

Skalierungseffekte durch modulare Antriebsarchitekturen für Nutzfahrzeuge



Abschlusspräsentation

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



AP1 – “Anforderungen und Spezifikationen”



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



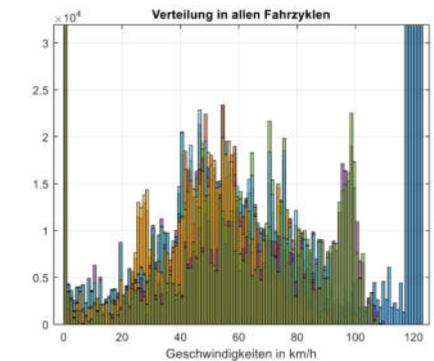
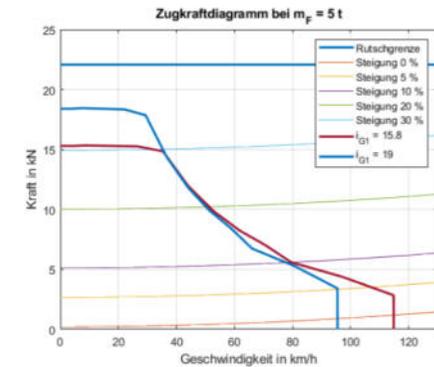
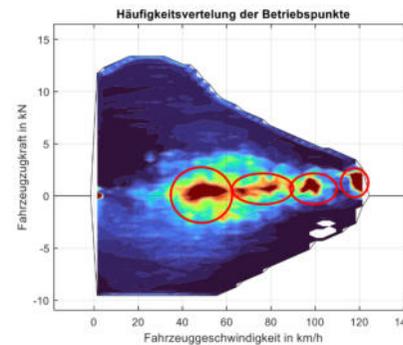
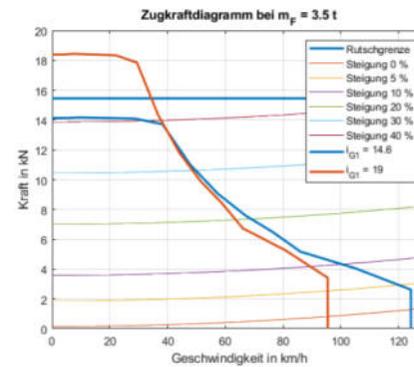
AP1.1 Spezifikation der Use-Case-Szenarien

- Analyse der Verkaufszahlen 2019
 - Für einen typischen Transporter
- Austausch typischer Fahrzyklen
 - Post-Zyklus
 - Dauerlauf (Urban, Interurban, Highway)
 - WLTP
- Definition der Ecktypen
- Auswahl Benchmarkfahrzeuge
 - Kleinstmotorisiertes Klassikfahrzeug
 - Steigfähigkeit

Masse	Aufbau	Anhänger	Höchstgeschwindigkeit	Prüflauf
3,5 t	Standarddach	nein	120 km/h / 160 km/h	Post
	Hochdach	nein	120 km/h / 160 km/h	Post
	Hochdach	ja	120 km/h / 160 km/h	Dauerlauf
	Pritsche	nein	120 km/h / 160 km/h	Dauerlauf
	Pritsche	ja	120 km/h / 160 km/h	Dauerlauf
4,1 t	Hochdach	nein	120 km/h / 160 km/h	Dauerlauf
	Pritsche	nein	120 km/h / 160 km/h	Dauerlauf
4,25 t	Hochdach	ja	120 km/h / 160 km/h	Dauerlauf
	Pritsche	ja	120 km/h / 160 km/h	Dauerlauf
5 t	Hochdach	nein	89 km/h	Dauerlauf
	Hochdach	ja	89 km/h	Dauerlauf
	Pritsche	nein	89 km/h	Dauerlauf
	Pritsche	ja	89 km/h	Dauerlauf
6,8 t	Superhochdach	nein	109 km/h	Dauerlauf

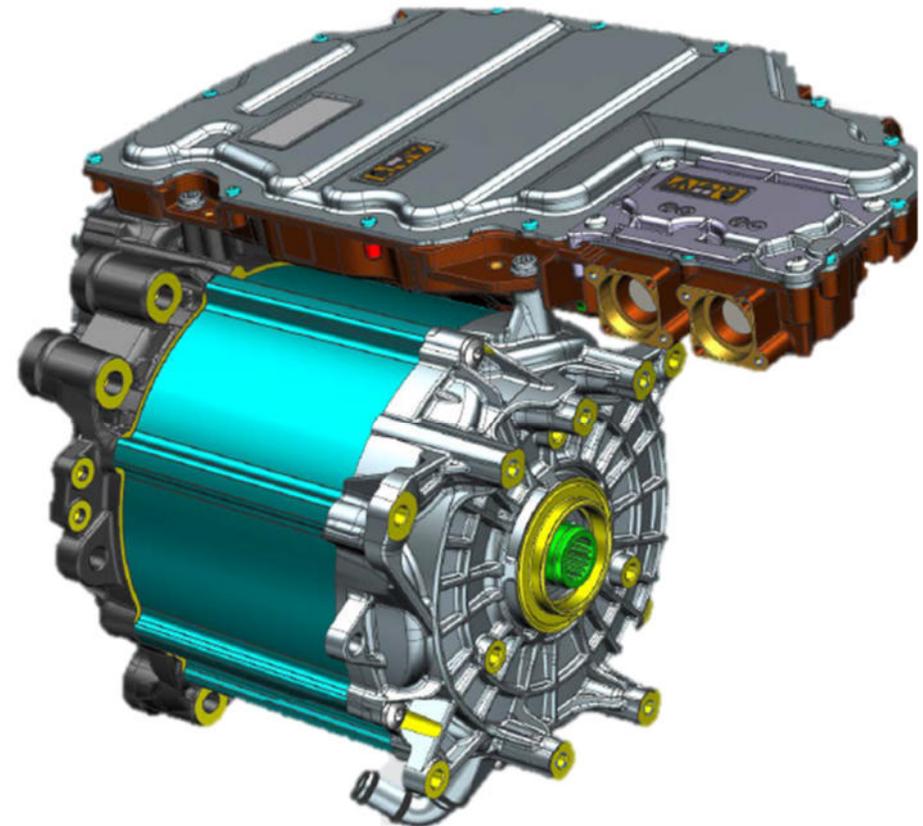
AP1.2 Analyse der zu erwartenden Fahrprofile

- Fahrwiderstandsbeiwerte
 - ermittelt für Ecktypen
- Ableitung der Fahrwiderstände
- Klassierung der Fahrprofile
- Aufbau Simulationsumgebung
 - Fahrermodell
 - Fahrzeugmodell (Längsdynamik)
 - Thermisches Modell



AP1.3 Spezifikation & Auswahl der E-Maschine und des Inverters

- Konzerninterne PKW-Portfolioanalyse nach Motor in benötigter Leistungsklasse nicht erfolgreich
- Derivate der Motoren nicht sinnvoll
 - Hohe Applikationskosten Leistungselektronik
 - Zeitschiene zu lang
- Übernahme aus allgemeinem PKW-Segment
 - Integrierte Leistungselektronik
 - Bauraum (fast) eingehalten
 - Passende Leistungsklasse
 - Fortgeschrittener Vorserienstand

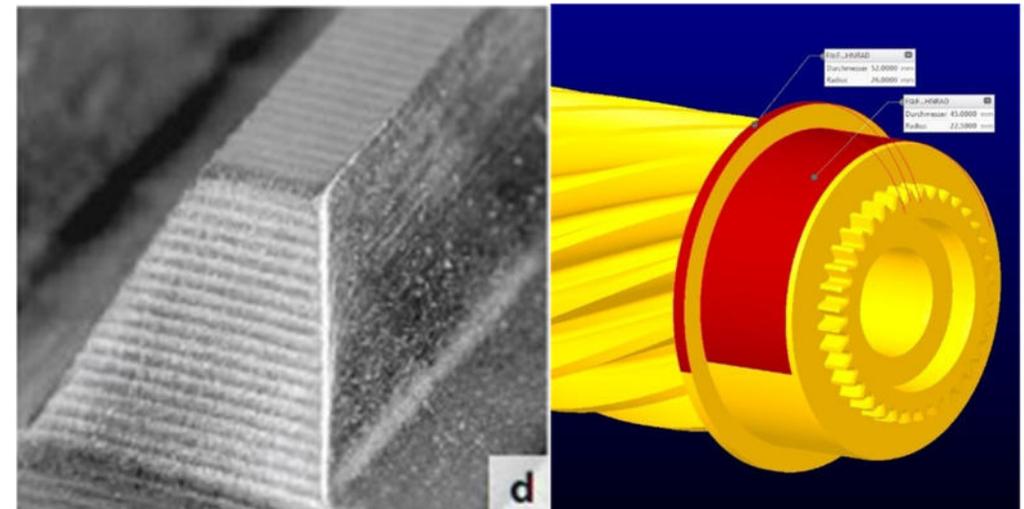


AP1.4 Anforderungen an die Getriebekonzepte

- Abgeleitete Übersetzungsintervalle für Ecktypen
 - 1. Gang: $16,8 \leq i_{G1} \leq 19$ 2. Gang: $6,8 \leq i_{G2} \leq 9,7$

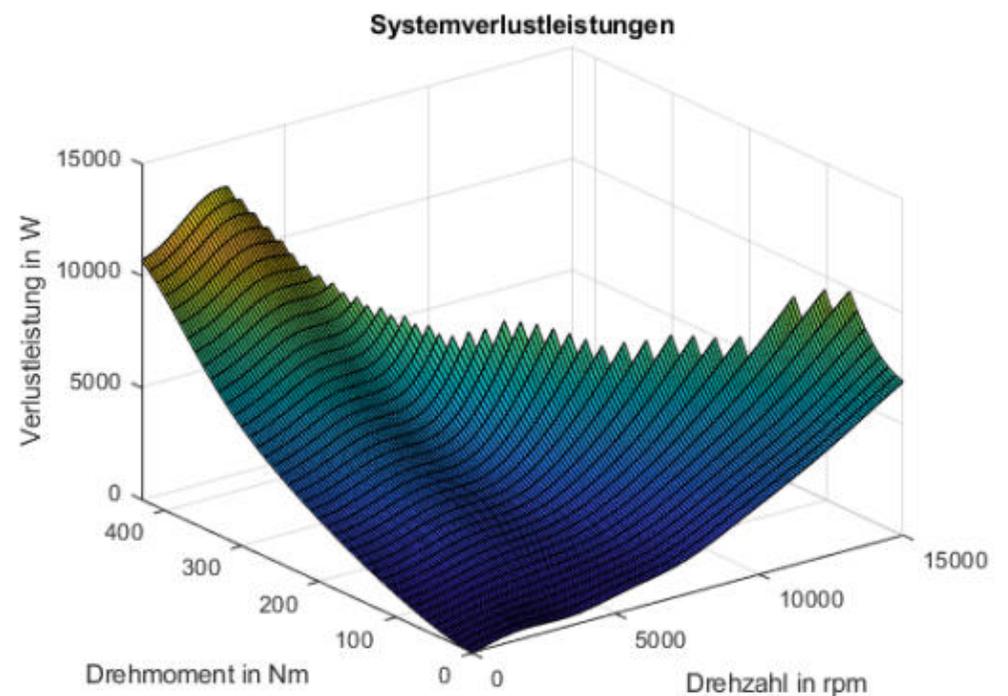
- Betrachtung der automatisierten Schaltaktorik
 - Helix Shifter

Masse	Aufbau	Anhänger	Höchstgeschwindigkeit	Prüflauf	Steigfähigkeit	Benötigte Gänge (16.000 rpm)	Mögliche Übersetzungen 1.Gang	Mögliche Übersetzungen 2.Gang
3,5 t	Hochdach	nein	120 km/h	Post, WLTP	40%	1	11,6 – 18,2	-
	Hochdach	nein	120 km/h	Post, WLTP	40%	2	11,6 – 19	3,9 – 18,2
3,5 t	Hochdach	nein	160 km/h	Dauerlauf, WLTP	40%	2	11,6 – 19	3,9 – 10,1
	Hochdach	ja	89 km/h	Dauerlauf, WLTP	38%/30%	2	13,5 – 19	5,3 – 10,1
	Pritsche	nein	160 km/h	Dauerlauf, WLTP	40%	-	-	-
4,1 t	Hochdach	nein	160 km/h	Dauerlauf, WLTP	38%	2	13 – 19	4,5 – 9,8
	Pritsche	nein	160 km/h	Dauerlauf, WLTP	38%	-	-	-
4,25 t	Hochdach	nein	160 km/h	Dauerlauf, WLTP	38%	2	13,5 – 19	4,6 – 9,7
	Hochdach	ja	89 km/h	Dauerlauf, WLTP	30%	2	14,8 – 19	5,9 – 9,7
	Pritsche	nein	160 km/h	Dauerlauf, WLTP	38%	-	-	-



AP1.5 Ableitung der Anforderung an die Kühlkonzepte

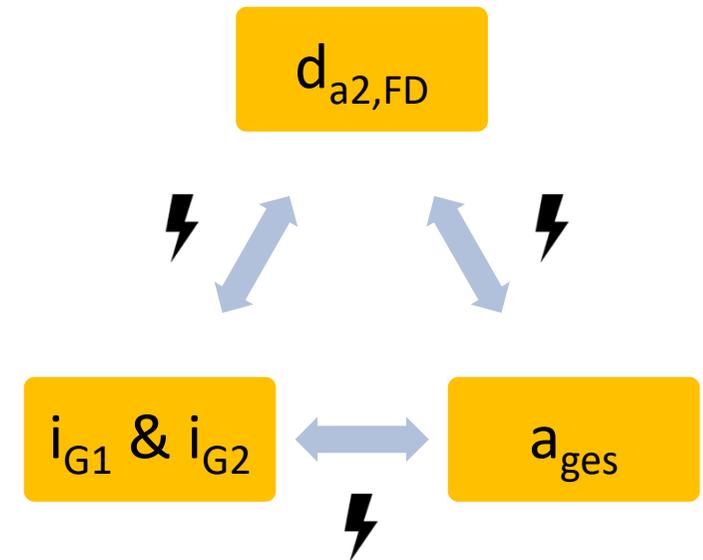
- Vermessung der elektrischen Maschine am Prüfstand
- Gegenprüfung der Leistung, Effizienz, Verluste
- Abschätzung der Abwärme für Kühlkreislauf
- Aufbau thermisches Simulationsmodell
- Separation der Verlustarten
 - Kupfer
 - Rotor
 - Stator



AP2 – „Getriebekonzept und –auslegung“

AP2.1 Bewertung der Getriebekonzepte

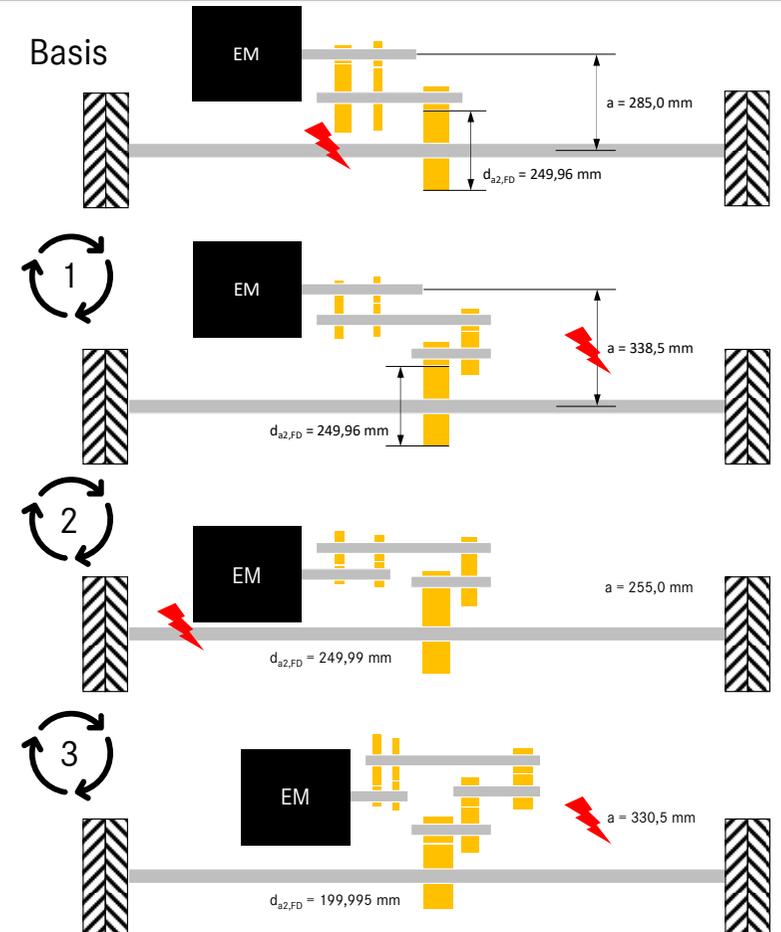
- Notwendige Übersetzung des ersten und zweiten Ganges
 - 1. Gang: $16,8 \leq i_{G1} \leq 19$
 - 2. Gang: $6,8 \leq i_{G2} \leq 9,7$
 - Gangspreizung so gering wie möglich
- Limitierter Kopfkreisdurchmesser Abtriebsrad (FinalDrive)
 - $d_{a2,max,FD} = 250 \text{ mm}$
 - bedingt durch geforderte Bodenfreiheit & Einbau in die starre Achsbrücke aus dem Serienbestand
- Kleinstmöglicher Gesamtachsabstand
 - Zwischen Eingangswelle (EM) und Hinterachse
 - $a_{ges,max} = 300 \text{ mm}$



AP2.2 Analyse und Auswahl

- Basis:
 - 2 Getriebestufen & 3 Wellen
 - ⚡ 2. Welle in Achsrichtung → Kollision mit Achsbrücke
- 1. Iteration:
 - 3 Getriebestufen & 4 Wellen
 - ⚡ 4. Welle in Fahrzeugrichtung → Achsabstand zu groß
- 2. Iteration:
 - 3 Getriebestufen & 4 Wellen
 - ⚡ 4. Welle in Achsrichtung → Kollision E-Maschine mit Achsbrücke
- 3. Iteration:
 - 4 Getriebestufen & 5 Wellen
 - ⚡ Zus. Getriebestufe und Zwischenwelle → Achsabstand zu groß

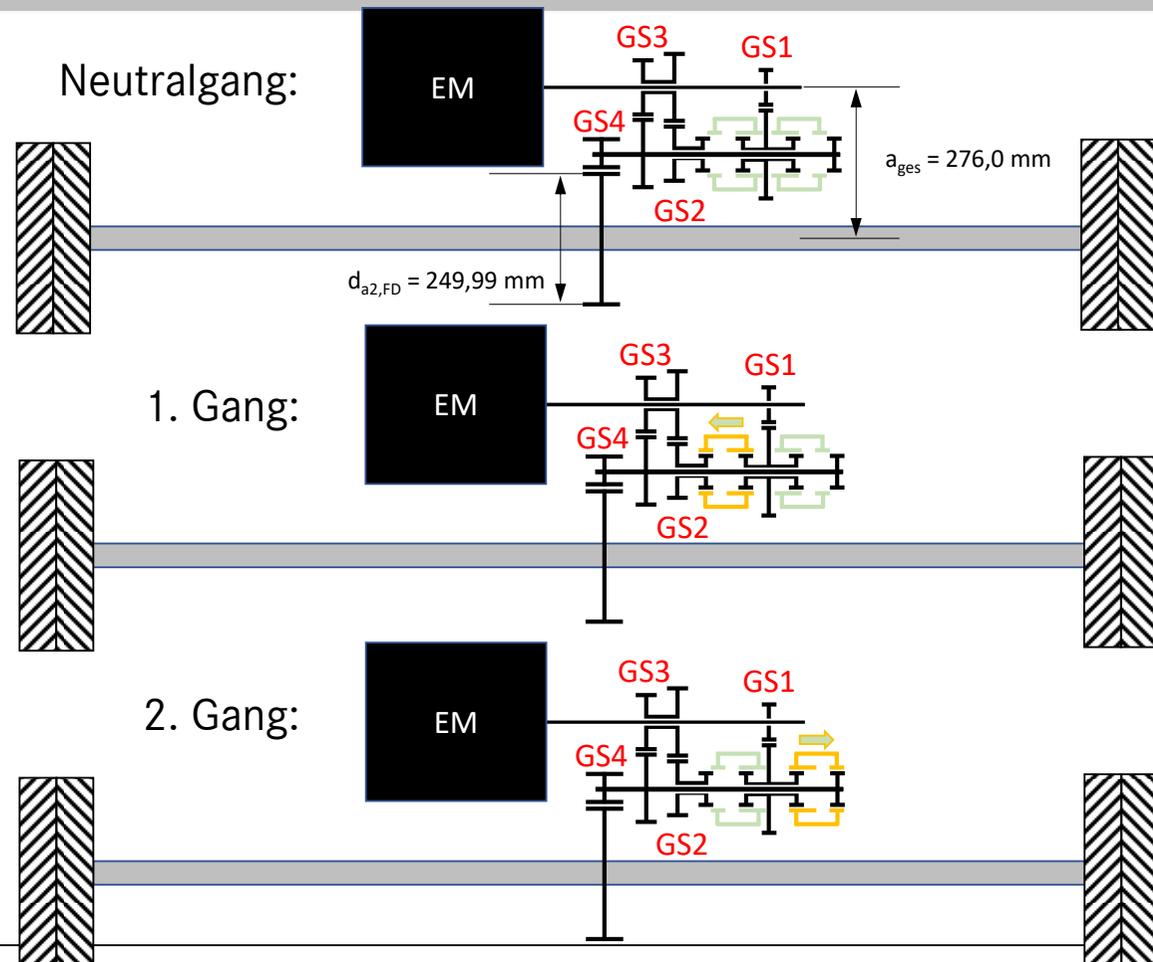
→ 4. Iteration notwendig!



AP2.3 Auslegung des Getriebes

- 4. Iteration (Finales Konzept)
 - 4 Getriebestufen & 3 innen- und 3 außenliegenden Wellen
 - ✓ Geringer Achsabstand & keine Kollision
 - ✓ max. Kopfkreisdurchmesser Abtriebsrad eingehalten
- Schaltung mit zwei Aktoren notwendig
 - Vorteil: elektrische Parksperre, Neutralgang möglich

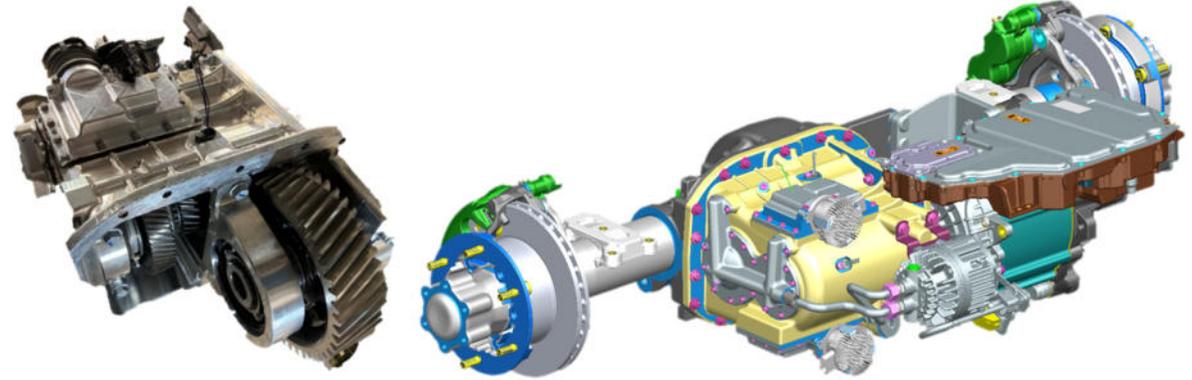
Getriebe-stufe	Übersetzung	Gang 1	Gang 2
GS1	$i_{GS1} = 2,87$	X	X
GS2	$i_{GS2} = 1,32$	X	
GS3	$i_{GS3} = 1,32$	X	
GS4	$i_{GS4} = 3,36$	X	X
		$i_{G1} = 16,80$	$i_{G2} = 9,64$



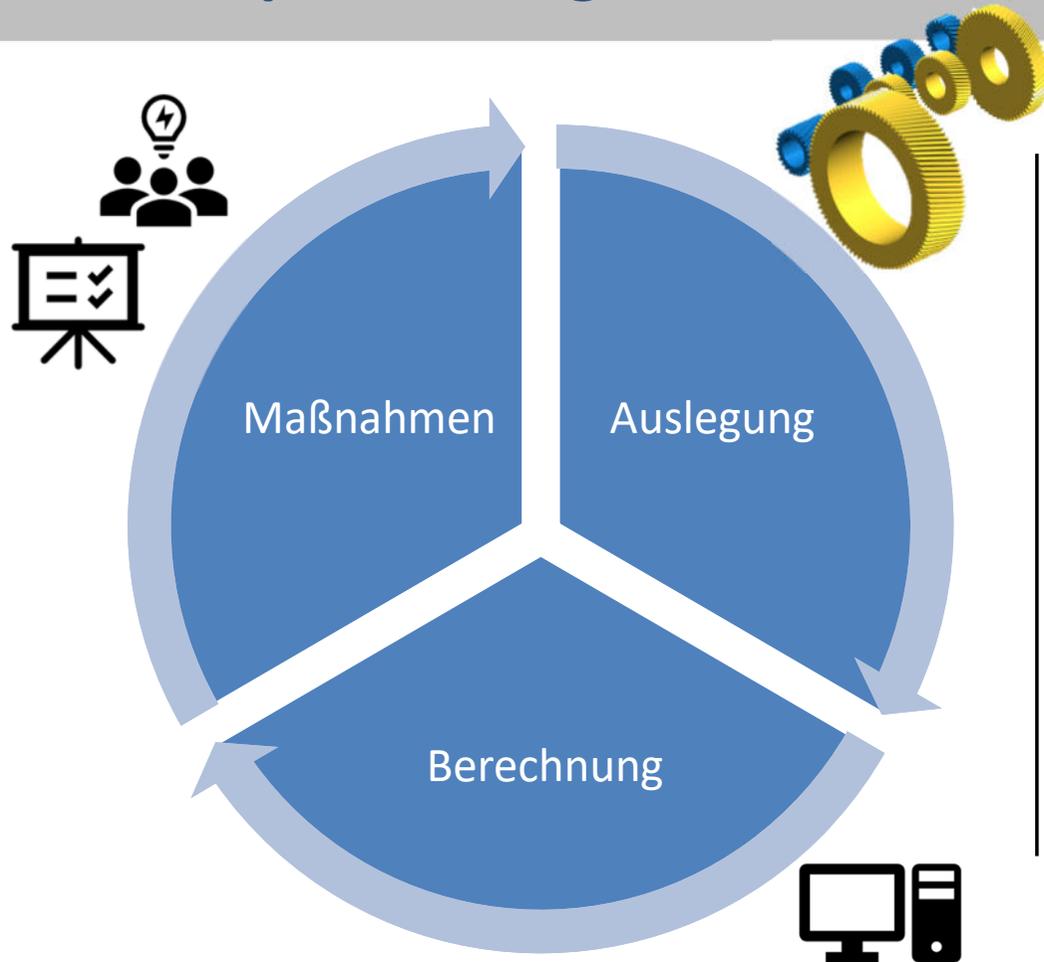
AP2.4 Anfertigung der Konstruktionszeichnungen

AP2.5 Herstellung der Prototypen

- Erstellung Konstruktionszeichnungen & Eigenfertigung
 - Zahnräder
 - Wellen
 - Schaltaktorik
 - LV-Kabelbaum
 - Ölleitungen
 - Getriebegehäuse
 - Achsbrücke (Serienbauteil)
- Beschaffung Peripherie
 - Sensorik & Aktorik
 - Ölpumpe
 - Antriebseinheit (E-Maschine & Inverter)



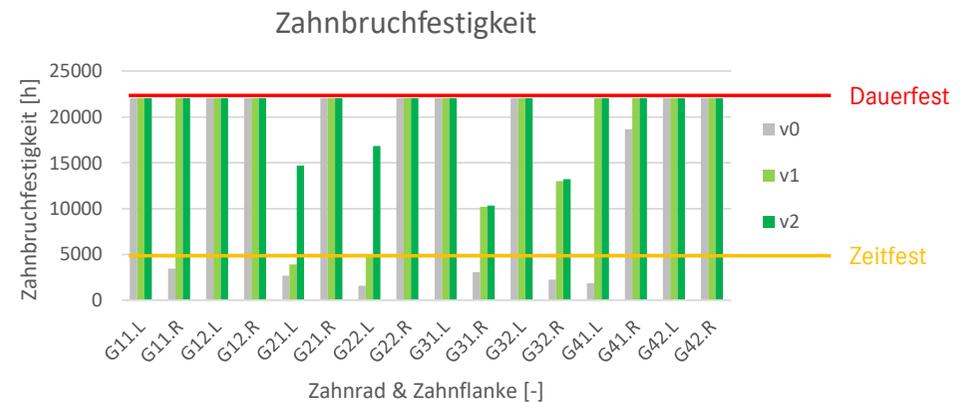
AP2.6 Optimierung des Getriebes



- Simulative Untersuchung der Betriebsfestigkeit im Dauerlauf

- Zwei Iterationen

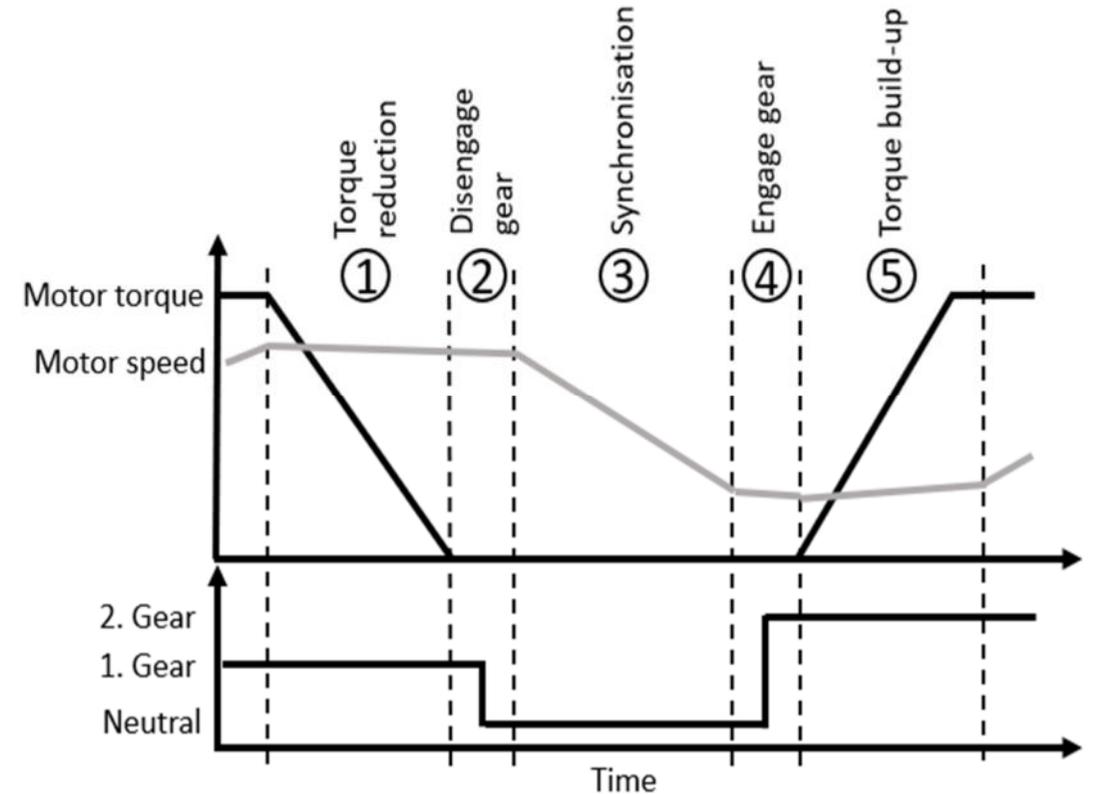
- Anpassung Zähnezahl
- Eingriffswinkel
- Schrägungswinkel erhöht
- Modul erhöht
- Achsabstand vergrößert



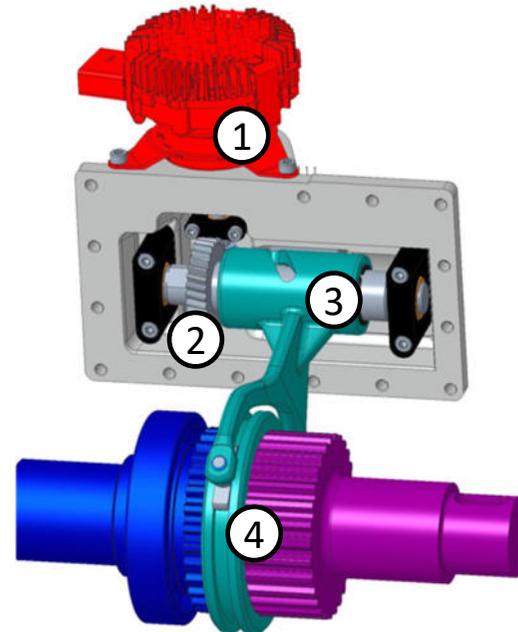
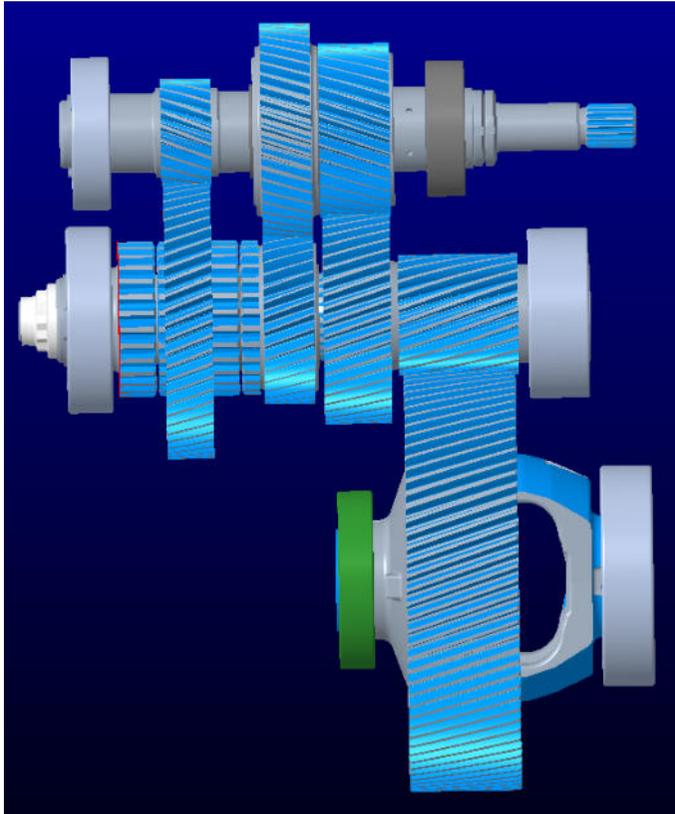
AP3 – „Aktuator und Regelstrategien“

Allgemeines zum Schaltvorgang

- Robustheit, einfacher Aufbau und Kosten **vs.** Komfort
- Schaltvorgang mit Zugkraftunterbrechung
- Vorteile bei Gewicht, Komplexität und Kosten des unsynchronisierten Getriebes nutzen
- Nachteile des unsynchronisierten Getriebes durch Einsatz der Antriebsmaschine als Synchronisationseinheit auflösen



Allgemeines zum Schaltvorgang



- Der **Gangwechselaktuator** besteht aus:

1. Servomotor
2. Schneckenradübersetzung
3. Schaltwalze mit Schaltgabel
4. Schiebemuffe

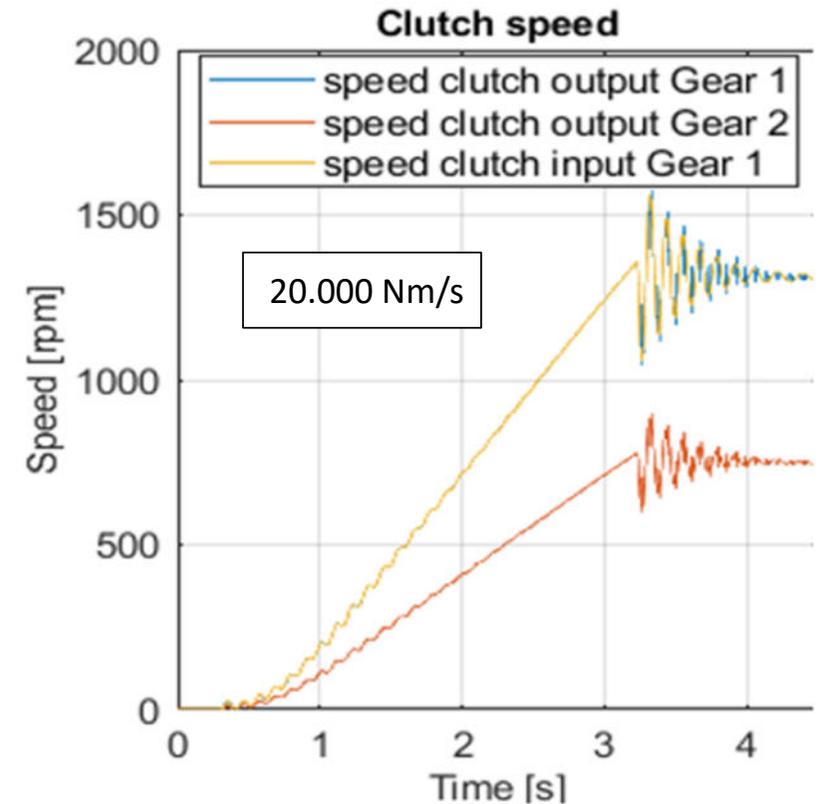
- Für einen Schaltvorgang ist eine Differenzdrehzahl notwendig

- Je kleiner die Differenz, desto kleiner der Drehmomentstoß
- Je größer die Differenz, desto schneller ist der Gang eingelegt

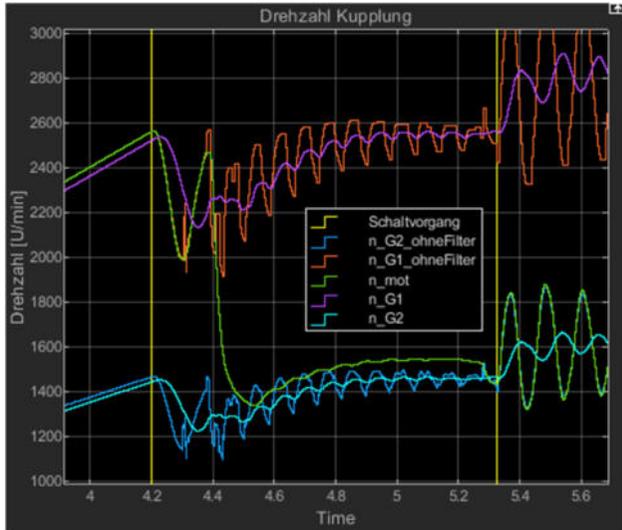


Phase 1: Drehmomentenabbau

- Schaltvorgang kann nur im lastfreien Zustand durchgeführt werden
- Zur Beurteilung des Drehmomentenabbaus ist ein elastisches Modell des Antriebsstrangs erforderlich
- Wie kann der Momentengradient bestimmt werden, um das Antriebsmoment möglichst schnell und ohne Schwingungen abbauen zu können?



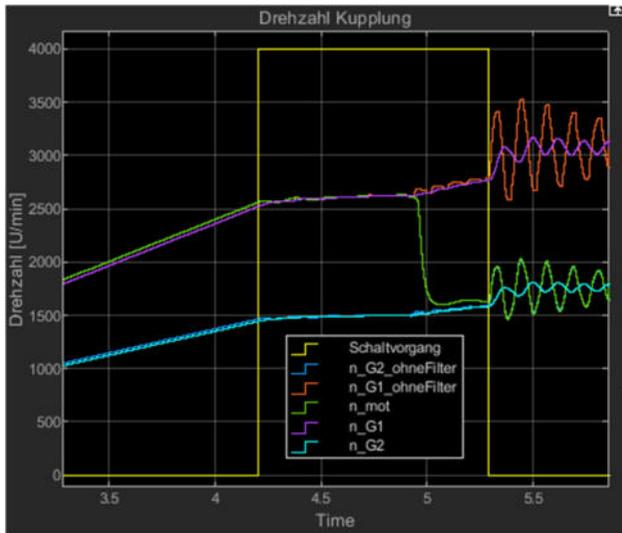
Phase 1: Drehmomentenabbau



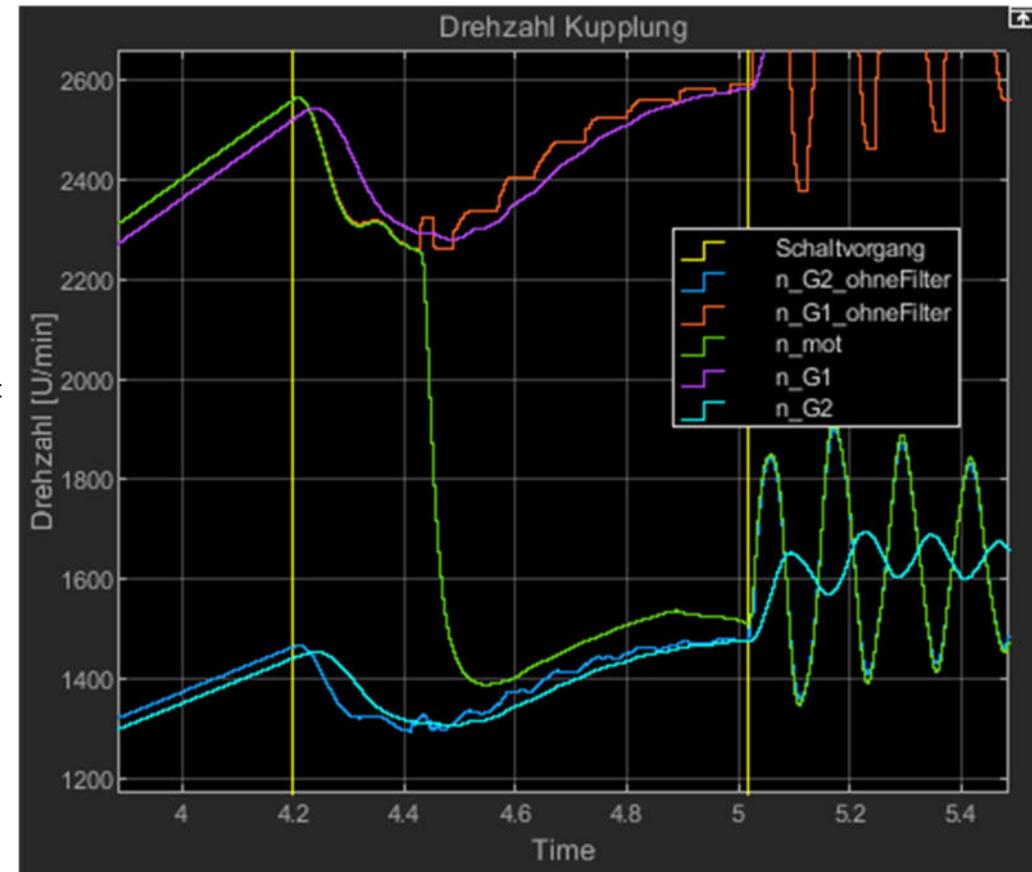
Gradient
3000 Nm/s

Variabler Gradient

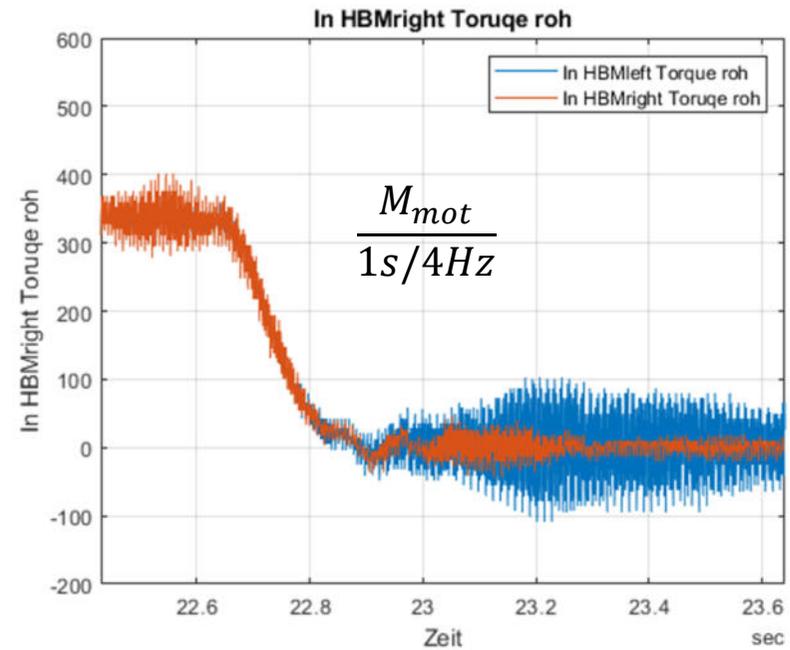
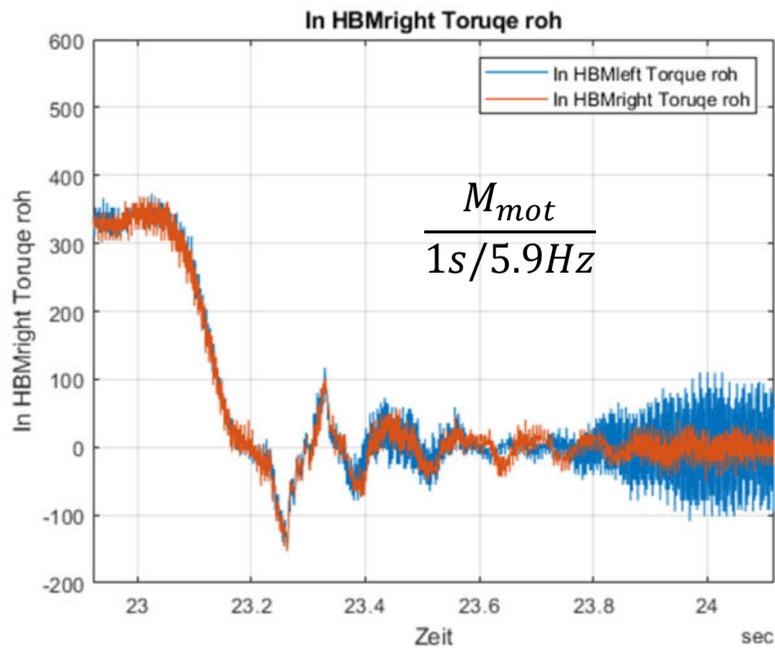
$$\frac{M_{mot}}{1s/5.9Hz}$$



Gradient
250 Nm/s

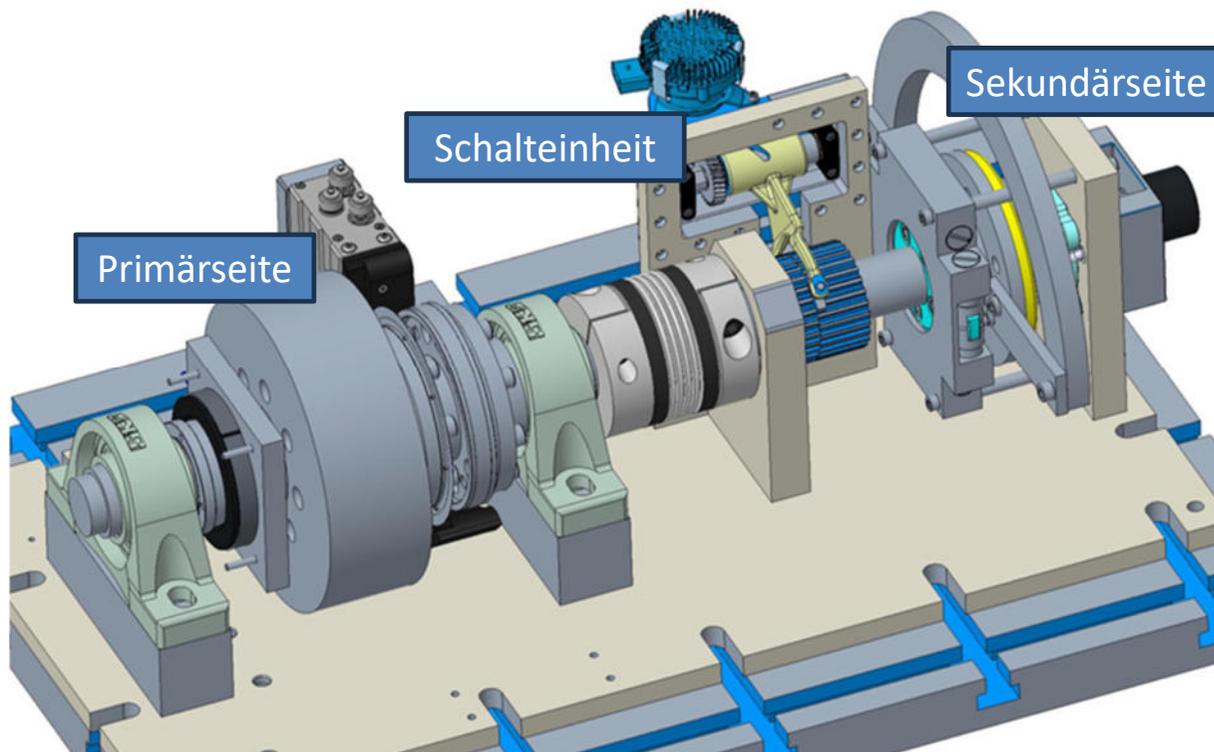


Phase 1: Drehmomentenabbau



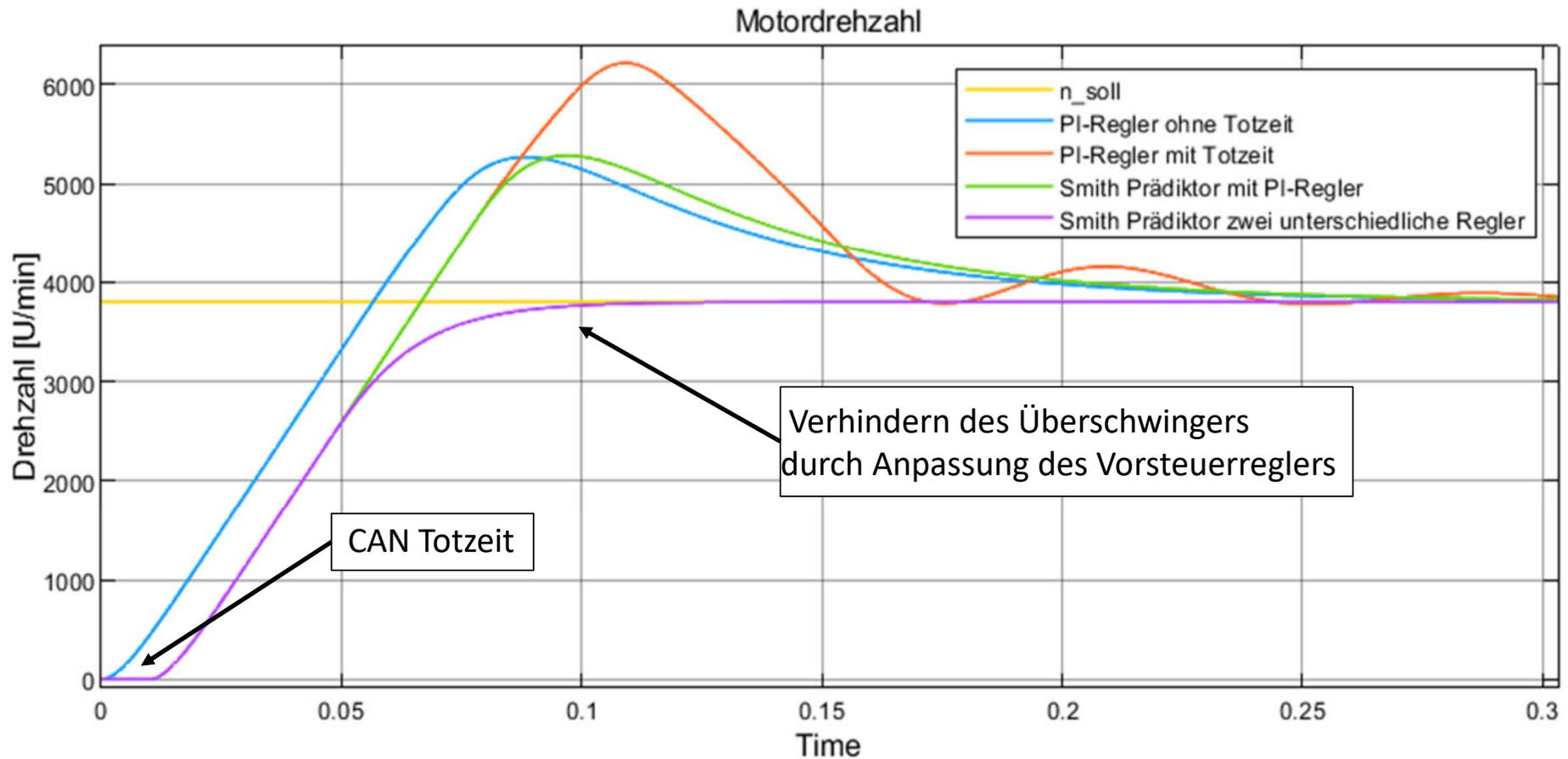
- Die Simulation beschreibt das dynamische Verhalten hinreichend genau
- Parameterunsicherheiten vorhanden

Phase 2 & 4: Kupplung öffnen/Kupplung schließen



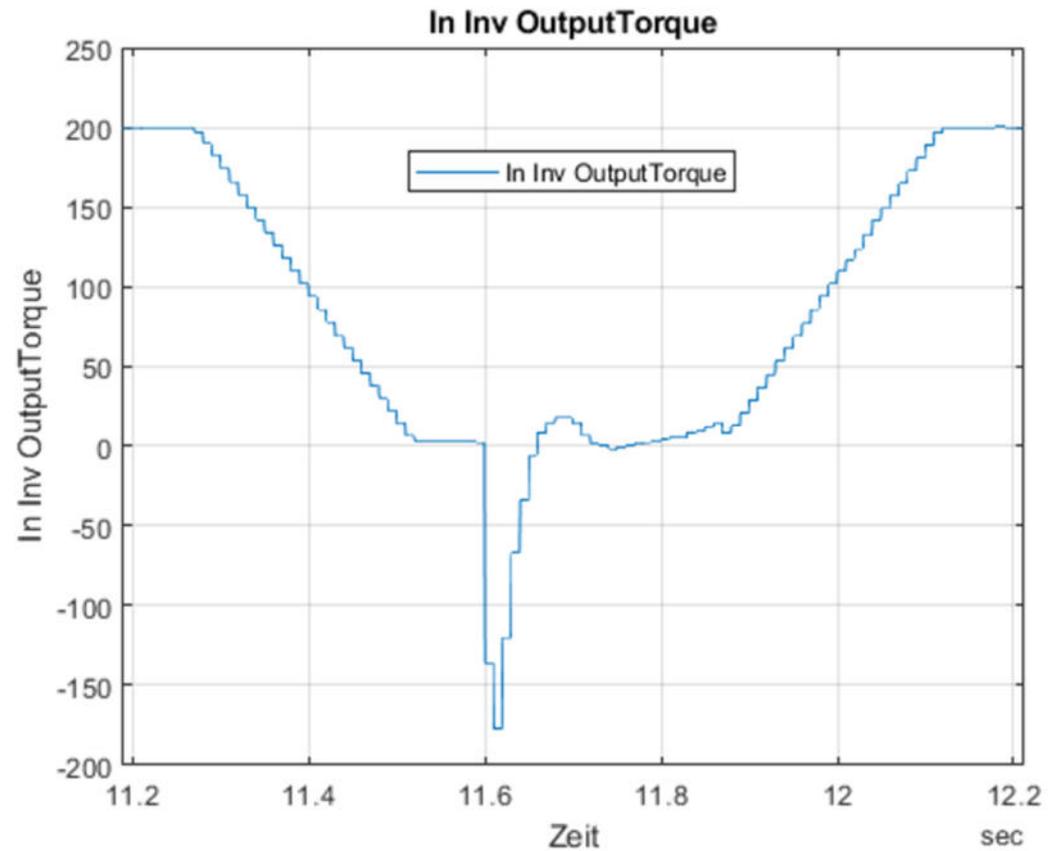
- Aufbau eines Kupplungsprüfstandes zur Qualifizierung der Simulationsergebnisse
- Darstellung der realen Belastungen im Antriebsstrang durch Trägheiten und Federelemente
- 30 U/min Differenzdrehzahl führen zum besten Kompromiss zwischen Einspurwahrscheinlichkeit, Komfort und Schnelligkeit

Phase 3: Synchronisation

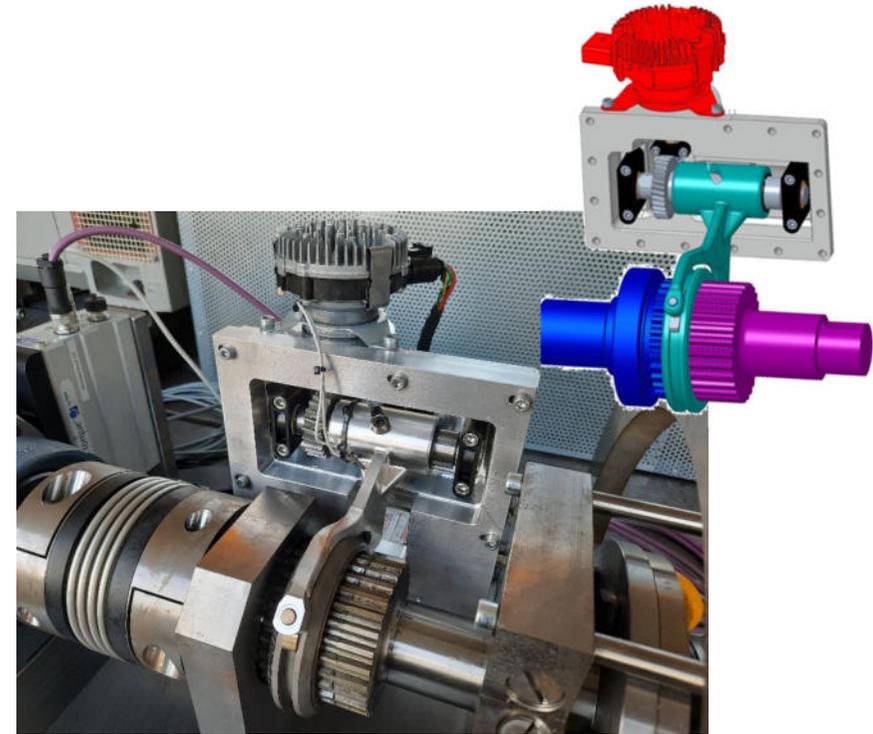
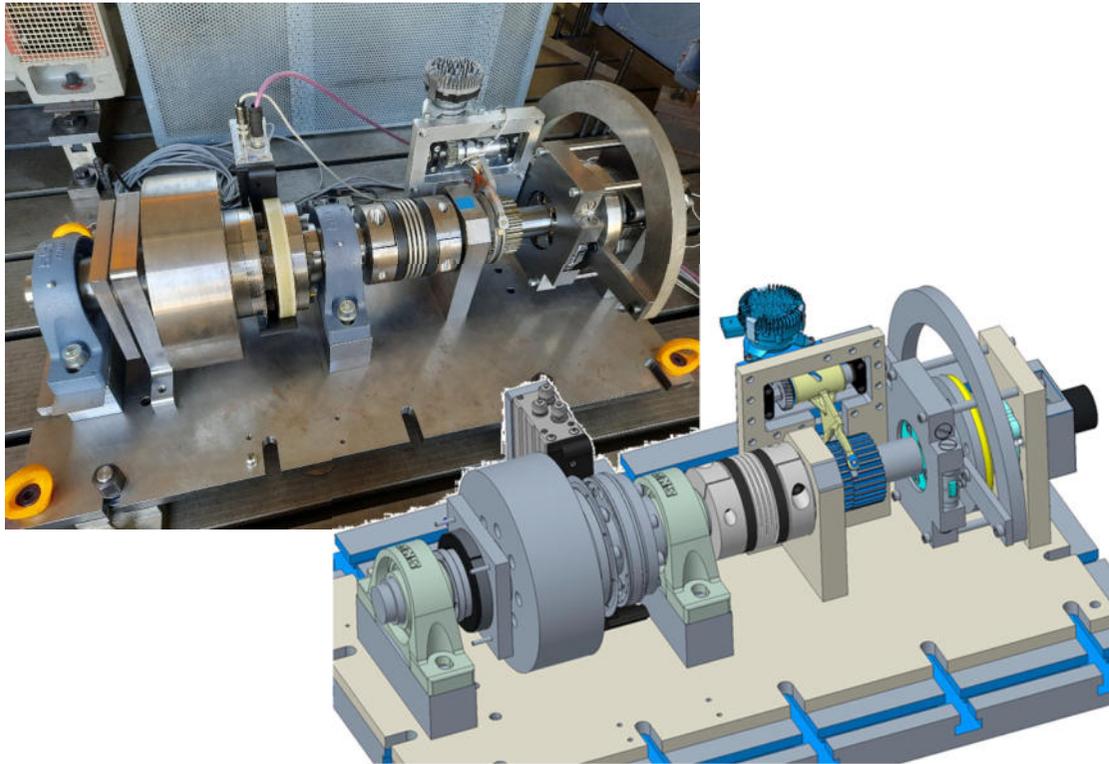


Beschleunigungsvorgang

- Schaltvorgang – 20 km/h
- 200 Nm Motormoment
- ca. 3000 Nm Radmoment



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!!!



AP4 & AP5 – „Maschinenvermessung und Betriebsstrategie“



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



Inhalte

- Simulationsstudien
- Maschinenvermessung
- Betriebsstrategie
- Umsetzung, experimentelle Validierung
- Zusammenfassung

Simulationsstudien

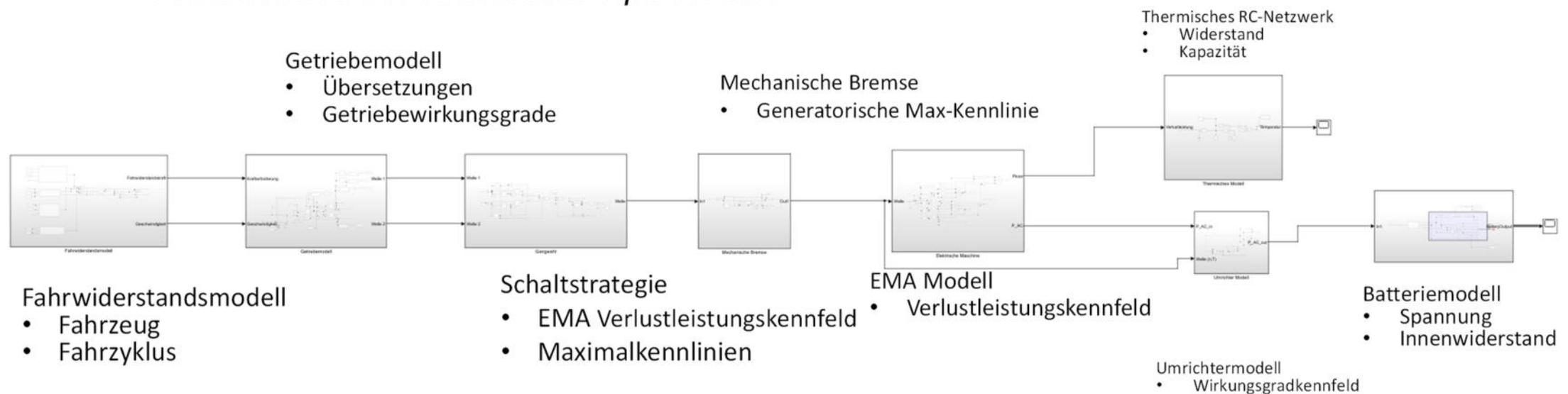


U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



Gesamtfahrzeugsimulation

- *Nutzungsszenarien und Einsatzbereiche*
- *Fahrzeugeckdaten und Fahrprofilen*
- *Lastkollektive der Antriebskomponenten*



Ergebnisübersicht zum Potential eines Zweigang-Getriebes

- * Besonders hohes Potential des Zweigangfahrzeugs bei Spezifikation einer hohen Maximalgeschwindigkeit und Abbildung eines Urbanen Zyklus mit schwerem Fahrzeug.

	2-Gang vs. 1-Gang
Performance	Gesteigert +8...+15%
Wirkungsgrad	Gesteigert + 0.5 ... +2%*
Verlustleistung	Reduziert - 5%...-15%
Fahrzeugreichweite	Gesteigert: +1...+4%

Maschinenvermessung



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



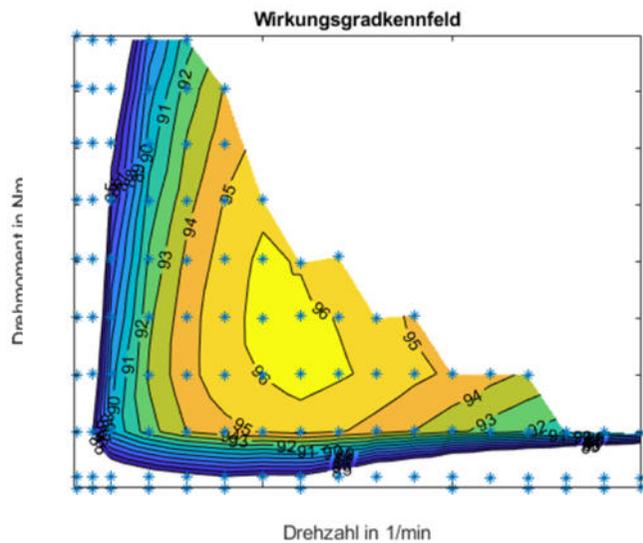
Auswahl der Antriebsmaschine und Vermessung auf dem Prüfstand

- Auf der Grundlagen der Spezifikationen und Anforderungen aus AP1 und der durchgeführten Simulationsstudien wurde eine auf dem Markt verfügbare E-Maschine mit einem integrierten Wechselrichter ausgewählt.
- Die weiteren Antriebskomponenten, DC/DC Wandler, der Laderegler und Batterie, sind einem bereits bestehenden Demonstrator Fahrzeug entsprechend ausgewählt worden.
- Am Prüfstand wird das Kühlsystem durch ein JULABO Umlaufkühler simuliert, an dem die Kühlwassertemperaturen sowie der Durchfluss eingestellt wird.
- Maschinenadaption an den Prüfstand, Versuchsplanung, -durchführung und -auswertung.

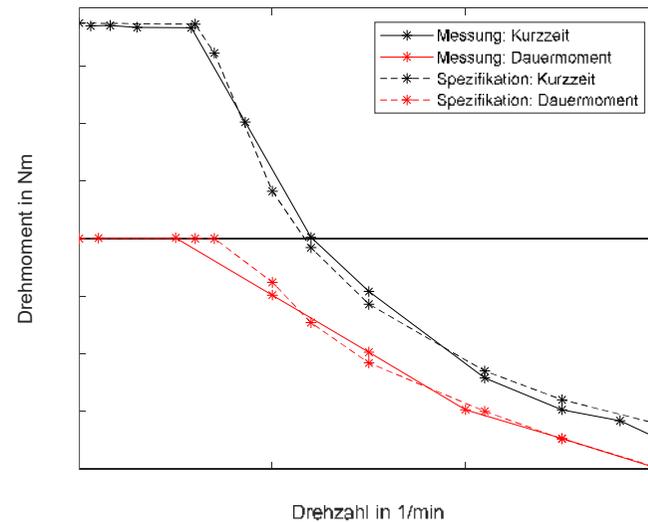
Vermessung der Antriebsmaschine am Prüfstand

- Beschleunigungs- und Auslaufversuchen
 - Bestimmung des Drehmoment Gradienten
- Lagerspannungen (unter Last im Stillstand)
- Validierung des Wirkungsgradkennfelds des Maschinenherstellers
- EMK Bestimmung
 - drehzahlabhängig
 - temperaturabhängig
- Phasenwiderstandsmessung
- Aufnahme eines Wirkungsgradkennfelds mit Bewertung der Quereinflüsse
 - DC-Spannung
 - Maschinentemperatur
 - mit integrierten Rogowski-Spulen zur Bewertung des Umrichterwirkungsgrads
- Versuche zur thermischen Belastung im Kurzzeit- und Dauerbetrieb

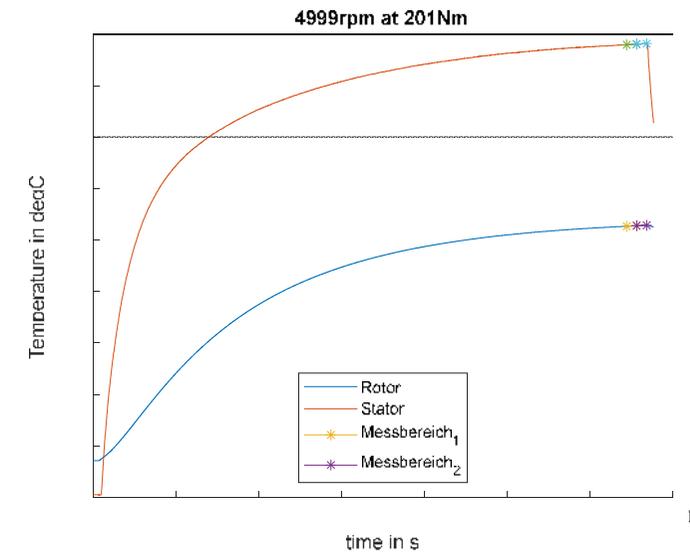
Wirkungsgradkennfelder – Vollastkennlinie – thermisches Verhalten



Wirkungsgradkennfeld



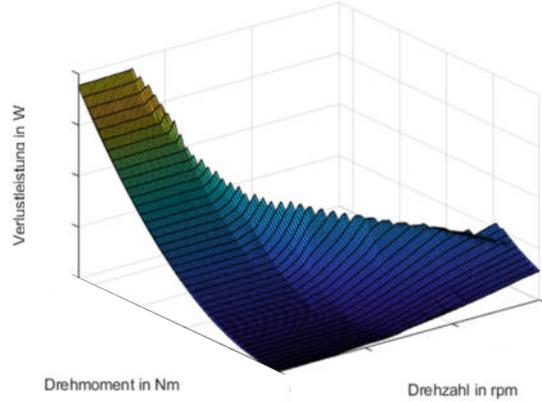
Vollastkennlinien für Kurzzeit und Dauerbetrieb



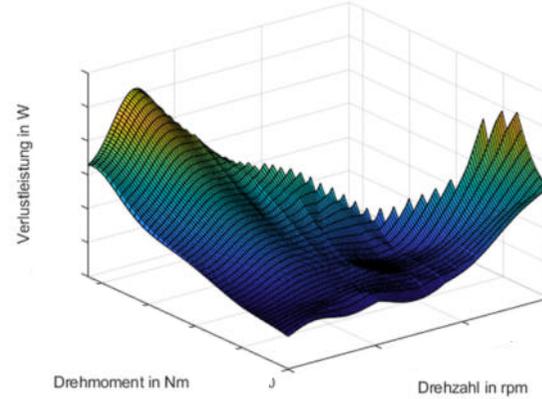
Das thermische Verhalten der Statorwicklung und des Rotors

Verluste- und thermische Modellierung

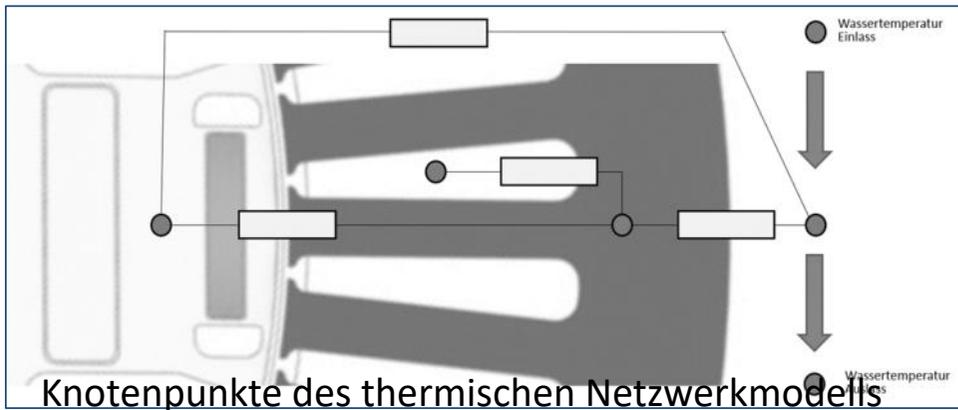
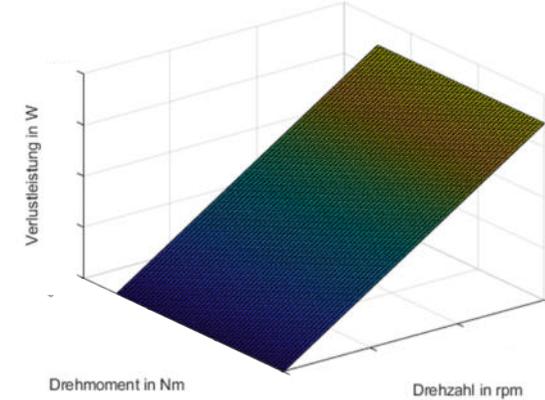
EMA: Ohmsche Verlustleistung



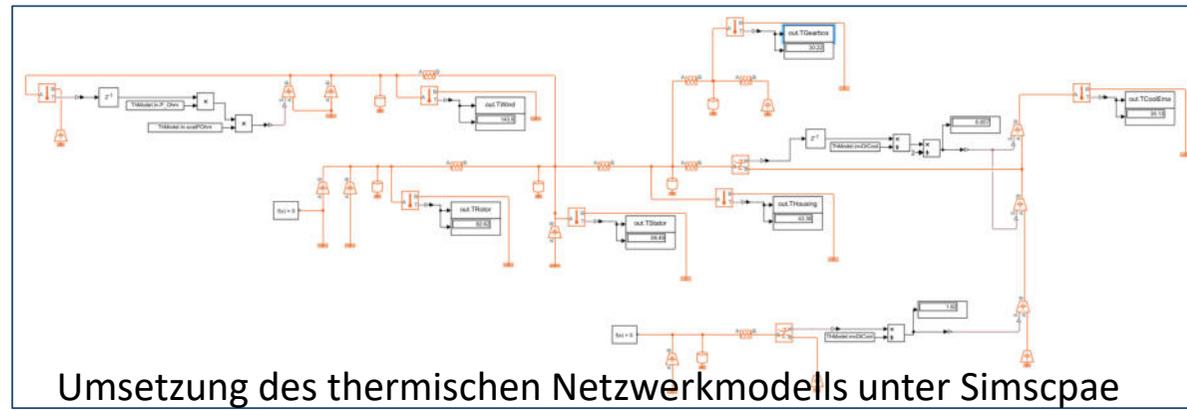
EMA: Eisen Verlustleistung



EMA: Mechanische Verlustleistung



Knotenpunkte des thermischen Netzwerkmodells



Umsetzung des thermischen Netzwerkmodells unter Simscapae

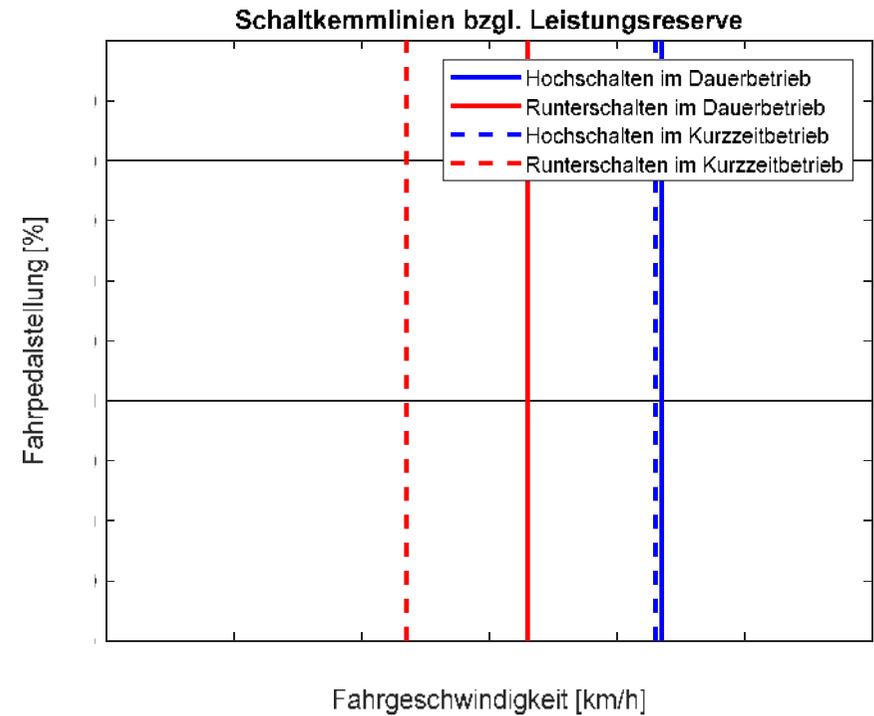
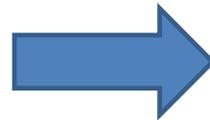
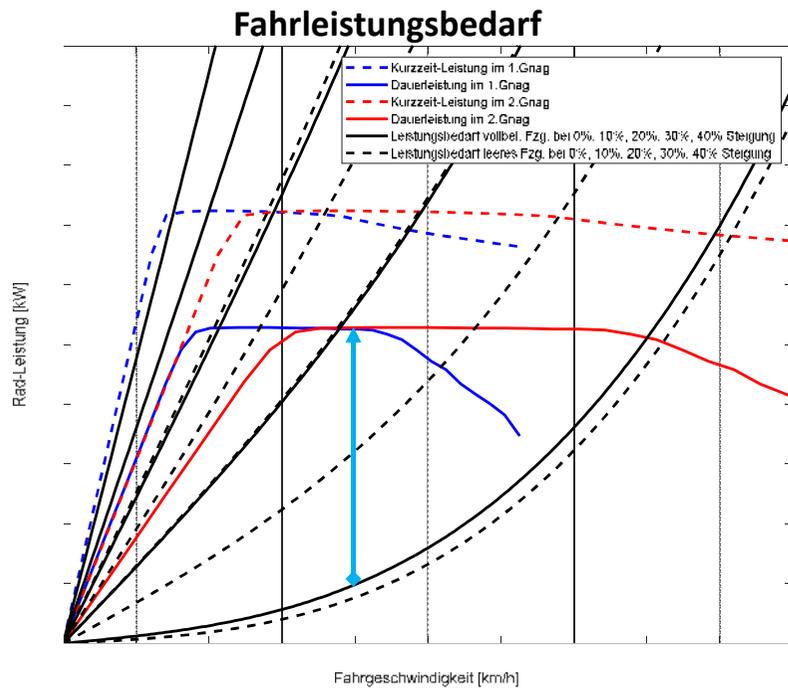
Betriebsstrategie



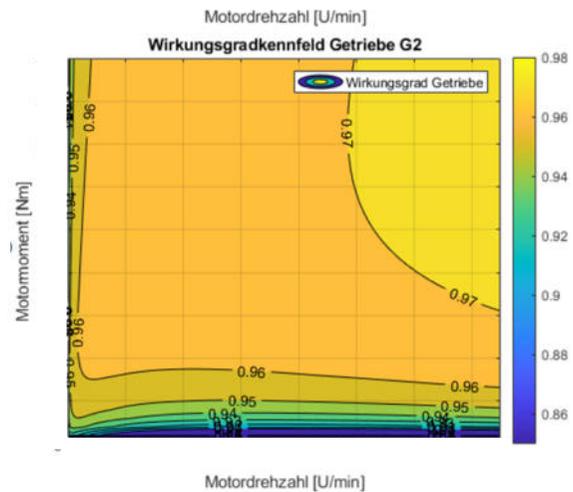
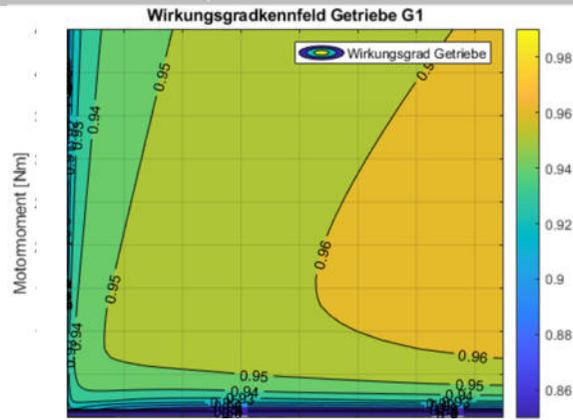
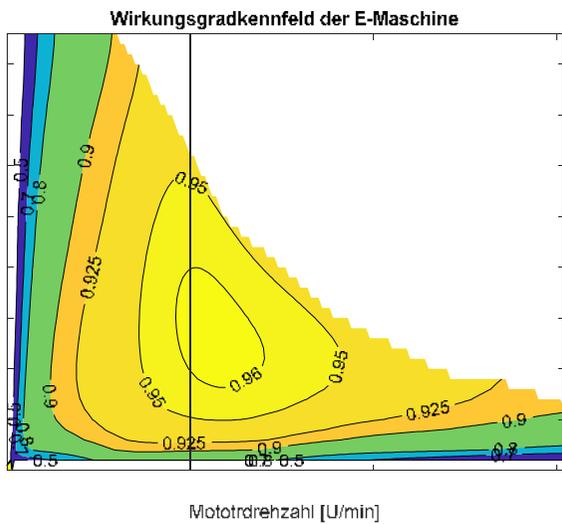
U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



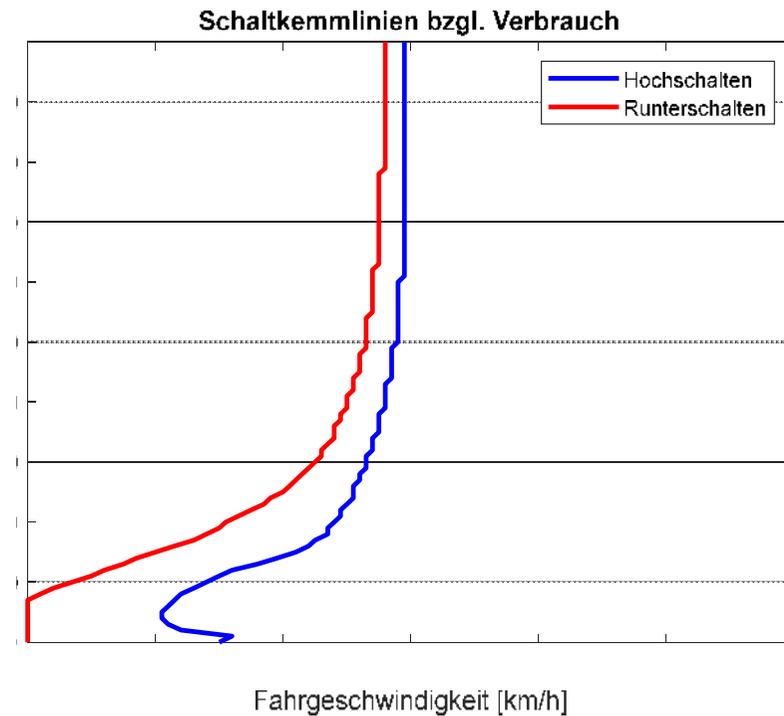
Schaltstrategie - hohe Leistungsreserve



Schaltstrategie - geringer Energieverbrauch

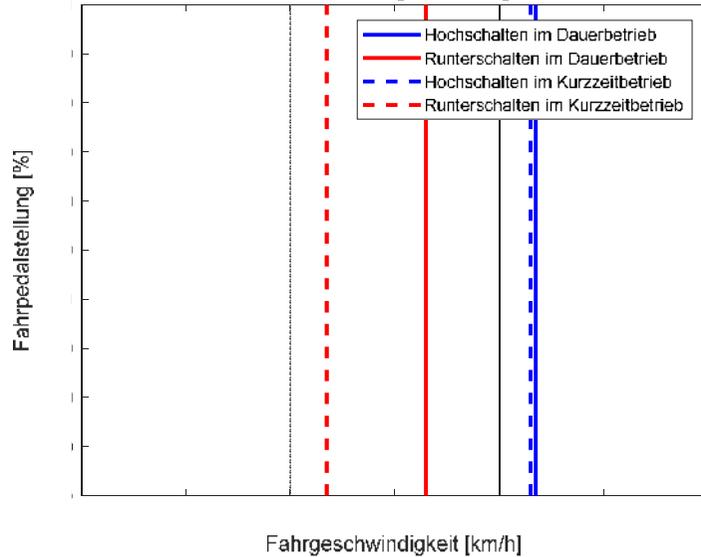


Fahrpedalstellung [%]



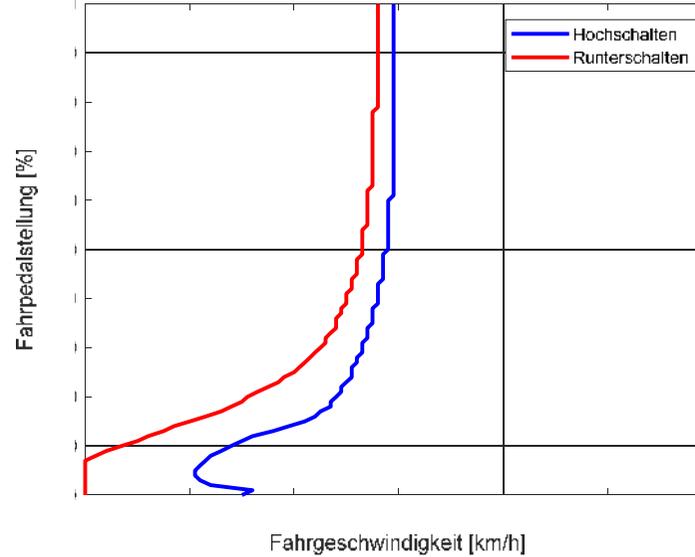
Schaltstrategie – hohe Leistungsreserve vs. geringer Energieverbrauch

Schaltkennlinien bzgl. Leistungsreserve



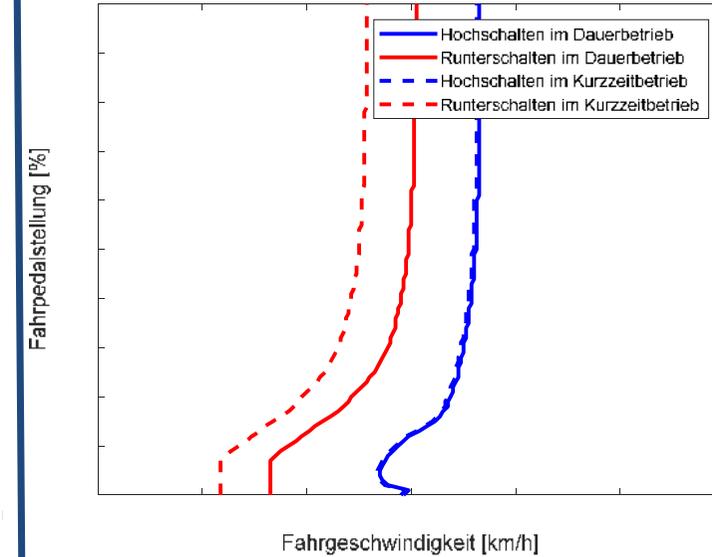
▪ Anhand der Leistungsreserve

Schaltkennlinien bzgl. Verbrauch



▪ Anhand des Verbrauchs

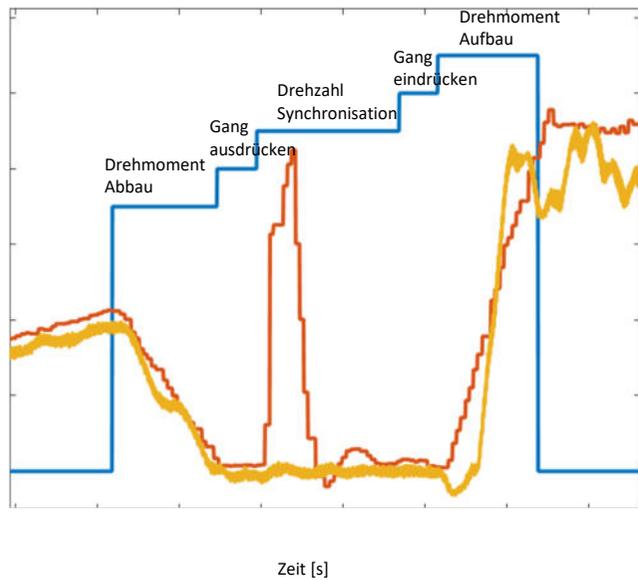
gleichgewichtete Schaltkennlinien



▪ Anhand einer Gleichgewichtung zwischen Verbrauch und Leistungsreserve

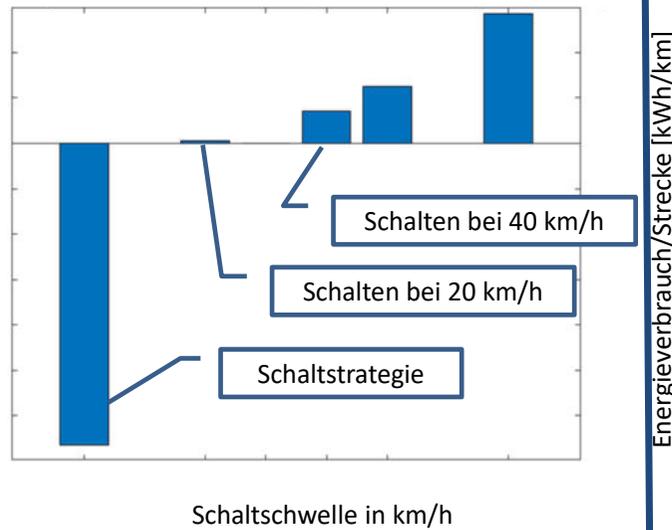
Schaltverluste – Potenzial zur Rekuperation

Schaltvorgang

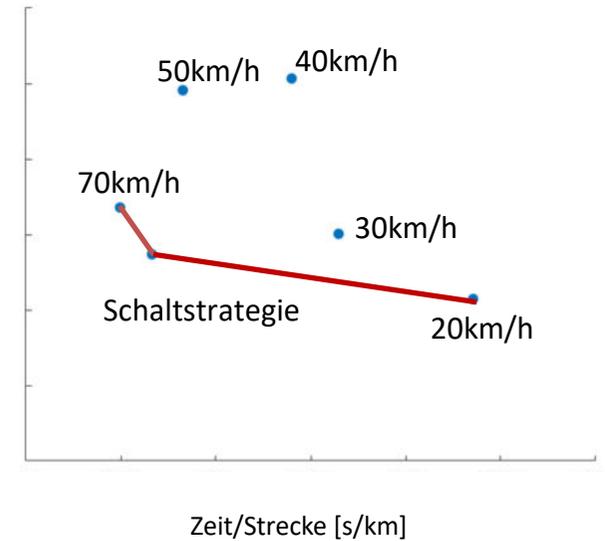


- Zustand der Schaltung
- DC Leistung
- Mechanische Leistung am Rad
- ❖ Leistungsumsatz während eines Schaltvorgangs

Durchschnittlicher Energieumsatz pro Schaltung in Ws

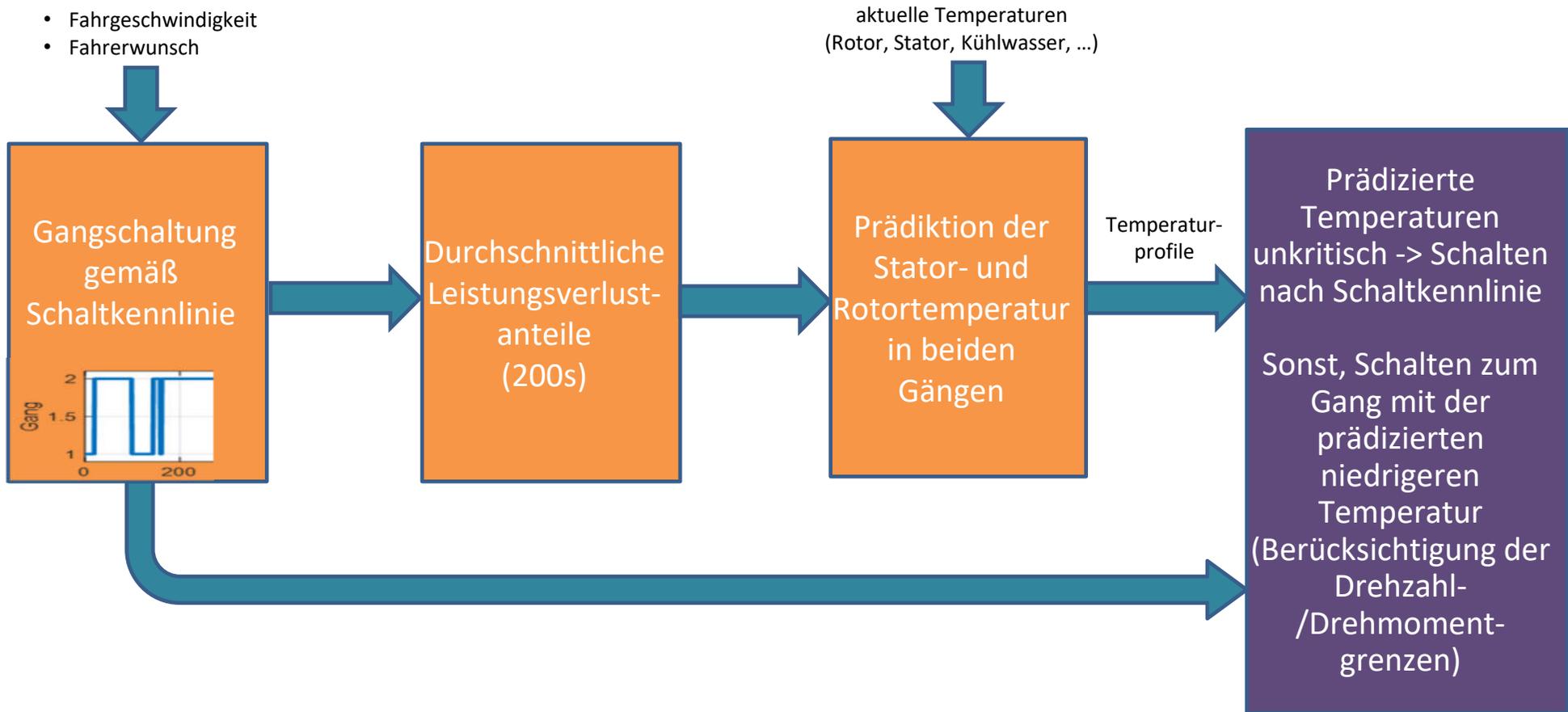


- ❖ Die Schaltstrategie ermöglicht viel mehr Rekuperation während des Schaltens.

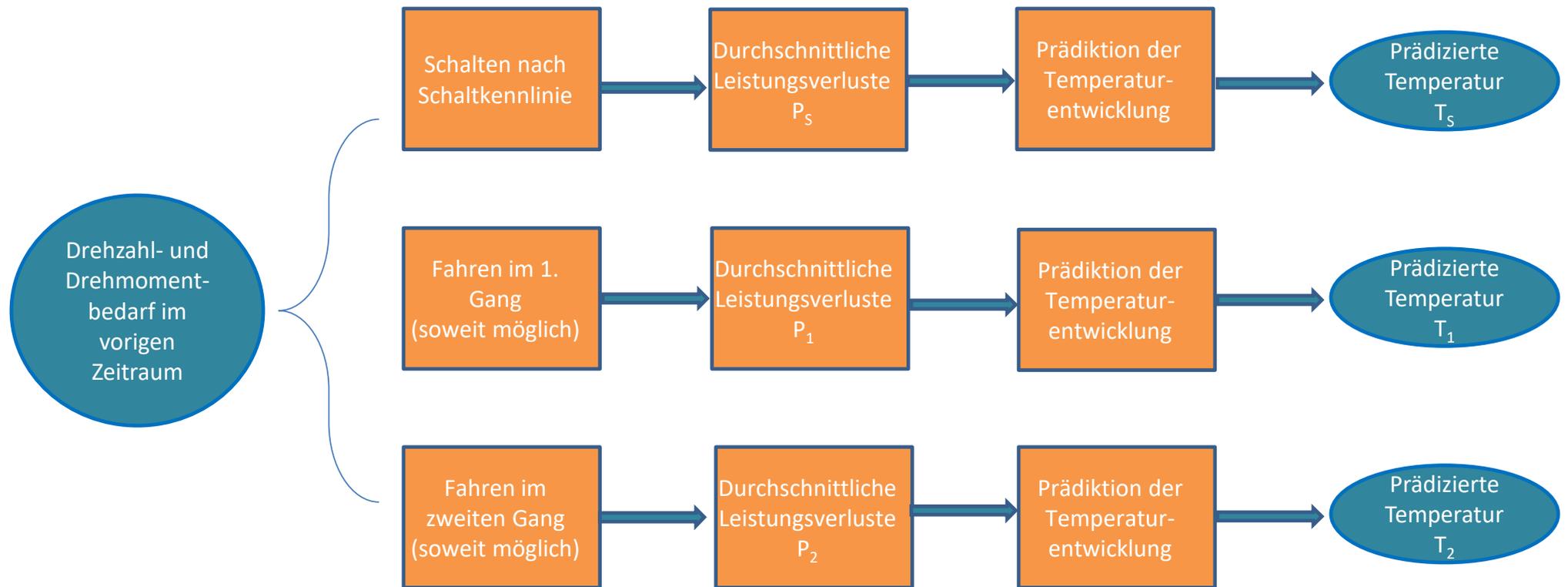


- ❖ Die Schaltstrategie führt zu einem guten Kompromiss zwischen Fahrzeit und Energieverbrauch.

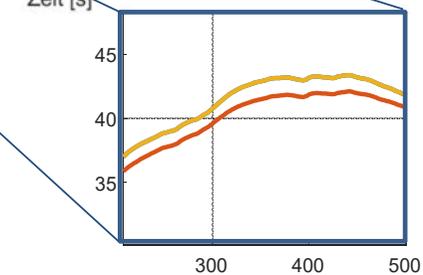
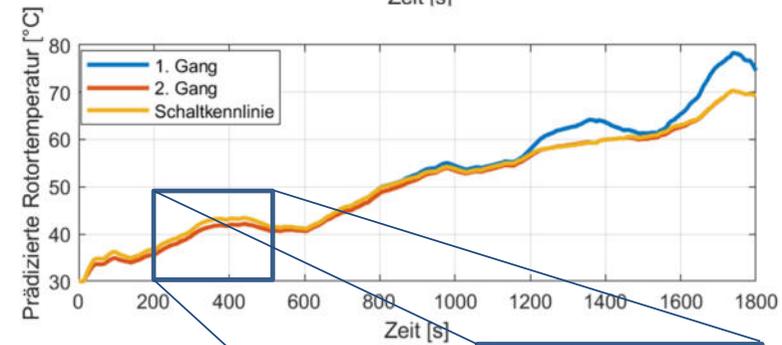
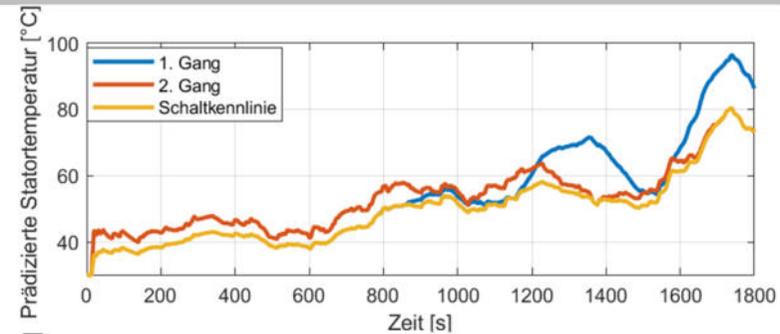
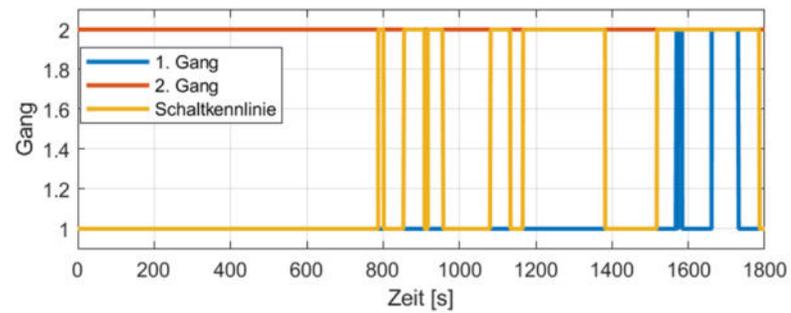
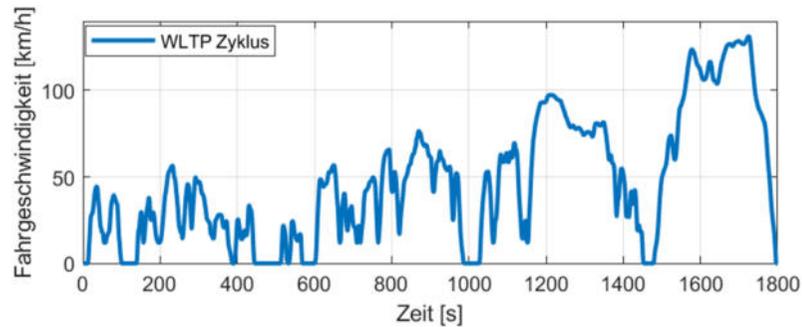
Prädiktive Schaltstrategie – Berücksichtigung der thermischen Verhältnisse



Leistungs- und Temperaturprädiktion



Ergebnisse der prädiktiven Schaltstrategie



❖ Die prädiktive Schaltstrategie ermöglicht ein rechtzeitiges Schalten in einen thermisch günstigen Gang

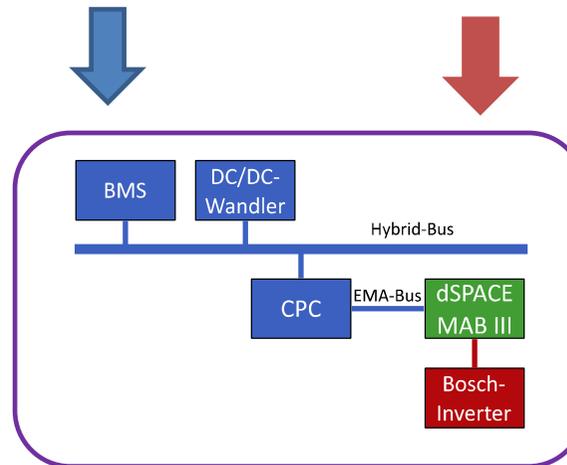
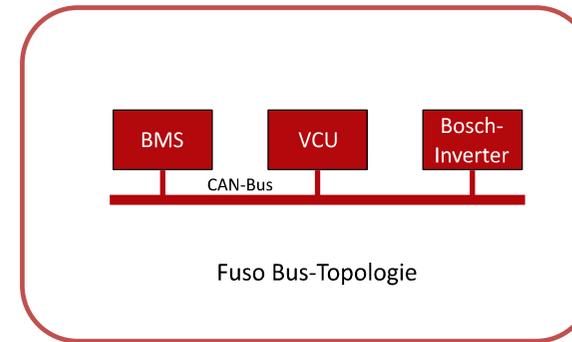
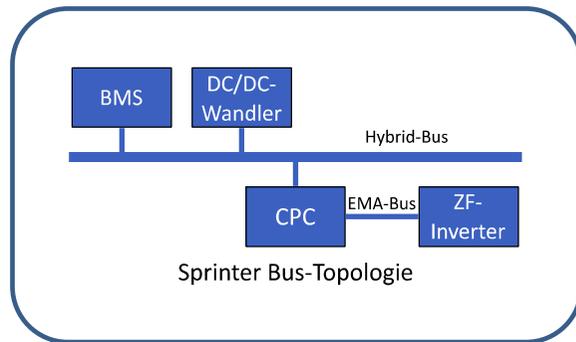
Umsetzung, experimentelle Validierung



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



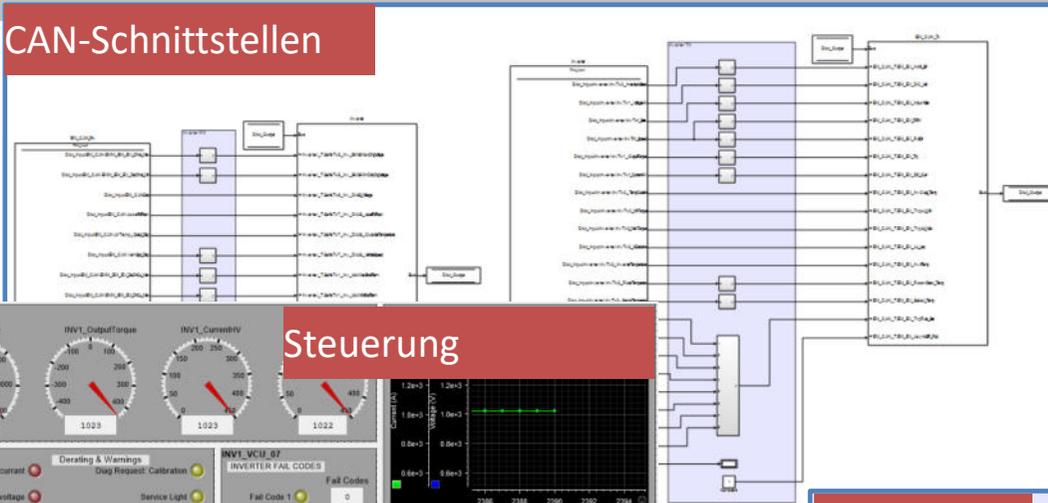
Umsetzung - Bus-Topologien und CAN-Botschaften



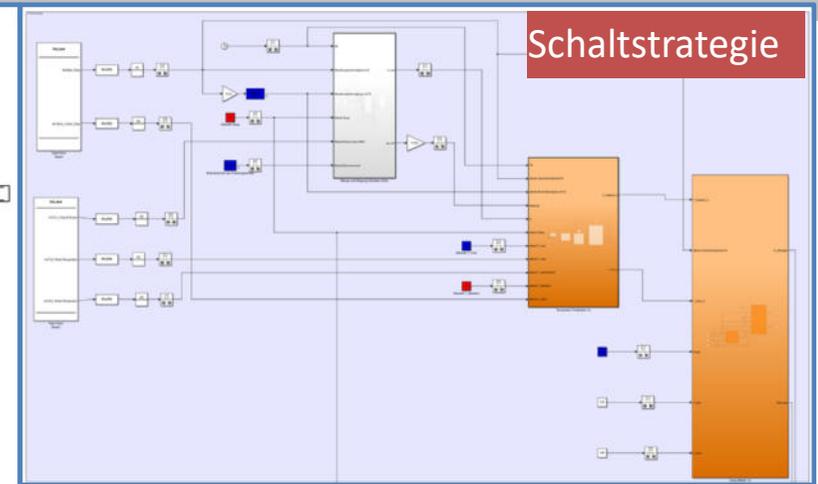
❖ Um zwei verschiedene Busarchitekturen gleichzeitig nutzen zu können, wurde eine CAN-Gateway-Funktion auf einem Prototypen-Steuergerät implementiert

Umsetzung - Softwareentwicklung

CAN-Schnittstellen



Schaltstrategie



Steuerung

FW Versioninfo

Inverter Running ●

INV1_VCU_01

INV1_Speed: 32747

INV1_OutputTorque: 1023

INV1_CurrentHV: 1023

INV1_Torque: 1022

INV1_VCU_02

Emergency Shutoff Request ●

HV Interlock Open ●

Maximum available Torque: 0

Minimum available Torque: 0

Needed ConstantFlow: 15.75

Temperature of Cooling Water: 214

Act. Torque without Dampin: 1023

INV1_VCU_04

Overcurrent ●

Overvoltage ●

Overtemp Machine ●

Overtemp Inverter ●

Overtorque ●

Regen. Overtorque ●

Regen. Overcurrent ●

Undervoltage ●

Diag Request: Calibration ●

Service Light ●

INV1_IDInactive ●

INV1_ReadyHV ●

INV1_ElecTractionCBLight ●

INV1 InverterTemperature: 214

INV1 RotorTemperature: 470

INV1 StatorTemperature: 470

INV1_VCU_07

INVERTER FAIL CODES

Fail Code 1: 0

Fail Code 2: 0

Fail Code 3: 0

Fail Code 4: 0

FailCodeOfClack: FailCodeOfClack

FailCodeOfClack: FailCodeOfClack

FailCodeOfClack: FailCodeOfClack

Mechanical Output

Torque (Nm): 1.4e+3

Speed (rpm): 4e+4

Temperatures

Temperature: 300

State Request - VCU Inv1_04

Standby ●

Torque Control ●

Freezed ●

Offset Calibration ●

Reset Error

Flight in Standby

Torque Request - VCU Inv1_04

Nm: -400 to 400

Desire Torque: 0

ZERO Torque

dM / dT: 15

Damper - VCU Inv1_04

Damper Request ●

DwC_off

DwC_on

State Request - VCU Inv1_01

Current Limiting: max = 450 A

Idc Max Short: 450 [A]

Idc Min Short: 0 [A]

State Request - VCU Inv1_02

Thermal Information

coolant Flow: 24 [l/min]

coolant Temperature: 6 [degrees]

BMS_VCU Inv1_05

BMS Information: max = 450

MaxChgVoltage: 450 [V]

MinDisChgVoltage: -450 [V]

BMS_VCU Inv1_01

HV OFF ●

Switching ON ●

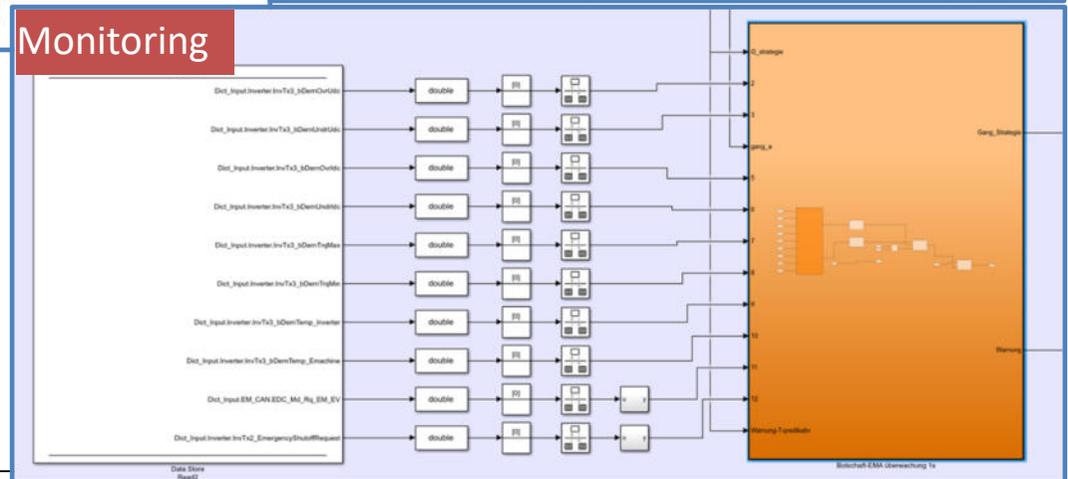
HV ON ●

Switching OFF ●

BMS Crash ●

BMS ContactState

Monitoring



Umsetzung – experimentelle Validierung

Prototypen-Steuergerät



Motoren-Prüfstand



Rollenprüfstand



Zusammenfassung

- Simulationsstudien zur Untersuchung des Potenzials eines Zweigang-Getriebes hinsichtlich Performance und Energieeffizienz
- Vermessung und Charakterisierung der Antriebsmaschine als Basis zur Ableitung einer geeigneten Betriebsstrategie
- Aufschlüsselung der Wärmeverluste und Aufbau eines thermischen Modells als Grundbaustein für die prädiktive Betriebsstrategie
- Umsetzung im Demonstrator und experimentelle Validierung des Konzepts

AP6 – „Aufbau Antriebsprototyp und Inbetriebnahme“



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



Vorhandene Komponenten für den Aufbau



Batteriesimulator

- Nennleistung: 100kW
- Ausgangsspannung: 8-800VDC einstellbar
- Ausgangsstrom: ± 600 A
- CAN Schnittstelle



Simover-Umrichter

- Nennleistung 110 kW
- Anbindung an Siemens-Steuergerät
- CAN Schnittstelle

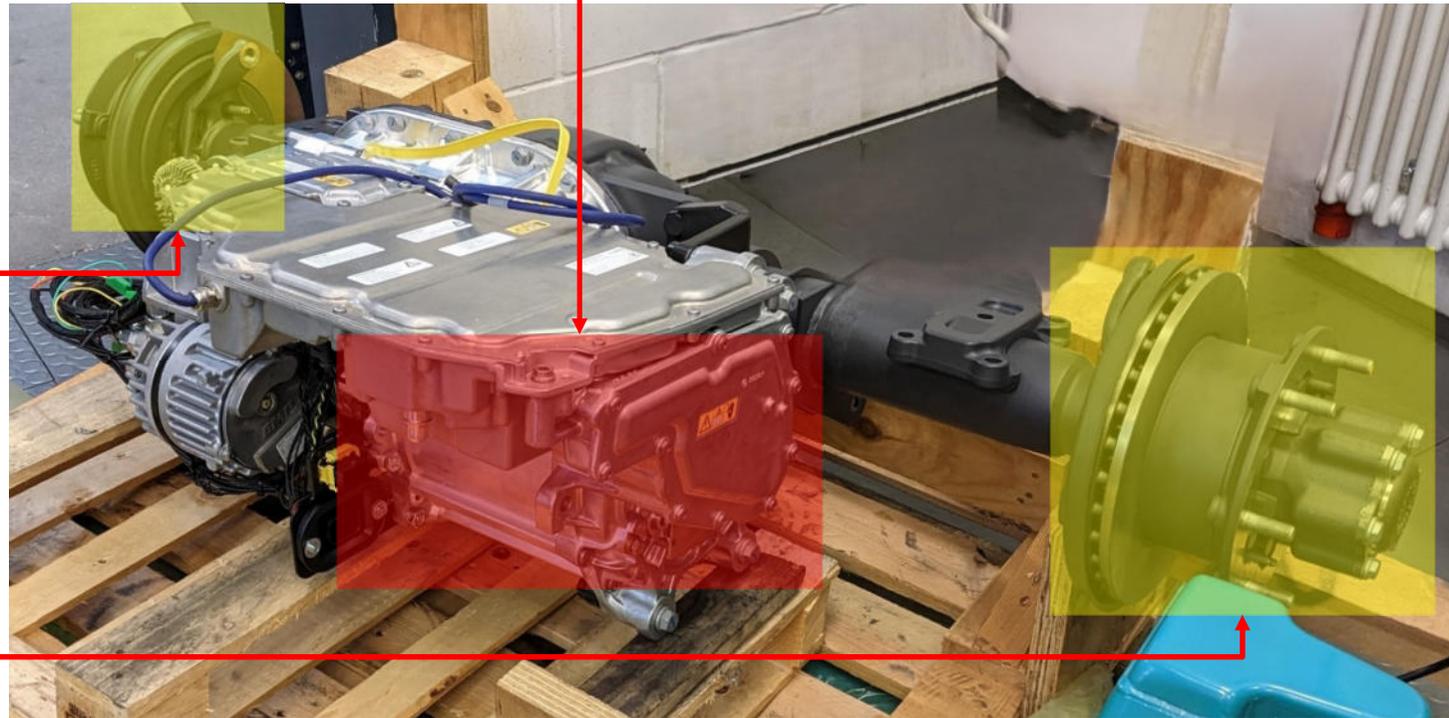


Asynchronmotor der Universität-Kassel

- Nennleistung: 164 kW
- Nennspannung: 480 V
- Nennstrom: 260 A
- Nenndrehzahl: 600/2.200/3.300 min⁻¹
- Drehmoment 2610/711/390 Nm

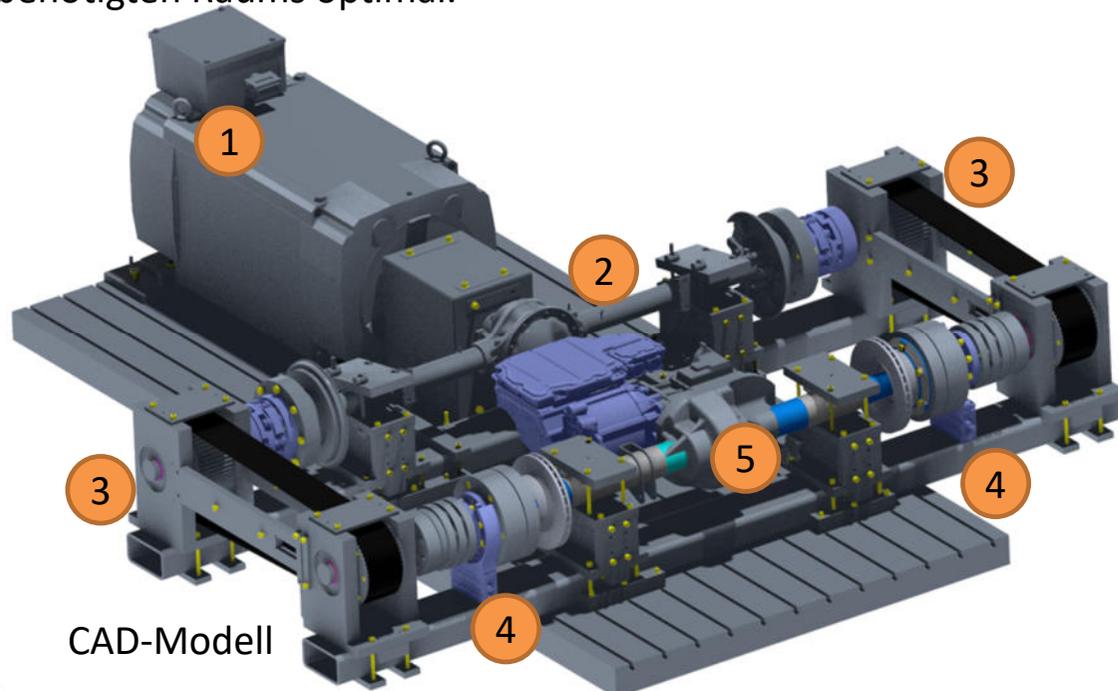
Elektrische Achse, Prototyp (Scale-e-Drive)

- Die elektrische Achse wird von einem Elektromotor angetrieben.
- Es muss die Belastung des Fahrzeugs (Roll-, Wind, Steigungs- und Beschleunigungswiderstand) an beiden Radnaben eingestellt werden.
- Die Verwendung von zwei Lastmaschinen mit Getrieben, angeflanscht an die Radnaben, stellt keine kosteneffiziente Lösung dar.

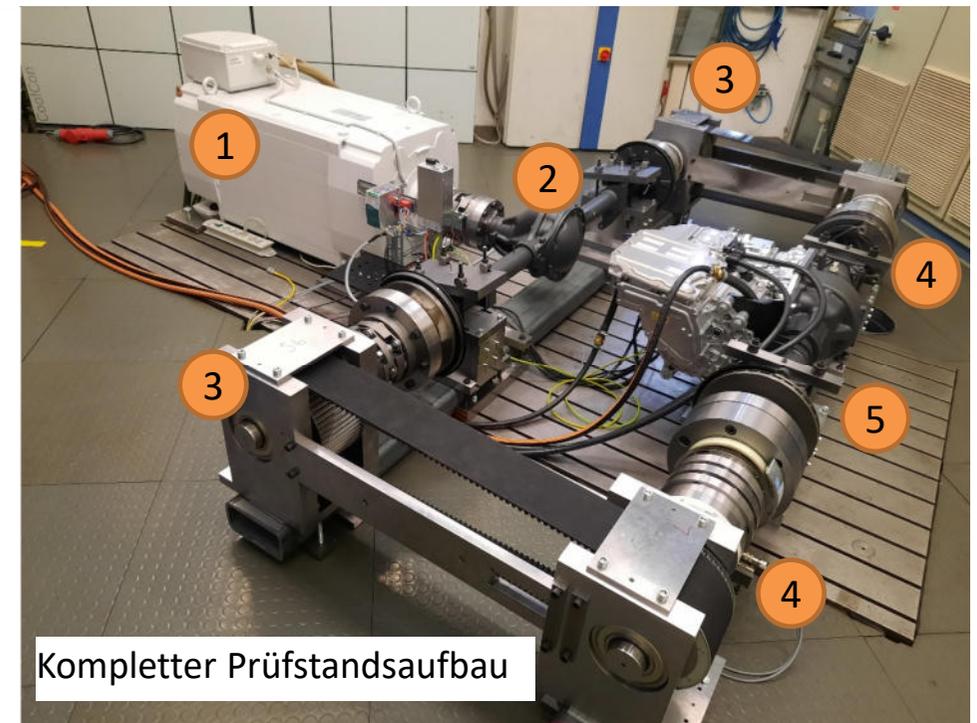


Finaler Prüfstands Aufbau

- Durch die Integration einer LKW-Achse (2) ist hingegen eine synchrone Belastung beider Radnaben möglich, was den Einsatz einer einzigen Lastmaschine (1) erfordert.
- Diese Auslegung ist sowohl hinsichtlich der Kosten als auch des benötigten Raums optimal.

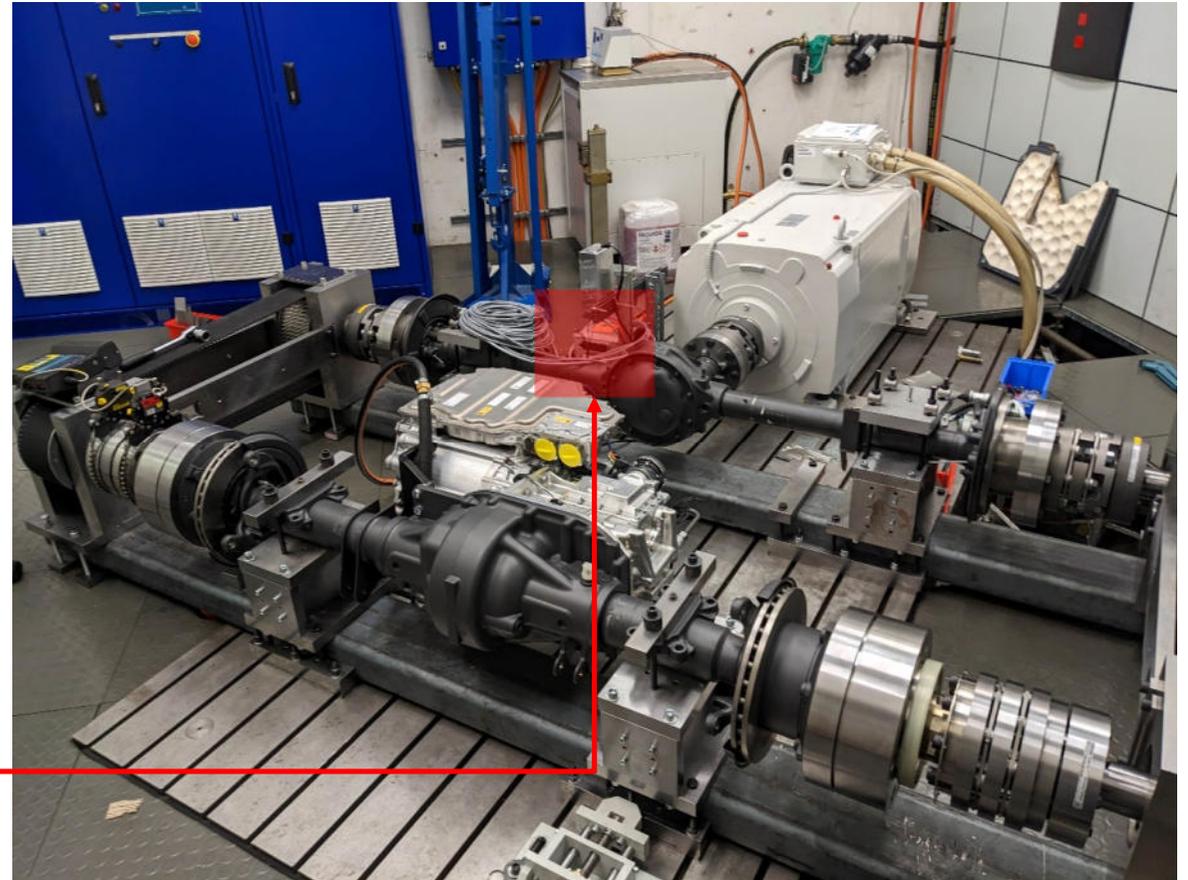


1. Lastmaschine
2. LKW-Achse
3. Zahnriemen
4. Drehmomentaufnehmer
5. Prüfling



Vorteile des E-Achsenprüfstandes

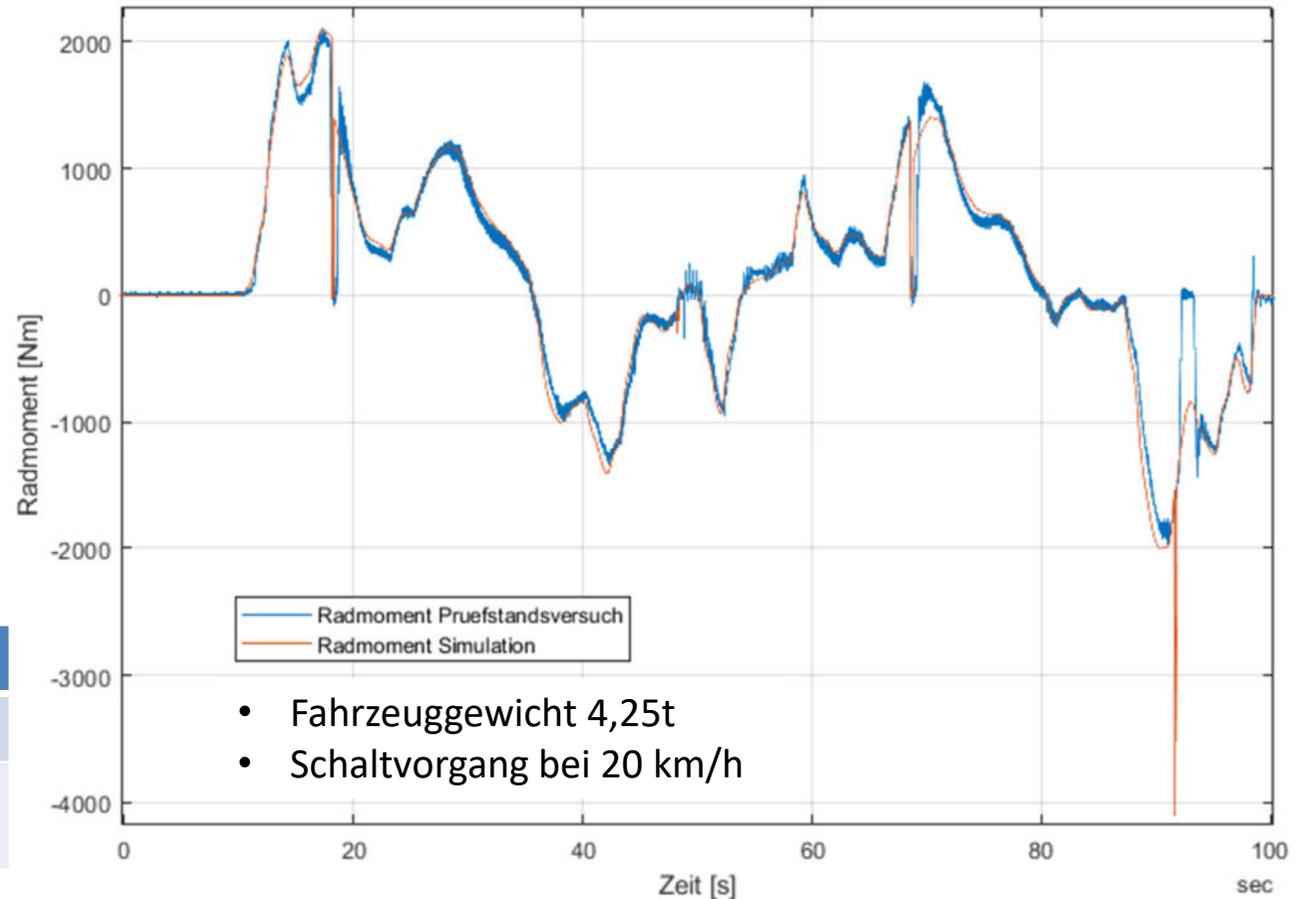
- Der Prüfstand ermöglicht die Untersuchung von Betriebsszenarien mit kontrollierten und wiederholbaren Bedingungen z.B. Anfahren.
- In dem Prüfaufbau sind sämtliche Einflüsse durch das Gesamtfahrzeug ausgeschlossen z.B. Betrieb ohne Fahrzeug-CAN-Bus
- Dabei wird dasselbe Steuergerät wie im Fahrzeug verwendet.
- Vorteile:
 - Gleiche Bedienungsoberfläche
 - Funktionen am Prüfstand sind mit minimalen Veränderungen im Fahrzeug nutzbar



Abgleich Simulation - Prüfstandsversuche

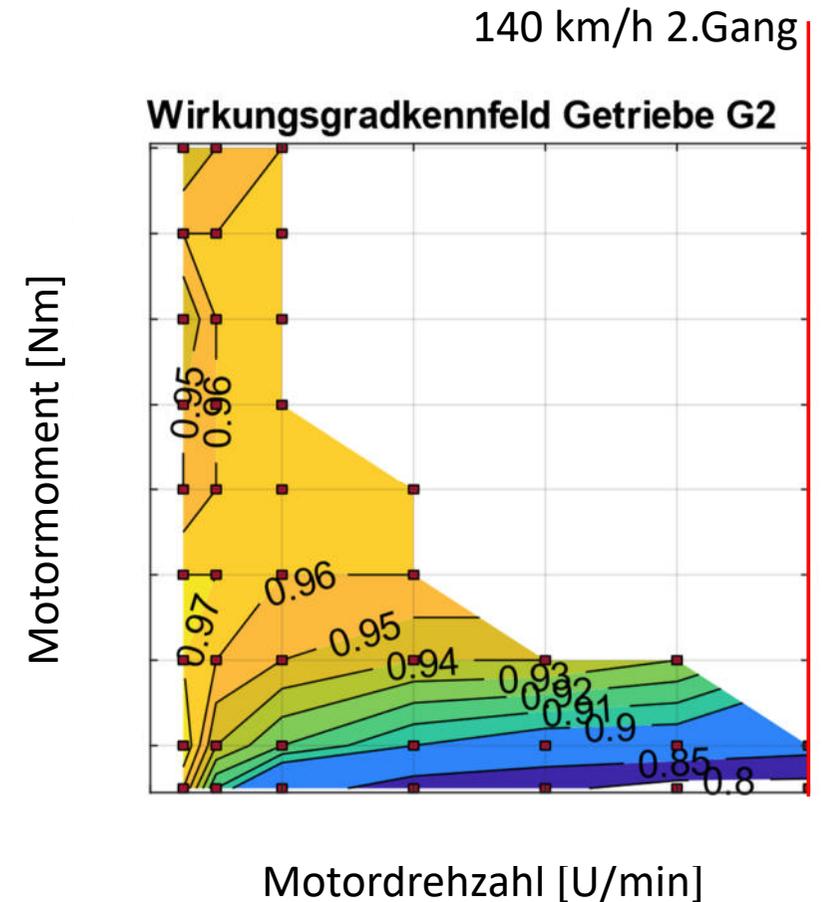
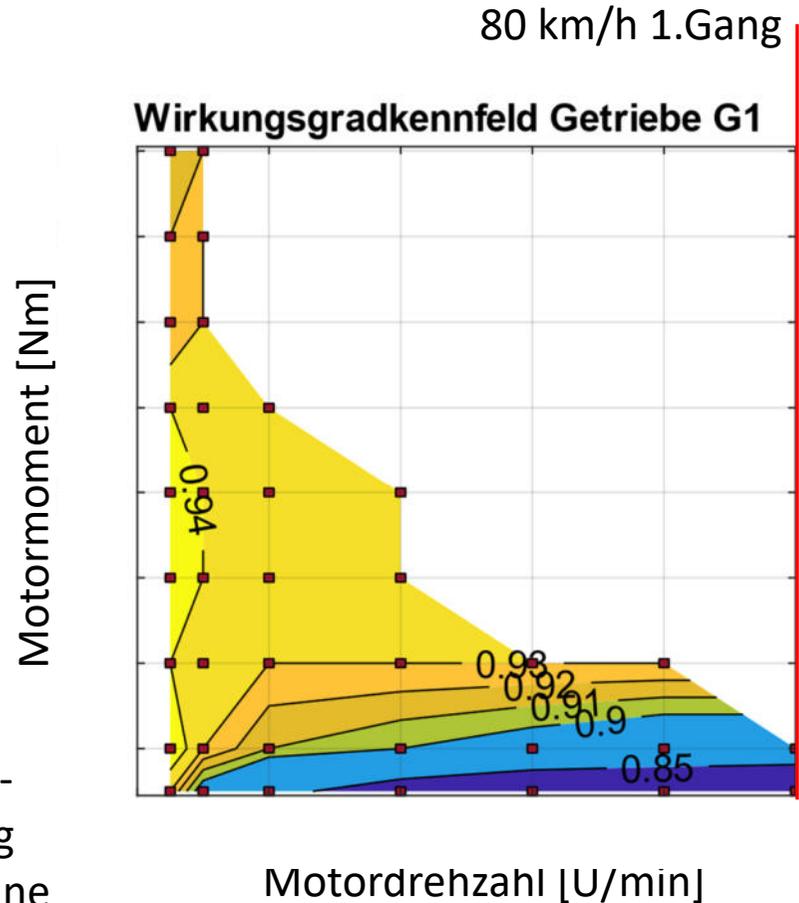
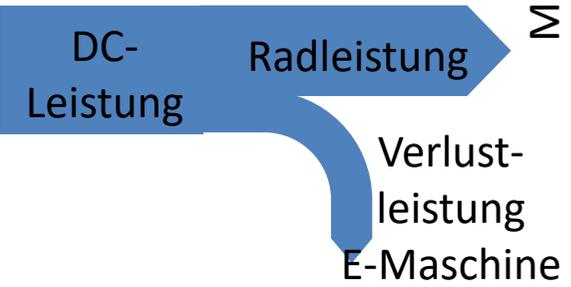
- Ein Modell des Prüfstandes wurde erstellt.
- Berücksichtigt wurden u.a. Wirkungsgrad des Getriebes, Steifigkeit der Wellen, rotatorische Trägheitsmomente und Reibungsverluste.
- Das Modell wurde mit Messungen am Prüfstand validiert.
- Die Gangwechsel-Optimierung wurde mit Hilfe des Modells durchgeführt.
- Dadurch wurde Entwicklungszeit eingespart und der Prüfstand konnte ohne Gefahr von Fehlfunktionen in Betrieb genommen werden.

	Simulation	Prüfstand
Schaltvorgänge	40	40
Energieverbrauch 100 km	31,2 kWh	32,1 kWh



Ermittlung des Wirkungsgrads des Getriebes

- Betriebspunkt stationär anfahren
- Temperatur erreichen (40°C Getriebetemperatur)
- 60 Sekunden Messdatenaufzeichnung von Spannung-Strom an Batterie und Radmoment-Drehzahl
- Berechnung Wirkungsgrad über DC-Leistung und Radleistung mit Wirkungsgrad der elektrischen Maschinen (Daten von FSG)



AP7 – „Aufbau Demonstrator“



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



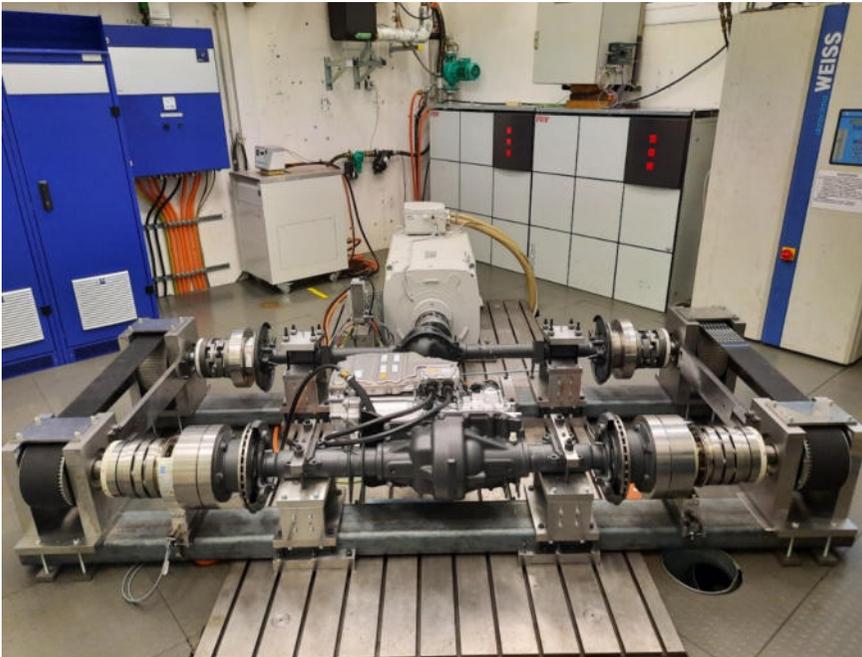
AP7.1 Integration ins Nutzfahrzeug

Fahrzeugumbau im Kompetenzzentrum für emissionsfreie Antriebe Mannheim (KEM DTAG)



AP7.2 – AP7.4 – Testing auf dem Achs- und Rollenprüfstand

Achsprüfstand



Rollenprüfstand



Mitwirkende

- Daimler Truck AG, Mercedes-Benz Werk Kassel
 - Team CoC Radsatz & E-Achse
 - Henning Rimbach (Projektleitung), Mehmet Kocer, Andreas Lemmer, Christoph Mädler
- Universität Kassel
 - Institut für Antriebs- & Fahrzeugtechnik, Fachgebiet Mechatronik mit dem Schwerpunkt Fahrzeuge
 - Prof. Dr.-Ing. Michael Fister, Dr.-Ing. Christian Spieker, Jan-Hendrik Hohn, Rodrigo Reza
 - Institut für Antriebs- & Fahrzeugtechnik, Fachgebiet Fahrzeugsysteme und Grundlagen der Elektrotechnik
 - Prof. Dr.-Ing. Mohamed Ayeb, Marjan Faghieh, Chenxi Song



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

