



Simulationsgestützte Auslegung von Lineardirektantrieben mit MAXWELL, SIMPLOERER und ANSYS

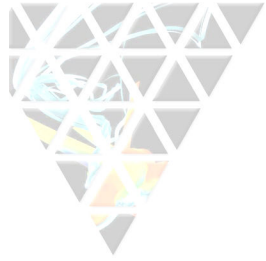
Matthias Ulmer, Universität Stuttgart





Gliederung

1. Motivation und Zielsetzung
2. Elektrodynamische Lineardirektantriebe
3. Grobdimensionierung von Antrieben
4. Feindimensionierung mit Hilfe der FEM
5. Zusammenfassung und Ausblick



Motivation

- Stärkere Verbreitung des Einsatzes von Lineardirektantrieben
- Große Variantenvielfalt möglich
- Keine Anpassung durch Getriebe wie bei rotatorischen Motoren mit rotations-translations-Umformern möglich
- Antriebe müssen auf die jeweiligen Anforderungen kostengünstig ausgelegt und dimensioniert werden
- Kürzere Entwicklungszeiten und Optimierungen über Erfahrungswerte hinaus notwendig
- Dies ist nur durch simulative Untersuchungen im Vorfeld möglich

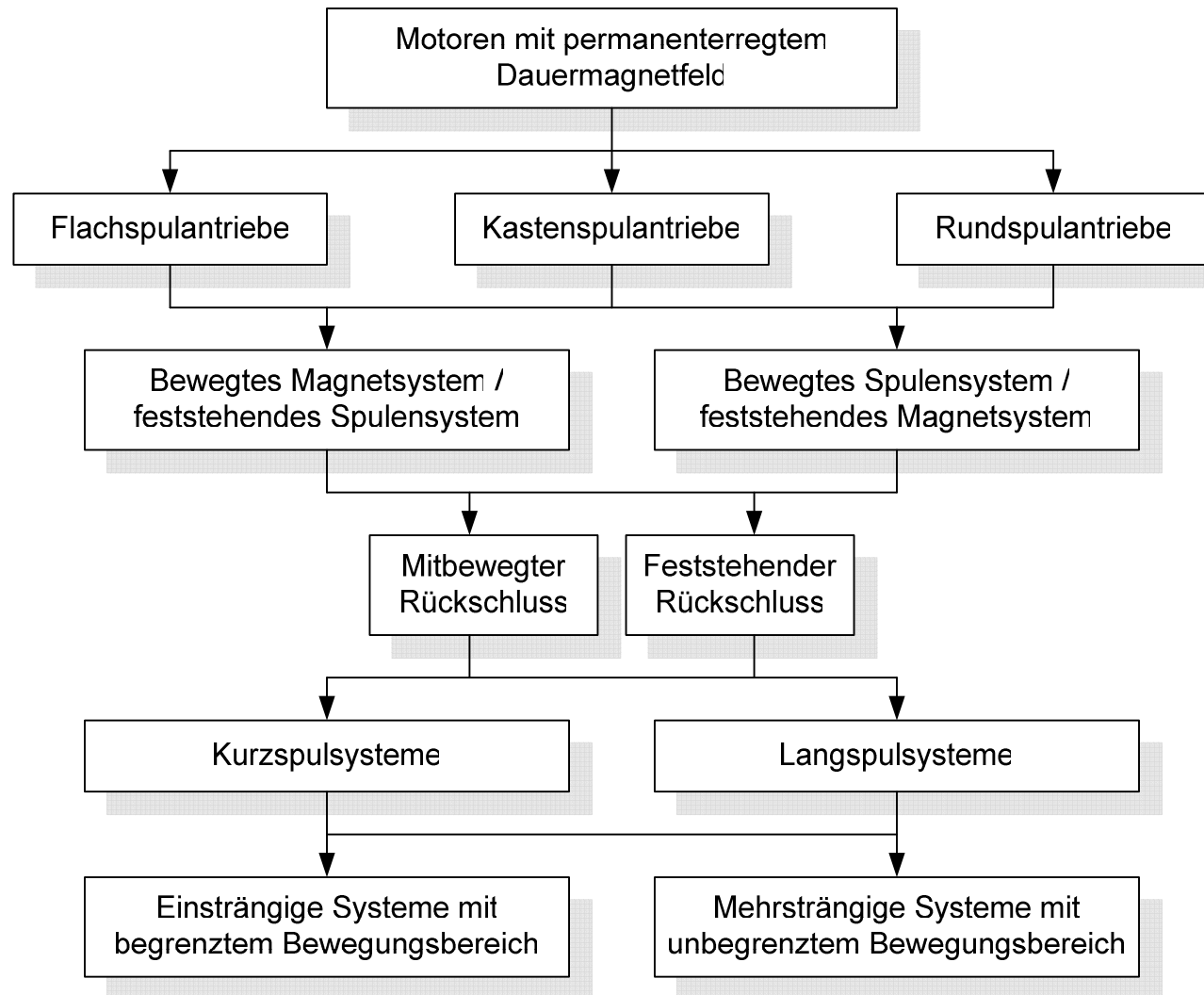


Zielsetzung

- Systematischer Ansatz zur Auslegung und Dimensionierung feinwerk-technischer Lineardirektantriebe
- Ableitung analytischer Kenngrößen zur Vorabschätzung und Grobdimensionierung
- Entwicklung simulativer Ansätze zur Beschreibung von interdisziplinären physikalischen Zusammenhängen

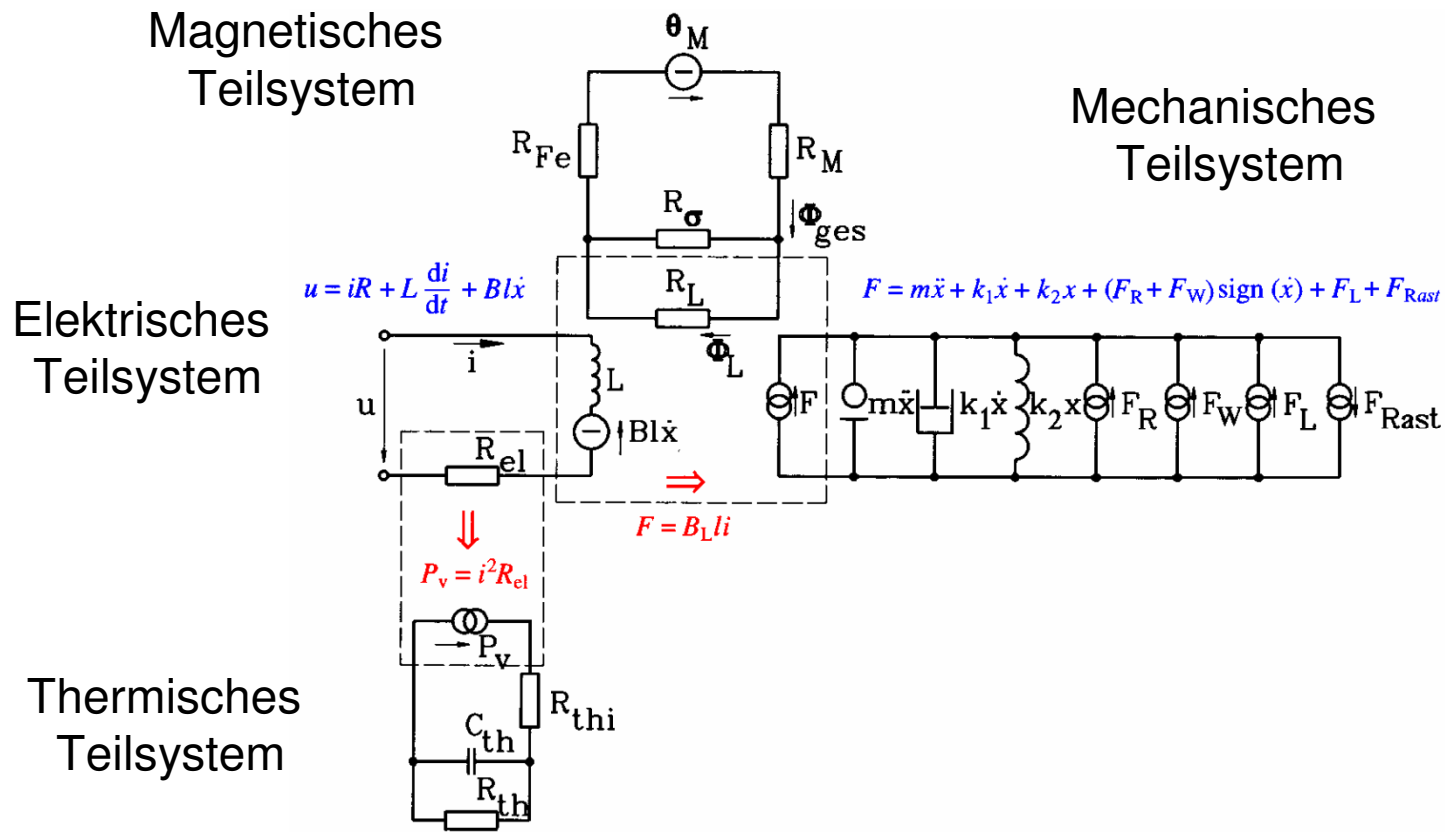


Übersicht Lineardirektantriebe



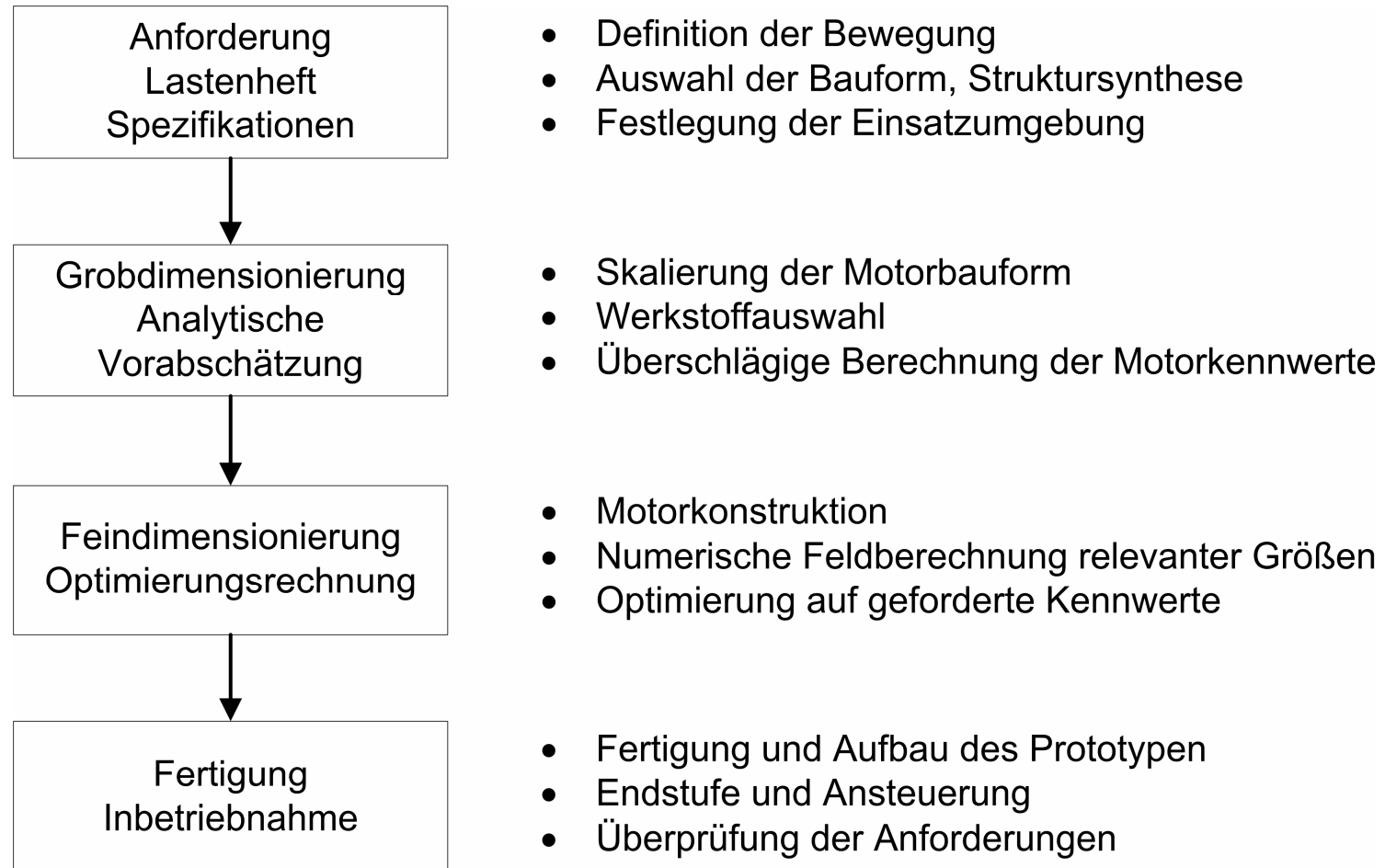


Teilsysteme eines Linearantriebs





Ablauf einer Motordimensionierung





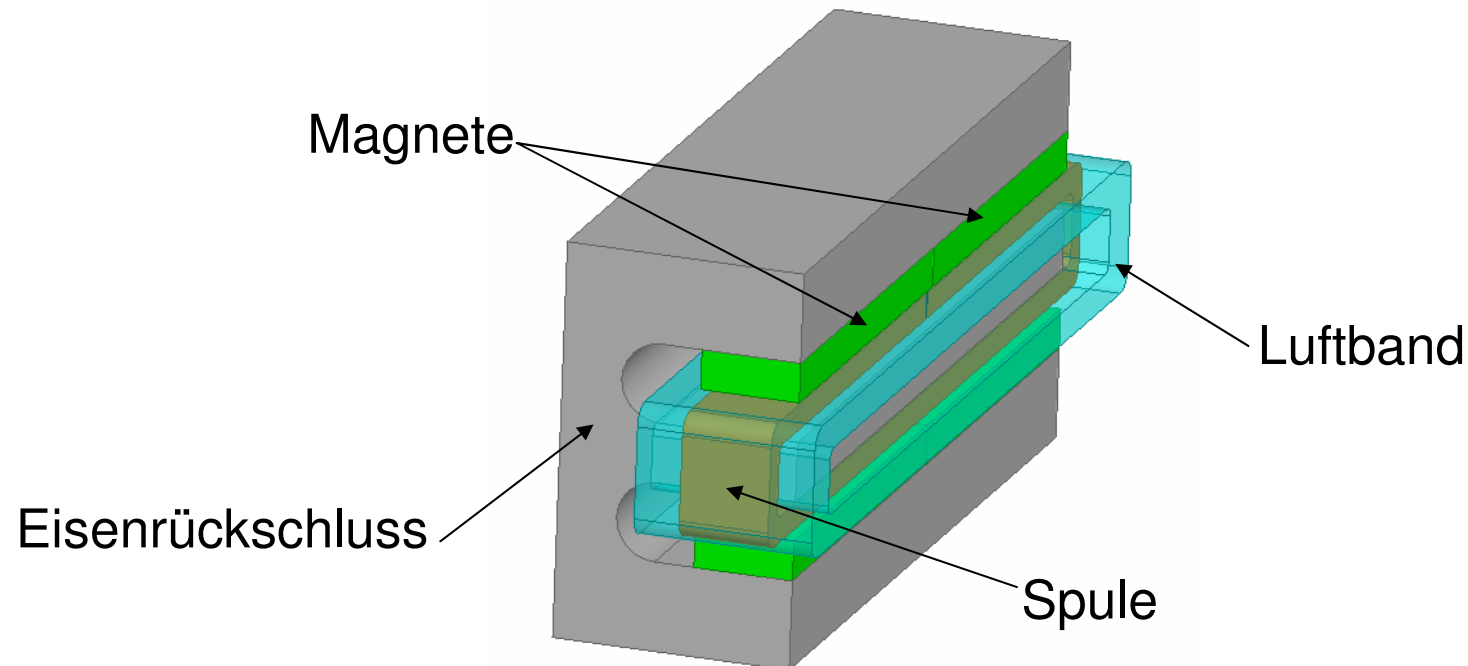
Anforderung und Bauformauswahl

- Bauform und Bauraum
- Fahrweglänge
- Maximale Geschwindigkeit, Dauergeschwindigkeit
- Beschleunigung
- Kraftkonstanz
- Maximalkraft, Dauerkraft
- Positioniergenauigkeit
- Störanfälligkeit gegen äußere Lastangriffe
- Vom Motor ausgehende Störfelder
- Einschätzung des Belastungskollektivs nach DIN-EN 60034-1
S1 Dauerbetrieb, S2 Kurzzeitbetrieb,... bis S10



Homopolarer Lineardirektantrieb

- Motormodell mit Rückschluss, Magneten, Spule und Luftband.
- Dieses Modell ist geometrisch nicht sehr komplex aufgebaut. Daher wäre eine Simulation des gesamten Motors hier möglich.
- Bei größeren und geometrisch detaillierteren Antrieben ist dies nur mit großem Rechen- und Zeitaufwand lösbar.





Analytische Grobdimensionierung

- Festlegung der Werkstoffauswahl
- Prüfung des verfügbaren Bauraums
- Bestimmung der benötigten Kraft
- Definition des Wickelfensters und der Spulengeometrie auf Basis der benötigten Kraft
- Dimensionierung und Auswahl der Magnete
- Überschlägige Bestimmung der Rückschlussgeometrie

Ergebnis: Erstes Geometriemodell mit Werkstoffkenndaten und überschlägigen Berechnungen der Kraft-Weg-Kennlinie und der Verlustleistung.



Feindimensionierung mit FEM

Ziel: Optimierung des Geometriemodells hinsichtlich magnetischen, elektrischen, mechanischen und thermischen Parametern.

Berücksichtigung der dabei auftretenden physikalischen Zusammenhänge der unterschiedlichen Domänen.

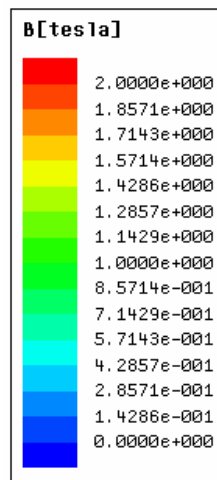
Möglichkeiten zur simulativen Betrachtung:

- Magnetisch-statische Auslegung
- Magnetisch und elektrisch transiente Betrachtung
- Kopplung mit dem thermischen Teilsystem
- Systembetrachtung im Simplorer, Einbeziehung des mechanischen und des elektrischen Teilsystems

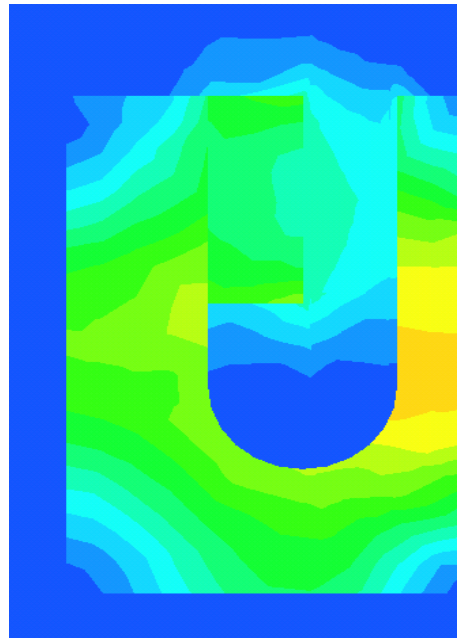


Magnetisch-statische Auslegung

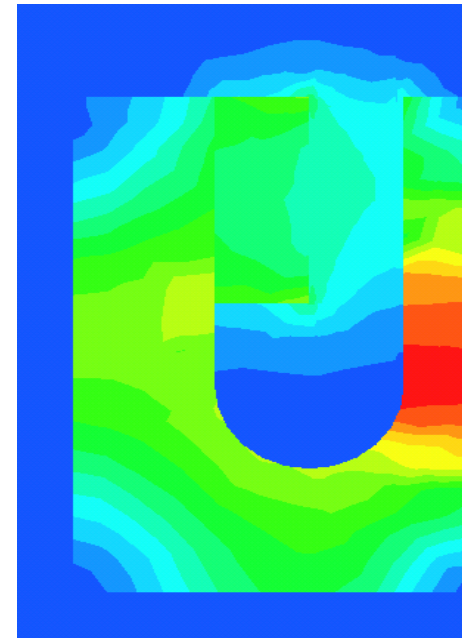
- Definition der Spulengeometrie
- Dimensionierung und Auswahl der Magnete
- Konstruktive Festlegung der Rückschlussgeometrie
- Bestimmung der Luftspaltinduktion
- Bestimmung der Flussdichte im Rückschluss



Heraus



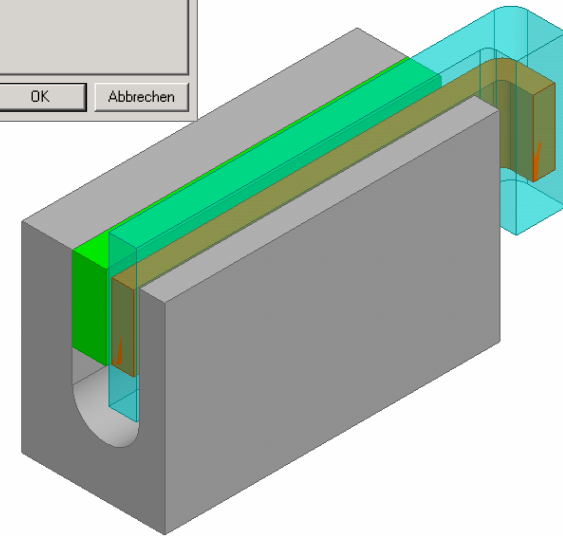
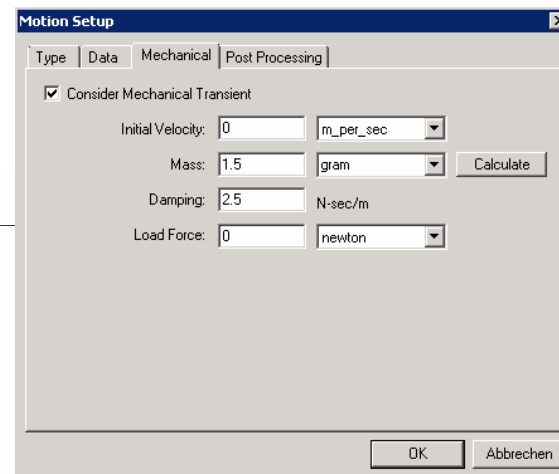
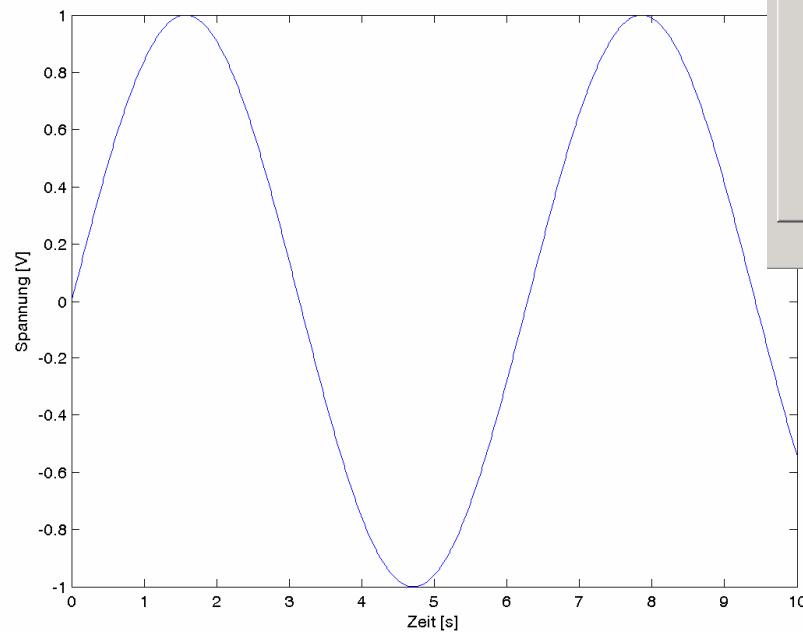
Hinein





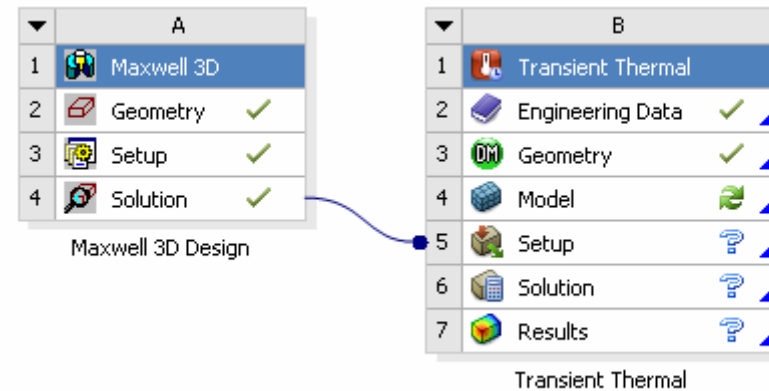
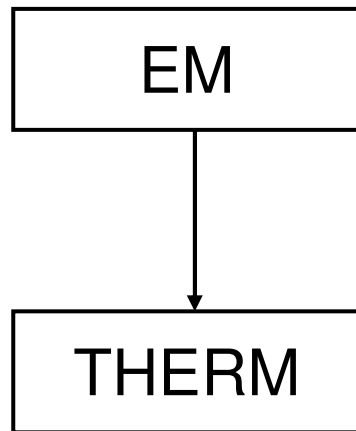
Elektrisch transiente Betrachtung

- Motion-Band in Maxwell zur Realisierung der Bewegung
- Abbildung des dynamischen Verhaltens für unterschiedliche Ansteuerfrequenzen





Thermisch-transiente Betrachtung

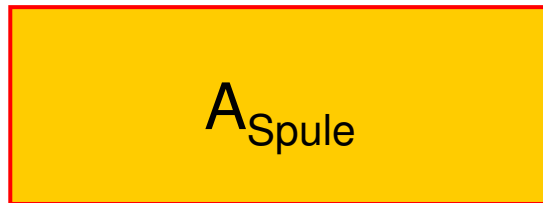


- Export der Berechneten Verlustleistungen aus Maxwell
- Direkte unidirektionale Kopplung mit Ansys möglich
- Aufbringung der Wärmegenerationsrate durch Meshmapping, dadurch unterschiedliche Vernetzungen möglich

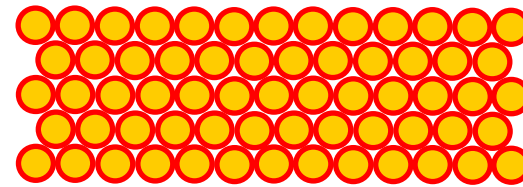


Thermische Randbedingungen

Simulationsmodell



Realität, ideal gewickelt

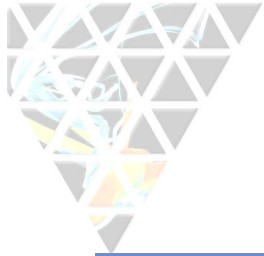


$$\Rightarrow A_{Spule} = A_{Kupfer} + A_{Luft} + A_{Lack}$$

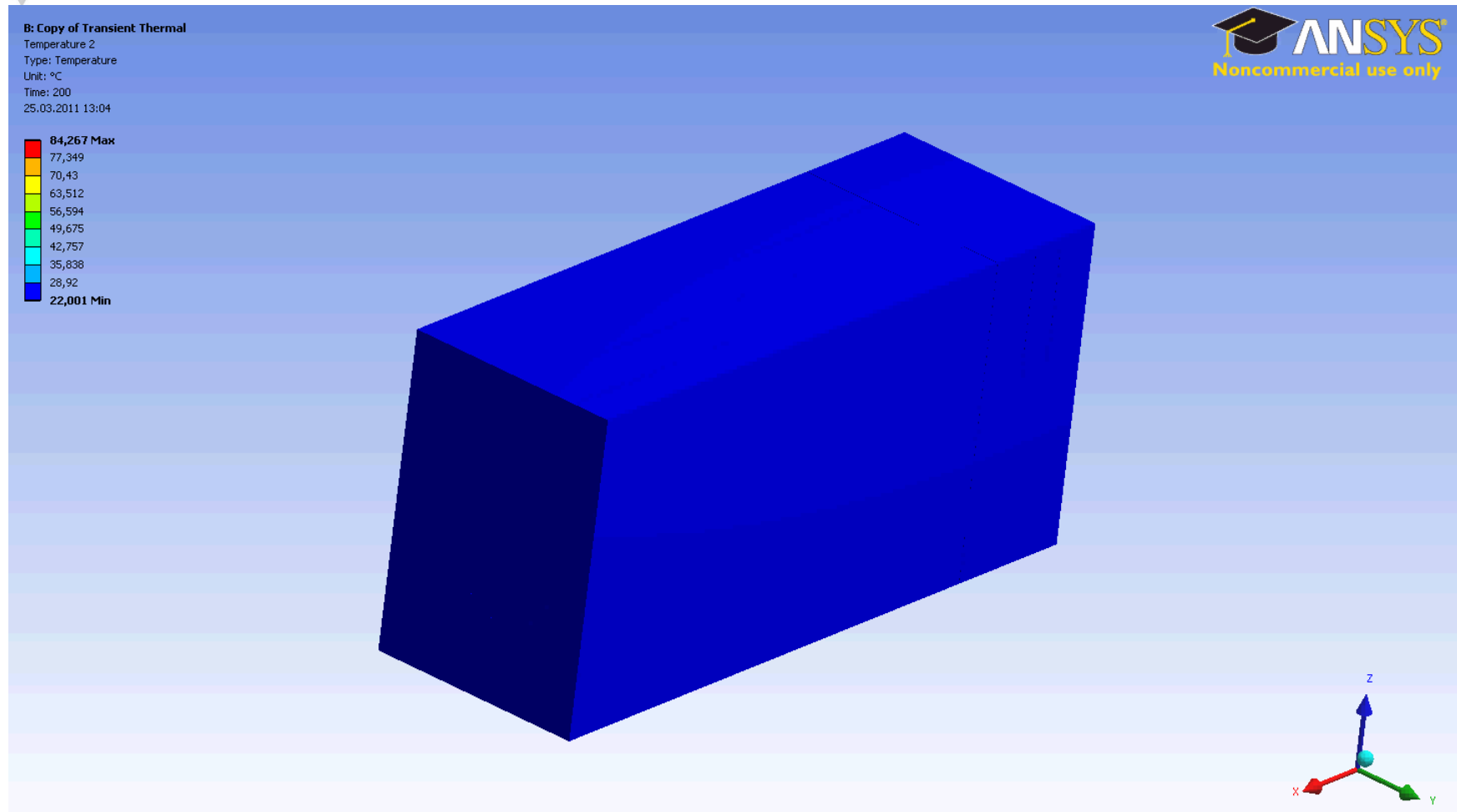
Berücksichtigung der Spule im Modell als Vollmaterial mit fiktiven Materialeigenschaften entsprechend dem verwendeten Kupferdraht.

Anteilige Berechnung der Materialeigenschaften:

- Dichte ρ
- Wärmeleitfähigkeit λ
- Isobare Wärmekapazität c_p



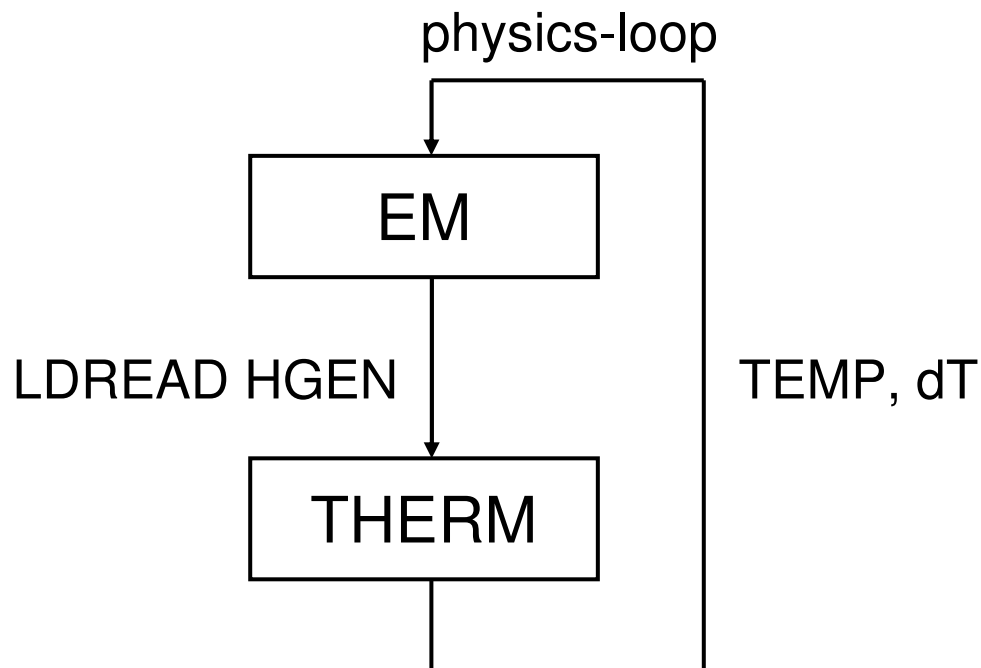
Ergebnis der thermischen Analyse





Bidirektionale Betrachtung

- Unidirektionale Kopplung oft nicht ausreichend
- Bisher noch nicht als Maxwell-Mechanical-Kopplung möglich
- Dazu EMAG-Mechanical-Kopplung notwendig
- Bewegte lineare Modelle in Ansys nur sehr schwer umsetzbar



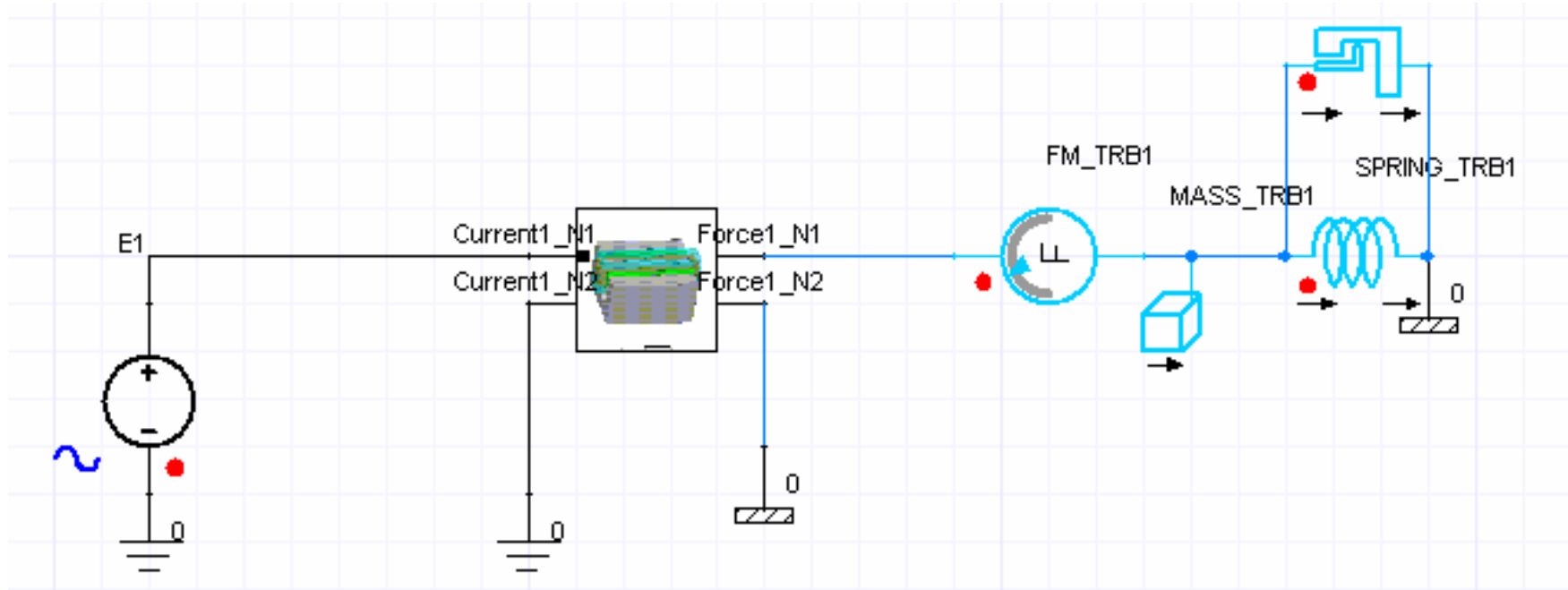
Änderung des elektrischen Widerstands in Abhängigkeit der Temperatur:

$$R = R_{20} \cdot (1 + \alpha_{CU} \cdot \Delta v)$$



Systemmodellierung im Simplorer

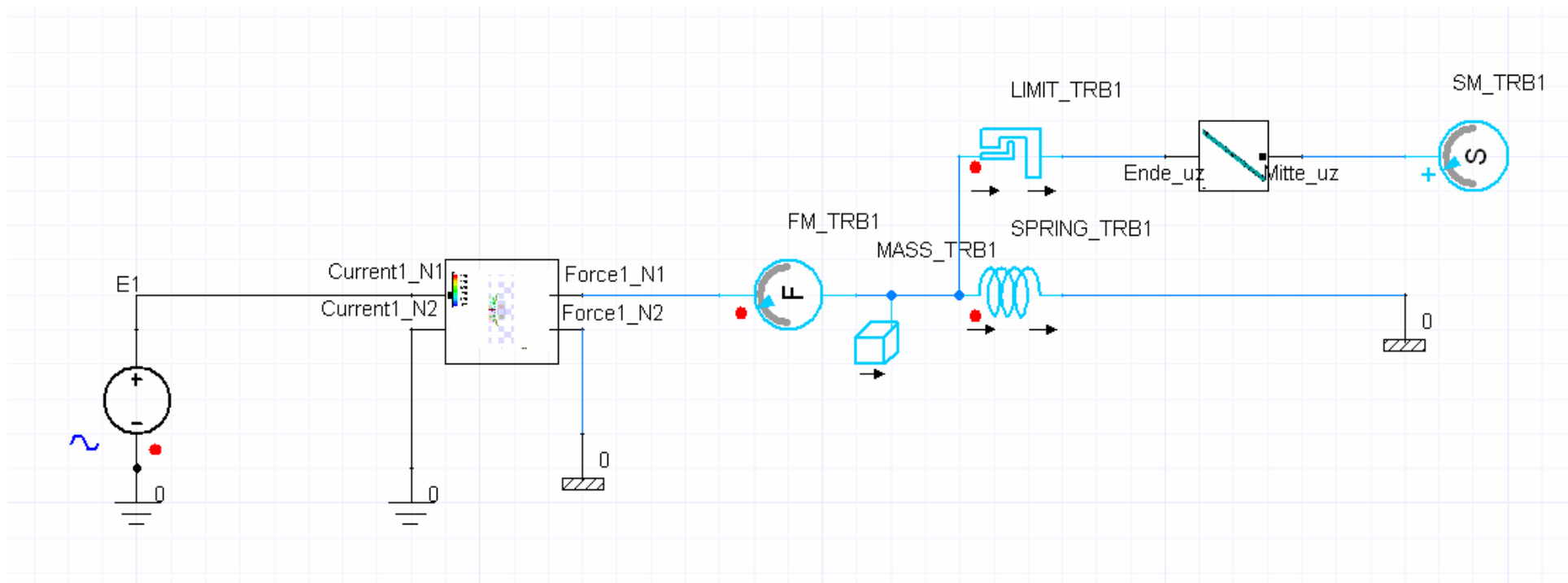
- Einbindung eines ordnungsreduzierten Modells
- Erweiterte Möglichkeiten zur Realisierung der elektrischen Ansteuerung gegenüber dem Circuit-Editor in Maxwell
- Anbindung der mechanischen Lasten und Randbedingungen
- Sehr schnelle Simulationszeit von wenigen Sekunden
- Dadurch schnelle Berechnung von einer Vielzahl an Varianten





Systemmodellierung im Simplorer

- Zusätzliche Berücksichtigung eines elastischen Anschlags
- Implementierung der Ergebnisse aus einer Modalanalyse in Ansys
- Möglichkeit zur transient-transient Kopplung mit Maxwell
- Bei 3D aber wieder erhöhte Rechenzeit notwendig





Zusammenfassung

- Durchgängige Simulation und Optimierung von Lineardirektantrieben mit Maxwell, Ansys und Simplorer möglich.
- Physikalische Zusammenhänge zwischen magnetischem, elektrischem, thermischen und mechanischem Teilsystem können abgebildet werden.
- Durch gekoppelte Simulationen können die physikalisch zusammenhängenden Effekte unterschiedlicher Teilsysteme visualisiert werden.
- Die Entwicklungszeit kann dadurch massiv verkürzt werden. Der erste Prototyp ist bereits meist sehr nah am fertigen Produkt