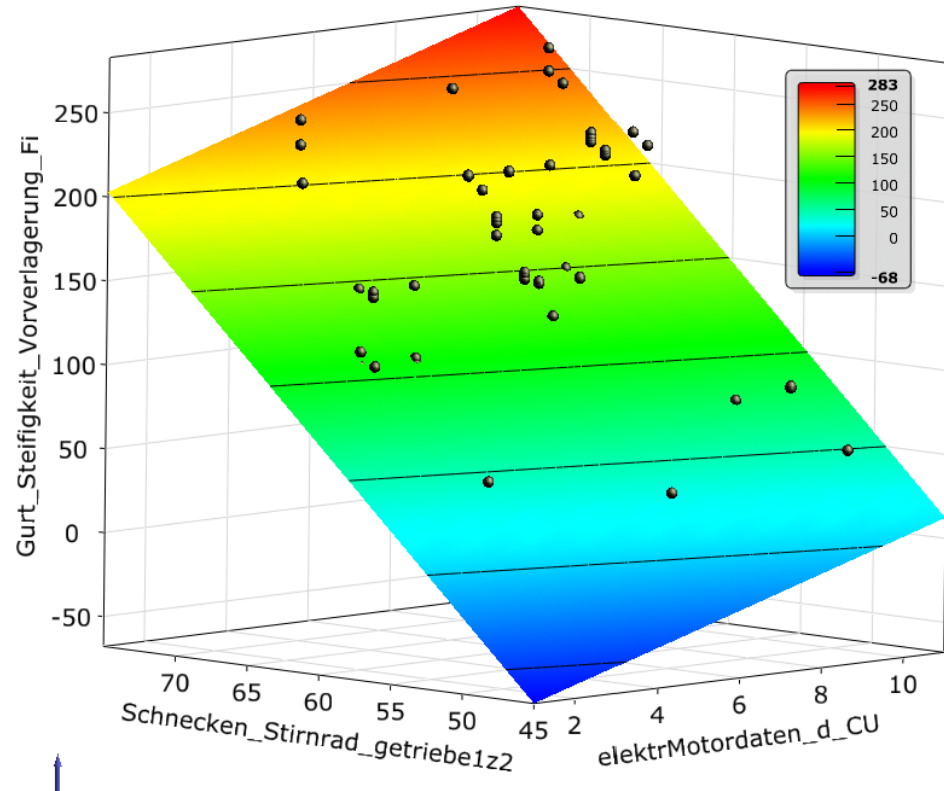
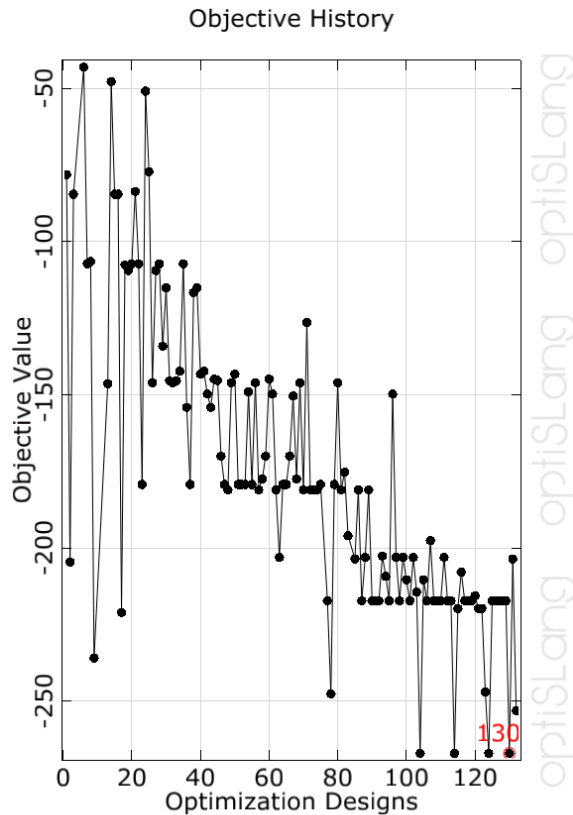
| Veränderliche Parameter | Ausgangswert | Min | Max |
|--------------------------------|--------------|--------|--------|
| Schneckenstirnradzähne | 71 | 45 | 75 |
| Windungszahl pro Nut | 23 | 16 | 28 |
| Durchmesser Wicklungsdraht [m] | 0,0006 | 0,0004 | 0,0007 |

| Nebenbedingung | Art der Nebenbed. | Einheit |
|----------------|-------------------|---------|
| Straffzeit | ≤ 120 | ms |

| Zielfunktion | Art der Zielfunktion | Einheit |
|--------------|------------------------|---------|
| Straffkraft | ≥ 250 Maximierung | N |

- Nebenbedingung und Zielfunktion werden mit unterschiedlichen Lastmodellen gerechnet → realisiert über 2 Eingabe- und 2 Ausgabedateien

Ergebnis Optimierung Reversibler Gurtstraffer-Modell



- Ca. 300 Designs wurden berechnet
- Linearer Zusammenhang zwischen Radzähnezahl, Drahtdurchmesser und Straffkraft

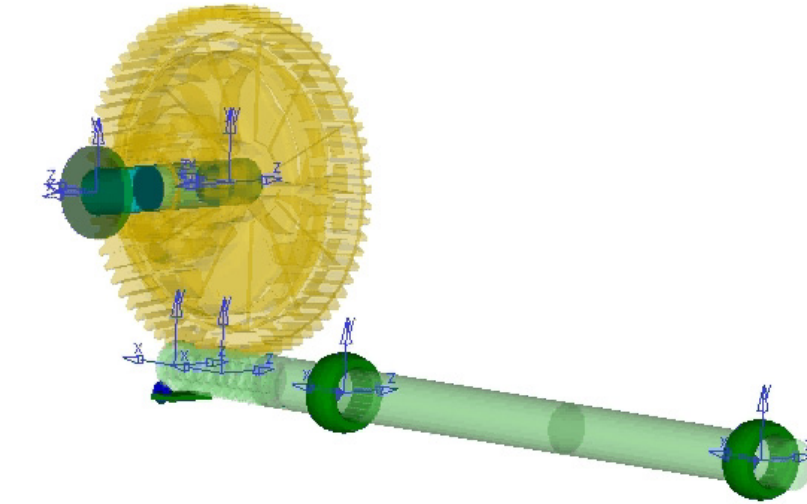
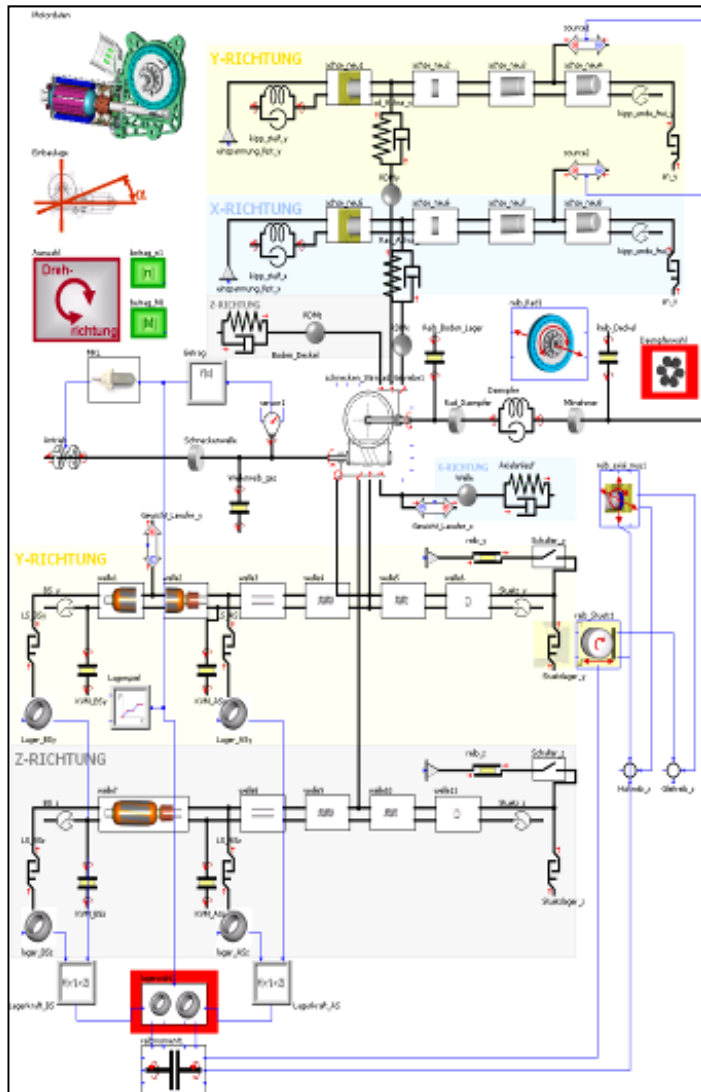
Ergebnis Optimierung Reversibler Gurtstraffer-Modell

| Eingangsparameter | alter Wert | neuer Wert |
|--------------------------------|------------|------------|
| Schneckenstirnradzähne | 71 | 70 |
| Windungszahl pro Nut | 23 | 27 |
| Durchmesser Wicklungsdraht [m] | 0,0006 | 0,00067 |

| Ausgangsparameter | alter Wert | neuer Wert |
|--|------------|------------|
| Zeit für Gurtstraffweg von 80mm (ms) (≤ 120) | 120,2 | 107,4 |
| maximale Gurtstraffkraft (N) (≥ 250) <i>max)</i> | 230,0 | 267,0 |

- Steigerung der Straffkraft um 16% (+ 37N)
- Straffzeit für 80mm um 12,8ms gesenkt

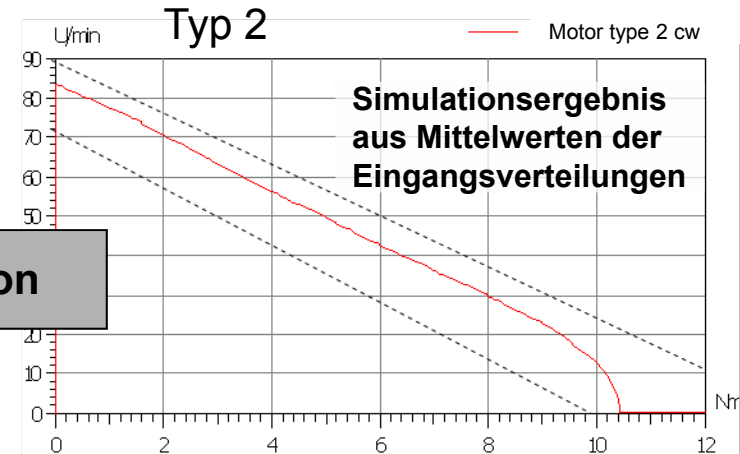
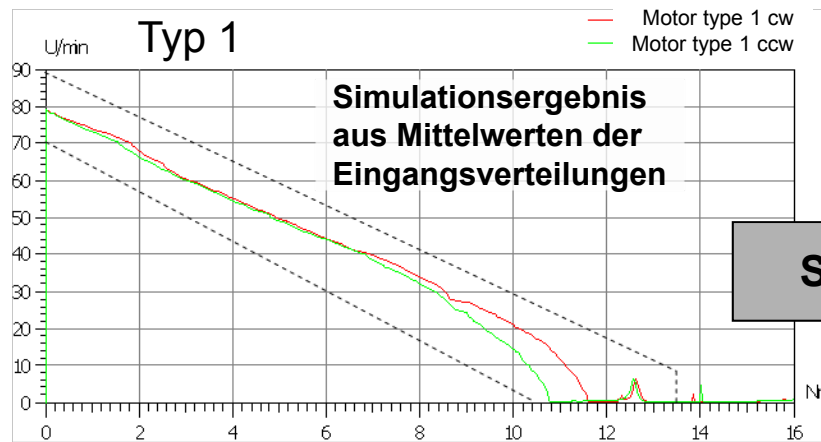
Modellbeispiel Fensterheber-Aktuator in SimulationX



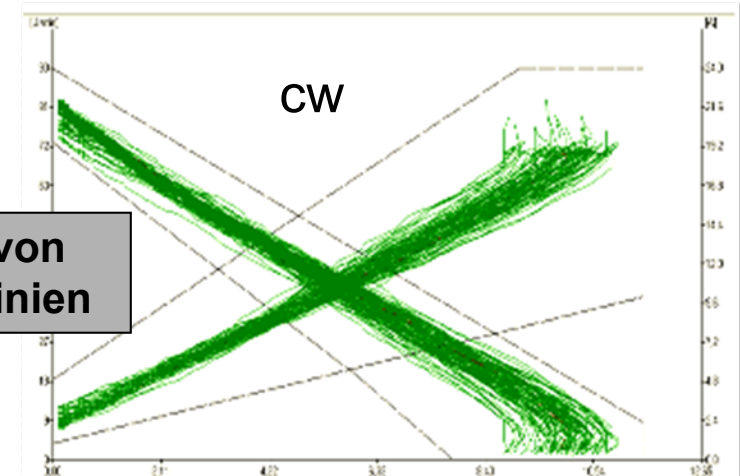
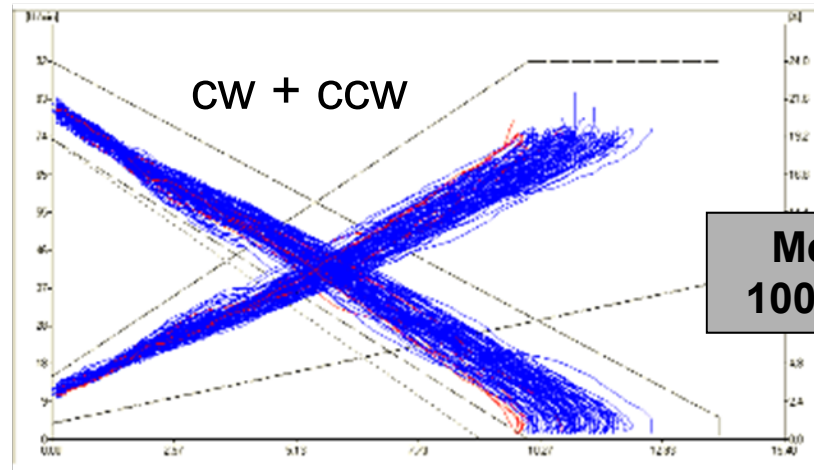
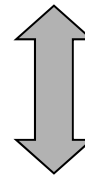
- Geometrische, elektrische, magnetische, mechanische und thermische Parameter
- Mit Messdaten validiertes Modellverhalten (dynamisch und statisch)

Modellbeispiel Fensterheber-Aktuator in SimulationX

Abgleich von Messung und Simulation



Simulation



Messung von 1000 Kennlinien

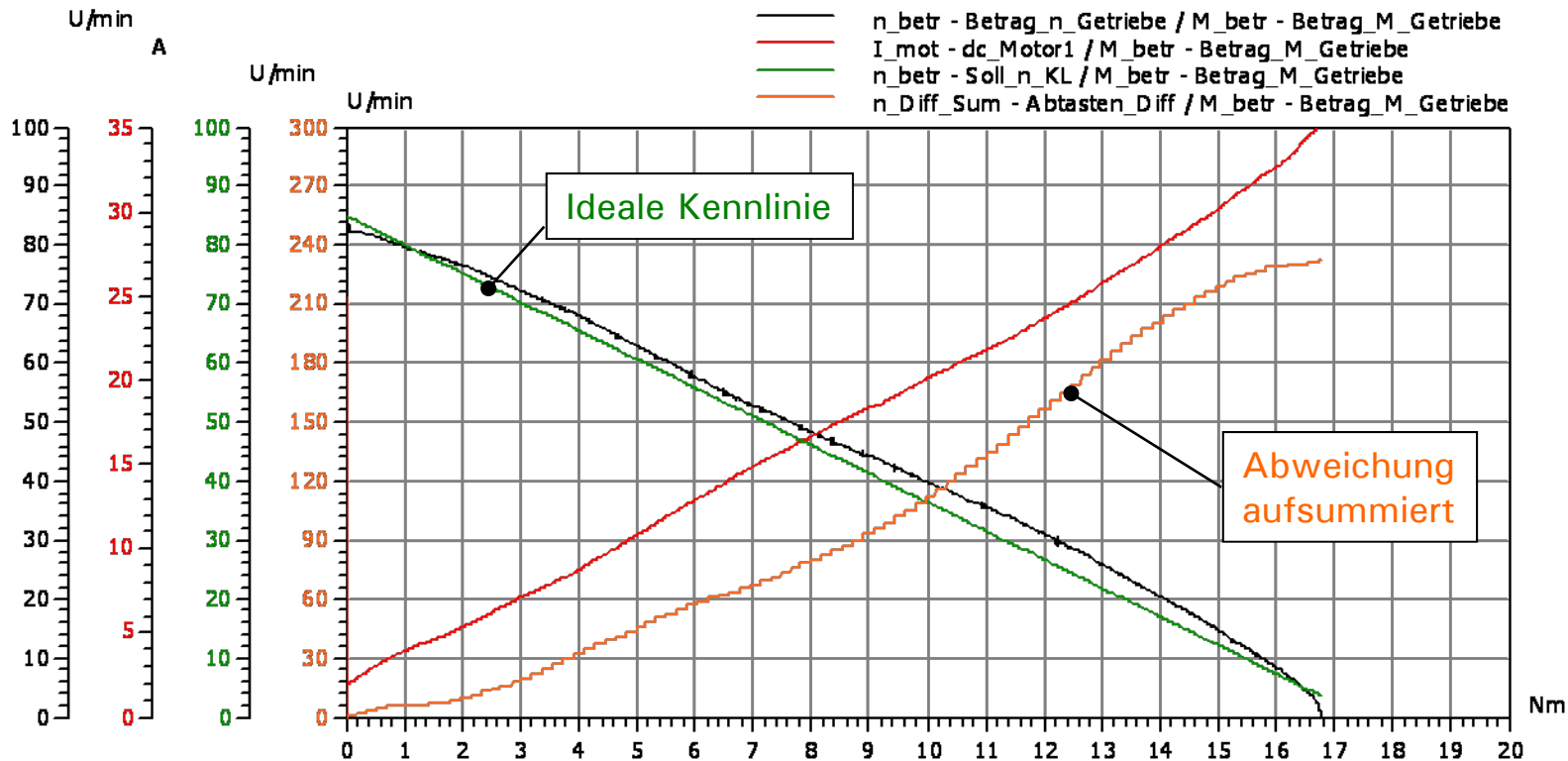
Modellbeispiel Fensterheber-Aktuator in SimulationX

| Veränderliche Parameter | Ausgangswert | Min | Max |
|--------------------------------|--------------|---------|---------|
| Schneckenstirnradzähne [-] | 73 | 65 | 83 |
| Schneckensteigungswinkel [°] | 6,60 | 5,00 | 8,00 |
| Windungszahl pro Nut [-] | 20 | 15 | 30 |
| Länge des Ankers [m] | 0,035 | 0,020 | 0,040 |
| Durchmesser Wicklungsdraht [m] | 0,00052 | 0,00040 | 0,00080 |

| Nebenbedingungen | Art der Nebenbedingung | Einheit |
|--------------------------------|------------------------|---------|
| Füllgrad in der Nutfläche | ≤ 50 | % |
| Wirkungsgrad Schneckengetriebe | ≤ 60 | % |

| Zielfunktion | Art der Zielfunktion | Einheit |
|---|------------------------|---------|
| Mittl. Abweichung von idealer Kennlinie | Minimierung (80% Gew.) | U/min |
| Gesamtwirkungsgrad | Maximierung (20% Gew.) | % |

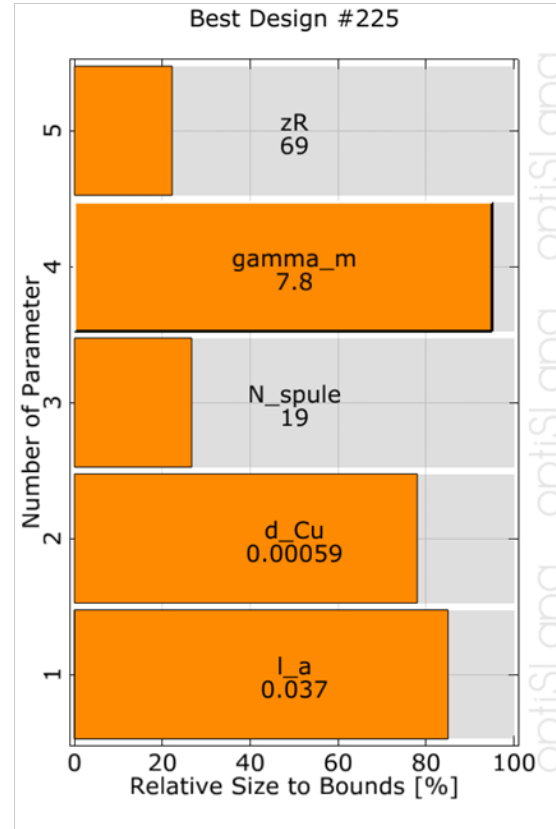
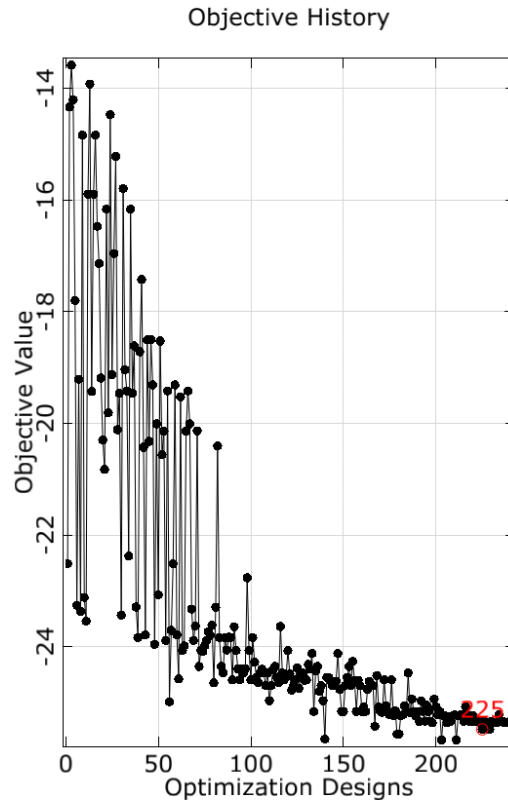
Ergebnis Optimierung Fensterheber-Aktuator-Modell



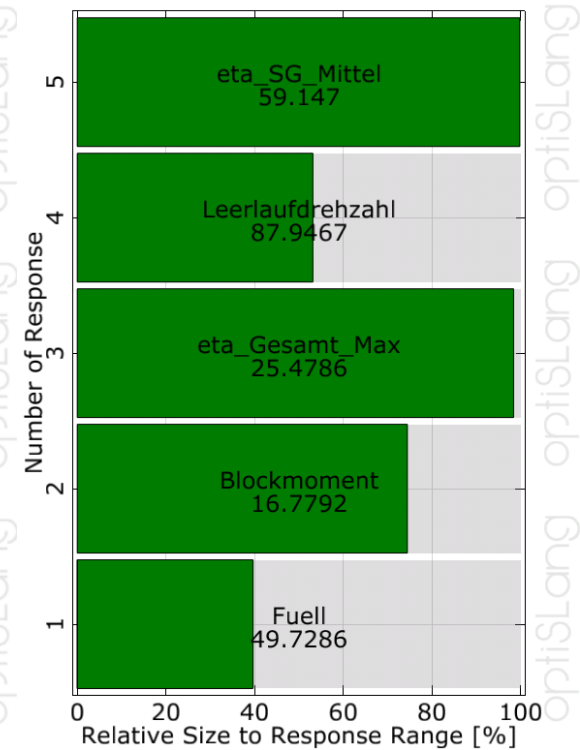
- Mittlere Drehzahlabweichung von idealer Kennlinie beträgt 2,45 U/min (Minimum)
- Gute Annäherung an Wunschkennlinie im Besten Design
(Leerlaufdrehzahl 85 U/min, Blockmoment 17,5 Nm)

Ergebnis Optimierung Fensterheber-Aktuator-Modell

Bestes Design



RESPONSE DATA: (Best Design #225)



- Ca. 240 Designs wurden berechnet
- Bestes Design 225: Maximal erreichter Gesamtwirkungsgrad = 25,5%

Modellbeispiel Fensterheber-Aktuator in SimulationX

Pareto-Optimierung

Veränderliche Parameter wie im Beispiel vorher!

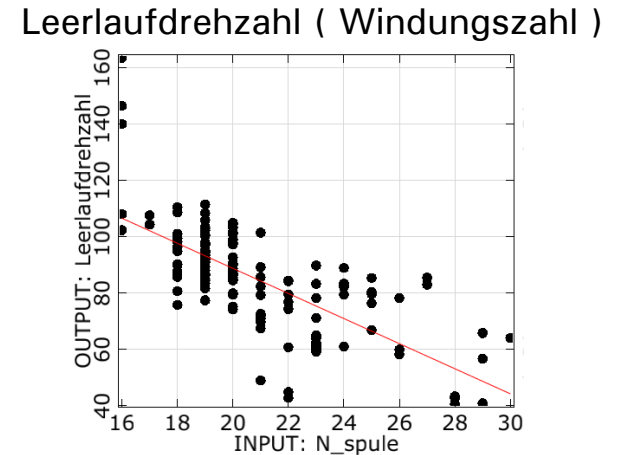
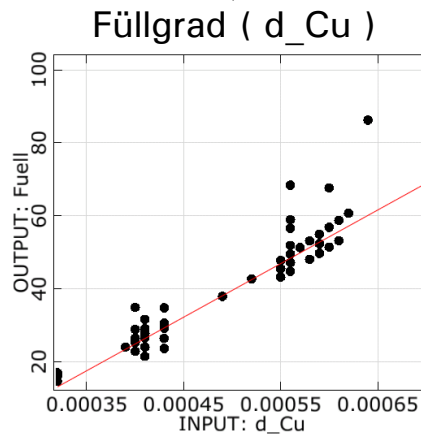
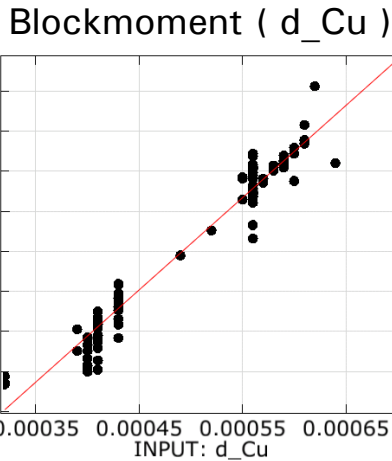
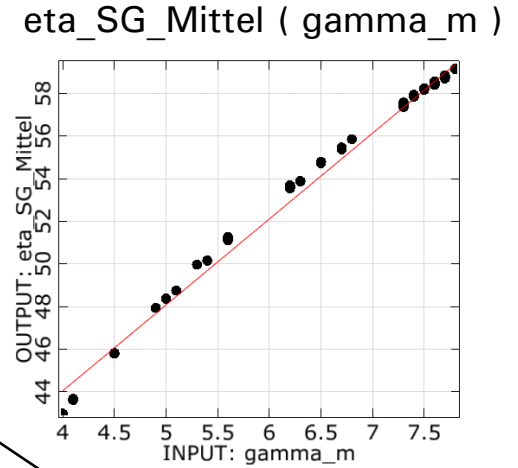
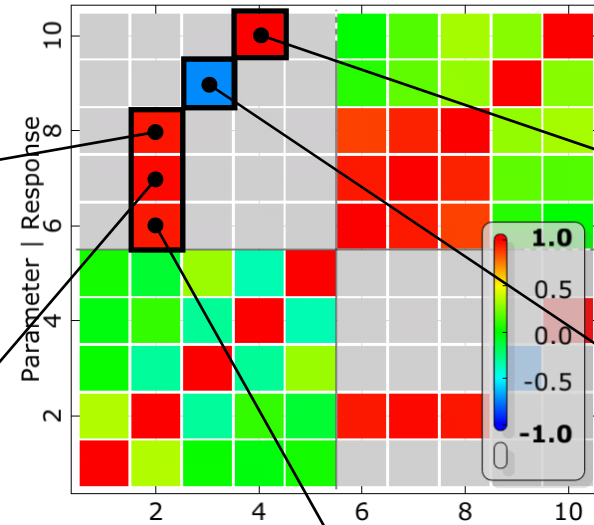
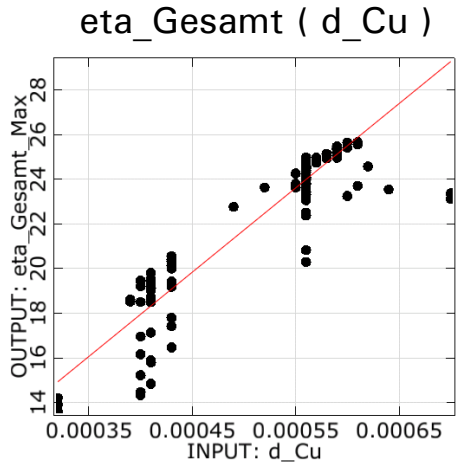
| Nebenbedingungen | Art der Nebenbed. | Einheit |
|--------------------------------|-------------------|---------|
| Füllgrad in der Nutfläche | ≤ 50 | % |
| Wirkungsgrad Schneckengetriebe | ≤ 60 | % |
| Blockmoment | ≤ 15 | Nm |
| Leerlaufdrehzahl | ≤ 100 | U/min |

| Zielfunktion | Art der Zielfunktion | Einheit |
|--------------------|----------------------|---------|
| Gesamtwirkungsgrad | Maximierung | % |
| Blockmoment | Maximierung | Nm |
| Leerlaufdrehzahl | Maximierung | U/min |

Ergebnis Pareto-Optimierung Fensterheber-Modell

Korrelationsmatrix (lineare Korrelation in → out)

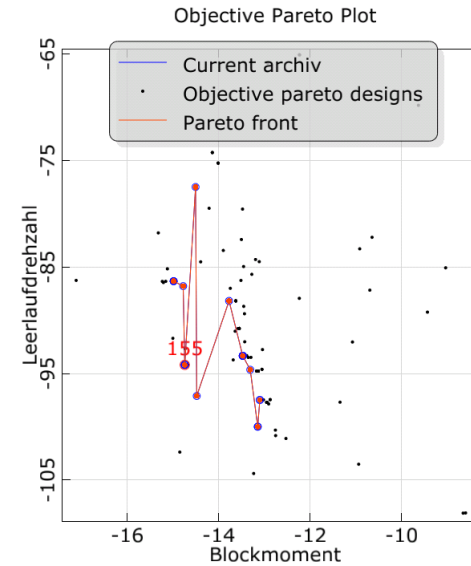
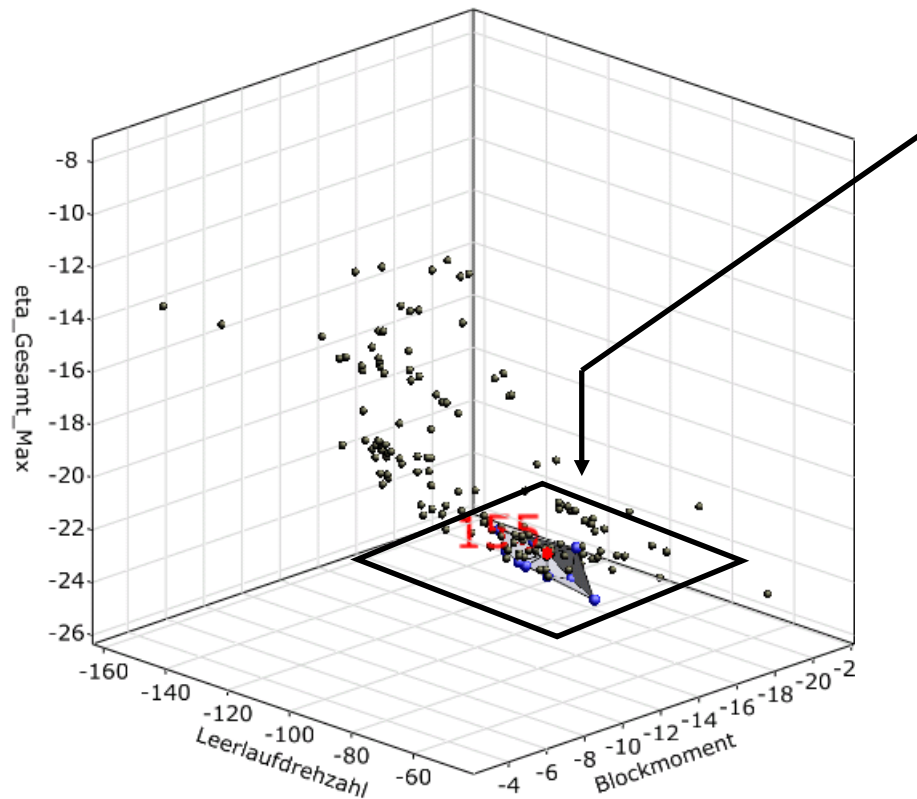
INPUT: N_spule vs. OUTPUT: Leerlaufdrehzahl, $r = -0$



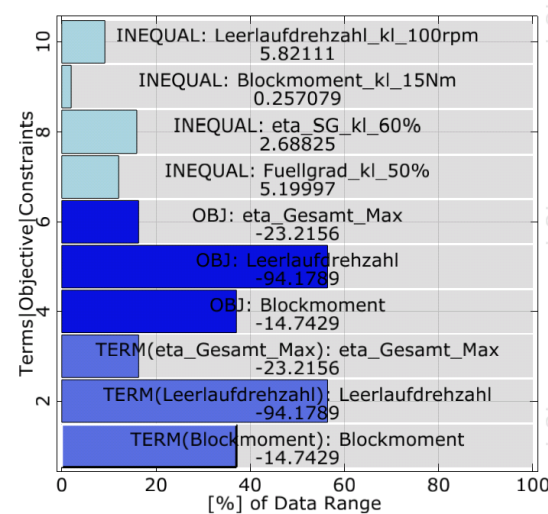
Ergebnis Pareto-Optimierung Fensterheber-Modell

3D Pareto Plot

Gesamtwirkungsgrad
(Leerlaufdrehzahl, Blockmoment)

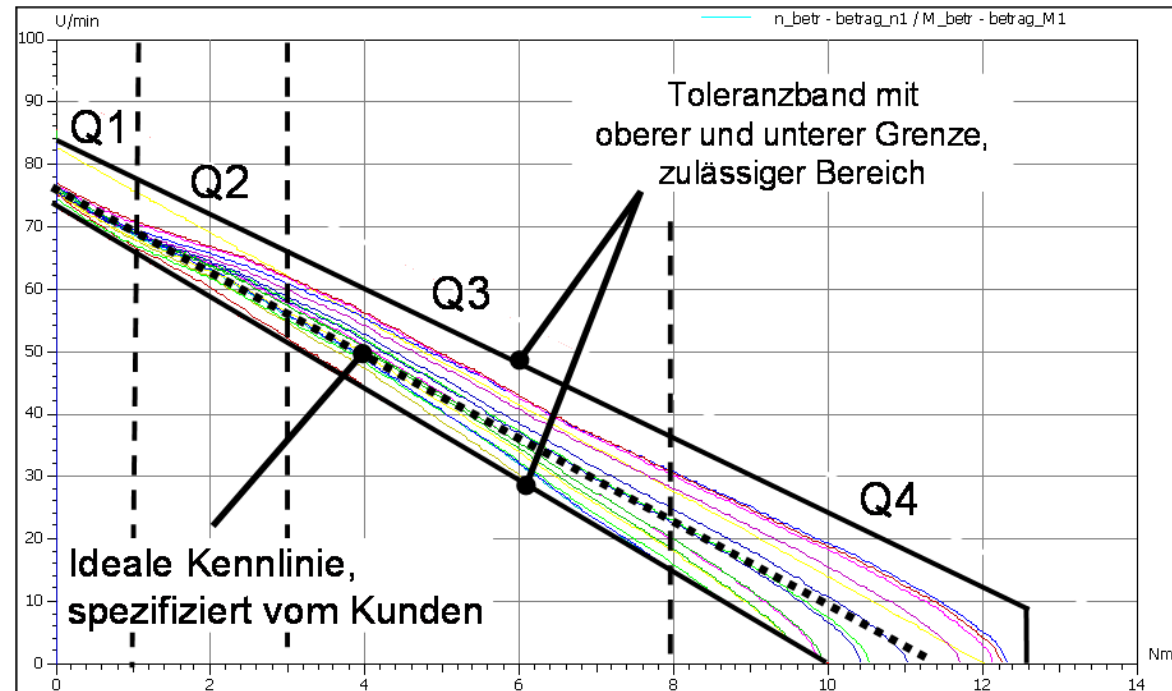


OBJECTIVE DATA: (Best Design #155)



Zusammenfassung und Ausblick


- Parameteroptimierung mit CAE-Modellen (Kopplung mit SimX, Simulink, binär)
- Parameteroptimierung zur Modellvalidierung
- Kennlinienanpassung (z.B. Vorgabe einer „idealen“ Kennlinie)
- Robust-Design-Optimierung (z.B. Einhaltung von Streubandgrenzen unter Berücksichtigung der Eingangsparameter-Verteilungen)
- Abwägung zwischen unterschiedlichen Zielfunktionsoptima (z.B. zusätzlich thermisches Verhalten)



Ende

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!





Parameteroptimierung von Simulationsmodellen mit Evolutionären Algorithmen in optiSLang

Kopplung mit CAE-Tools SimulationX und Simulink

Dipl.-Ing. M. Koch

Weimarer Optimierungs- und Stochastiktag 6.0
15.-16. Oktober 2009