



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology



Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie



FFG

Hocheffiziente und zuverlässige Schwungradspeicher

Konzept, Auslegung, Simulation und Anwendung

Alexander Schulz

Vienna University of Technology
Institute of Mechanics and Mechatronics
Measurement and actuator division
www.mec.tuwien.ac.at



Innovationssprung bei Flywheels

“LTS-Flywheel als 12h-Energiespeicher: Neue Ansätze zur Erhöhung der wirtschaftlich nutzbaren Speicherzeit und Sicherheit”

A. Schulz, H. Sima



FFG



HAUS
der Zukunft

“SEE-Flywheel – Ausfallsichere Magnetlager für Flywheels hoher Speicherleistung und Energietransferrate”

J. Wassermann, T. Hinterdorfer



FFG



„Optimum Shape Flywheel - Kostenreduktion durch neue Konstruktionsansätze, Rotorbauformen und Fertigungsverfahren“

A. Schulz , S. Hartl, T. Hinterdorfer, H. Sima



FFG

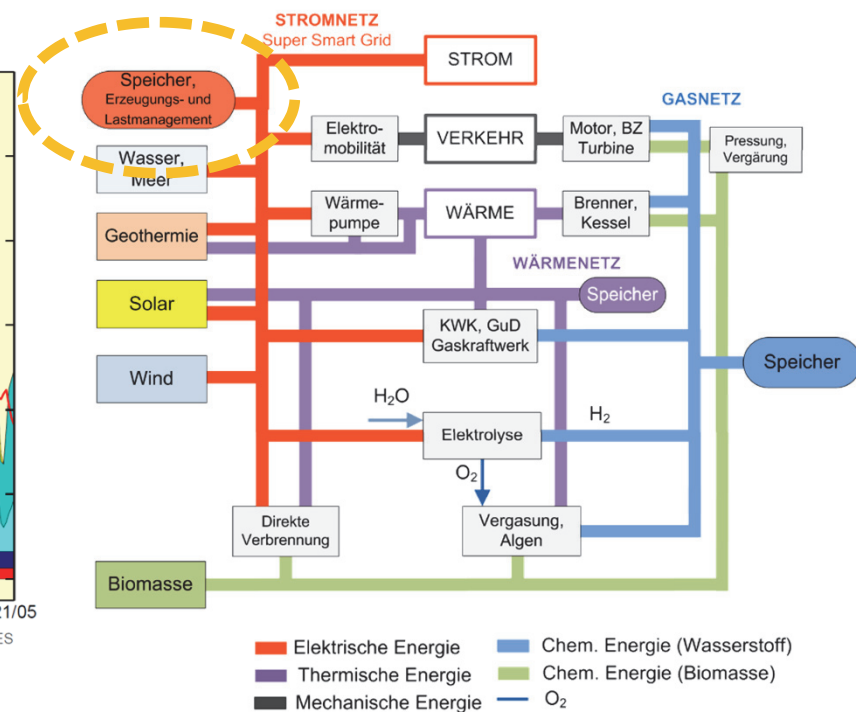
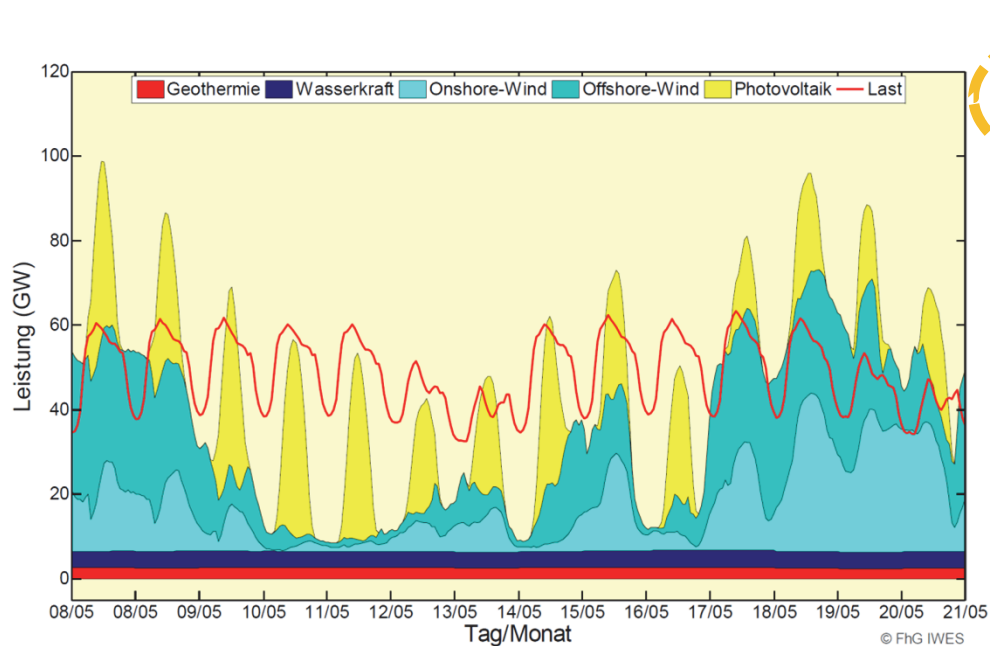


Tatkräftige Unterstützung:

P. Fasching, D. Kapolety, P. Kopinich, B. Kovanics, M. Neumann,
R. Polterauer, J. Schindele, P. Unterkreuter, R. Wagner

Modellrechnung 2050 – Smart Grid

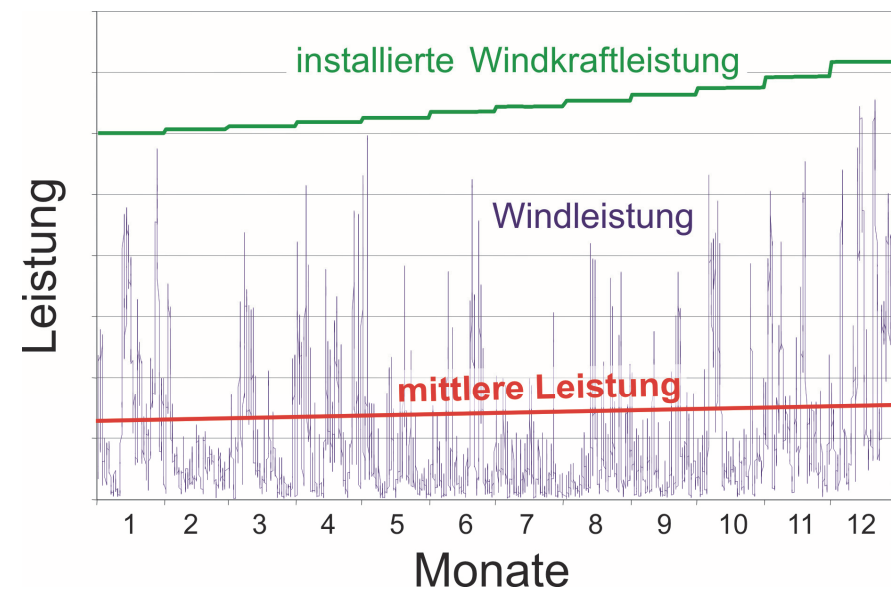
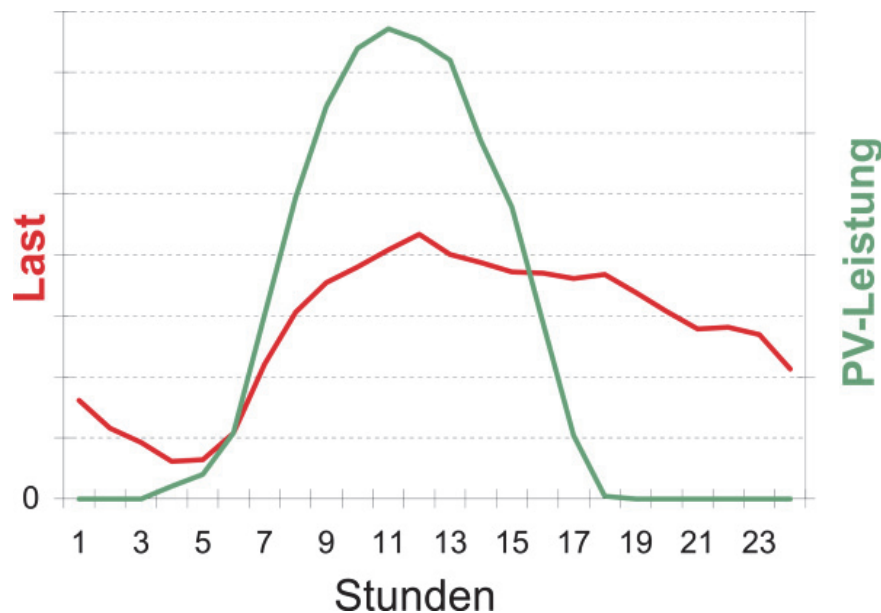
- 85% an erneuerbarer Energie, vernetzte Strom-, Wärme- und Gasnetze



Quelle: „Leitstudie 2010 - Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2010_bf.pdf

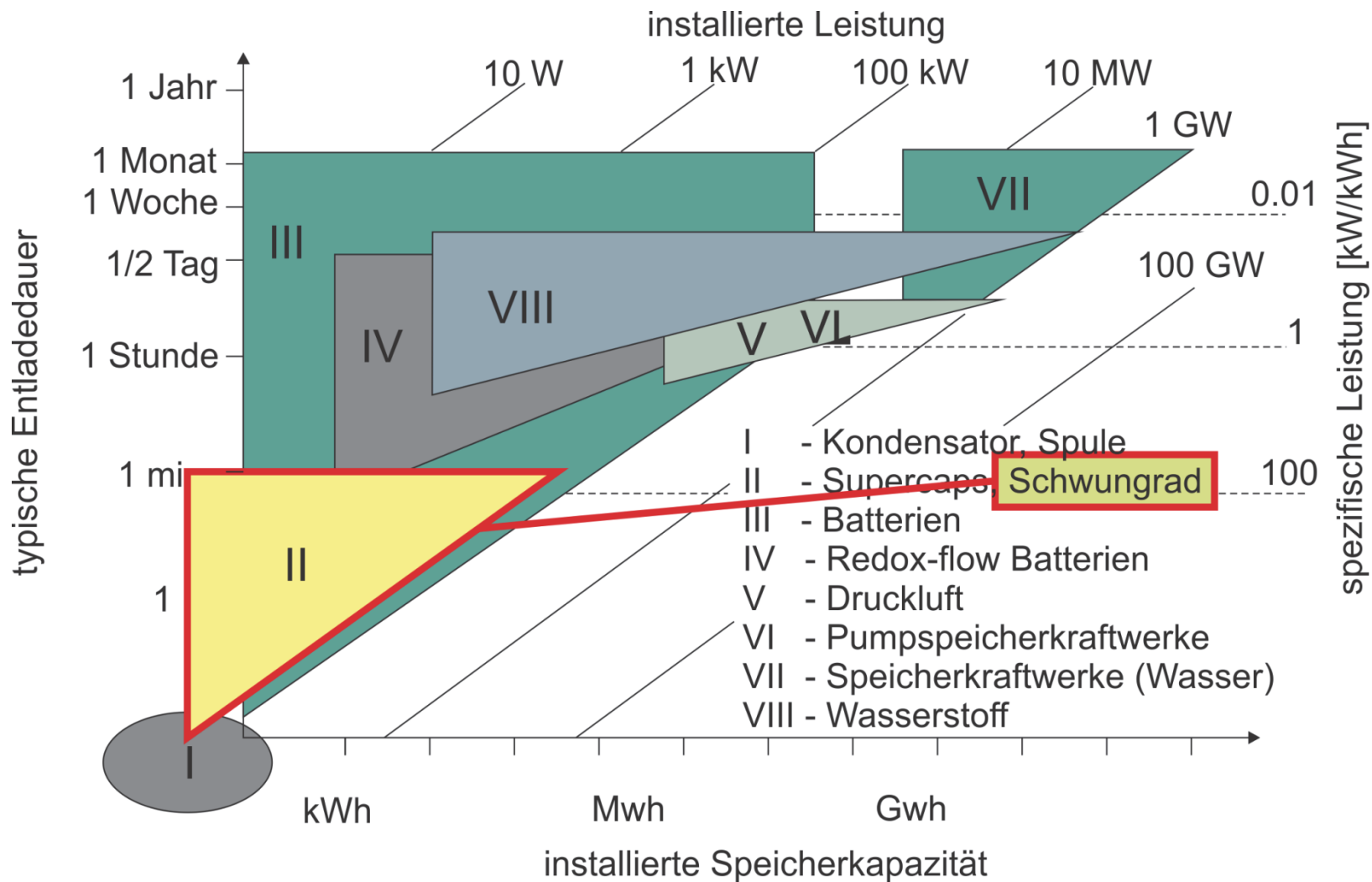
Modellrechnung 2050 – Smart Grid

- Pufferung von elektrischer Energie aus zeitlich inflexiblen, unkontrolliert schwankenden, regenerativen Primärenergieträgern
- Pufferung von Spitzenlasten zur Optimierung der Netzauslastung
- Regelleistung (Netzstabilisierung)





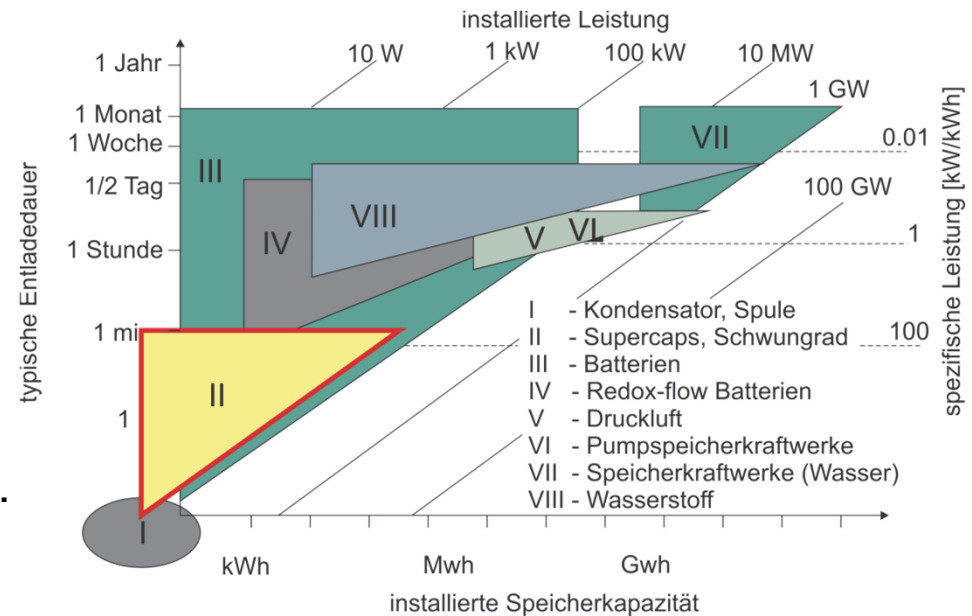
Speichertechnologien für elektrische Energie



Quelle: http://www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/SZA-4_06_Sauer_Optionen_Speicher_layout.pdf

Vorteile

- Hohe Lastzyklenzahl und Lebensdauer > 25 Jahre, unabhängig von:
 - Entladetiefe
 - Betriebstemperatur, etc.
- Geringer Wartungsbedarf
- Hohe Aufnahme-/Abgabeleistungen
- Ladezustand exakt bestimmbar
- Werkstoffe:
 - Ökologisch unbedenklich
 - recycle-/entsorgbar

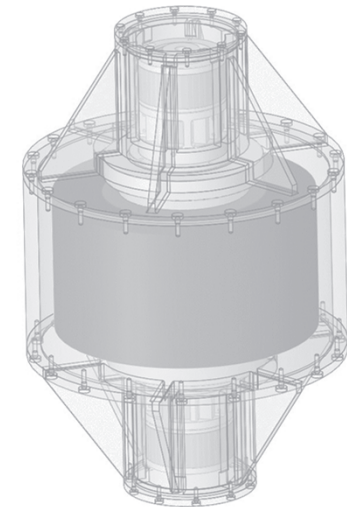
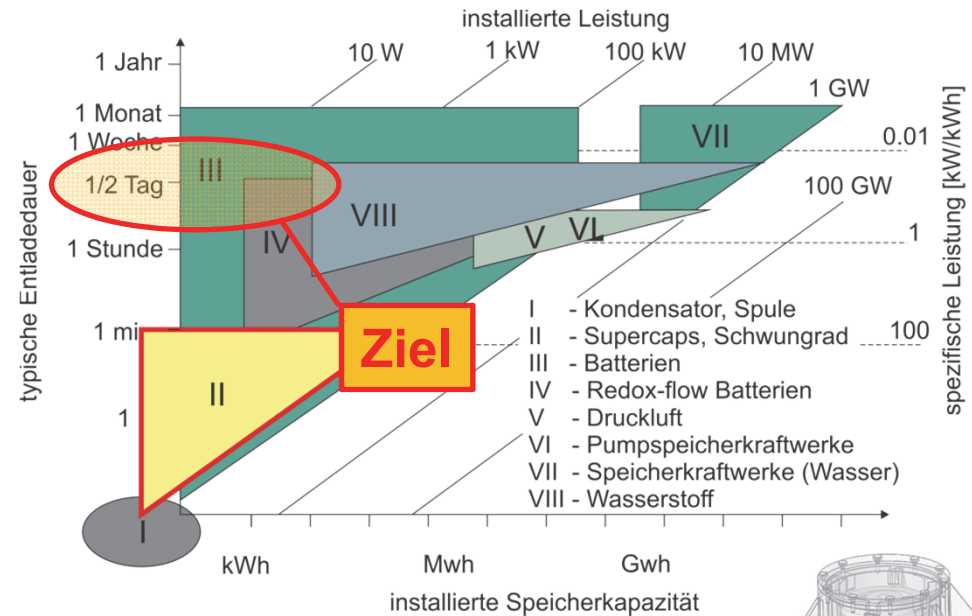


Bisherige Nachteile

- Hohe Selbstentladung (hohe Standby-Verluste → geringe Speicherdauer)
- Keine absolut zuverlässige Lagerung

Innovationssprung bei Flywheels:

- Erhöhung der Speicherzeit
 - von 15 min
auf 12 h ($\eta_{\text{Load}} = 80\%$)
- Erhöhung der Zuverlässigkeit
 - Sicherer Betrieb trotz Baugruppenausfall
- Erhöhung des spezifischen Energieinhalts
 - von 20 Wh/kg
auf 40 Wh/kg



→ Dezentrale Zwischenspeicherung von elektrischer Energie

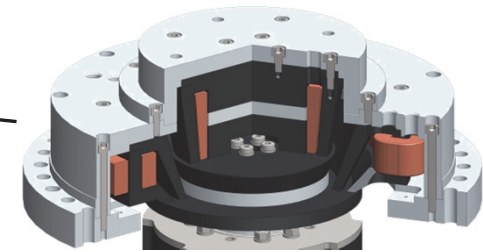
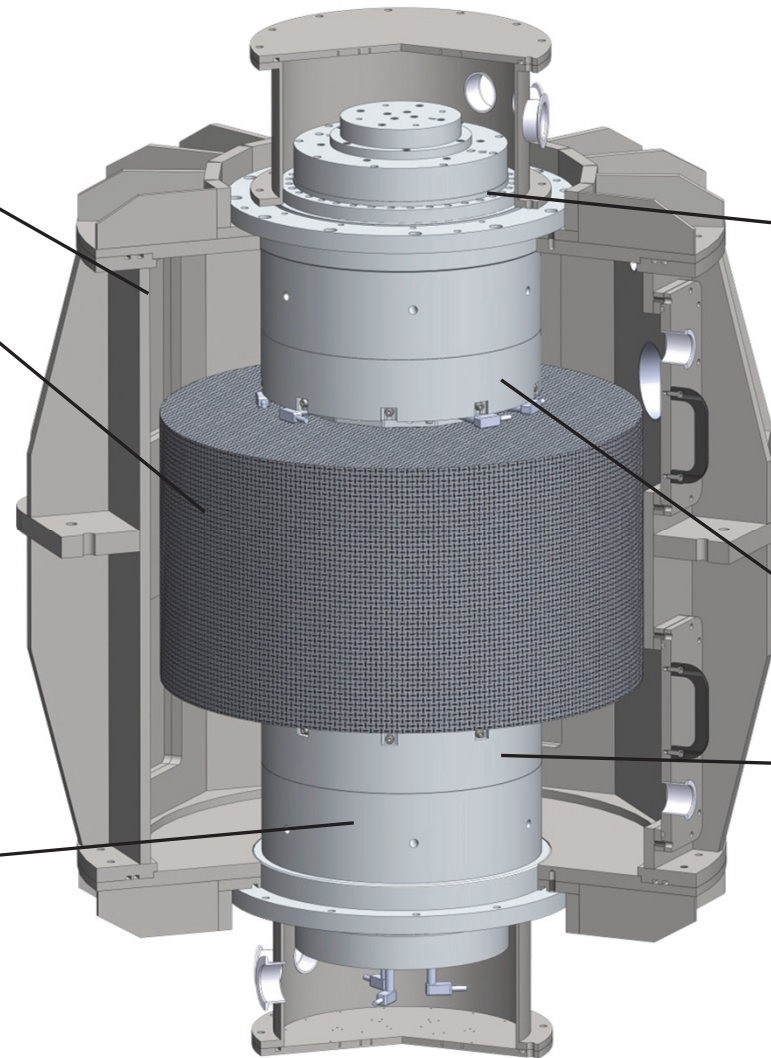
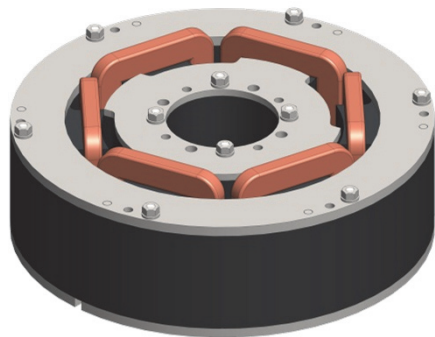


Aufbau und Grundfunktionalität

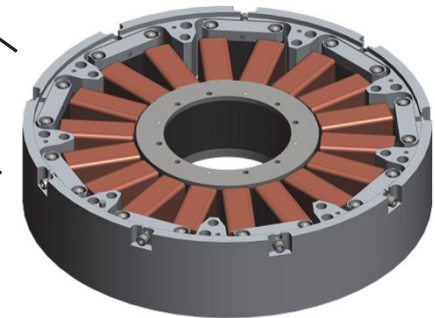
Containment

Schwungmasse

Elektrische
Maschine
Motor/Generator

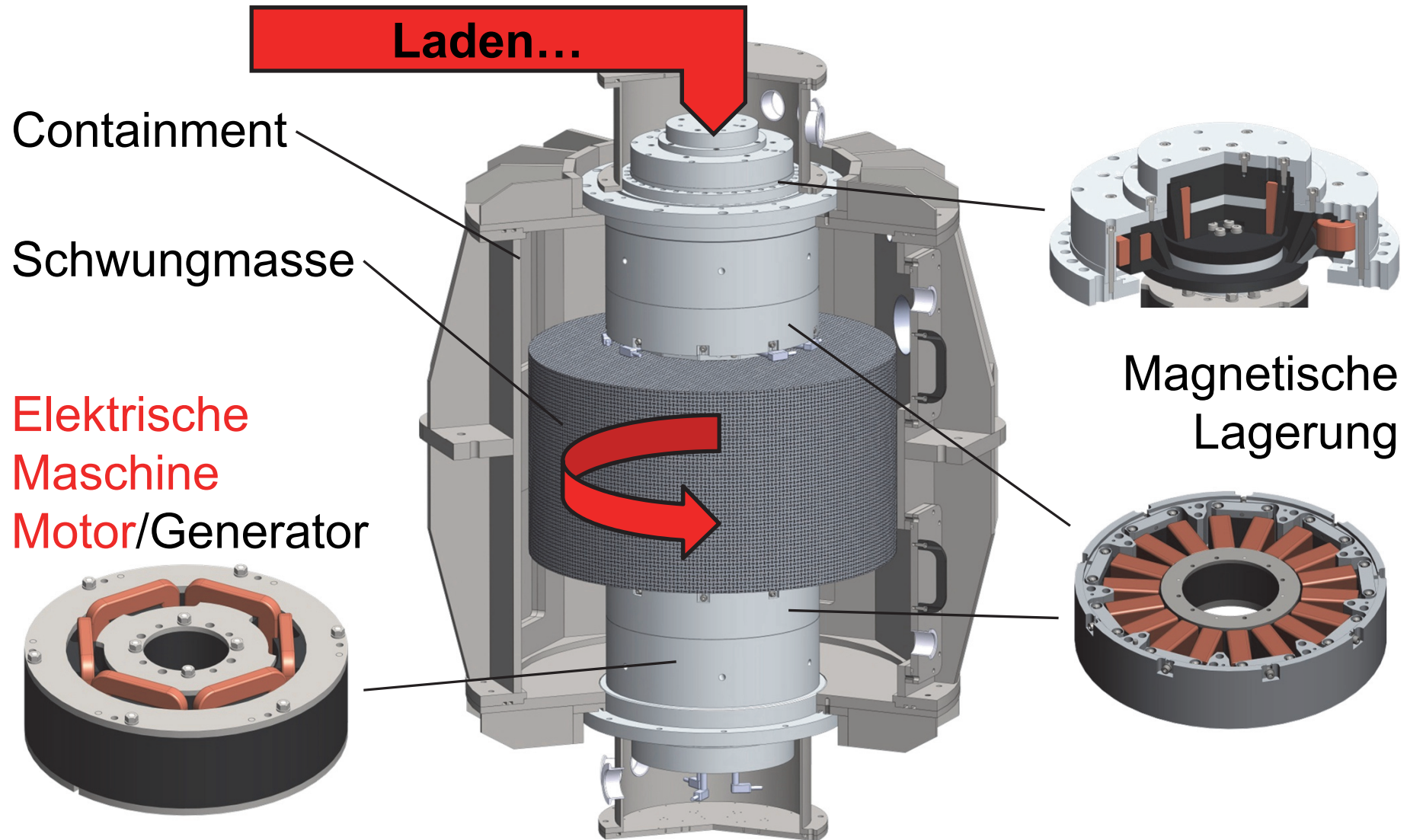


Magnetische
Lagerung





Aufbau und Grundfunktionalität



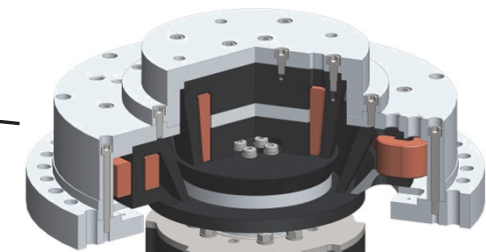
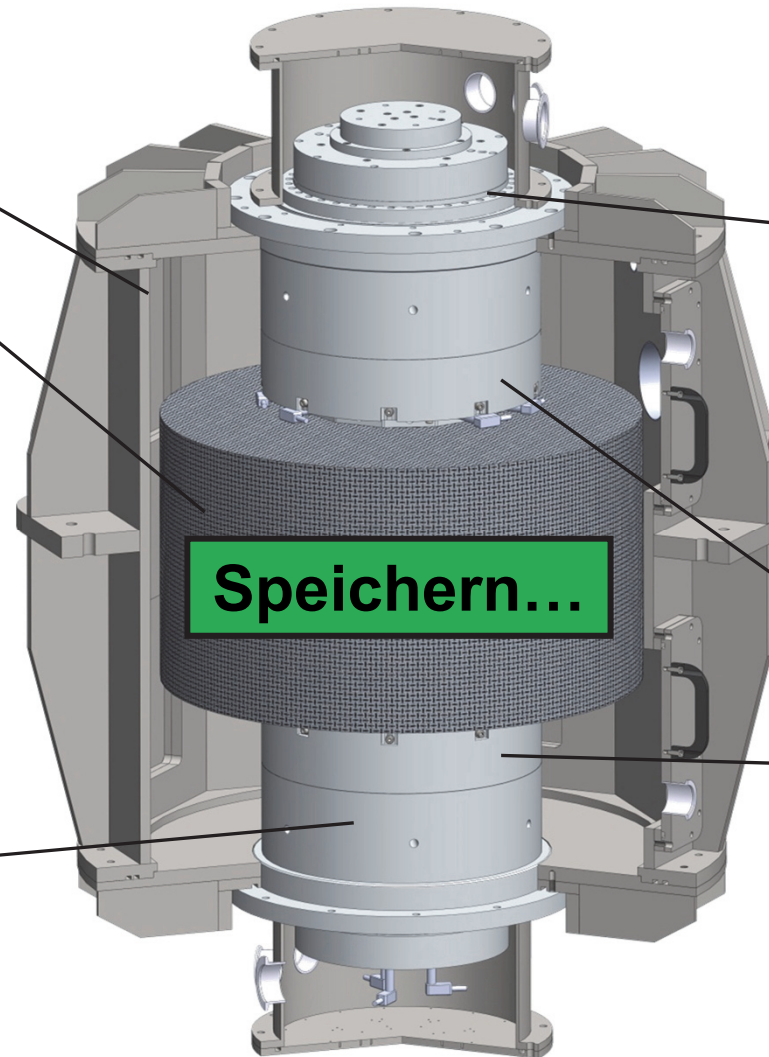
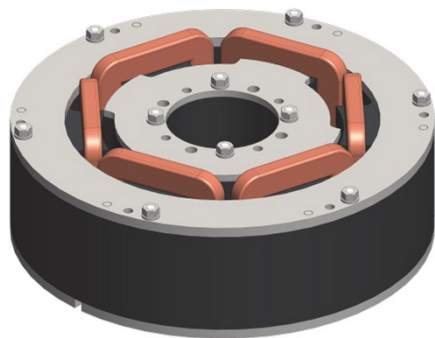


Aufbau und Grundfunktionalität

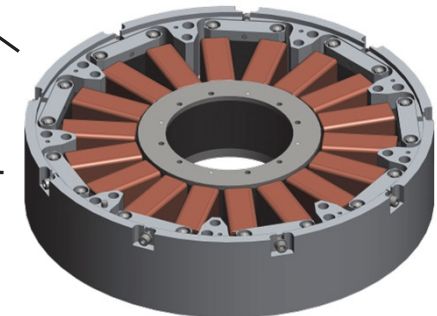
Containment

Schwungmasse

Elektrische
Maschine
Motor/Generator

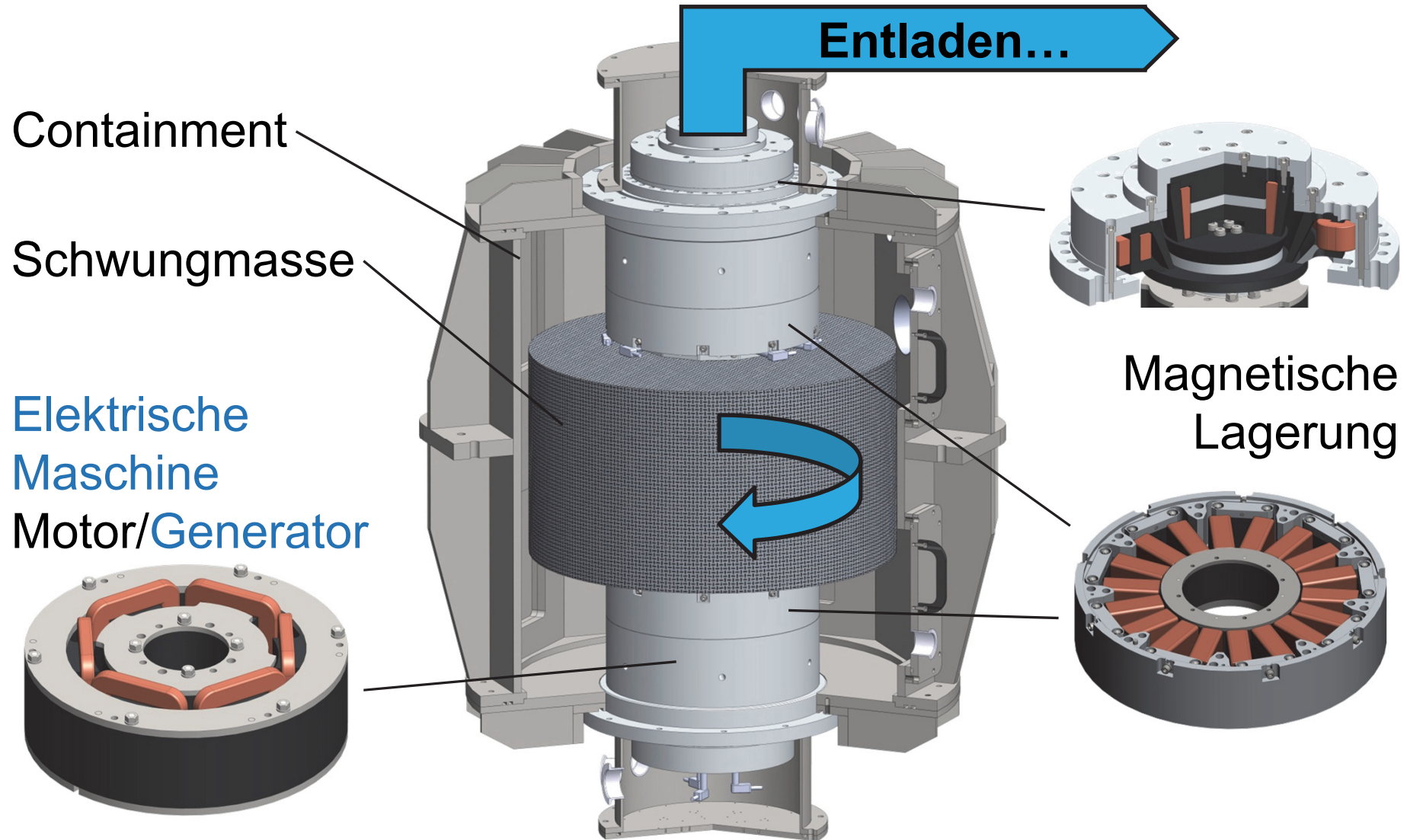


Magnetische
Lagerung

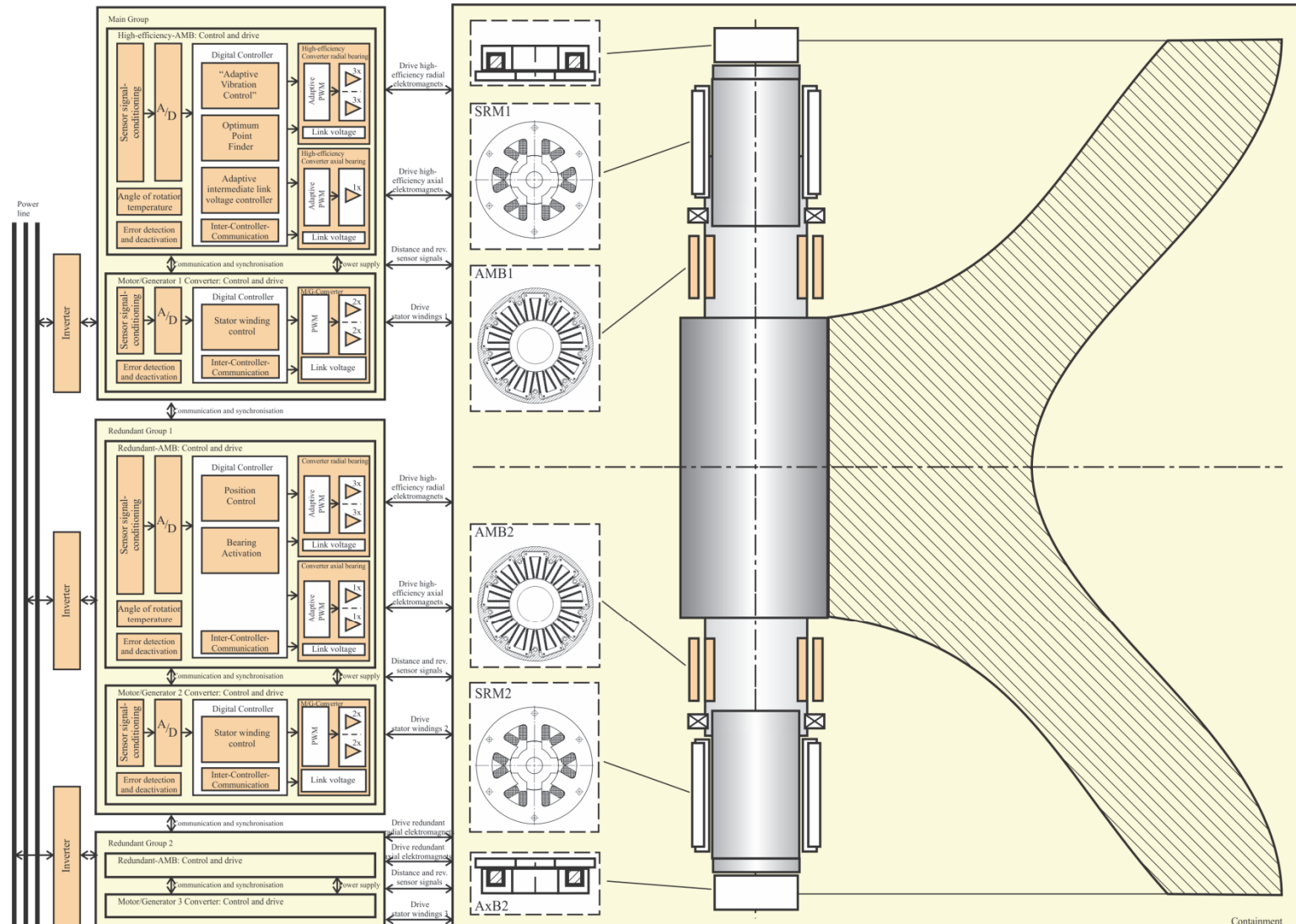




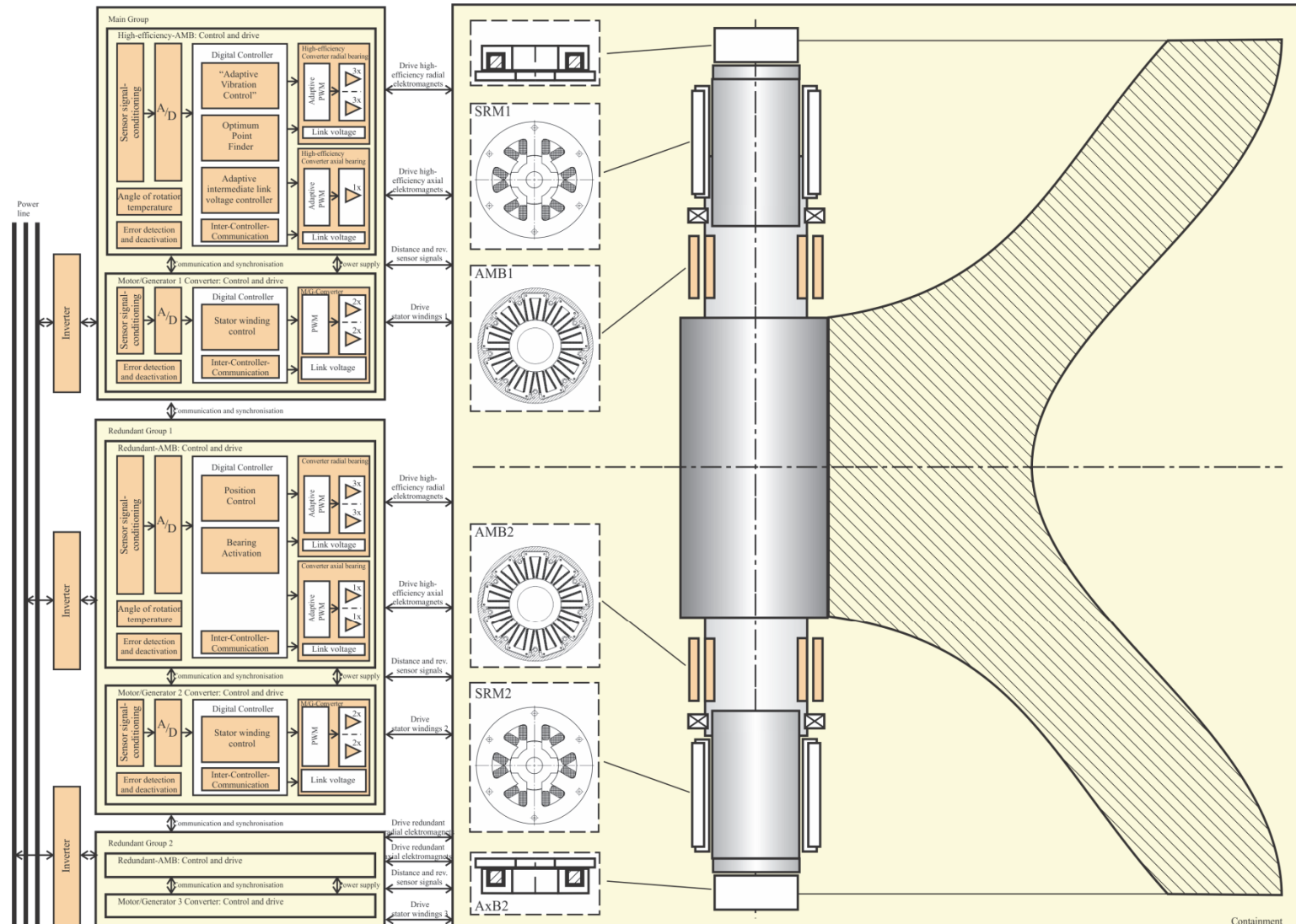
Aufbau und Grundfunktionalität



- 2-aus-3 Redundanz
- 1x Hauptgr. (Norm.Betr.)
- 2x Red. Gr. (Notfall)

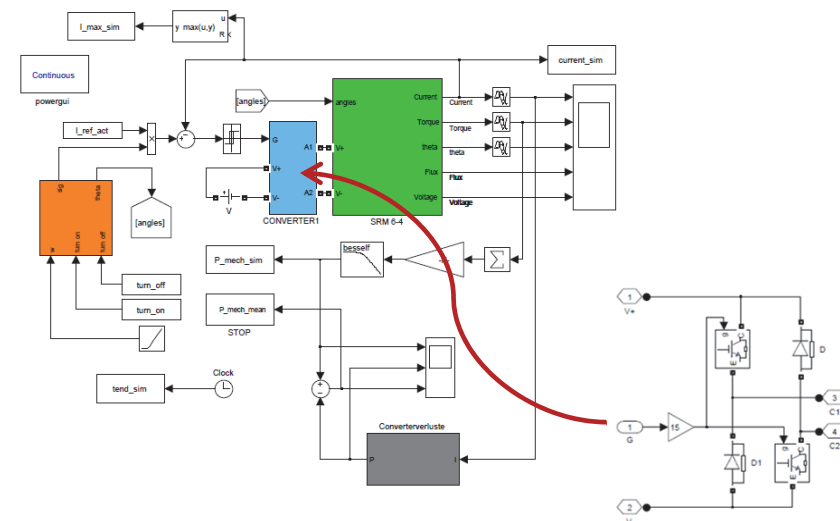
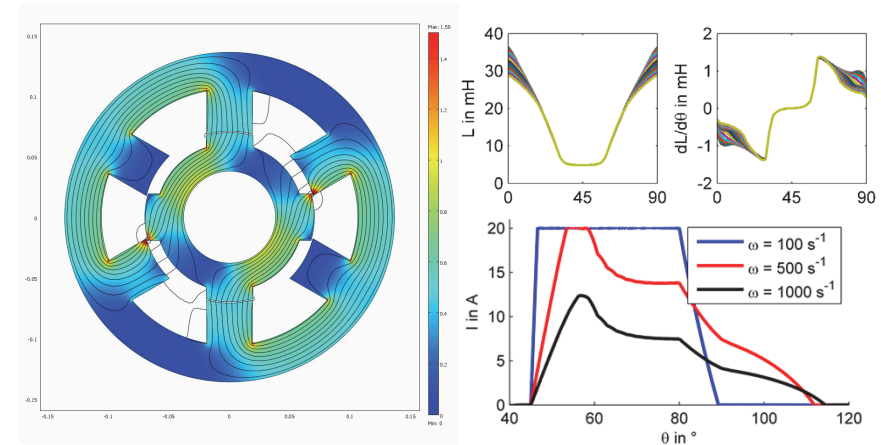


- 2-aus-3 Redundanz
- 1x Hauptgr. (Norm.Betr.)
- 2x Red. Gr. (Notfall)
- Unabhäng. Funktion von
 - Lagerung
 - M/G
 - Sensorik
 - Stromvers.



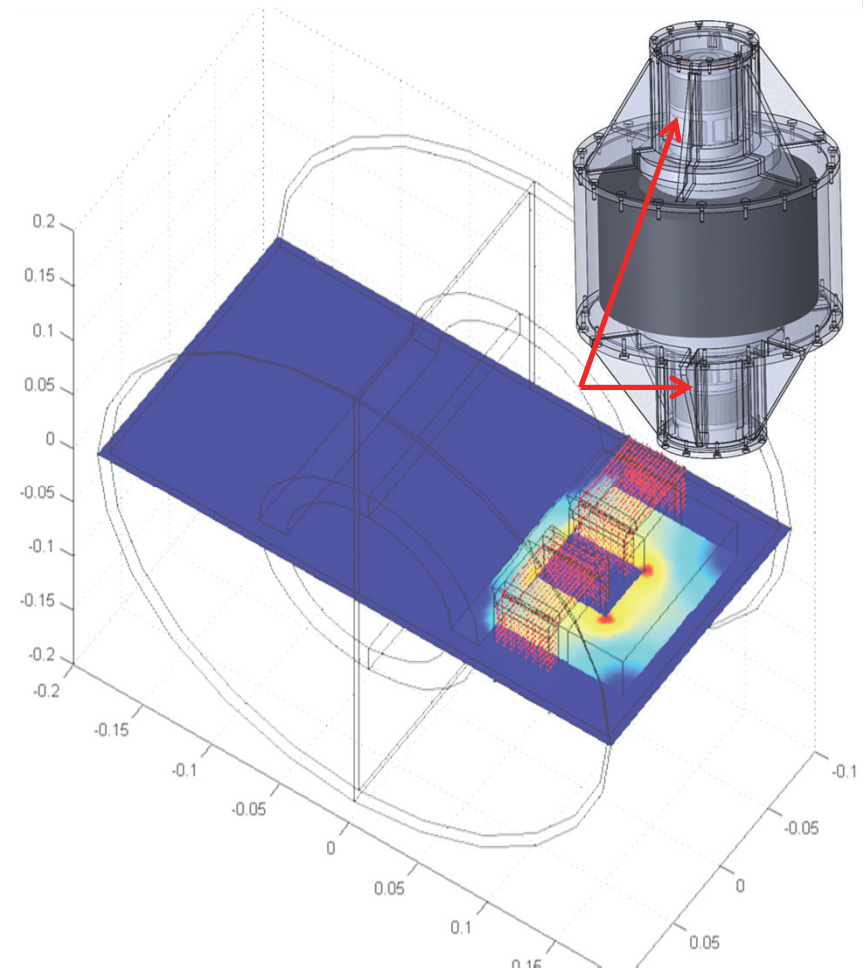
Ablauf:

- Vorgabe: Energieinhalt, Leistung
Konstruktive Lösungen, Werkstoffe
- Material- und Maschinenteile-Tabellen
- Pattern search (D_{Welle})
 - Iterative Lösung (Startwert Ω_{Rotor} m_{Rotor})
 - Opt. Motor/Generator (Länge \rightarrow min.)
 - FE-Kennlinien $f(\gamma, I)$
 - Opt. der Bestromungswinkel
 - Eisenverluste
 - Kupferverluste
 - Konverterverluste



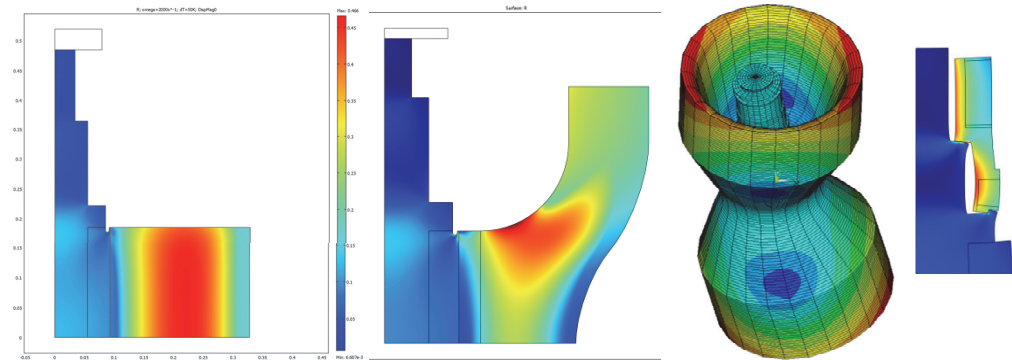
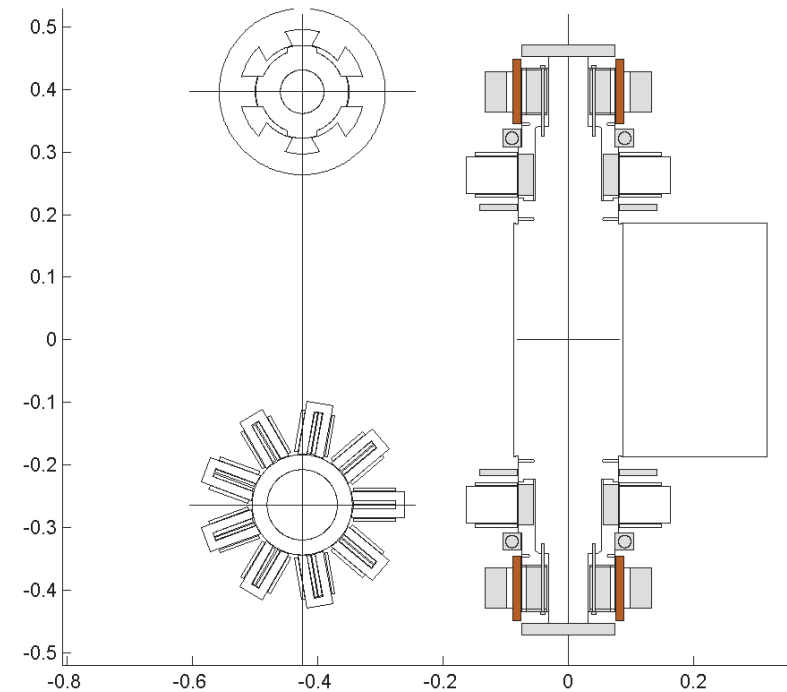
Ablauf:

- Vorgabe: Energieinhalt, Leistung
Konstruktive Lösungen, Werkstoffe
- Material- und Maschinenteile-Tabellen
- Pattern search (D_{Welle})
 - Iterative Lösung (Startwert Ω_{Rotor} m_{Rotor})
 - Opt. Motor/Generator (Länge \rightarrow min.)
 - FE-Kennlinien $f(\gamma, I)$
 - Opt. der Bestromungswinkel
 - Eisenverluste
 - Kupferverluste
 - Konverterverluste
 - Opt. Radiallager (Länge \rightarrow min.)

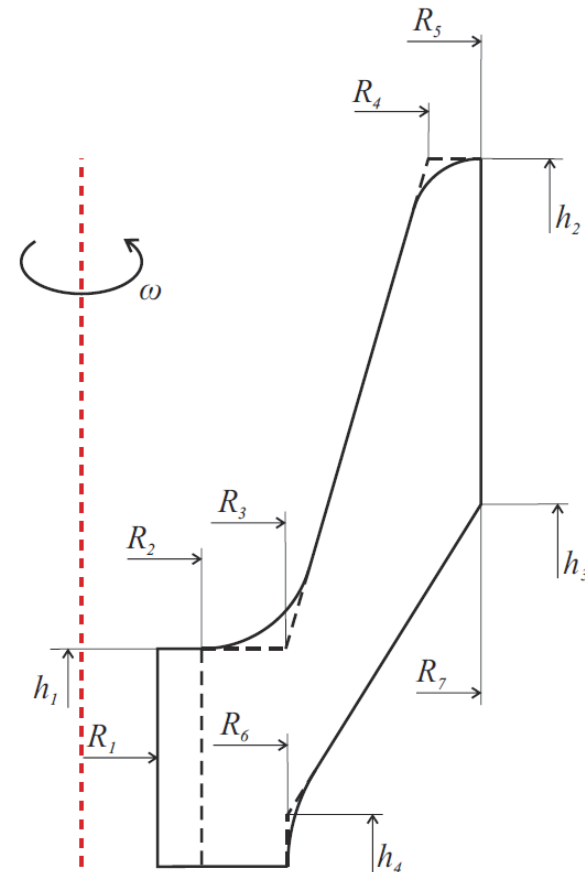
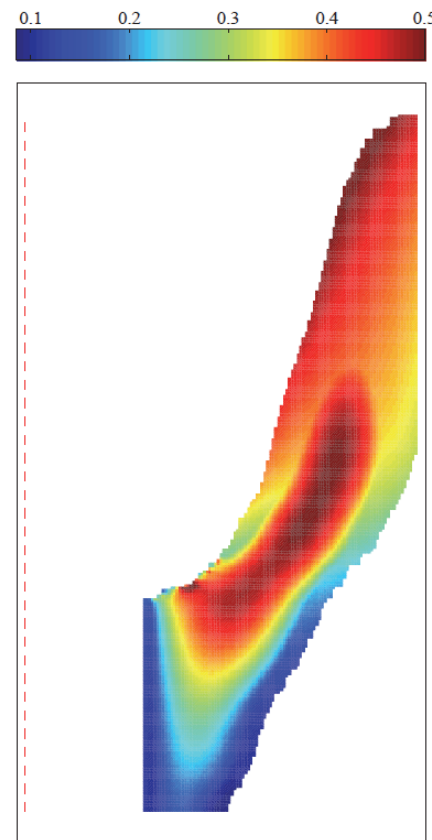


Ablauf:

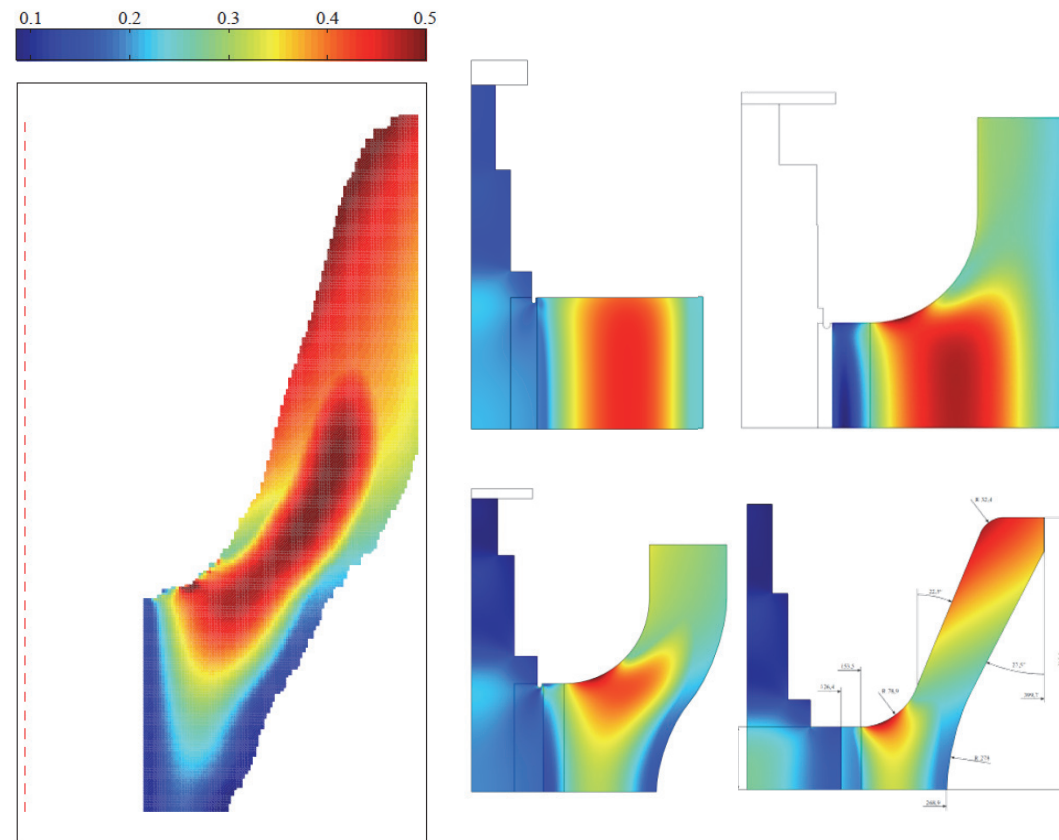
- Vorgabe: Energieinhalt, Leistung
Konstruktive Lösungen, Werkstoffe
- Material- und Maschinenteile-Tabellen
- Pattern search (D_{Welle})
 - Iterative Lösung (Startwert Ω_{Rotor} m_{Rotor})
 - Opt. Motor/Generator (Länge \rightarrow min.)
 - FE-Kennlinien $f(\gamma, I)$
 - Opt. der Bestromungswinkel
 - Eisenverluste
 - Kupferverluste
 - Konverterverluste
 - Opt. Radiallager (Länge \rightarrow min.)
 - Opt. Schwungrad (Masse \rightarrow min.)
 - Geometrie-Berechnung

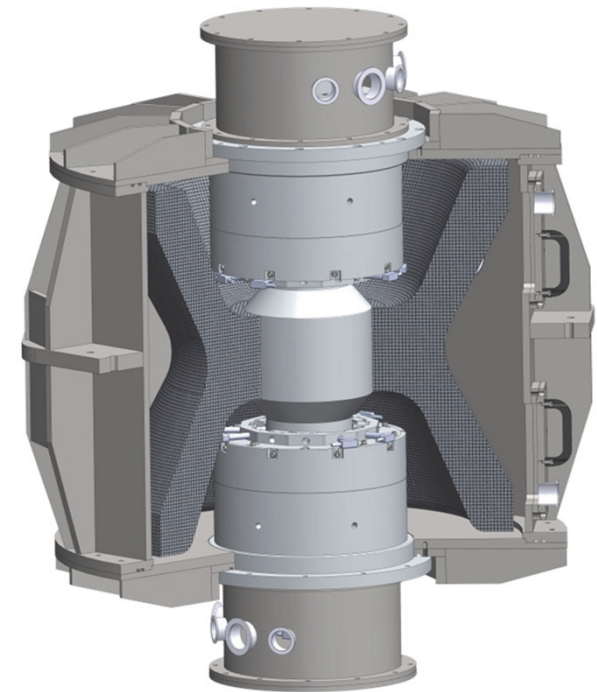
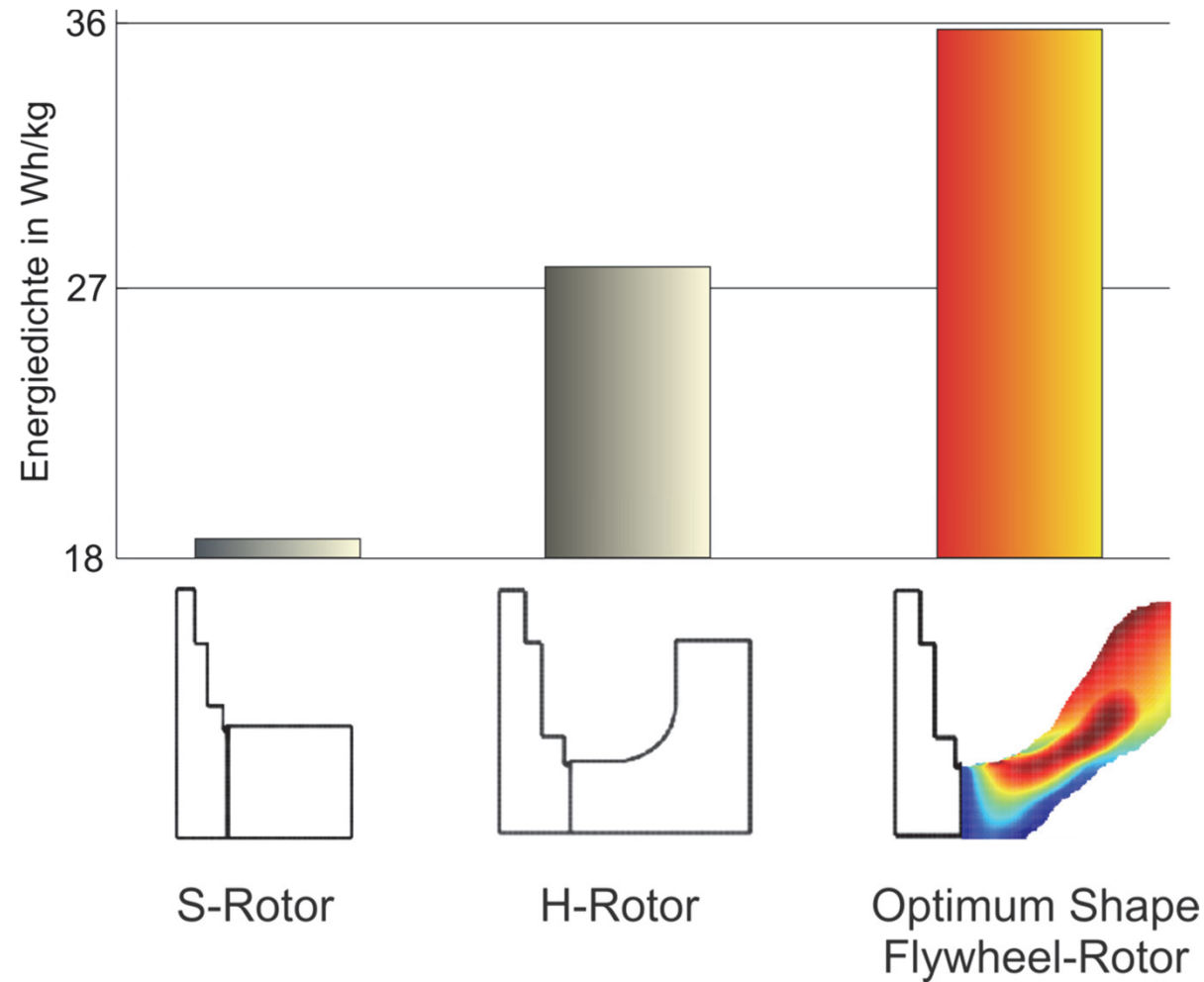


- Energieinhalt \rightarrow max. (m=const.)
- Werkstoffwahl
- 1. Topologieoptimierung
- 2. Parameterbasierte Optimierung
 - Eigenfrequenzen
 - Trägheitsmomente
 - Assemblierbarkeit

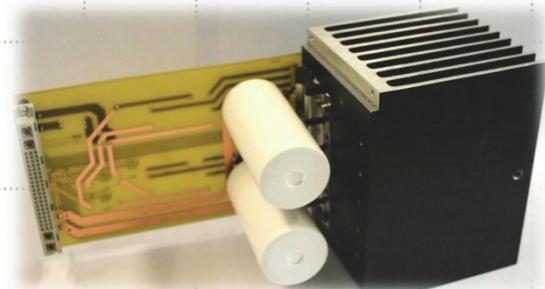
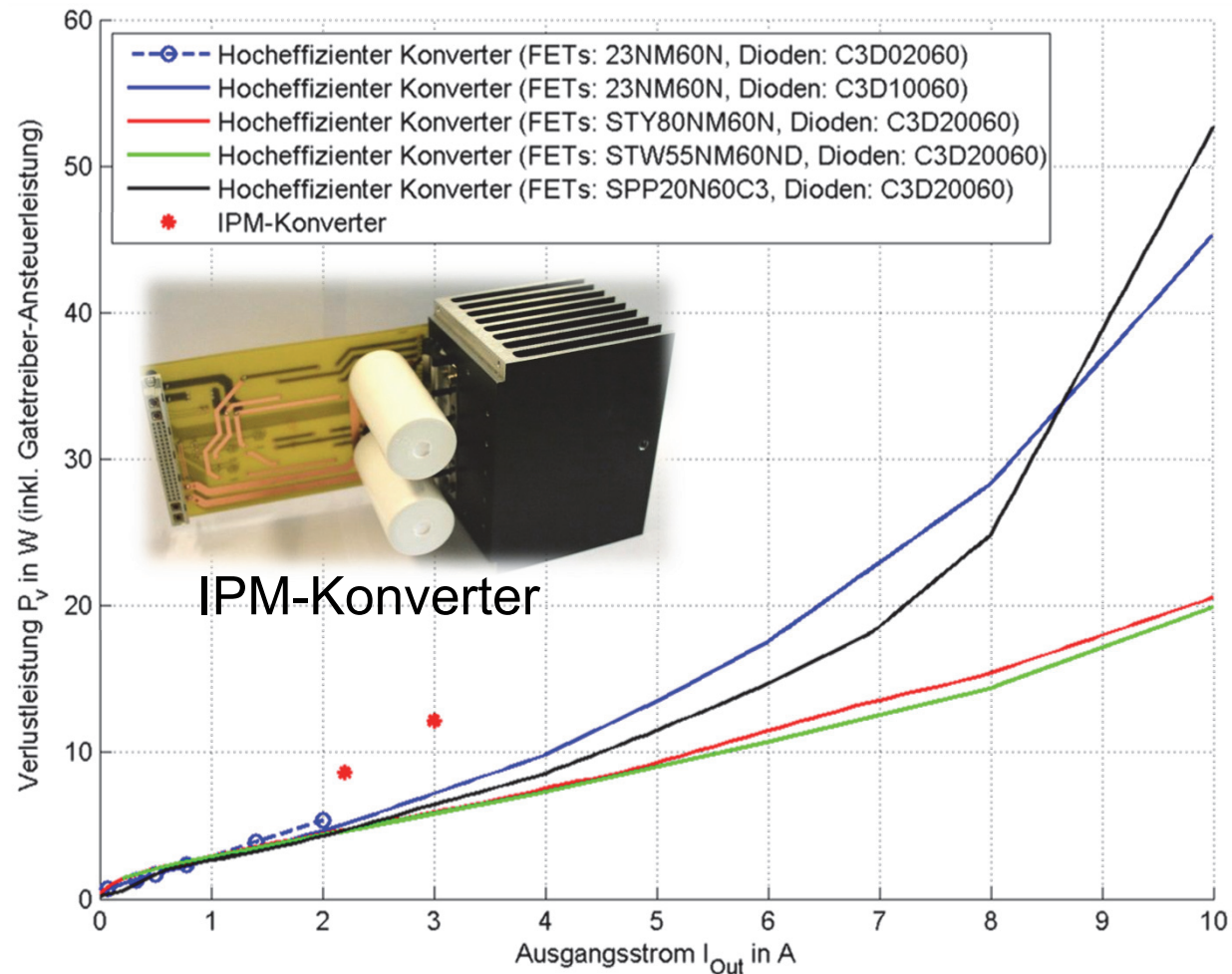


- Energieinhalt \rightarrow max. (m=const.)
- Werkstoffwahl
- 1. Topologieoptimierung
- 2. Parameterbasierte Optimierung
 - Eigenfrequenzen
 - Trägheitsmomente
 - Assemblierbarkeit

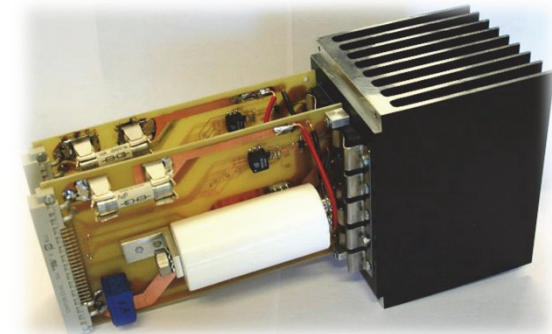




Verlustleistung: Gegenüberstellung – 3-Pegel PWM

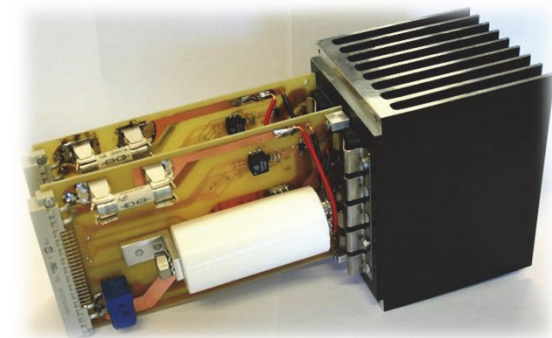
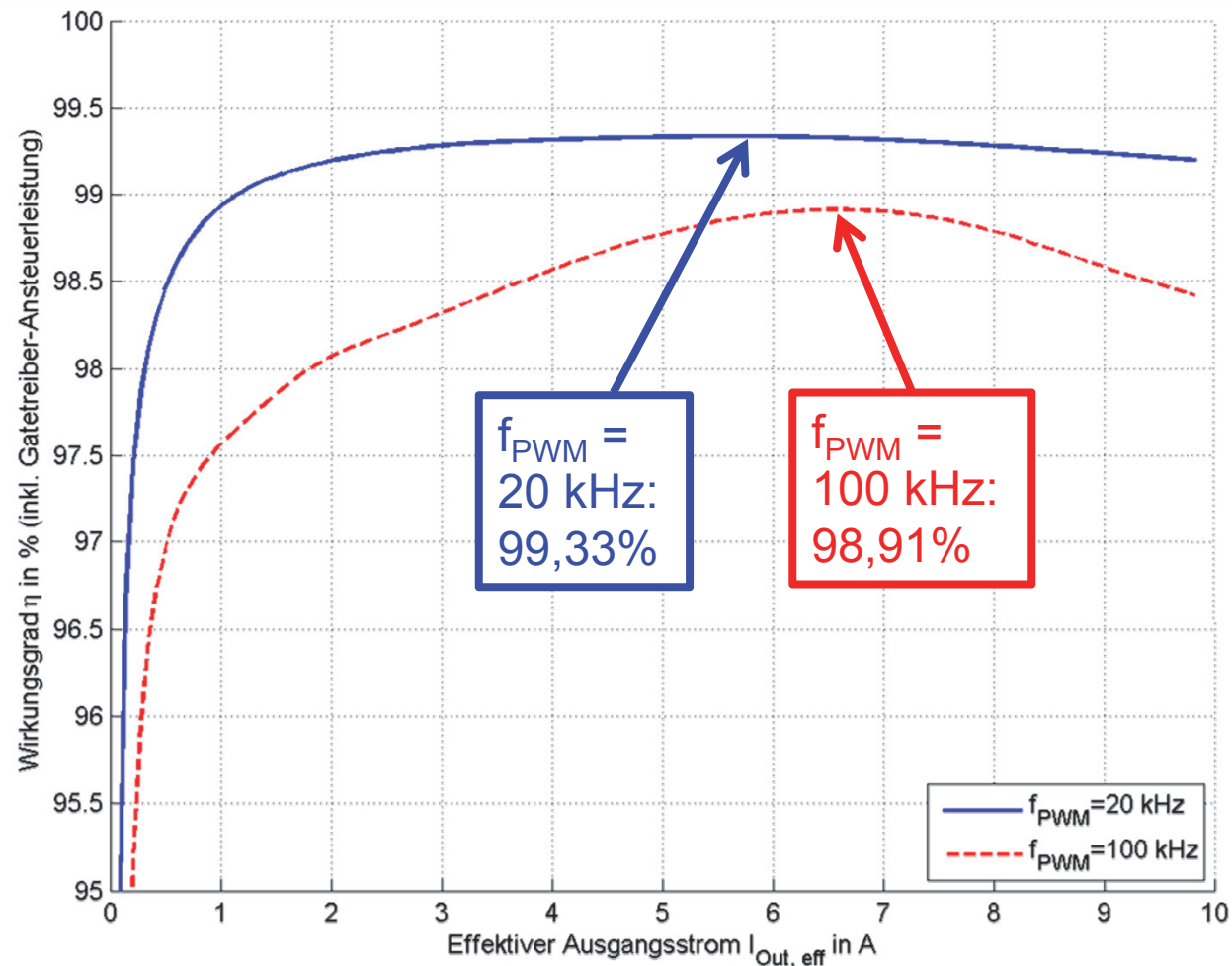


IPM-Konverter



Hocheffizienter
Konverter

Wirkungsgrad: Gegenüberstellung – 3-Pegel PWM

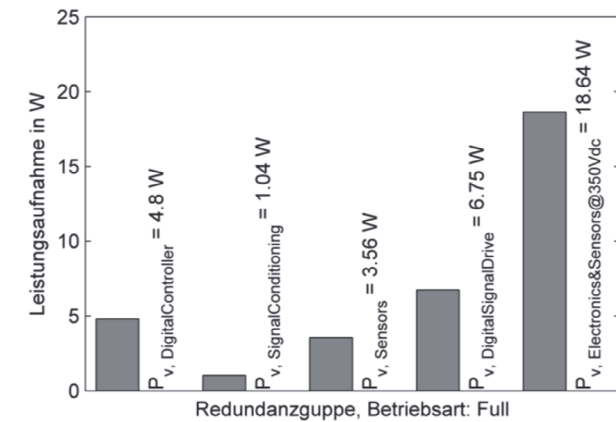
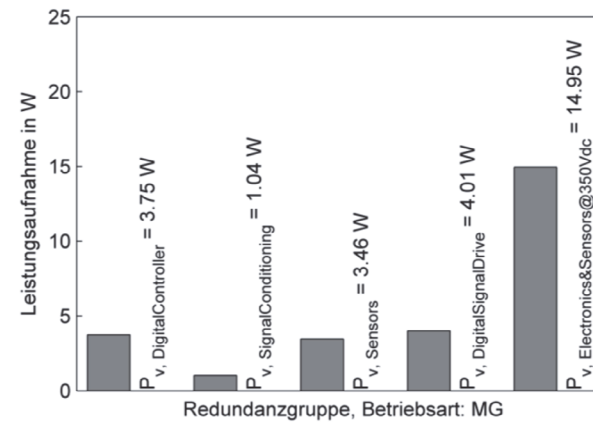
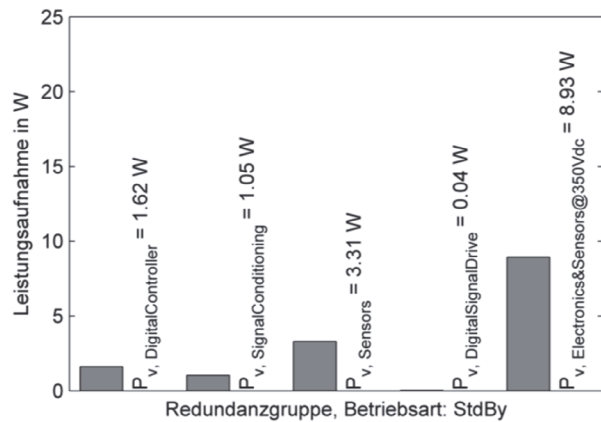
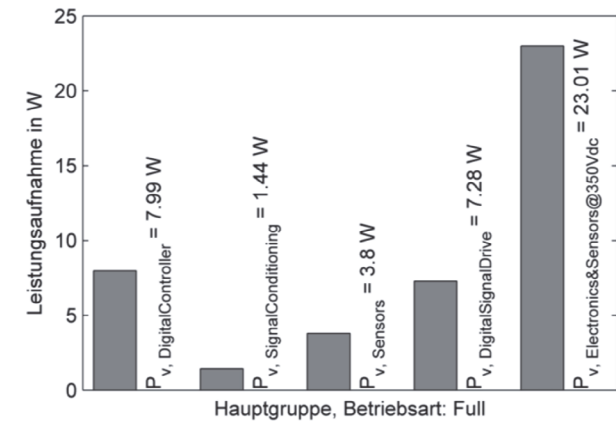
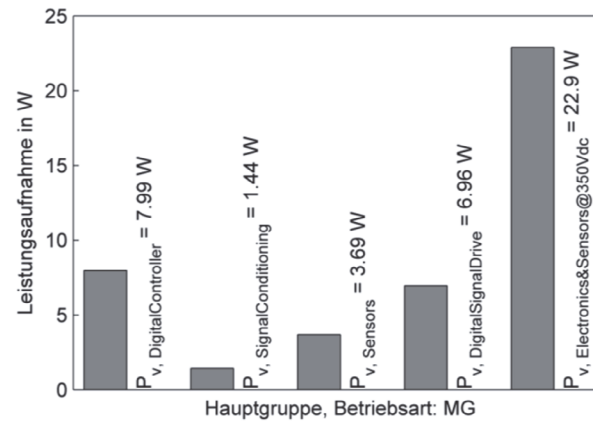
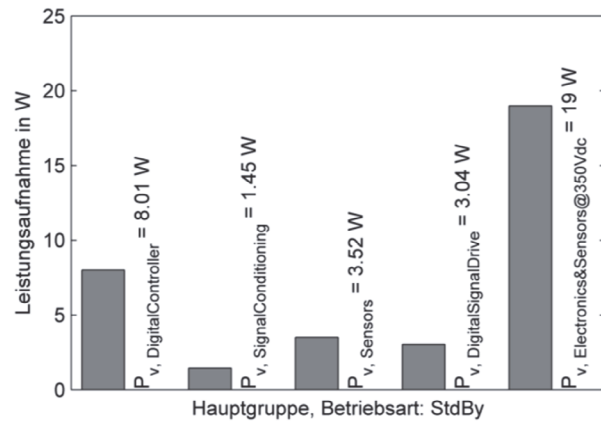


Hocheffizienter
Konverter



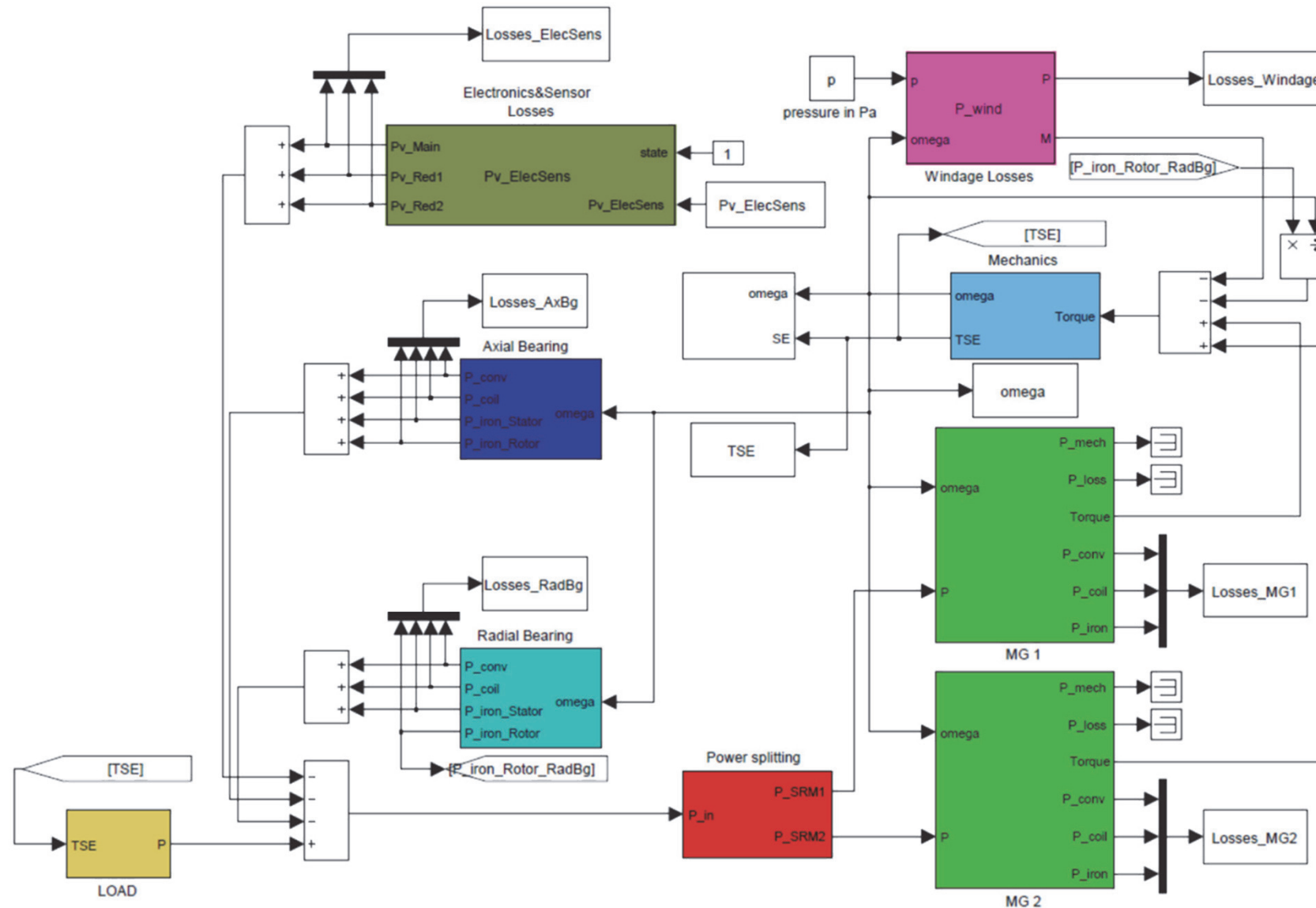
Flywheel-Gesamtsimulation

Verlustleistung - Sensorik/Signalaufbereitung/Regelungshardware





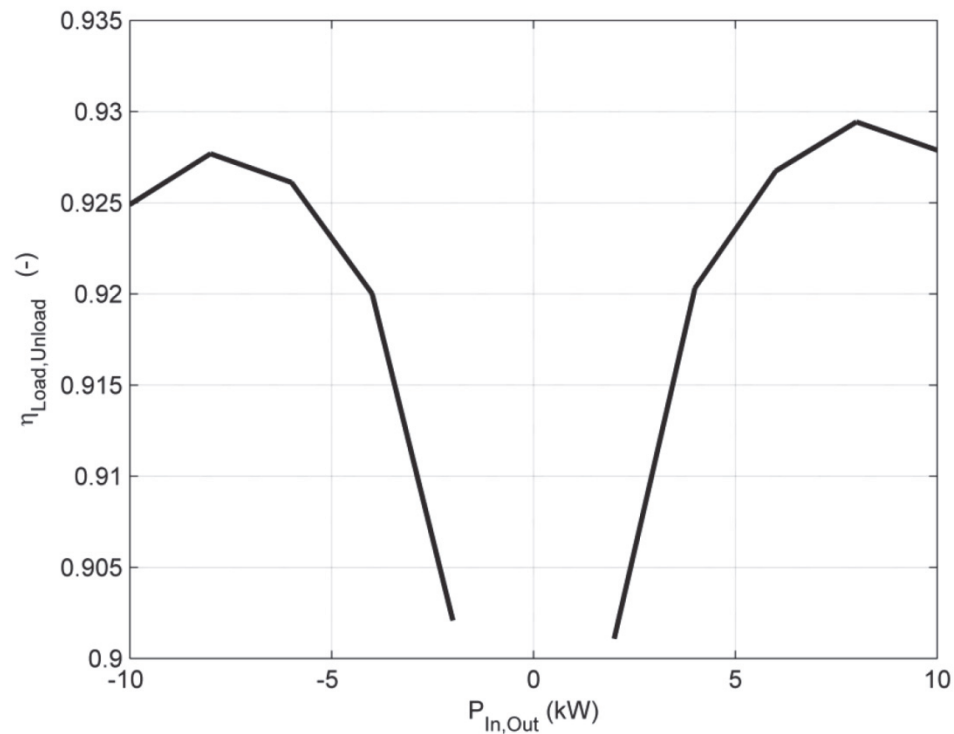
Flywheel-Gesamtsimulation



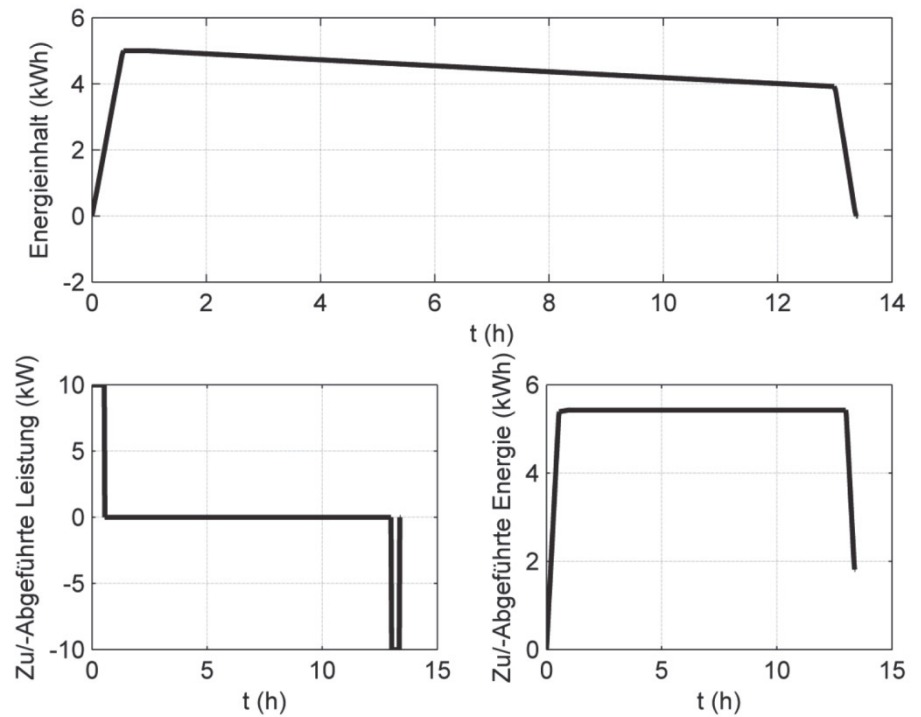


Flywheel-Gesamtsimulation

Lade-/Entlade-Wirkungsgrad

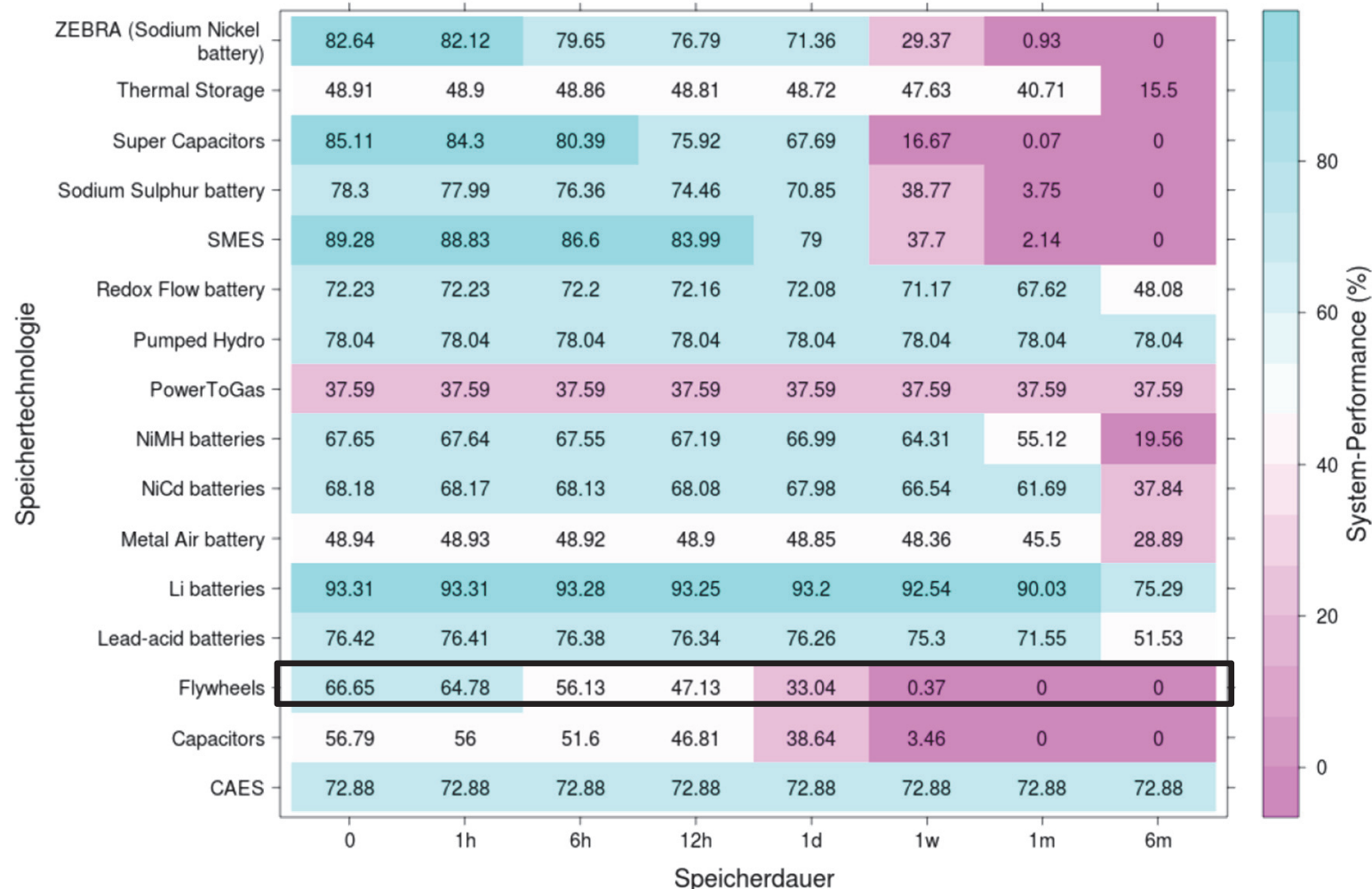


Energieinhalt Zu-/Abgeführte Leistung/Energie





Vergleich mit anderen Speichertechnologien



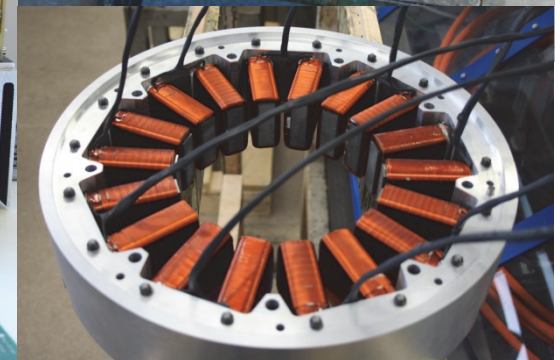
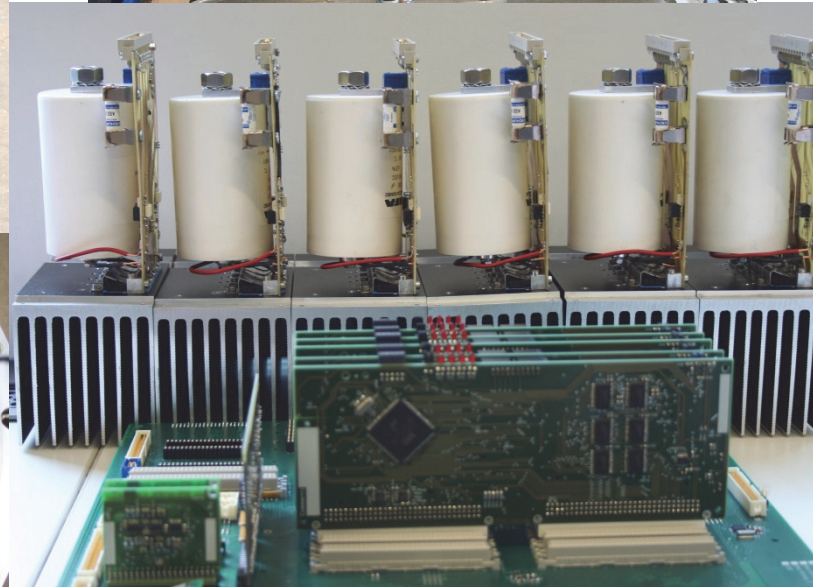
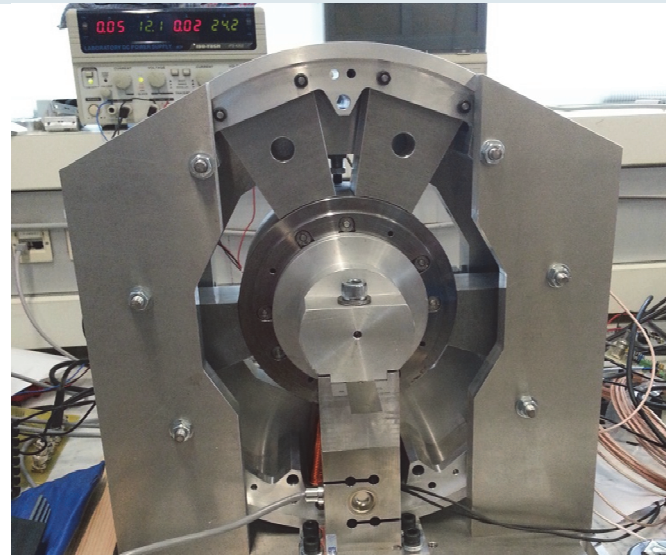
LTS-Flywheel 85.3 84.0 77.0 69.0 52.9 10kW/5kWh Simulation

OS-Flywheel 85.3 84.7 81.2 77.1 68.9 10kW/10kWh Simulation

Quelle: J. Kathan, S. Henein, H. Brunner, V. Heinisch, „Endbericht Leistungsautarkie Römerland Carnuntum“
A. Schulz, Technische Universität Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik, www.mec.tuwien.ac.at



Derzeitiger Stand





Danksagung und Kontakt

Diese Projekte werden aus Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie sowie dem Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen der Programme „Haus der Zukunft Plus“ und „Neue Energien 2020“ durchgeführt

alexander.schulz@tuwien.ac.at





TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology



Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie



FFG

Hocheffiziente und zuverlässige Schwungradspeicher

Konzept, Auslegung, Simulation und Anwendung

Alexander Schulz

Vienna University of Technology
Institute of Mechanics and Mechatronics
Measurement and actuator division
www.mec.tuwien.ac.at