

Optimierung eines PMSM-Motors bezüglich Drehmoment und Ripple mit NX Magnetics und HEEDS

PLM Connection 2022

22.06.2022

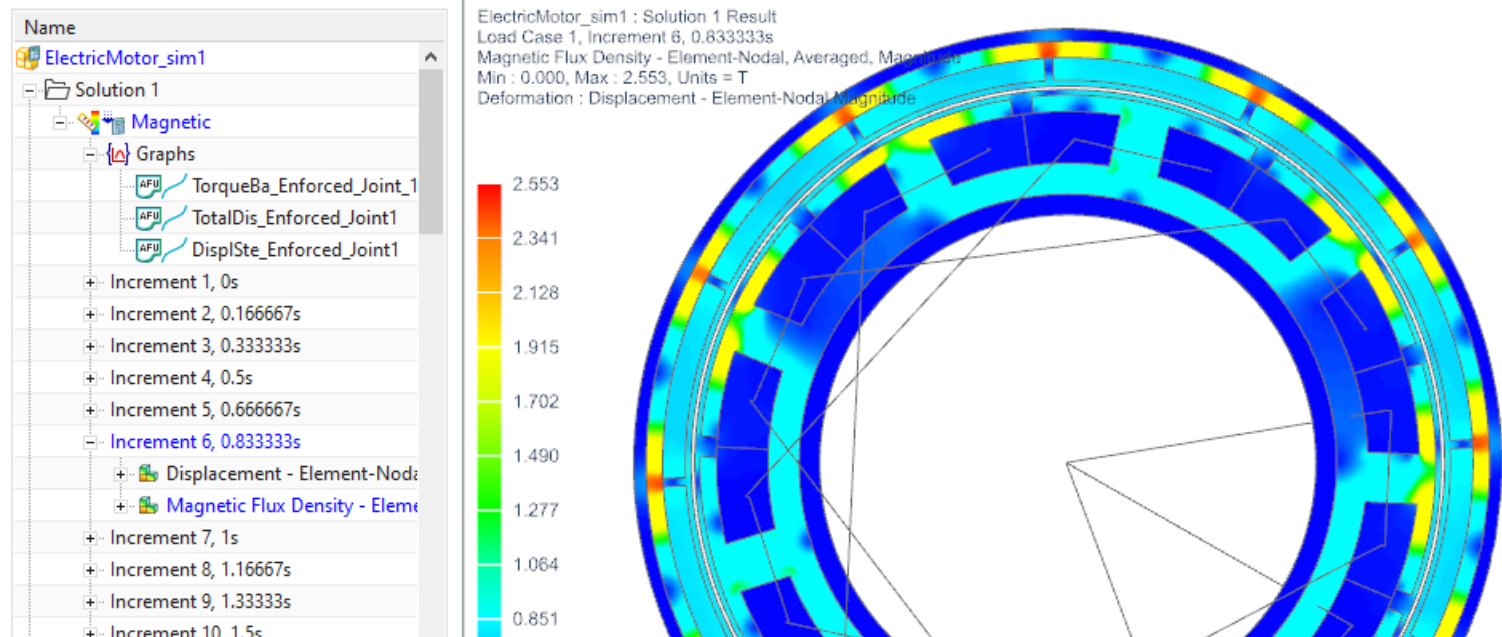
Peter Binde

Dr. Binde Ingenieure
GmbH

www.simcenter.expert

www.magnetics.de

www.drbinde.de

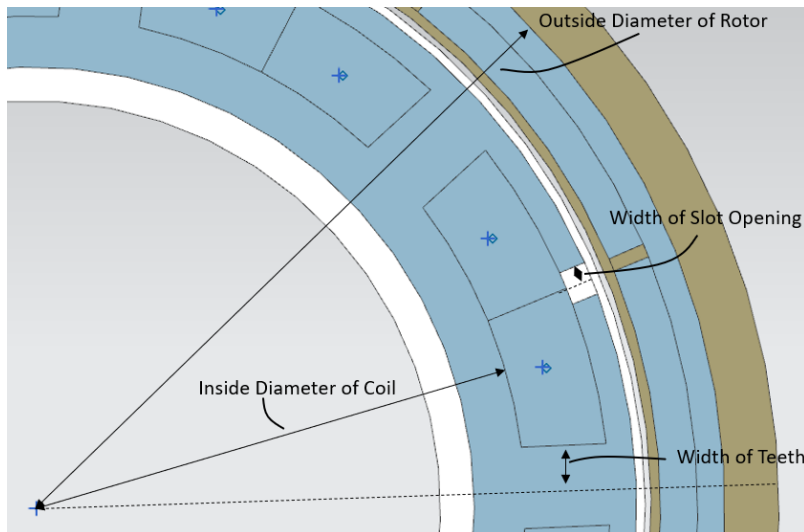


Wir zeigen die Optimierung eines Permanentmagnet-Synchronmotors, der mit NX Magnetics simuliert wird.

Dafür nutzen wir neben NX Magnetics das Programm Design Space Exploration, eine limitierte Version von HEEDS, die es erlaubt mit Simcenter 3D und den darin enthaltenen Solvern zu arbeiten.

Das Ziel der Optimierung ist die Maximierung des gemittelten Drehmoments, wobei gleichzeitig eine Minimierung des Ripple definiert wird.

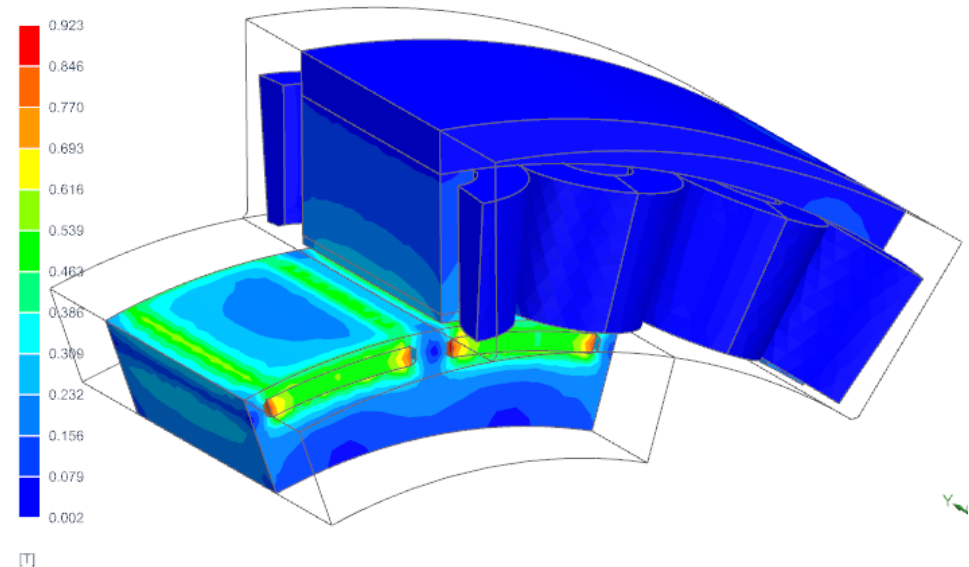
Dafür erlauben wir die Variation des äußeren Rotor-Durchmessers, des inneren Spulen-Durchmessers, der Größe der Slot-Öffnungen und der Größe der Zähne.



Study 1: DesignTable_4						
Design ID	RMS_Torque	Ripple	Outside_Diameter_of_Rotor	Inside_Diameter_of_Coil	Width_of_Teeth	Width_of_Slot_Opening
1	11,5613	6,19362	204	72,5	6	2,5
2	15,9914	18,611	209,1	72,48	6,85	5
3	10,2333	1,0946	203,6	69,26	8,11	0,905
4	14,3251	10,1646	210	71,15	7,48	1,715
5	8,98279	3,52498	201,8	68	5,52	3,785
6	11,9023	3,99088	207,3	74,37	4,26	2,12
7	9,36315	2,23324	200,9	73,74	6,15	1,31
8	13,631	10,874	205,5	75	8,74	2,975
9	12,0358	6,78733	206,4	68,63	9,37	4,19
10	11,185	8,66632	202,7	73,11	4,89	4,595
11	8,42361	1,77224	204,5	70,52	3	0,5
12	11,8624	7,24391	208,2	69,89	3,63	3,38
13	11,9988	4,66885	207	74,16	4,4	2,345
14	9,81763	1,95061	202,6	69,68	7,34	0,68
15	9,55337	1,28707	203,3	70,8	4,05	1,04
16	9,26617	3,17615	201,8	68,28	5,52	3,785
17	15,6225	16,4483	210	71,15	7,48	3,965
18	15,7937	17,1555	210	70,94	7,76	4,19

- Dr. Binde Ingenieure GmbH
- Synchron-Motor, Demonstrator
- Vielfältige Simulationsaufgaben am e-Motor
- Das Simulationsprogramm: NX Magnetics
- pdf- und Video-Tutorials
- Parameter Optimization mit HEEDS
- Fazit, Erfahrungen bei Simcenter-HEEDS Studien

Bild rechts: Beispiel anderer 2D/3D Simulation eines Automotive e-Motors



Stehen Sie vor solchen Aufgaben:

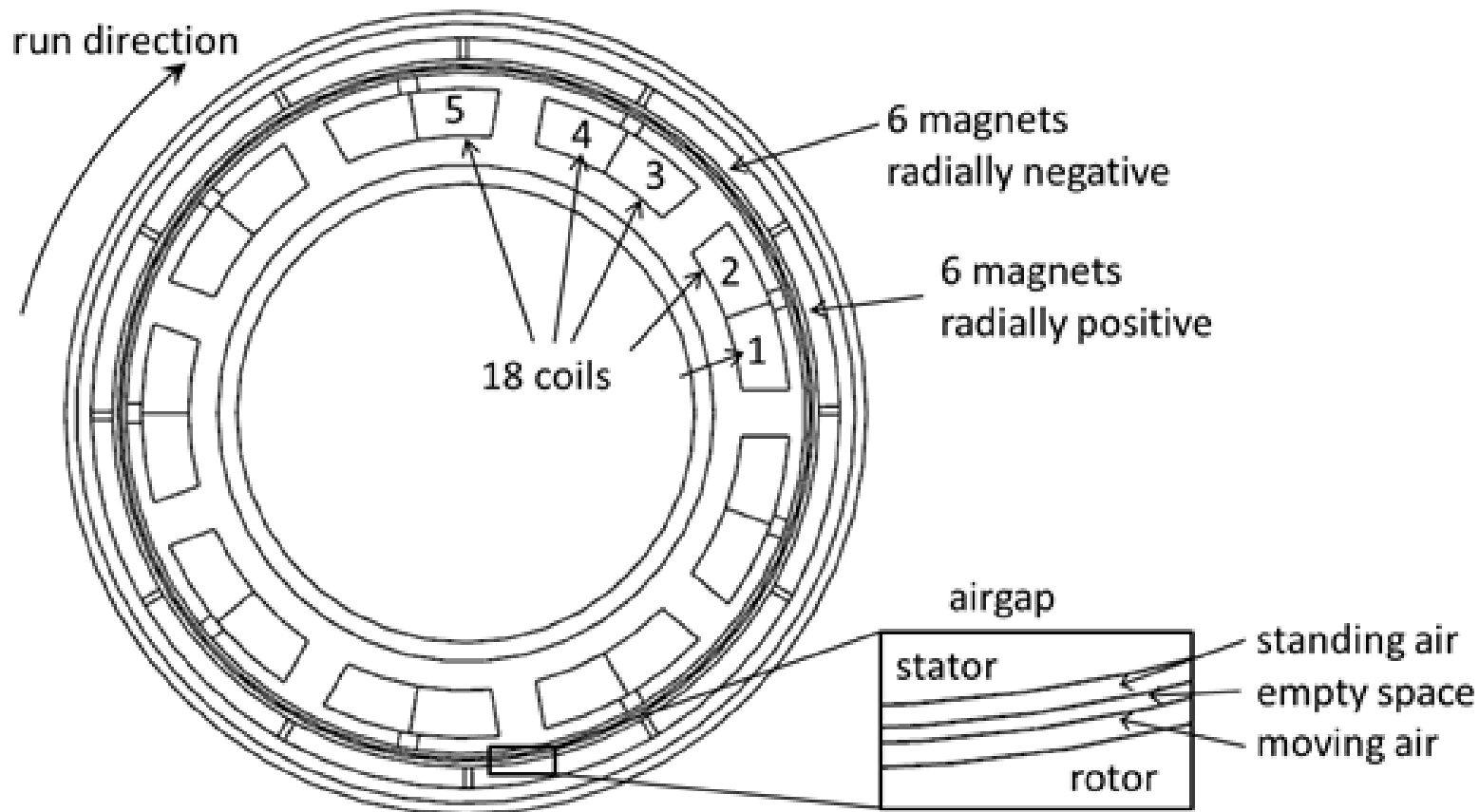
- Innovationen sind permanent erforderlich?
- Messungen und Experimente sind nicht zufriedenstellend?
- Physikalische Effekte sind komplex?
- Zeit ist knapp?

Dann sind wir für Sie da!

Wie wir Ihnen helfen:

- Dr. Binde Ingenieure GmbH ist SIEMENS Solution Partner für Software und Technologie und spezialisiert auf technische Simulation. Unsere Ingenieure helfen Ihnen mit viel Engagement und Know-How bei allen Belangen rund um die Produktsimulation mit den Siemens Simcenter Produkten.
- Unsere Kompetenzen beruhen auf langjähriger Erfahrung und Spezialisierung auf Simcenter mit den fünf Fachgebieten **Strukturmechanik, Starrkörpermechanik, Strömungsmechanik, Thermodynamik** und **Elektrodynamik**.
- Unsere exklusiven Kunden profitieren darüber hinaus, aufgrund der engen Zusammenarbeit mit dem Softwarehersteller SIEMENS, sowie mit technischen Universitäten, vom Austausch mit der Simcenter Entwicklung und aktuellsten Technologien.
- Wir entwickeln für Ihre individuellen, multiphysikalischen Simulationen den Solver [Magnetics](#), vertreten Ihre Interessen und organisieren die deutsche [CAE-Anwendergruppe](#) der [Siemens PLM-Connection](#) und wir schreiben für Ihr Eigenstudium das HANSER-Lehrbuch [Simulationen mit NX / Simcenter3D](#).

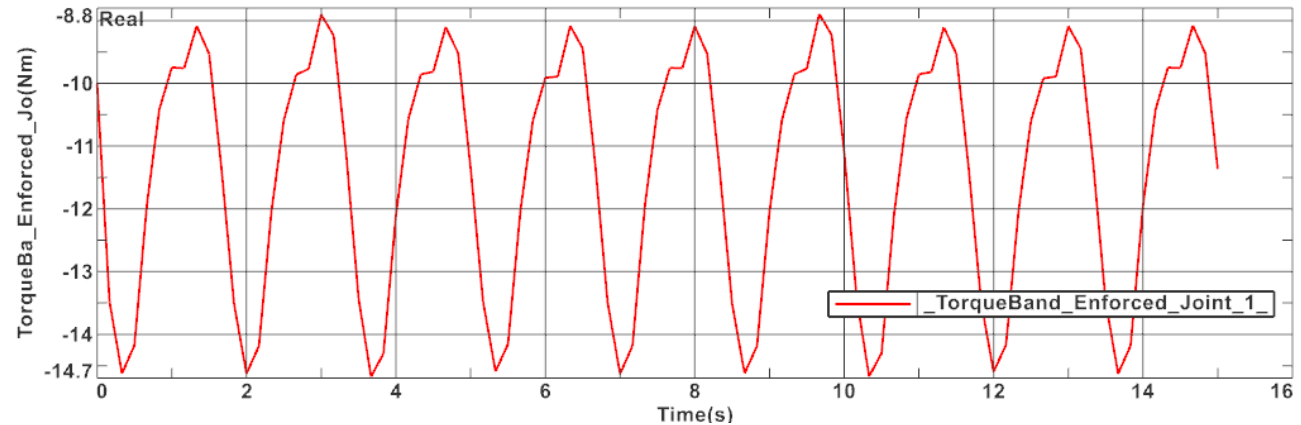
- Außenläufer-Motor, enthalten in Tutorial-Bibliothek.
- Erstes Design, nach grober Vorlage, z.B. durch Programme wie Speed, MotorCAD, o.ä.
- Hier: Detail-Analyse mit FEM. Nicht nur analytische Überschlagsrechnung.



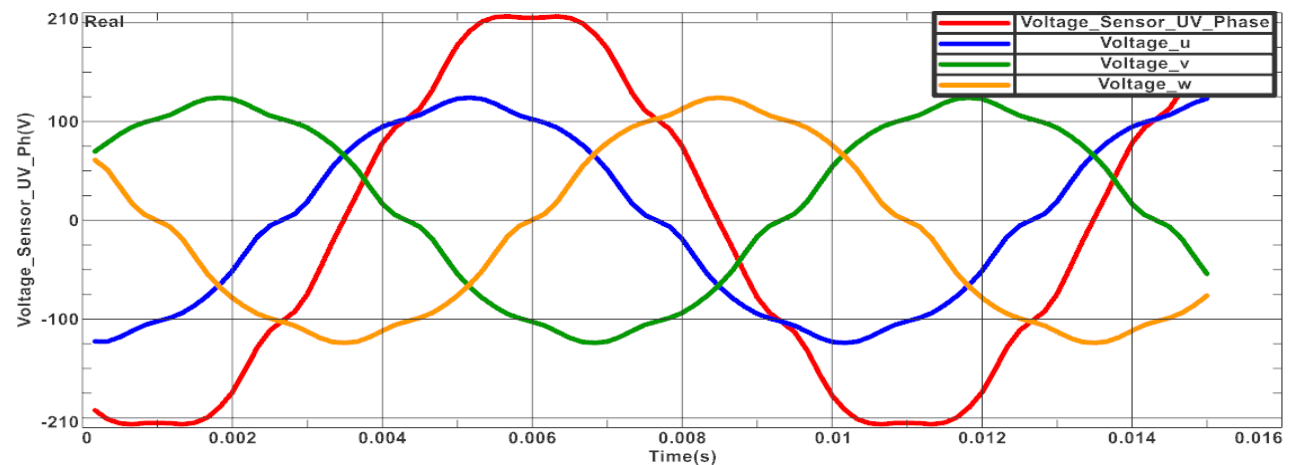
Aufbau des Simulationsmodells in Simcenter 3D mit dem NX Magnetics Solver.

Ein Video zeigt, wie in 15 Minuten (geübter Anwender) alles aufgebaut und durchgerechnet ist. Alternativ das pdf durcharbeiten.

Wichtige Ergebnisse:
Drehmoment und
dessen Schwankung
(Ripple, ungewünscht)



Rück-Spannung in den
drei Phasen
(für Regler-Auslegung)



- Geometrische Dimensionen optimal einstellen. Magnete, deren Form und Richtungen und die Spulen so abstimmen, dass größte Kräfte entstehen, gleichzeitig Kraftschwankungen (Ripple) klein halten. – Unser Thema hier!
- Verluste berechnen und klein halten, Leitungsverluste im Kupfer, Ummagnetisierungsverluste im Eisen, Streuverluste an den Enden
- Temperaturen ermitteln mit den Verlusten. Temperaturen ableiten, Kühlen
- Anlaufverhalten und Verhalten bei mechanischer Belastung herausfinden
- Toleranzen simulieren: Wenn der Rotor nicht exakt mittig läuft
- Kurzschluss-Fall simulieren, Demagnetisierung der Magnete und Weiterlauf eines beschädigten Motors prüfen.
- Akustik: die magnetischen Kräfte verformen die Geometrie und führen zu Schwingungen, die Schall abstrahlen.
- Bei immer höheren Takt-Frequenzen die elektromagnetische Verträglichkeit zur Umgebung prüfen (EMV)

- Gemeinschaftsentwicklung

- Dr. Binde Ingenieure - Gesamtsystem, Kundensupport, Vertrieb
- Universität Lüttich - numerische Bibliothek, Wissenschaft
- Siemens PLM - API's für NX/Simcenter Integration

- Besonderheiten:

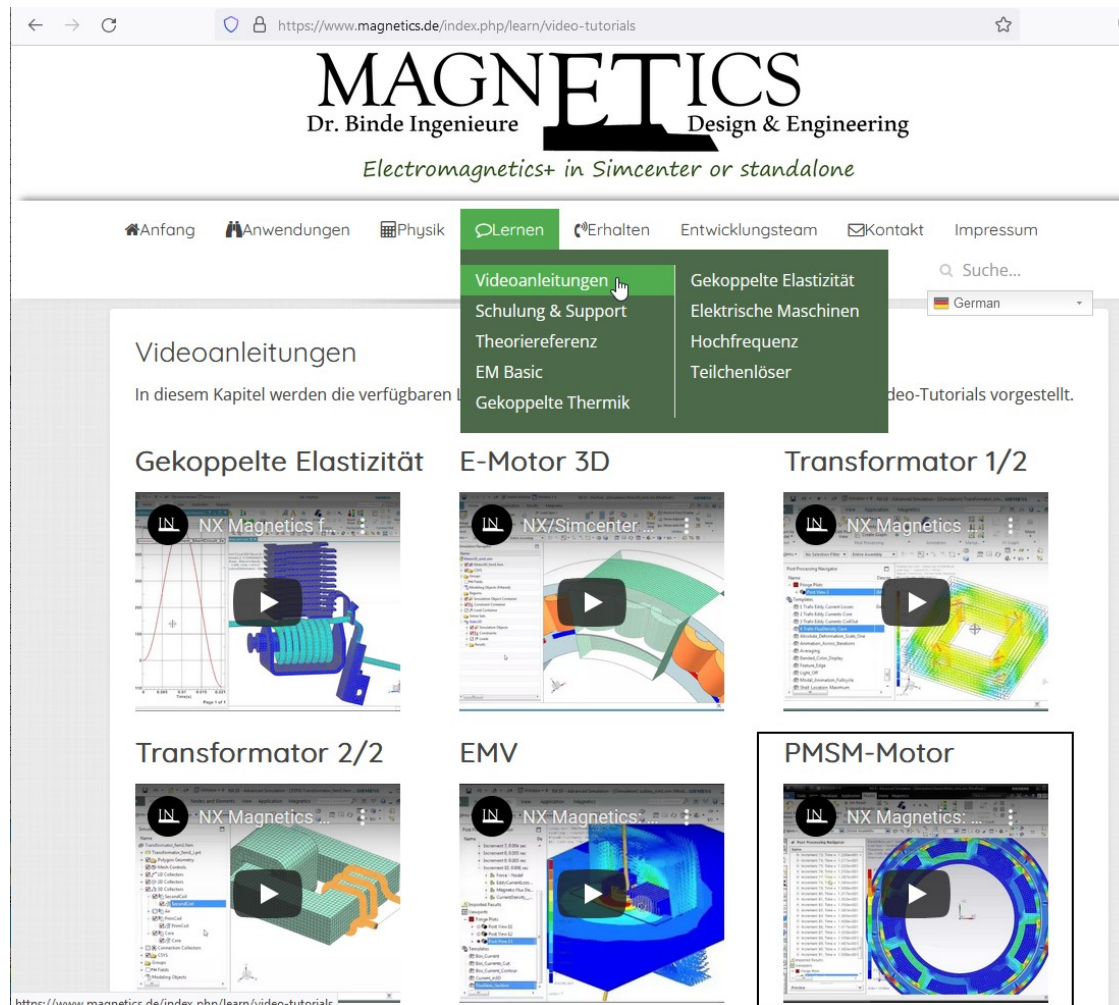
- Schnell anpassbar an neue Erfordernisse durch Zugriff auf physikalische Formulierungen und Simcenter API's
- Vielfältige Physik: ElektroMagnetik mit Statik, Dynamik, Zeit- und Frequenzbereich
- Kopplungen zu Thermal, Bewegung, Elastizität, Partikel

MAGNETICS
Dr. Binde Ingenieure **Design & Engineering**
Electromagnetics+ in Simcenter

- Via Web zu erreichen: pdf's:
- Detaillierte Step-by-Step Anleitung zum Aufbau des Motors und der HEEDS-Studie.

The screenshot shows a web browser displaying the website for MAGNETICS Dr. Binde Ingenieure Design & Engineering. The URL is https://www.magnetics.de/index.php/learn/electric-machines. The website header features the company logo and tagline "Electromagnetics+ in Simcenter or standalone". A navigation bar includes links for "Anfang", "Anwendungen", "Physik", "Lernen", "Erhalten", "Entwicklungsteam", "Kontakt", and "Impressum". A search bar is located on the right. A dropdown menu is open under "Lernen", listing "Videoanleitungen", "Schulung & Support", "Theoriereferenz", "EM Basic", "Gekoppelte Thermik", "Gekoppelte Elastizität", "Elektrische Maschinen", "Hochfrequenz", and "Teilchenlöser". The "Elektrische Maschinen" option is highlighted. On the left, a sidebar menu shows a tree structure under "Tutorials", with "Permanentmagnet Synchron Motor Analysis" expanded to show sub-items like "Model Setup by AutoFEM", "Find the Rotor Start Position for Maximum Torque", "Analyze for Torque with Rotation", "Analyze for Voltage in Phases", and "Parameter Optimization with HEEDS". The main content area displays the title "NX MAGNETICS - TUTORIALS ELECTRIC MACHINES", the author "Dr. Binde Ingenieure", and the date "March 31, 2022". At the bottom, a copyright notice states: "2011-2022 Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH. All Rights Reserved. This software and related documentation are proprietary to Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH. All other trademarks are the property of their respective owners."

- Via Web/Youtube zu erreichen: Videos:
- Detaillierte Step-by-Step Anleitung zum Aufbau und Solve des Motors in 15 Minuten.

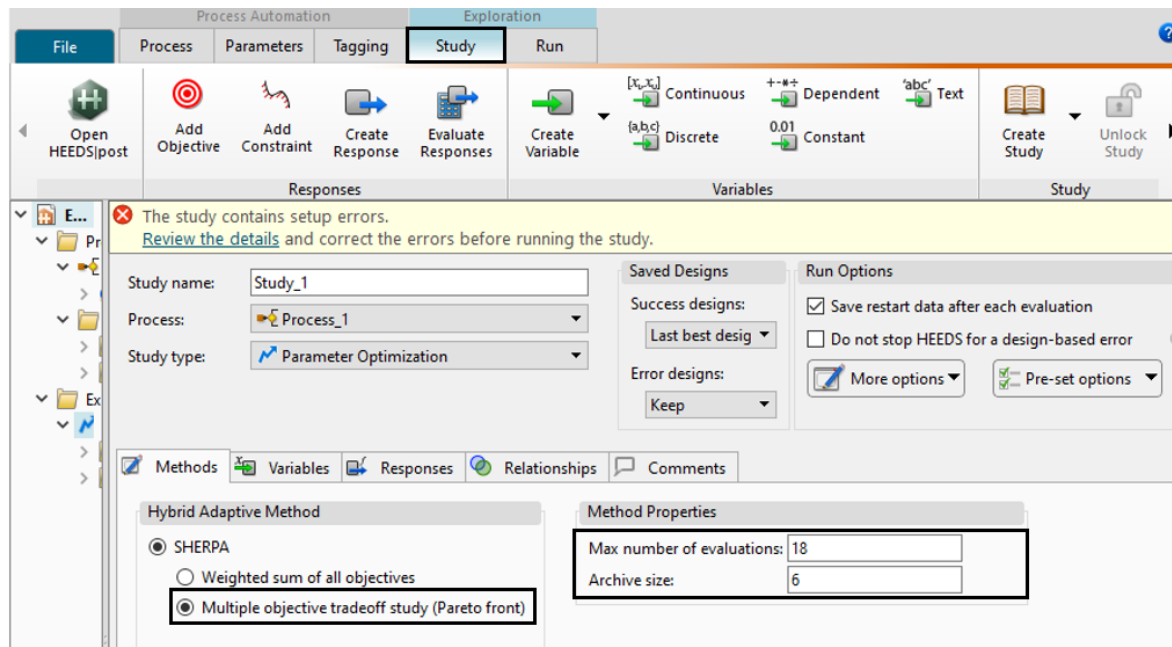


Wir verwenden das Zusatzprogramm Design Space Exploration, das eine eingeschränkte Version von HEEDS ist. Einschränkung ist, das es nur mit Simcenter 3D verwendet werden kann. Außerdem können Results nur aus Simcenter 3D eingelesen werden.

Vorteil dieser eingeschränkten Version sind die geringen Lizenz-Kosten.

In der NX Magnetics Solver-Umgebung wurden Programmierungen durchgeführt, mit deren Hilfe diese Einschränkungen aufgelöst werden.

Bild: Ansicht der Benutzeroberfläche des Programms

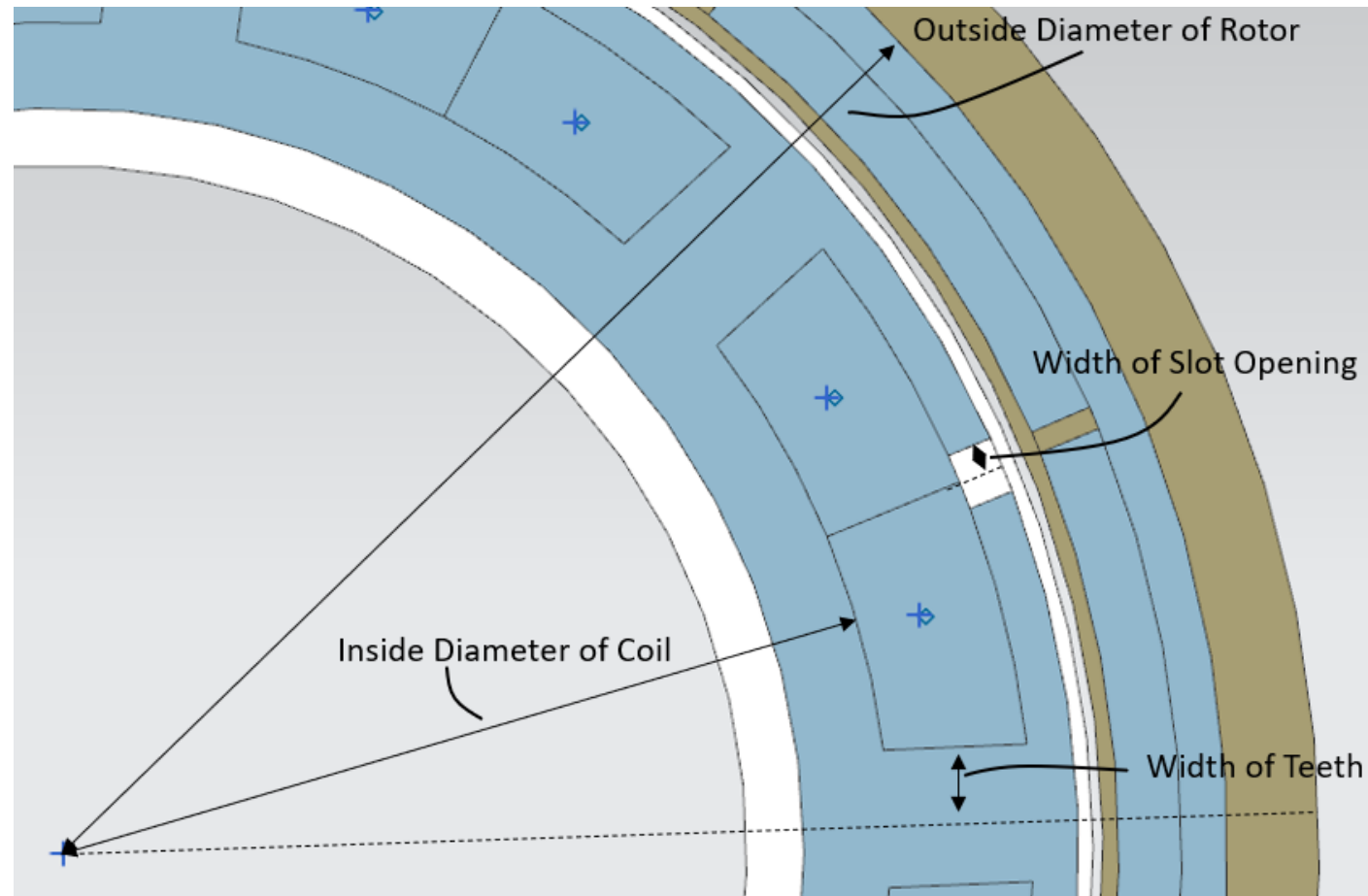


Das Ziel dieser Optimierung ist die

- Maximierung des Effektivwerts des Drehmoments und die
- Minimierung des Ripple (Welligkeit).

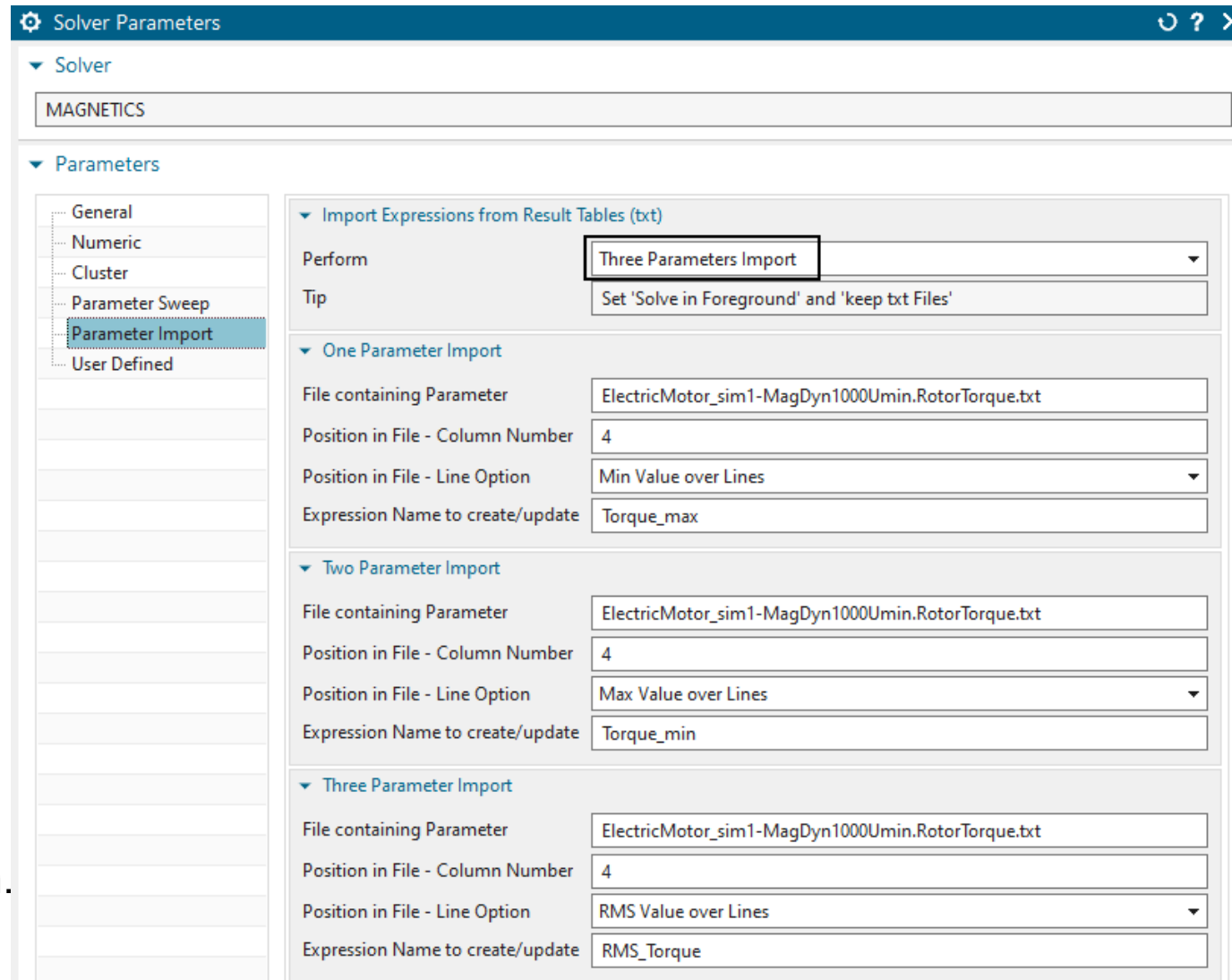
Wir variieren dafür:

- Außendurchmesser am Rotor,
- Innendurchmesser der Spule,
- Breite der Schlitzöffnung
- Breite der Zähne.



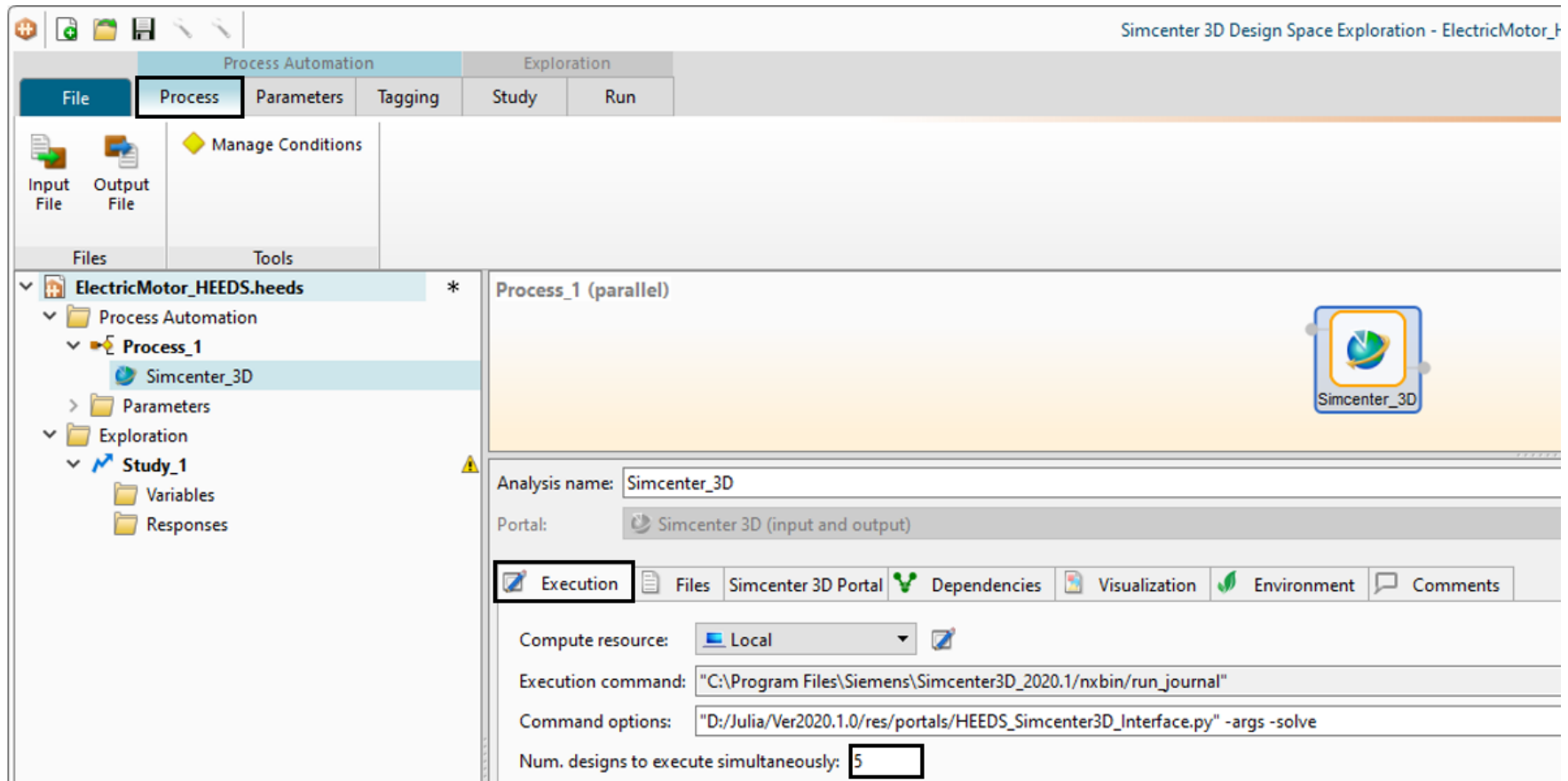
Besonderheit zur Vorbereitung:

- Die eingeschränkte HEEDS Version kann Ergebnisse nur aus NX lesen. Der Solver schreibt aber die Drehmomente in externe Text-Dateien.
- Abhilfe: Einlesen von Werten aus Text-Dateien in NX-Expressions.
- Dabei kann z.B. der „Min Value over Lines“ gesucht werden, um einen Extremwert bei Rotor-drehung zu finden.



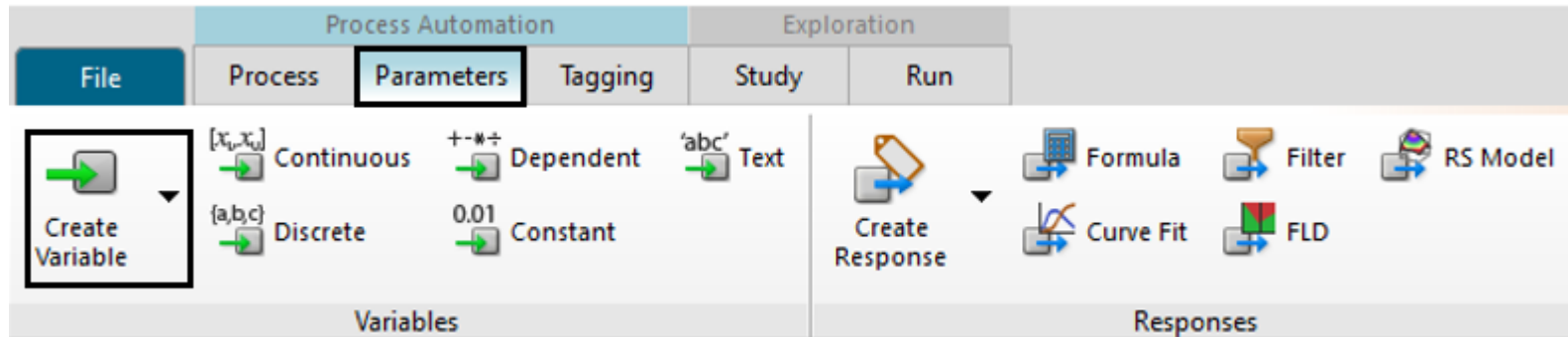
Prozess definieren

Das Sim-Modell öffnen, ...



Parameter definieren: Variablen erstellen.

Später werden diese mit den NX Expressions verknüpft (Tagging)

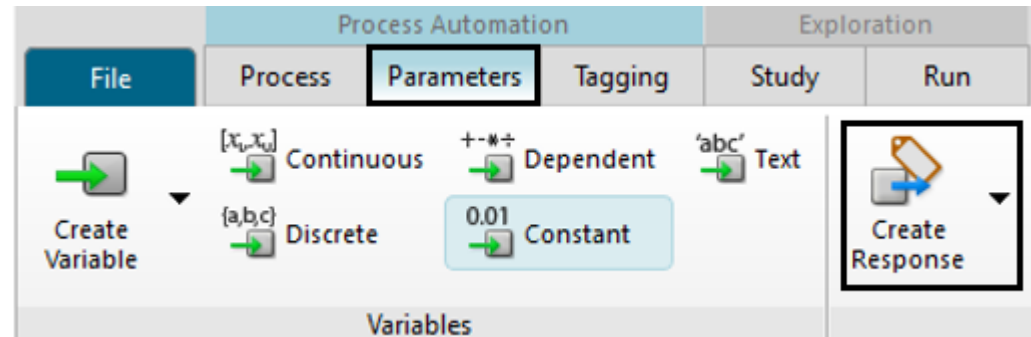


Variables		Responses				
	Variable Name	Type	Min	Baseline	Max	Resolution
1	<input checked="" type="checkbox"/> Outside_Diameter_of_Rotor	Continuous	200	204	210	101
2	<input checked="" type="checkbox"/> Inside_Diameter_of_Coil	Continuous	68	72,5	75	101
3	<input checked="" type="checkbox"/> Width_of_Teeth	Continuous	3	6	10	101
4	<input checked="" type="checkbox"/> Width_of_Slot_Opening	Continuous	0,5	2,5	5	101

Responses definieren:

Evtl. durch Berechnungs-
Formeln bestimmen lassen.

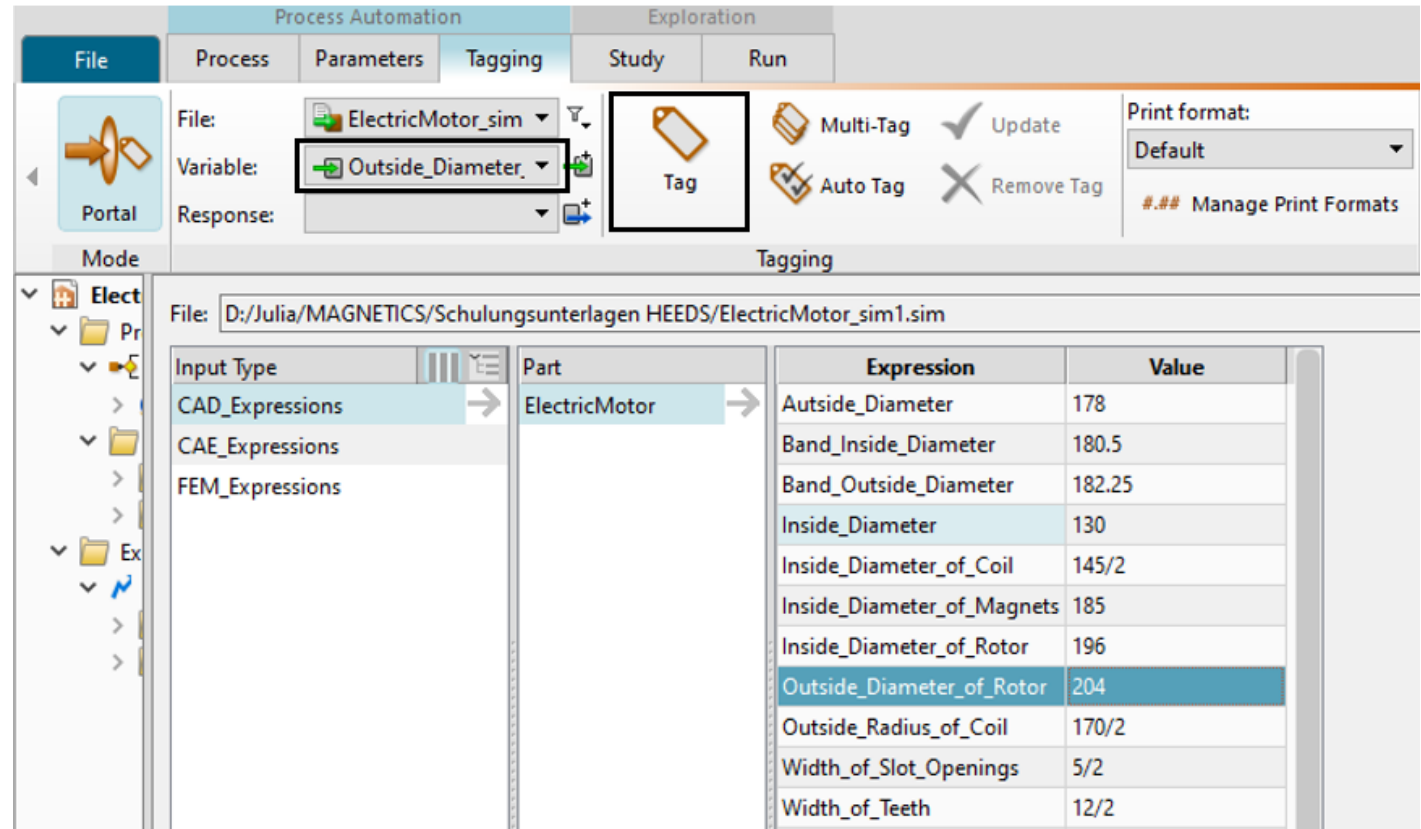
z.B. für Ripple, siehe Bild.



Variables		Responses		
	Response Name	Source	Formula	Comment
1	Torque_min	Tag		
2	Torque_max	Tag		
3	RMS_Torque	Tag		1. Objective: Maximize
4	Amount_of_Torque_max	Formula	$\sqrt{(\text{Torque_max}) * (\text{Torque_max})}$	
5	Amount_of_Torque_min	Formula	$\sqrt{(\text{Torque_min}) * (\text{Torque_min})}$	
6	Ripple	Formula	$\text{Amount_of_Torque_max} - \text{Amount_of_Torque_min}$	2. Objective: Minimize
7	Flux_Density	Tag		

Tagging: d.h. Zuordnen zum NX Modell

Alle Variablen und Responses werden mit NX-Expressions verknüpft.



Ansicht der Variablen nach erfolgreichem Tagging:

	Parameter	Mode	Data	Format
1	Outside_Diameter_of_Rotor	Portal	CAD_Expressions.ElectricMotor.Outside_Diameter_of_Rotor	Default
2	Inside_Diameter_of_Coil	Portal	CAD_Expressions.ElectricMotor.Inside_Diameter_of_Coil	Default
3	Width_of_Teeth	Portal	CAD_Expressions.ElectricMotor.Width_of_Teeth	Default
4	Width_of_Slot_Opening	Portal	CAD_Expressions.ElectricMotor.Width_of_Slot_Openings	Default

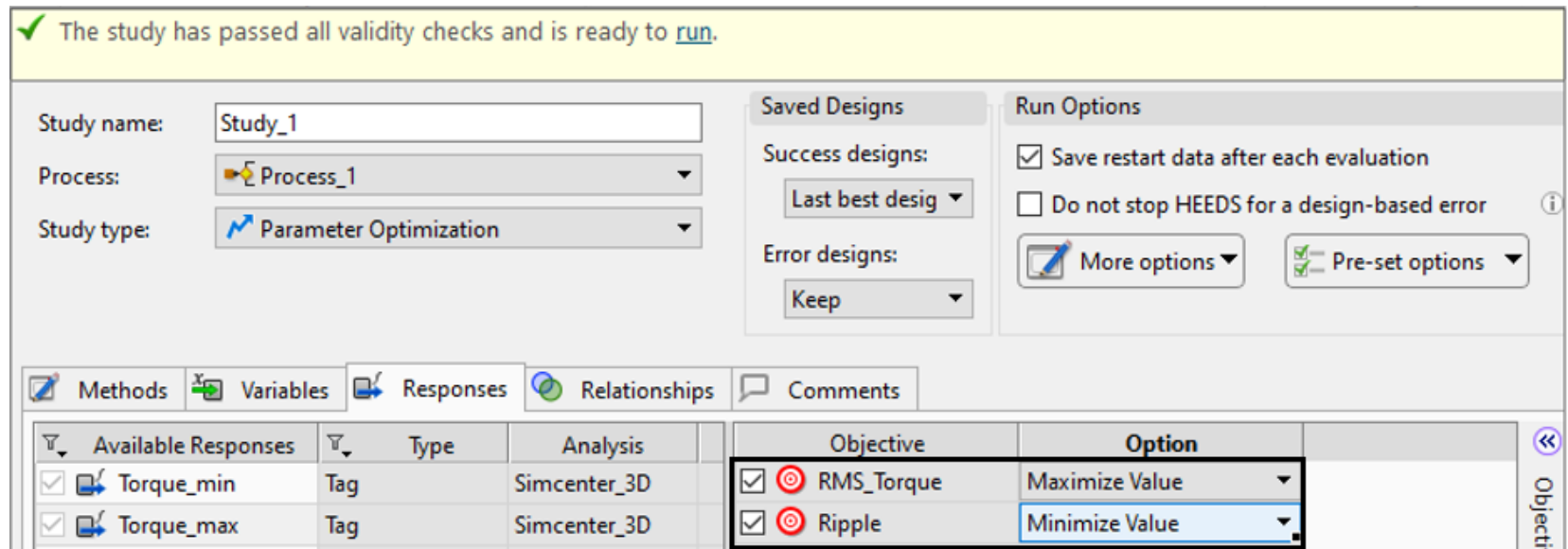
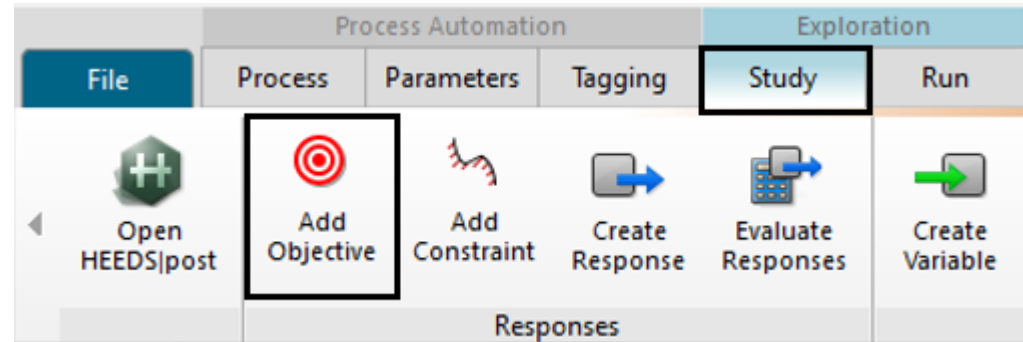
Study definieren

The screenshot displays the HEEDS software interface for defining a study. The top menu bar includes 'File', 'Process', 'Parameters', 'Tagging', 'Study', and 'Run'. The 'Study' tab is active, showing a toolbar with various icons for study management. A yellow error message banner indicates that the study contains setup errors, advising the user to review details and correct them before running. Below the error message, the study configuration is shown, including the study name 'Study_1', process 'Process_1', and study type 'Parameter Optimization'. The 'Run Options' section includes checkboxes for 'Save restart data after each evaluation' and 'Do not stop HEEDS for a design-based error', along with buttons for 'More options' and 'Pre-set options'. The 'Method Properties' section shows 'Max number of evaluations' set to 18 and 'Archive size' set to 6. The 'Hybrid Adaptive Method' section has three radio button options: 'SHERPA', 'Weighted sum of all objectives', and 'Multiple objective tradeoff study (Pareto front)'. The 'Multiple objective tradeoff study (Pareto front)' option and the 'Method Properties' fields are highlighted with black boxes.

Objectives, Ziele definieren

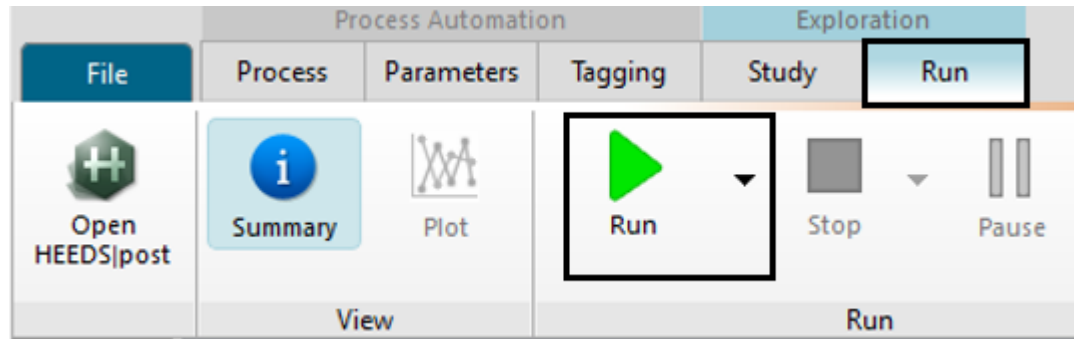
Torque maximieren!

Ripple minimieren!



Run

Dieser Lauf dauert etwa 45 Minuten auf einem Laptop mit 40 GB RAM und i7 Prozessor.

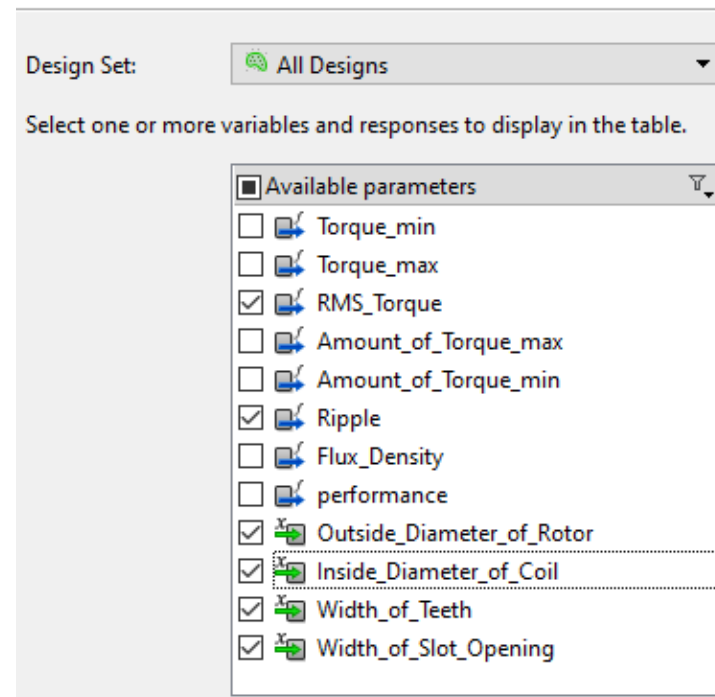


Die Ergebnisse können auf vielfältige Weise dargestellt werden. Wir wollen hierfür einen Design-Table zeigen.

Vorbereiten des Design-Table:

Design Table

Displays the design data in a spreadsheet format



Ergebnis bewerten

Aus den 18 erstellten Designs wählen wir das Design mit dem kleinsten Ripple aus und das höchste RMS-Drehmoment. Mit Design 6 können wir das Ripple um 25 % reduzieren und das RMS-Drehmoment steigt im Vergleich zum Baseline-Design leicht an. Also ist das Motor-Modell definitiv optimiert worden.

Study_1: DesignTable_4						
Design ID	RMS_Torque	Ripple	Outside_Diameter_of_Rotor	Inside_Diameter_of_Coil	Width_of_Teeth	Width_of_Slot_Opening
1	11,5613	6,19362	204	72,5	6	2,5
2	15,9914	18,611	209,1	72,48	6,85	5
3	10,2333	1,0946	203,6	69,26	8,11	0,905
4	14,3251	10,1646	210	71,15	7,48	1,715
5	8,98279	3,52498	201,8	68	5,52	3,785
6	11,9023	3,99088	207,3	74,37	4,26	2,12
7	9,36315	2,23324	200,9	73,74	6,15	1,31
8	13,631	10,874	205,5	75	8,74	2,975
9	12,0358	6,78733	206,4	68,63	9,37	4,19
10	11,185	8,66632	202,7	73,11	4,89	4,595
11	8,42361	1,77224	204,5	70,52	3	0,5
12	11,8624	7,24391	208,2	69,89	3,63	3,38
13	11,9988	4,66885	207	74,16	4,4	2,345
14	9,81763	1,95061	202,6	69,68	7,34	0,68
15	9,55337	1,28707	203,3	70,8	4,05	1,04
16	9,26617	3,17615	201,8	68,28	5,52	3,785
17	15,6225	16,4483	210	71,15	7,48	3,965
18	15,7937	17,1555	210	70,94	7,76	4,19

- Studien mit Variation der Geometrie sind anspruchsvoll, weil das CAD, Fem und Sim-Modell stabil aktualisieren muss. So ein Modell muss sehr sorgfältig von Experten aufgebaut werden.
- Studien, in denen nur Randbedingungen geändert werden, sind einfach und perfekt geeignet.
- Es ist auch möglich komplexe Simulations-Abläufe (Multiphysics) durchzuführen. Z.B. Kopplung von Magnetfeld mit Thermal oder Flow.
- Das Erfolgs-Potential ist sehr hoch. Je unbekannter das physikalische Verhalten, desto besser. Vergangene Projekte zeigten zum Teil >300% Verbesserung.

Danke!

Zeit für Fragen