

vitesco

TECHNOLOGIES

Schlussbericht gem. Nr. 8.2 NKBBF 98 (öffentliche Kapitel)

Verbundprojekt: DE4LoRa - Universales hochintegriertes 800V-Hybrid-Antriebssystem mit ganzheitlich optimierter Ökologie und Ökonomie

Teilvorhaben: Konsortialführung; Auslegung Ölkreislauf und regelbarer Ölpumpe; Auslegung und Bereitstellung der Schaltaktoren

Förderkennzeichen: 19I20027A

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 19I20027A gefördert.

Projektlaufzeit: 01.04.2021 bis 30.09.2024

Berichtszeitraum: 01.04.2021 bis 30.09.2024

Ansprechpartner

Frank Fella
Vitesco Technologies Germany GmbH
Sieboldstraße 19
90411 Nürnberg
Telefon/Phone: +49 (0)911 9526-4442
E-Mail: Frank.Fella@vitesco.com



Nürnberg, den 31.12.2024

Schlussbericht:

DE4LoRa – Universelles hochintegriertes 800V-Hybrid-Antriebssystem mit ganzheitlich optimierter Ökologie und Ökonomie

Teilvorhaben: Konsortialführung; Auslegung Ölkreislauf und regelbarer Ölpumpe; Auslegung und Bereitstellung der Schaltaktoren.

Autor:

Frank Fella

Anmerkungen:

Der Schlussbericht ist als formaler Projektschlussbericht gemäß den Vorgaben des Fördermittelgebers und der durch den Projektträger zur Verfügung gestellten Vorlage verfasst. Darüber hinaus befindet sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Schlussberichts die weitere Ergebnisdokumentation in Form eines technischen Endberichts sowie anderer Publikationsarten in Bearbeitung.

Teile des Schlussberichts basieren auf der gemeinsamen Projektbeantragung und -bearbeitung mit den Verbundpartnern, weshalb gleichlautende Textpassagen auch in anderen Schlussberichten vorhanden sein können.

Nürnberg, 31.12.2024

Vitesco Technologies Germany GmbH
Sieboldstraße 19
90411 Nürnberg
Germany

Internet: www.vitesco-technologies.com

1 Inhalt

2	Kurzdarstellung	5
2.1	Aufgabenstellung	5
2.2	Voraussetzungen.....	6
2.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	7
2.4	Wissenschaftlich technischer Stand.....	9
2.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
3	Eingehende Darstellung	11
3.1	Verwendung von Zuwendung und Ergebnissen	11
3.1.1	AP1.1: Projektmanagement.....	11
3.1.2	AP2.2: Package-Konzept und Schnittstellen	12
3.1.3	AP2.3: Thermische Auslegung des Antriebsstrangs	15
3.1.4	AP5.1: Festlegung der Übernahmekomponenten	16
3.1.5	AP5.3: Entwicklung/Adaption der Schaltaktork.....	17
3.1.6	Schaltaktor Design	18
3.1.7	Mechanische Integration.....	18
3.1.8	Prüfstandserprobung.....	20
3.1.9	AP5.4: Entwicklung Ölkreislauf	21
3.1.10	Auslegung und Design Ölfilter	22
3.1.11	Auslegung und Design Wärmetauscher	22
3.1.12	AP5.5: Entwicklung Gehäuse	25
3.1.13	AP5.7: Montage	26
3.1.14	AP5.8: Mechanische Grunderprobung	27
3.2	Zahlenmäßiger Nachweis.....	38
3.3	Notwendigkeit.....	39
3.4	Verwertbarkeit.....	39
3.5	Fortschritte auf dem Gebiet bei anderen Stellen	40
3.6	Veröffentlichungen	40
4	Abkürzungsverzeichnis	41
5	Anhang	41

Abbildung 1: DE4LoRa-Getriebearchitektur.....	5
Abbildung 2: DE4LoRa-Systemarchitektur Vitesco-CAN	13
Abbildung 3: Schema mech. Interface Schaltaktor	
Abbildung 4: Schema Schnittstelle Pumpe Getriebe.....	14
Abbildung 5: Thermisches Gesamtkonzept unter Einbindung des Getriebeölkreises	15
Abbildung 6: Klauenkupplung	16
Abbildung 7: elektronische Ölpumpe.....	17
Abbildung 8: Übersicht Architektur Getriebe	
Abbildung 9: Seitenansicht Getriebe.....	17
Abbildung 10: Aufbau Aktor	18
Abbildung 11: Hebeldesign; Dimensionsabhängigkeiten	
Abbildung 12: Positionsabhängigkeit Klauenkupplungsdesign	19
Abbildung 13: Aktorintegration TG1 (ETRS1)	
Abbildung 14: Aktorintegration TG2 (ETRS2)	
Abbildung 15: Aktorintegration ETRS3 & 4	
Abbildung 16: Mechanische Kopplung Schaltgabel 3 & 4	20
Abbildung 17: Prüfstand Klauenkupplung.....	21
Abbildung 18: Schema Ölkreislauf Subkomponenten.....	21
Abbildung 19: Konzept Ölkreislauf	22
Abbildung 20: Design Ölfilter	22
Abbildung 21: Design Wärmetauscher.....	23
Abbildung 22: Komponenten Ölkreislauf Einbauort	23
Abbildung 23: Schaltgabelschuh	
Abbildung 24: Schalngabelarretierung.....	24
Abbildung 25: Ergebnisse IR-Spektroskopie (Schaltgabelarretierung (l.) & Schaltgabelschuh (r.))	24
Abbildung 26: Montage Schaltaktoren an Getriebegehäuse	25
Abbildung 27: Montage Schaltaktoren	25
Abbildung 29: Prototypen der Schaltaktoren ETRS 1 - 4.....	26
Abbildung 28: Prototypenkomponenten Ölkreislauf (eTOP, Wärmetauscher, Ölfilter)	26
Abbildung 30: Getriebe montiert offen.....	26
Abbildung 31: Testaufbau Beölungstest bei ISAR Getriebetechnik KG.....	27
Abbildung 32: Übersicht der geänderten Parameter	
Abbildung 33: Mech. Kopplung der Schaltgabeln für KK 3 & 4	28
Abbildung 34: Einlegevorgang mit Trajektorienplanung.....	29
Abbildung 35: Auslegevorgang.....	29
Abbildung 36: Verhalten Zahn auf Zahn Situation	30
Abbildung 37: Korrektes Verhalten nicht Erreichen der Zielposition (z.B. Zahn auf Zahn Stellung	31
Abbildung 38: Aktor Position über Zeit	
Abbildung 39: Aktor-Prüfstand.....	32
Abbildung 40: Ablaufschema Schaltprozess.....	33
Abbildung 41: Übersicht AnSim-Modell	34
Abbildung 42: Animation des Einlegevorgangs Klauenkupplung EM 2.....	34
Abbildung 43: Einlegevorgang vollsynchronisierte Klauenkupplung EM2.....	35
Abbildung 44: Auslegevorgang vollsynchronisierte Klauenkupplung EM2.....	36

Abbildung 45: Animation Klauenkupplung
 Abbildung 46: Animation Klauenkupplung „Kisspoint“ 37
 Abbildung 47: Drehzahldifferenz der Kupplungskomponenten..... 37
 Abbildung 48: DE4LoRa-Antriebsstrang
 Abbildung 49: DE4LoRa-Prototypenfahrzeug..... 38

2 Kurzdarstellung

2.1 Aufgabenstellung

Im Forschungsprojekt „Doppel-E-Antrieb for Long-Range“ (DE4LoRa) verfolgte ein Konsortium aus acht Industrieunternehmen und vier Forschungsinstituten der TU Darmstadt das Ziel, ein universelles, hochintegriertes 800V-Hybrid-Antriebssystem zu entwickeln, das sowohl ökologisch als auch ökonomisch optimiert ist. Das DE4LoRa-Konzept basiert auf einem zum Patent angemeldeten parallelseriellen Hybridantrieb, der zwei hochintegrierte E-Maschinen, eine kombinierte Leistungselektronik und einen monovalenten CNG-Motor umfasst. Das Hochvolt-System wird durch eine neu entwickelte 800V-Batterie ergänzt.

Das auf drei Jahre angelegte Projekt umfasst die Auslegung und Gestaltung des Antriebssystems, die prototypische Umsetzung auf Prüfständen sowie den Aufbau und die anschließende Erprobung von zwei Demonstratorfahrzeugen. Ziel der prototypischen Erprobung des Gesamtsystems ist es, die Potenziale der Kerninnovationen zu bewerten und den Technologiereifegrad signifikant zu steigern. Durch gezielte Untersuchungen zur Weiterentwicklung des Konzepts soll ein Reifegrad erreicht werden, der eine Überführung in die Serie ermöglicht.

Aus den übergeordneten Zielen der Systementwicklung leiteten sich für das Teilvorhaben von Vitesco die folgenden spezifischen Aufgaben ab:

- Konsortialführung des Gesamtvorhabens
- Entwicklung, Erprobung und Bereitstellung von Schaltaktoren (ETRS) zur Aktuierung der Klauenkupplungen im DE4LoRa-Getriebe
- Integration des Getriebeölkreislaufes in Thermomanagementkonzept des DE4LoRa-Antriebsstranges, einschließlich:
 - o Auslegung und Bereitstellung der Hardwarekomponenten des Ölkreislaufs, umfassend:
 - Elektronisch regelbare Ölpumpe (eTOP)
 - Wärmetauscher als Interface zwischen Ölkreislauf und dem verbundenen Kühlkreislauf von E-Maschinen und Leistungselektronik
 - Integrierter Getriebeölfilter
- Untersuchung des Einflusses der thermischen Vorkonditionierung des Getriebeöls auf die Gesamteffizienz des Antriebsstrangs.

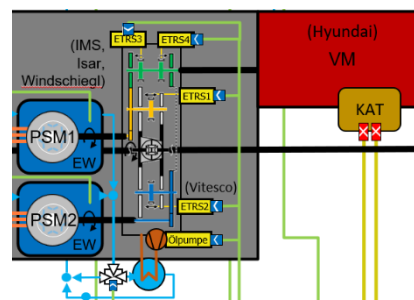


Abbildung 1: DE4LoRa-Getriebearchitektur

2.2 Voraussetzungen

Für das Vorhaben schlossen sich acht Industriepartner entlang der Wertschöpfungskette sowie vier Forschungsinstitute der TU Darmstadt zu einem schlagkräftigen Konsortium zusammen. In diesem Konsortium ergänzten sich die Kompetenzen ideal, um das Gesamtsystem ganzheitlich weiterzuentwickeln, bis hin zur Realisierung auf dem Prüfstand bzw. in einem Prototypenfahrzeug zur finalen Erprobung. Die Entwicklungsschwerpunkte verteilten sich dabei wie folgt auf die Partner:

APS -Technology GmbH:

- *Systemsteuerung, HV-Sicherheitskonzept, Auf-/ Umbau Prototypenfahrzeuge*

AVL-Software and Functions GmbH:

- *800V SiC-Doppelwechselrichter, Systemintegration*

BMZ Group GmbH:

- *Modulare Batterie inkl. Kühlkonzept, Batteriemanagementsystem*

COMPREDICT GmbH

- *Lifetime prediction modeling, AI-basierter Sensoren zur Echtzeitüberwachung, Optimierung von Fahrzeugbetriebsstrategien*

EW -Institut für Elektrische Energiewandlung:

- *Entwicklung, Aufbau und Erprobung der E-Maschinen*

IMS -Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau:

- *Antriebsstrangkonzzept, Getriebedesign, Software, Prüfstand & Fahrzeugerprobung, technischer Projektkoordinator*

Isar Getriebetechnik KG:

- *Berechnung & Konstruktion der Getriebekomponenten, Getriebeaufbau & mech. Vorerprobung (Spin- und Beölungstest)*

LEA -I. Stromrichtertechnik & Antriebsregelung

- *Konzeption und Entwicklung des On-Board-Chargers (OBC), Definition & Auswahl DC/DC-Wandler*

Hyundai Motor Europe Technical Center GmbH:

- *Verbrennungsmotor für monovalenten CNG-Betrieb, Bereitstellung Basisfahrzeuge für Prototypenbau, Fahrzeugadaptation für hybriden Antriebsstrang,*

VKM -Institut für Verbrennungskraftmaschinen & Fahrzeugantriebe

- *Konzeption Thermomanagement Gesamtsystem, Abgasnachbehandlung Verbrennungsmotor*

Vitesco Technologies Germany GmbH:

- *Entwicklung Schaltaktoren für Klauenkupplungsgetriebe, elektrische zentrale Ölpumpe, Integration Getriebeölkreislauf in Thermomanagement, thermische Vorkonditionierung Getriebeöl*

Windschiagl Maschinenbau GmbH

- Fertigung der Getriebekomponenten

Dinex Germany GmbH (assoziiertes Partner ab 06/2022)

- Heizkatalysator für Abgasnachbehandlung

2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Für die Durchführung des Gesamtvorhabens und zur Sicherstellung der Gesamtziele des Vorhabens, wurden insgesamt elf Arbeitspakete definiert, die gemeinschaftlich von den Partnern und unter der Führung des jeweiligen AP-Leiters bearbeitet wurden. Die partnerspezifischen Ziele der Teilvorhaben stehen dabei in direkter Korrelation zu den Arbeitspaketen des Gesamtvorhabens. Um die in 2.1 beschriebenen Aufgaben zu erfüllen plante Vitesco eine aktive Beteiligung an den folgenden Arbeits- und Unterarbeitspaketen:

AP1: Vorhabensmanagement

- AP1.1: Projektmanagement
Koordination und Moderation des Konsortiums bei Projekttreffen, Absprachen und Regelterminen. Dazu gehört das Zeitplanmanagement inklusive Tracking und Abgleich des Projektfortschritts sowie die Sicherstellung der Meilensteinerreichung. Schnittstelle zum Projektträger, einschließlich der Koordination von Kommunikation und Berichtswesen.

AP2: Konzeption Antriebsstrang

- AP2.2: Package-Konzept und Schnittstellen
Das Arbeitspaket umfasst die Absprache und Konzipierung der elektrischen und mechanischen Schnittstellen der Ölpumpe sowie der Schaltaktoren im Getriebe. Basierend auf der Analyse der Anforderungen werden die elektrischen Schnittstellen definiert und die Übertragung der notwendigen Signale sichergestellt. Für die mechanischen Schnittstellen werden Konzepte für Befestigungslösungen entwickelt, die die Kompatibilität und Integration in das Getriebesystem gewährleisten, wobei Faktoren wie Vibration, Temperatur und Öldichtheit berücksichtigt werden.
- AP2.3: Thermische Auslegung des Antriebsstrangs
Das Arbeitspaket beinhaltet die Begleitung der thermischen Auslegung sowie die Konzipierung einer thermischen Vorkonditionierung des Getriebeöls, deren weitere Entwicklung im Arbeitspaket 5.4 erfolgt.

AP5: Getriebe

- AP5.1: Festlegung der Übernahmekomponenten
Das Arbeitspaket umfasst die Vorauswahl des Getriebeöls sowie der Plattformkomponenten für Ölpumpe und Schaltaktorik, basierend auf den spezifischen Anforderungen an das Getriebeöl und die jeweiligen Aktoren (elektr. Ölpumpe und Schaltaktoren).
- AP5.3: Entwicklung/Adaption der Schaltaktorik

Es erfolgt die Definition eines geeigneten, dedizierten, smarten Getriebeaktors für Klauenkupplungen, der in Form von vier Einzelaktoren in das Getriebekonzept integriert wird. Dafür werden die mechanischen Schnittstellen (Halteungen, Befestigungselemente sowie der mechanische Eingriff in die Schaltgabeln) ausgelegt und konstruiert, und die notwendigen Daten für die Komponentenfertigung erstellt. Des Weiteren werden notwendige Anpassungsentwicklungen der Aktorplattform in diesem Arbeitspaket ausgearbeitet. Das Aktorkonzept wird final auf Komponentenebene, am Prüfstand mit Hilfe von Ersatzlasten und schließlich bei der Aktuierung von Klauenkupplungen erprobt.

- AP5.4: Entwicklung Ölkreislauf
Das Arbeitspaket umfasst die Untersuchungen zur Möglichkeit einer Vorkonditionierung des Getriebeöls mit der Abwärme aus der Leistungselektronik. Dabei werden die kombinierten Anforderungen an Getriebeöl und Ölkreislauf aus mechanischen und thermischen Aspekten der Anwendung definiert. Es erfolgt eine Auswahl geeigneter Getriebeöle sowie die Auslegung einer geeigneten und regelbaren elektrischen Getriebeölpumpe, sowie die Umsetzung gegebenenfalls notwendiger Anpassungsentwicklungen der Ölpumpe. Die Auslegung des Ölkreislaufs erfolgt in Zusammenarbeit mit Isar Getriebetechnik.
- AP5.5: Entwicklung Gehäuse
Detaillierung der getriebeseitigen Schnittstellen zu den Einzelaktoren und der elektrischen Ölpumpe sowie Unterstützung bei der Konstruktion der entsprechenden Schnittstellen.
- AP5.7: Montage
Das Arbeitspaket umfasst lediglich die Bereitstellung der prototypischen Hardware (Getriebe-Aktoren und elektrische Ölpumpe) sowie gegebenenfalls die Unterstützung beim Einbau der Komponenten.
- AP5.8: Mechanische Grunderprobung
Unterstützung beim ersten Beölungstest des Getriebes in Zusammenarbeit mit Isar Getriebetechnik und Überprüfung der Schaltfunktion im Stand.

AP8: Antriebssystem-Steuerung

- AP8.1: Software-Architektur und Funktionspartitionierung
Festlegung Software-Schnittstellen und -Funktionen der Getriebeaktorik und der Ölpumpe
- AP8.3: Getriebebesteuerung
In dem Arbeitspaket erfolgt die Beschreibung der Bewegungsabläufe des Aktors bei verschiedenen Schaltvorgängen, u.a. das Ein- und Auslegen der Klauenkupplung, das Verhalten des Aktors bei nicht erfolgreichem Schaltprozess, oder Abbruch des gestarteten Schaltvorgangs. Weiterhin erfolgt die Integration der Aktoren in den übergeordneten Regelkreis, um eine reibungslose Steuerung zu gewährleisten. Darüber hinaus werden umfangreiche Tests durchgeführt, darunter Model-in-the-Loop (MIL), Hardware-in-the-Loop (HIL) und Integrationstests, um die Funktionalität und Zuverlässigkeit der Aktoren in verschiedenen Szenarien zu überprüfen und zu validieren.

AP10: Aufbau Versuchsfahrzeug(e)

- AP10.5: E/E-Architektur und Steuergerättopologie
Die Tätigkeiten in AP10.5 fokussieren sich auf die Unterstützung bei der Integration der Schaltaktoren in das Fahrzeugsystem. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Kommunikation und der Schaltdynamik der ETRS.
- AP10.9: Inbetriebnahme Prototypenfahrzeug
Gegebenenfalls notwendige Anpassungen und Optimierungen im Rahmen der Fahrzeuginbetriebnahme.

AP11: Erprobung und Bewertung

- AP11.1: Definition Zielkriterien und Benchmark-Untersuchungen
Basierend auf Erfahrungswerten und Vergleichsdaten von Verbrenner- und Hybridfahrzeugen mit automatisierten Getrieben werden in Kooperation mit den Partnern APS-Technology GmbH und dem Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau (IMS) objektive Bewertungskriterien für den Schaltkomfort, das Gesamtsystem und die Nutzerakzeptanz definiert. Diese Kriterien fließen in die Konzeptbewertung von AP11.5 ein.
- AP11.2: Test und Optimierung Getriebesteuerung im Fahrzeug
Iterative Erprobungs- und Anpassungsschleifen zur Optimierung der Schaltabläufe durch gezielte Variation der Trajektorienplanung. Anschließende Validierung der Schaltprozesse in messmittelunterstützten Erprobungsfahrten.
- AP11.5: Konzeptbewertung
Das Arbeitspaket umfasst die Zusammenführung der Erprobungsergebnisse und die Erstellung von Testberichten. Dabei werden Verbesserungspotenziale identifiziert und eine mögliche Adaption des Antriebskonzepts auf leichte Nutzfahrzeuge untersucht.

2.4 Wissenschaftlich technischer Stand

Automatikgetriebe haben sich in den letzten Jahrzehnten erheblich weiterentwickelt, insbesondere im Kontext von Hybridfahrzeugen, die sowohl einen Verbrennungs- als auch einen Elektromotor nutzen. Diese Getriebe müssen in der Lage sein, die Leistung beider Motoren effizient zu kombinieren und nahtlose Übergänge zwischen verschiedenen Betriebsmodi zu gewährleisten.

Stufenlose Getriebe (Continuously Variable Transmissions, CVT), wie sie beispielsweise im Toyota Prius Anwendung finden, sind eine präferierte Option für Hybridfahrzeuge aufgrund ihrer Fähigkeit, die Übersetzung kontinuierlich anzupassen. Dies ermöglicht eine optimale Leistungsentfaltung und Effizienz, da der Motor stets im idealen Drehzahlbereich arbeiten kann. CVTs bestehen - stark vereinfacht dargestellt - aus einem Riemen- oder Kettenantrieb, der zwischen zwei variablen Scheiben läuft, deren Abstand sich ändern kann, um unterschiedliche Übersetzungsverhältnisse zu erzeugen.

Somit bietet dieser Getriebetyp eine „sanfte“ und stufenlose Beschleunigung, was besonders im Stadtverkehr von Vorteil ist.

Die **Doppelkupplungsgetriebe** (Dual-Clutch Transmissions, DSG) kombinieren die Vorteile von Schalt- und Automatikgetrieben. Sie bestehen aus zwei Teilgetrieben, die jeweils eine eigene Kupplung haben. Während ein Gang aktiv ist, kann der nächste bereits vorgewählt werden, was extrem schnelle und ruckfreie Gangwechsel ermöglicht. Diese Getriebe sind besonders effizient, da sie die Leistung des Verbrennungs- und Elektromotors optimal nutzen können. In Hybridfahrzeugen, wie dem Hyundai Ioniq Plug-in Hybrid, tragen DSGs zur Verbesserung der Fahrdynamik und des Kraftstoffverbrauchs bei.

Planetengetriebe sind eine weitere wichtige Getriebetechnologie in Hybridfahrzeugen (Beispiel Toyota Yaris Hybrid). Sie bestehen aus einem zentralen Sonnenrad, mehreren Planetenrädern und einem umlaufenden Hohlrad. Diese Getriebe können verschiedene Übersetzungsverhältnisse und Drehmomentverteilungen realisieren. In Hybridanwendungen ermöglichen Planetengetriebe die Kombination und Verteilung der Leistung von Verbrennungs- und Elektromotoren, indem beispielsweise der Verbrennungsmotor mit dem Planetenradträger verbunden ist, das Sonnenrad mit einer E-Maschine und eine weitere E-Maschine auf das Hohlrad des Planetengetriebes wirkt.

In allen Getriebetypen kommen Aktoren zum Einsatz, wobei die Wahl des Getriebe- und Aktortyps von verschiedenen Faktoren abhängt, darunter die Fahrzeugarchitektur, die angestrebte Leistung und die gewünschten Fahreigenschaften. Die Gangstellung in Automatikgetrieben wird durch verschiedene Aktoren realisiert, die unterschiedliche Technologien und Funktionsweisen aufweisen. Die gängigsten Aktortypen sind hydraulische und elektromechanische Systeme.

Hydraulische Aktoren nutzen hydraulischen Druck, um die Gangwechsel zu steuern und die Kupplungen zu betätigen. Diese Aktoren sind bekannt für ihre hohe Kraftdichte und Zuverlässigkeit, was sie ideal für Anwendungen macht, die eine starke und präzise Steuerung erfordern. Ein weiterer Vorteil hydraulischer Aktoren ist ihre Fähigkeit, große Kräfte bei vergleichsweise geringem Energieaufwand zu erzeugen. Allerdings erfordern sie ein komplexes System aus Pumpen, Ventilen und Leitungen, um den hydraulischen Druck zu erzeugen und zu steuern, was die Integration und Wartung etwas aufwendiger machen kann. Trotz dieser Herausforderungen bleiben hydraulische Aktoren aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit und Robustheit eine bevorzugte Option in vielen Automatikgetrieben.

Elektromechanische Aktoren dagegen wandeln elektrische Energie in mechanische Bewegung um, was eine präzise Steuerung der Gangwechsel ermöglicht. Diese Aktoren zeichnen sich durch ihre hohe Reaktionsgeschwindigkeit und Genauigkeit aus, was zu einer verbesserten Fahrdynamik und Effizienz führt. Ein weiterer Vorteil ist die einfache Integration in elektronische Steuerungssysteme, die eine nahtlose Kommunikation und Steuerung ermöglichen. Elektromechanische Aktoren sind zudem kompakt und leicht, was sie ideal für den Einsatz in Fahrzeugen macht, bei denen Platz und Gewicht entscheidende Faktoren sind. Trotz ihrer Abhängigkeit von einer stabilen Stromversorgung bieten sie eine zuverlässige und leistungsfähige Lösung für die Gangsteuerung in Automatikgetrieben.

Bauraum und Gewicht der Systeme waren beim DE4LoRa-Ansatz von besonderer Bedeutung. Der gesteigerte Funktionsumfang des Getriebes, einschließlich der dafür notwendigen Komponenten (drei Teilgetriebe, zwei E-Maschinen, hochintegrierte Leistungselektronik etc.), musste im Motorraum des Basisfahrzeugs untergebracht werden. Die Reduktion der Komponenten bei elektromechanischer Aktuierung im Vergleich zur hydraulischen Aktuierung (siehe oben) kommt sowohl den Aspekten der Bauraum- und Gewichtseinsparung als auch dem Ziel der Kostenreduktion entgegen. Daher wurde für die Gangstellung ein elektromechanisches Aktorsystem angestrebt. Vitesco konnte dabei auf vorhandene Erfahrungen aufbauen, da zu Projektbeginn bereits Entwicklungen im Bereich der

elektromechanischen Aktoren liefern. Applikationsseitig fokussierten sich diese Produkte jedoch auf die Anwendungen „Park by Wire (PbW)“ und „Shift by Wire (SbW)“. Ziel der Arbeiten in DE4LoRa war es, aus dieser Plattform ein Aktorsystem zur Gangstellung abzuleiten und prototypisch zu realisieren.

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zusammenarbeit innerhalb des Verbunds DE4LoRa:

Zwischen den Projektpartnern im Verbund DE4LoRa (insbesondere HMETC, TU Darmstadt, Isar Getriebetechnik und Vitesco) herrschte während der gesamten Projektlaufzeit eine stets offene und ergebnisorientierte Zusammenarbeit. Dies trug wesentlich dazu bei, dass Vitesco die maßgeblichen Komponenten (Schaltaktoren, elektrische Ölpumpe, Ölfilter und Wärmetauscher) ohne zeitliche Verzögerung in das Projekt einbringen konnte.

Zusammenarbeit mit externen Projektpartnern:

Im Rahmen von AP5.1 arbeitete Vitesco intensiv mit der Firma PETRONAS Lubricants Deutschland GmbH zusammen. Die Kooperation umfasste insbesondere das Ableiten der Anforderungen an das Schmiermittel aus der geplanten DE4LoRa-Applikation, die Auswahl von fünf potenziell geeigneten Schmiermitteln unterschiedlicher Formulierung aus dem Petronas-Portfolio sowie die Bereitstellung der Getriebeöle durch Petronas.

3 Eingehende Darstellung

3.1 Verwendung von Zuwendung und Ergebnissen

Anmerkung: Beschreibung der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

3.1.1 AP1.1: Projektmanagement

Zu Beginn des Vorhabens wurden verschiedene themenbezogene Arbeitsgruppen (AG) gebildet, die eine agile und effiziente Arbeitsweise in einzelnen Fachbereichen ermöglichten. Diese Arbeitsgruppen zeichneten sich durch ihre klare Struktur und Konzentration auf übergeordnete Fokusthemen aus, was eine zielgerichtete und effektive Bearbeitung der jeweiligen Aufgabenbereiche sicherstellte:

- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| - AG01: Gesamtkonzept | HMETC, IMS, APS-tech, COMPREDICT |
| - AG02: HV-Komponenten | EW, AVL, LEA, BMZ |
| - AG03: CNG-Motor | HMETC, VKM |
| - AG04: Getriebe | IMS, ISAR, Vitesco, Windschiegl |

Eine übergreifende Abstimmung erfolgte in Regelmeetings des Gesamtkonsortiums unter der Leitung von Vitesco. Die größte Herausforderung stellte bereits zu Beginn des Vorhabens der sehr ambitionierte Zeitplan dar. Aufgrund immer wieder neu auftretender Anforderung bzw. notwendiger Anpassungen im Verlauf des Projektes mussten Arbeitspakete kontinuierlich adaptiert, parallelisiert und im Timing angepasst werden. Ziel war stets, die Gesamtziele innerhalb der vorgegebenen Projektlaufzeit von drei Jahren vollumfänglich umzusetzen.

Abweichung vom ursprünglichen Projektplan:

Im September 2022 wurde der Konsortialpartner APS -Technology GmbH vom Mutterkonzern übernommen und firmiert fortan als APL-Automobil-Prüftechnik Landau GmbH (kurz APL). APL konnte aus wichtigem Grund (gemäß Kooperationsvertrag 10.2) die Beteiligung an dem gemeinsame Vorhaben DE4LoRa nicht fortsetzen.

Infolgedessen wurden in Abstimmung mit dem Projektträger weitere Schritte für den geregelten Ausstieg von APS bzw. APL besprochen und Handlungsoptionen zur erfolgreichen Weiterführung des Vorhabens definiert.

Die Rahmenbedingungen der Projektförderung ermöglichten in dieser Situation keine Neupartnerakquise, um das Ausscheiden des Projektpartners zu kompensieren. Infolgedessen wurde versucht alle Arbeitspakete des ausscheidenden Partners (APS) innerhalb des bestehenden Konsortiums umzuverteilen. Lediglich für die Arbeitspakete die nicht durch einen der Projektpartner (oder damit verbundenen Unternehmen) geleistet werden konnten, wurde die *Firma FES GmbH Fahrzeug-Entwicklung Sachsen* (Engineeringdienstleister) in Form eines Unterauftrags involviert, was im Wesentlichen den Aufbau des Prototypenfahrzeugs und die damit verbundenen Tätigkeiten betraf.

Darauf basierend wurden die Ziele und Inhalte adaptiert und entsprechend in der überarbeiteten Gesamtvorhabensbeschreibung (GVB) festgeschrieben. Entsprechend notwendige Umwidmungsanträge wurden von den betreffenden Partnern gestellt.

Die bedeutendste Änderung für das Gesamtvorhaben und damit auch für die einzelnen Teilvorhaben war die Reduzierung der Anzahl der Prototypenfahrzeuge von ursprünglich zwei auf ein Fahrzeug. Dadurch verringerte sich die Anzahl der notwendigen Komponenten im Verantwortungsbereich der einzelnen Partner. Die freigewordenen Kapazitäten und Mittel wurden genutzt, um zusätzliche Arbeiten aus dem Bereich des ausscheidenden Partners zu übernehmen und den zuvor genannten Unterauftrag zu finanzieren. Durch eine Ausweitung der Testumfänge am Prüfstand konnte der Entfall des zweiten Fahrzeugs und der dafür geplanten Tests teilweise kompensiert werden.

Der Prozess der Reorganisation und Neuplanung des Projektes, einschließlich der dafür notwendigen Freigabeprozesse durch den Projektträger, führte zu einem Gesamtzeitverzug von etwa 12 Monaten. In dieser Zeit war das Konsortium aufgrund ausstehender Genehmigungen (Umstrukturierung des Konsortiums, geänderte GVB, Mittelumwidmungen) nur eingeschränkt handlungsfähig, wodurch der ursprüngliche Zeitplan nicht mehr eingehalten werden konnte. Aus diesem Grund beantragte das Konsortium eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung um 6 Monate, welche schließlich mit dem Änderungsbescheid vom 26.03.2024 bewilligt wurde. Im angestrebten Verlängerungszeitraum wurde im Wesentlichen der Aufbau des Prototypenfahrzeugs realisiert.

3.1.2 AP2.2: Package-Konzept und Schnittstellen

Das Hauptziel des Arbeitspaketes bestand in der präzisen Definition der elektronischen und mechanischen Schnittstellen der verschiedenen Subkomponenten innerhalb des Gesamtsystems. Für Vitesco lag der Fokus hierbei insbesondere auf der zentralen, elektronischen Öl-Pumpe, sowie den vier einzelnen Schaltaktoren zur Gangstellung. Die sorgfältige Festlegung dieser Schnittstellen war von großer Bedeutung, um eine reibungslose Interaktion zwischen den Subkomponenten zu gewährleisten und die Gesamtleistung des Systems zu optimieren.

Das Kommunikationsnetzwerk basiert auf einem Controller Area Network (CAN) – System, indem die Vitesco-Komponenten über einen gemeinsamen CAN-Bus als zentrale Datenleitung kommunizieren. Die Unterscheidung der Nachrichten und der angeschlossenen Geräte erfolgt durch die Implementierung einer individuellen CAN-ID (Identifikationsnummer). Jede Komponente (ETRS1 bis 4 & eTOP) im Netzwerk erhält eine eindeutige CAN-ID, die es ermöglicht, Datenpakete gezielt an bestimmte Empfänger zu senden oder von diesen zu empfangen. Diese IDs sind entscheidend für die Priorisierung von Nachrichten.

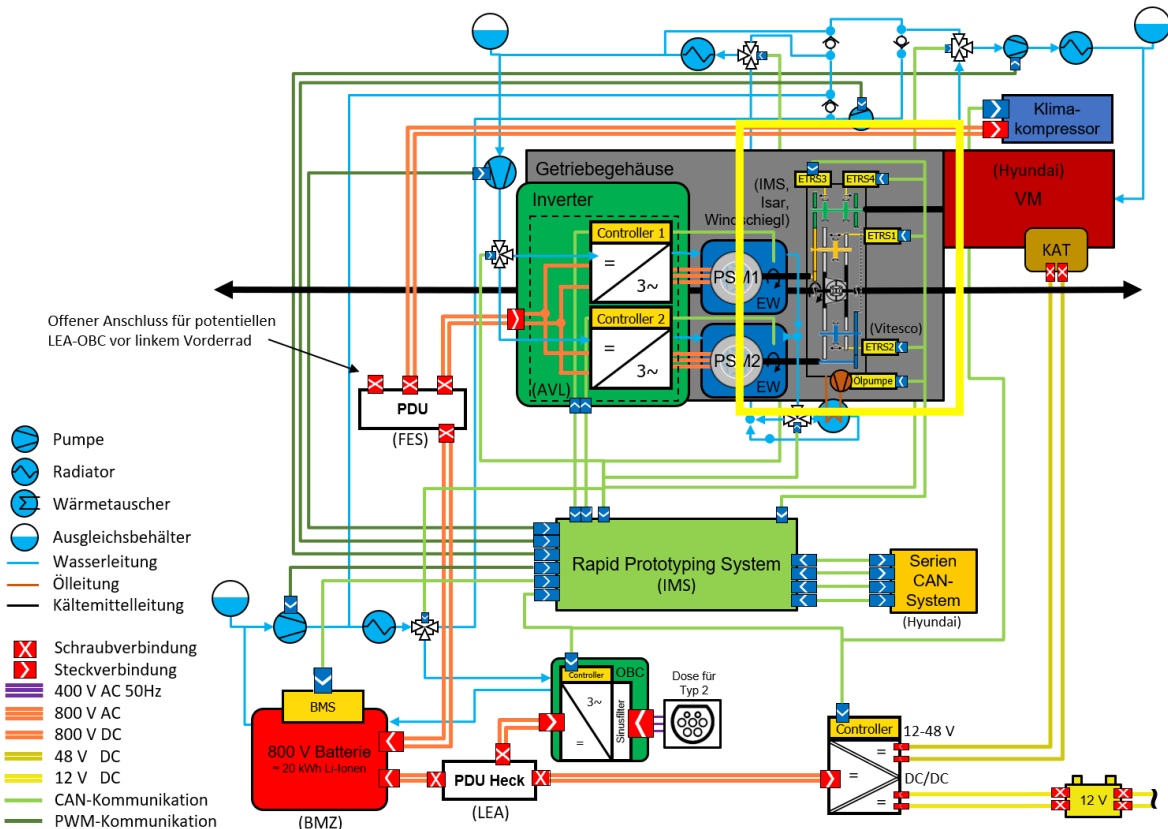


Abbildung 2: DE4LoRa-Systemarchitektur Vitesco-CAN

Definition der mechanischen Schnittstellen der Schaltaktoren (ETRS)

Die mechanische Schnittstelle zur Aktuierung der Klauenkupplungen bildet ein Hebelarm, der in das Schiebestänge der Schaltgabeln eingreift und so die Rotationsbewegung der Aktorausgangswelle in eine Linearbewegung von Schaltgabel und schließlich Klauenkupplung transformierte. Die Aktoren werden außenseitig, direkt am Getriebegehäuse montiert und schließen dabei mediendicht ab. Die mechanische Anbindung erfolgt über eine darunterliegende Gehäuseöffnung, durch die der Hebelarm in eine Fräsung (Langloch) der Schaltgabeln eingreift. Die detaillierte Ausarbeitung des Konzeptes erfolgt in AP 5.1. Die Ölpumpe wird ebenfalls direkt mit dem Getriebegehäuse verschraubt und sieht lediglich eine Öffnung für Ein- und Auslass vor.

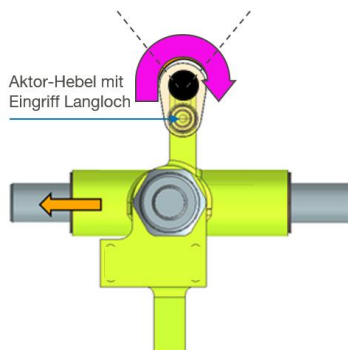


Abbildung 3: Schema mech. Interface Schaltaktor

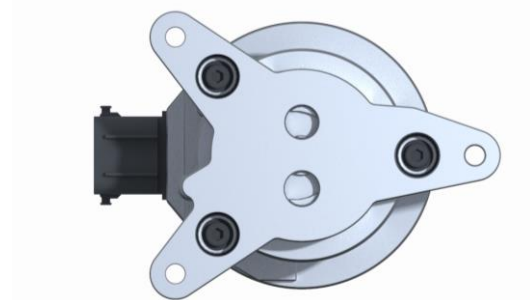


Abbildung 4: Schema Schnittstelle Pumpe Getriebe

Definition der elektronischen Schnittstellen der Aktoren

Alle ETRS-Geräte sollten mit einem kaskadierten Controller implementiert und so konfiguriert werden, dass sie mit einer geschlossenen Positionsregelung arbeiten. Diese Regelung erfolgt für die Position der Aktorausgangswelle (vor dem Hebelarm). Jedes Gerät sollte individuell über eine CAN-Nachricht gesteuert werden.

Der Betriebsmodus der elektrischen Ölpumpe definiert die Regelung von Öldruck und Volumenstrom über die Drehzahl der Pumpe. Die Motordrehzahl kann dabei in einem Bereich von 0 – 5000 rpm variiert werden.

Für die Einbindung in den Systemkabelbaum wurde jeweils eine Steckerschnittstelle mit den entsprechend notwendigen Ein- und Ausgängen definiert:

ETRS	eTOP
3 × Power Supply	2 × Power Supply
2 × CAN (H/L)	2 × CAN (H/L)
1 × Digital Input	1 × Ignition
1 × Ignition	
1 × Logig Supply	

3.1.3 AP2.3: Thermische Auslegung des Antriebsstrangs

Ein wesentlicher Bestandteil des Gesamtthermanagements war die Vorkonditionierung des Getriebeöls. Das Hauptziel dieser Maßnahme bestand darin, die direkt verfügbare Abwärme von Leistungselektronik und Elektromotoren zu nutzen, um das Getriebeöl so schnell wie möglich auf die optimale Betriebstemperatur zu bringen. Dadurch sollten die Viskosität und die Schmiereigenschaften des Fluids schnellstmöglich ihr Optimum erreichen, was einen effizienteren Betrieb des Getriebes bei niedrigen Temperaturen und insbesondere nach Kaltstartphasen ermöglicht.

Die wesentlichen Komponenten des Ölkreislaufs wurden bereits in Arbeitspaket 2.3 (AP 2.3) definiert. Hierbei wurde auch die prinzipielle Integration der Vorkonditionierung in das Thermomanagement des gesamten Fahrzeugs berücksichtigt, was wiederum entscheidend war, um eine harmonische und effiziente Zusammenarbeit aller thermischen Systeme im Fahrzeug zu gewährleisten.

Die detaillierte Ausarbeitung des Konzepts, einschließlich der genauen Auslegung und Entwicklung der einzelnen Komponenten, erfolgte im Rahmen von Arbeitspaket 5.4 (AP 5.4). In diesem Schritt werden spezifische technische Lösungen erarbeitet, um die Vorkonditionierung des Getriebeöls in das bestehende Thermomanagementsystem zu integrieren. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Effizienz und Zuverlässigkeit der Komponenten gelegt, um eine langlebige und störungsfreie Funktion sicherzustellen.

Insgesamt lässt sich das System auf vier Kühlkreisläufe aufteilen (siehe Abbildung 05):

- Kühlkreislauf Verbrennerkraftmaschine (VKM) → Kühlmedium: Fluid
- Kühlkreislauf HV-Batterie → Kühlmedium: Fluid
- Kühlkreislauf Leistungselektronik (LE) & E-Maschinen (EM) → Kühlmedium: Fluid
- Kreislauf Getriebeöl → Medium: Getriebeöl

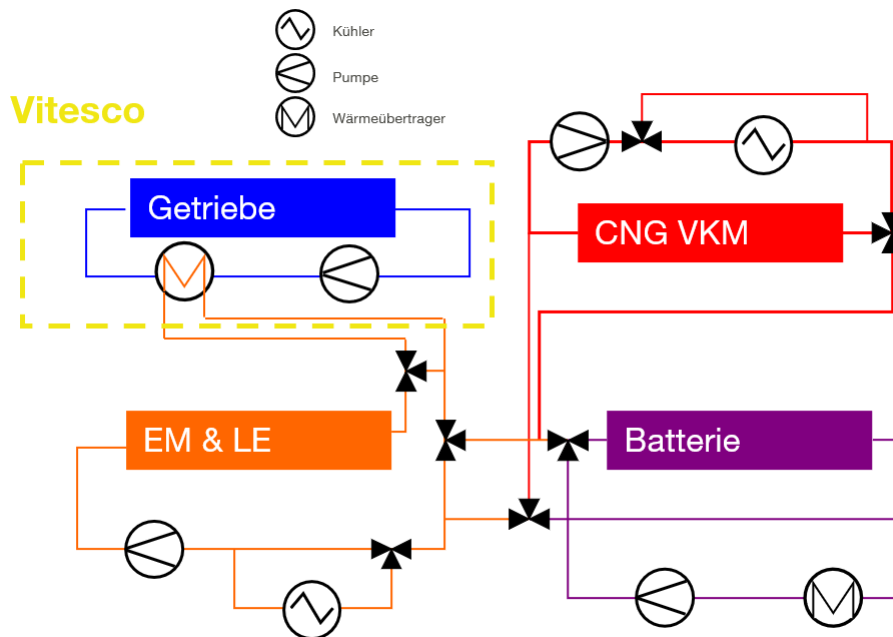


Abbildung 5: Thermisches Gesamtkonzept unter Einbindung des Getriebeölkreislaufs

Jeder der Kühlkreise kann entweder in sich geschlossen arbeiten oder über elektronisch steuerbare Ventile (Aufgabenbereich des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen & Fahrzeugantriebe – VKM) mit weiteren Kühlkreisen seriell kombiniert werden. Diese Flexibilität ermöglicht eine präzise Steuerung der Wärmeabfuhr und -verteilung im gesamten System. Ziel ist die effiziente Abfuhr von Wärme aus Hotspots, wie sie beispielsweise in der Leistungselektronik oder den Elektromotoren entstehen, sowie die Bereitstellung überschüssiger Wärmeenergie an Stellen, wo ein Aufheizen sinnvoll ist, wie etwa im Ölkreislauf des Getriebes. Die Schnittstelle zwischen dem Getriebeölkreis und dem Kühlmittelkreislauf bildet ein Plattenwärmetauscher, welcher für einen effizienten Wärmeübertrag zwischen den beiden Kreisläufen sorgt. Im Verantwortungsbereich von Vitesco liegen die Komponenten elektronische Ölpumpe, Ölfilter und Wärmetauscher, deren Auslegung, Design und Prototypenfertigung.

3.1.4 AP5.1: Festlegung der Übernahmekomponenten

Schaltaktor für Klauenkupplungen

Die Aufgabe des Aktors besteht darin, die Klauenkupplungen der Teilgetriebe während des Schaltvorgangs zu schließen bzw. zu öffnen und so die Momentenübertragung von Elektromotoren und Verbrennungsmotor auf die Antriebsachse mit der jeweiligen Übersetzung zu ermöglichen. Als mechanische Schnittstelle fungiert hier die Schaltgabel, deren lineare Bewegung durch den Aktor die Klauenkupplung in die Stellungen Neutral „N“, Closed 1 „C1“ und Closed 2 „C2“ positioniert (siehe Schema Abb. 06).

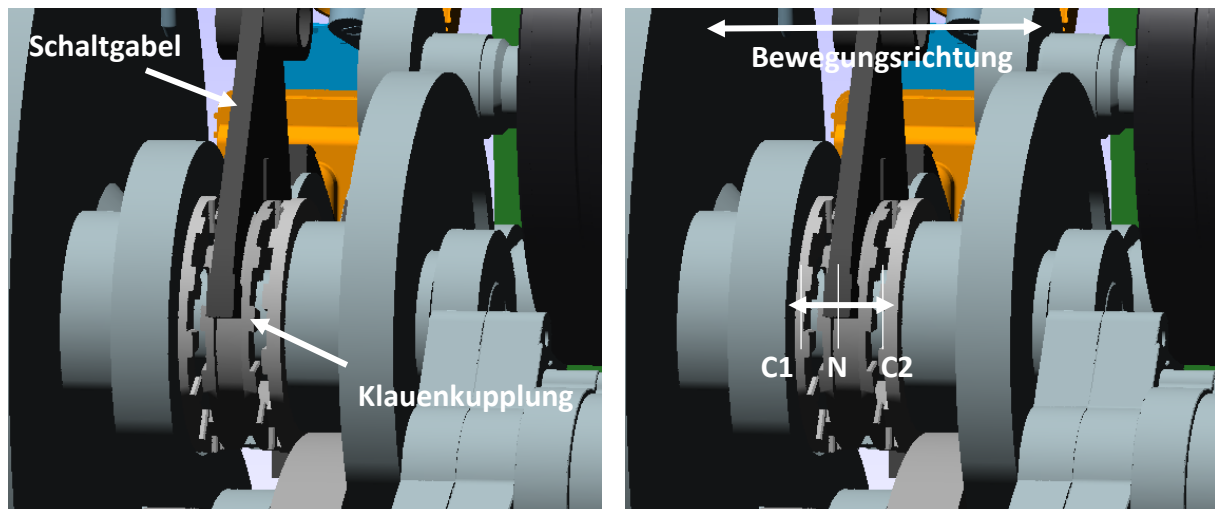


Abbildung 6: Klauenkupplung

Aus der Applikation wurden verschiedene Anforderungen mit Fokus auf Kommunikation (CAN), Eigendiagnose, Positionsgenauigkeit inkl. Sensierung, sowie Schaltdynamik und Verhalten im „Notausfall“, an den Aktor abgeleitet. Da Vitesco im Bereich der Parksperrn bereits über Vorerfahrung und ein Aktorkonzept verfügt, wurde untersucht, ob und welche Komponenten hier eventuell übernommen werden können. Es zeigte sich, dass der Antriebsmotor in Kombination mit vorhandenen Übersetzungsstufen (Gear-Sets) als übernahmegeeignet erscheint. Ein Vorteil der Übernahme ist eine deutliche Reduktion der Prototypenkosten, da beim Lieferanten der Subkomponente (Motor) auf bestehenden Anlagen produziert werden kann. Die Werkzeugkosten

beim Hersteller, die üblicherweise auf den Prototypenpreis umgeschlagen werden, können somit deutlich reduziert werden. Die Ausarbeitung und Adaption des Gesamtkonzepts für den Schaltaktor erfolgt in Arbeitspaket 5.3 (AP 5.3).

Elektrische Ölpumpe

Aus den notwendigen Funktionsumfängen der zentralen Ölpumpe im DE4LoRa-Konzept, insbesondere für Schmierung und Thermomanagement, wurden die Anforderungen an die elektrische Getriebeölpumpe (eTOP) abgeleitet. Wesentliche Anforderungen umfassen einen Volumenstrom von 1 l/min für die direkte Einspritzschmierung und einen Ölfluss von 4 l/min für den Wärmetransport im Wärmetauscher. Basierend auf diesen Anforderungen konnte eine geeignete Ölpumpe als Plattform aus dem Vitesco-Portfolio ausgewählt werden. Die Integration der eTOP in das Gesamtsystem erfolgte im Rahmen von Arbeitspaket 5.4 (AP 5.4), was die Ausarbeitung der mechanischen und elektrischen Schnittstellen sowie die Anpassung der Steuerungssoftware umfasst.



Abbildung 7: elektronische Ölpumpe

3.1.5 AP5.3: Entwicklung/Adaption der Schaltaktorik

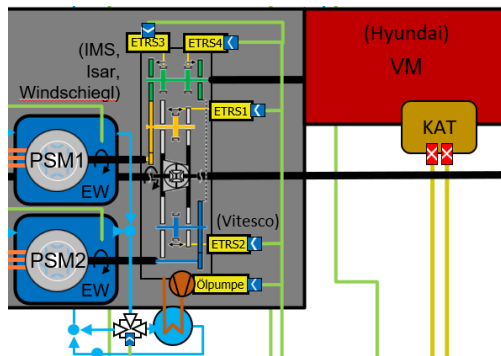


Abbildung 8: Übersicht Architektur Getriebe

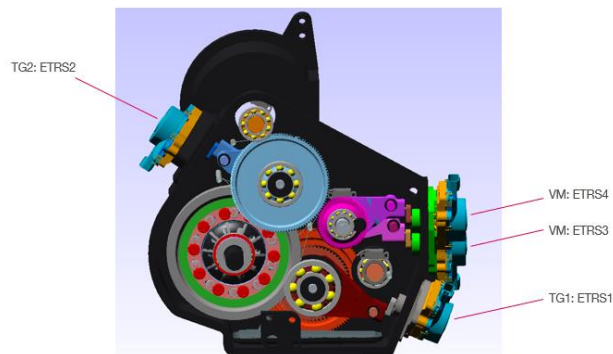


Abbildung 9: Seitenansicht Getriebe

Die Architektur des DE4LoRa-Getriebes lässt sich in drei Teilgetriebe gliedern: TG1 (orange), TG2 (blau) und TG-Verbrenner (grün) (siehe Abbildung 8). TG1 und TG2 sind jeweils mit einer E-Maschine (PSM1 und PSM2) gekoppelt. Für jedes dieser Teilgetriebe sind zwei Übersetzungsstufen/Gänge vorgesehen, die über die jeweiligen Schaltaktoren (ETRS1-4) und die verbundenen Klauenkupplungen ein- bzw. ausgelegt werden können. Die beiden Teilgetrieben (TG1 und TG2) sind unabhängig voneinander mit dem Verbrennungsmotor verbunden. Über Klauenkupplungen kann der Verbrenner komplett entkoppelt oder einem der beiden Teilgetriebe zugeschaltet werden. Die vier Schaltaktoren sind direkt am Getriebegehäuse verbaut (siehe Abbildung 9)

3.1.6 Schaltaktor Design

Die Basis des Schaltaktors für die Gangstellung bildet ein 12V BLDC-Motor. Durch die entsprechende Übersetzung von 20:1 kann ein maximales Drehmoment von 15Nm an der Ausgangswelle über einen Winkelbereich von 45° realisiert werden. Zusätzlich ist der Aktor mit einem Rotationssensor ausgestattet, der eine präzise interne Positionsüberwachung ermöglicht. Diese Kombination aus leistungsstarkem Motor und genauer Sensorik gewährleistet eine zuverlässige Steuerung der Gangstellung.

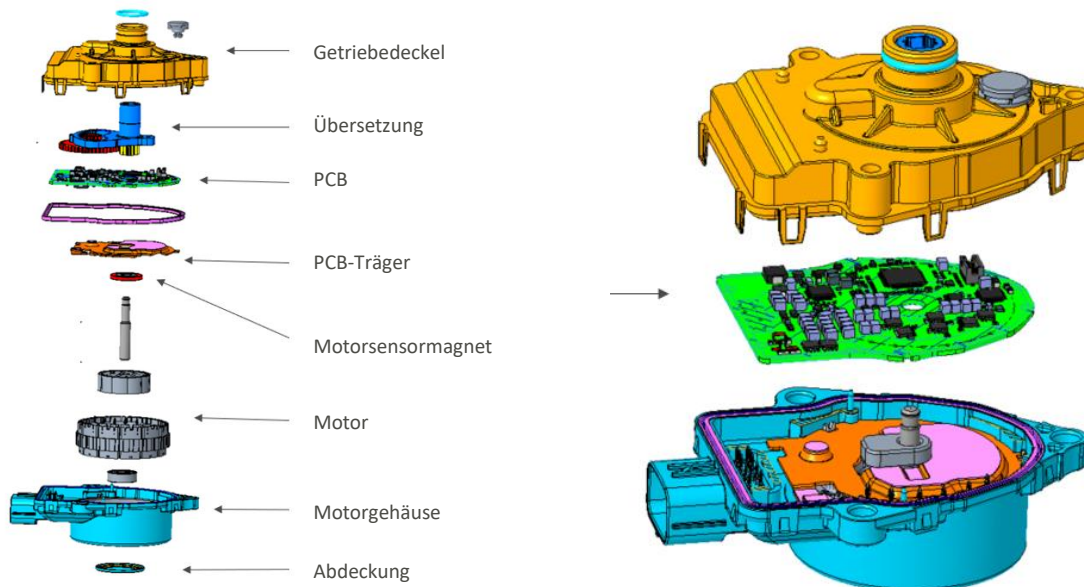


Abbildung 10: Aufbau Aktor

3.1.7 Mechanische Integration

Die mechanische Schnittstelle zur Aktuierung der Klauenkupplungen bildet ein Hebelarm, der in das Schiebegerüste der Schaltgabeln eingreift. Dadurch wird die Rotationsbewegung des Aktors in eine Linearbewegung der Schaltgabel und schließlich der Schiebemuffe der Klauenkupplung transformiert (siehe Abbildungen 13, 14, 15).

Das IMS erstellte erste Berechnungen, aus denen die zu erwartenden Maximalkräfte abgeleitet werden konnten, die zur Aktuierung der Klauenkupplungen notwendig sind. Diese Berechnungen, zusammen mit dem Design der Klauenkupplungen (ebenfalls vom IMS), dienen als Ausgangsbasis für die spezifische Auslegung der Hebelarme jedes Aktors. Das Design der Kupplungen ist entscheidend für die notwendigen Distanzen von der Neutralstellung (C_0) über den Kiss-Point (KP) bis zur Endlage (C_1/C_2) der Schaltmuffe (siehe Abbildung 12).

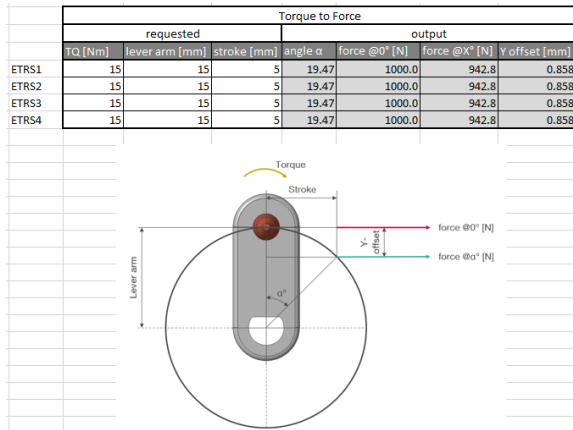
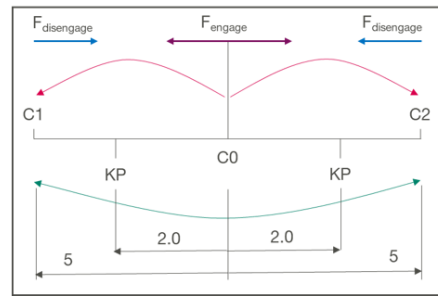


Abbildung 11: Hebeldesign; Dimensionsabhängigkeiten



ID	Pos #	Pos C0	Stroke C1	Stroke C2	Lever arm
ETRS1	TG1	3	0	+5 -5	15
ETRS2	TG2	3	0	+5 -5	15
ETRS3	VM	2	0	+5 -5	15
ETRS4	VM	2	0	+5 -5	15

Abbildung 12: Positionsabhängigkeit Klauenkupplungsdesign

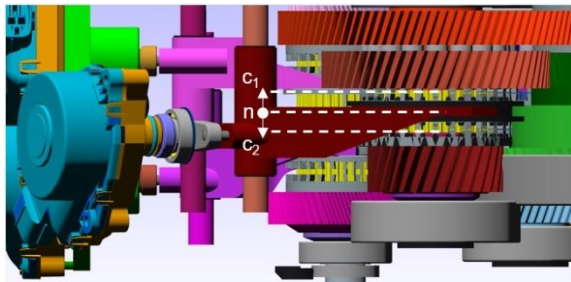


Abbildung 13: Aktorintegration TG1 (ETRS1)

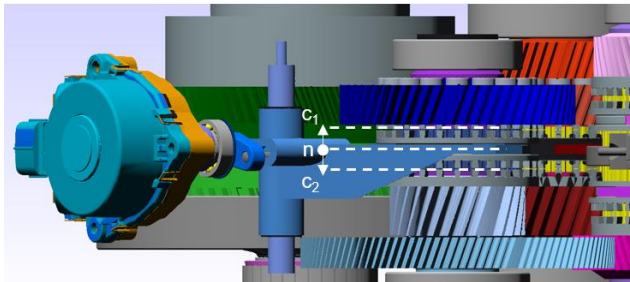


Abbildung 14: Aktorintegration TG2 (ETRS2)

Um die Gänge der Teilgetriebe TG 1 und TG 2 schalten zu können, muss der Aktor drei definierte Positionen anfahren: Neutral „n“, Closed 1 „c₁“ und Closed 2 „c₂“ (siehe Abbildungen 13 und 14). Die beiden Klauenkupplungen auf der Verbrennereingangswelle hingegen haben nur zwei Betriebspunkte: Neutral „n“ und Closed 1 „c₁“. Der Bewegungsablauf zwischen den Endlagen (n, c₁, c₂) ist Teil der sogenannten Trajektorienplanung, deren Ausarbeitung und Optimierung im Arbeitspaket 8.3 DE-Getriebesteuerung erfolgt.

Da der Verbrennungsmotor mit beiden Teilgetrieben (TG1 und TG2) über die Verbrenneingangswelle verbunden ist, können die Teilgetriebe über die Schaltaktoren ETRS 3 (TG1) und ETRS 4 (TG2) eingekoppelt bzw. entkoppelt werden. Das gleichzeitige Einlegen beider Klauenkupplungen würde zu einem sofortigen Verblocken des Getriebes führen. Dieser Zustand muss unbedingt vermieden werden, da er zum Blockieren der Antriebsräder und somit zu kritischen Fahrsituationen oder zu Komponentenschäden (Getriebeschaden) aufgrund plötzlicher Überbelastung führen kann. Neben der sensorischen Positionserfassung und Überwachung im übergeordneten zentralen Steuergerät wurde als zusätzliche Absicherung eine mechanische Verbindung (Coupling) zwischen den Schaltgabeln vorgesehen (siehe Abbildung 16).

Die Ansteuerung der Aktoren wurde entsprechend angepasst und erfolgt gemäß nachfolgendem Schema:

- **Zuschalten Teilgetriebe TG1 ($n \rightarrow c_1$):**
 - ETRS 3 aktiv, ETRS 4 inaktiv
 - ETRS 3 zieht ETRS 4 in die 0-Position
- **Entkoppeln Teilgetriebe TG1 ($c_1 \rightarrow n$):**
 - ETRS 3 aktiv, ETRS 4 inaktiv
 - ETRS 3 schiebt ETRS 4 in die n-Position (neutral)
- **Zuschalten Teilgetriebe TG2 ($n \rightarrow c_2$):**
 - ETRS 3 inaktiv, ETRS 4 aktiv
 - ETRS 4 zieht ETRS 3 in die 0-Position
- **Entkoppeln Teilgetriebe TG2 ($c_2 \rightarrow n$):**
 - ETRS 3 inaktiv, ETRS 4 aktiv
 - ETRS 4 schiebt ETRS 3 in die n-Position (neutral)

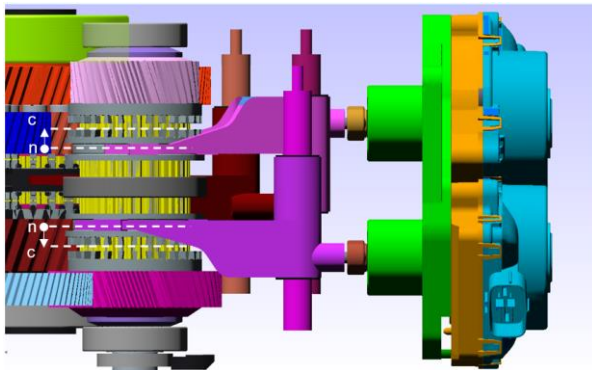


Abbildung 15: Aktorintegration ETRS3 & 4

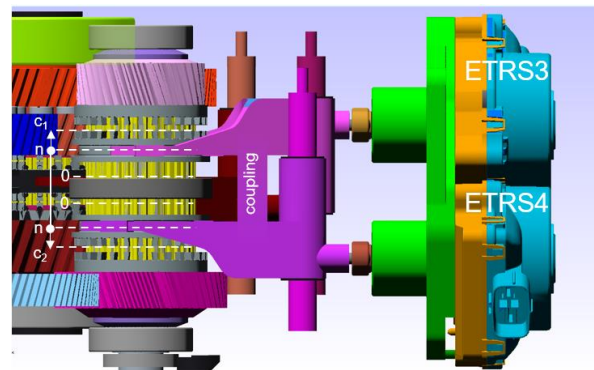


Abbildung 16: Mechanische Kopplung Schaltgabel 3 & 4

3.1.8 Prüfstandserprobung

Für die Inbetriebnahme der Prototypen und deren Grunderprobung wurde ein Prüfstand konzipiert und aufgebaut. Ziel ist es, die Funktionalität der Hard- und Software auf Komponentenebene (ETRS) zu gewährleisten und in verschiedenen Testszenarien zu optimieren. Beide Seiten der Klauenkupplung sind mit einem Elektromotor verbunden, um verschiedene Differenzdrehzahlen zwischen den Kupplungselementen einstellen zu können. Über den Hebel wird die Rotation der Aktorausgangswelle in eine lineare Bewegung des Schiebegerüstes, der Schaltgabel und letztendlich der Schiebemuffe der Klauenkupplung überführt. Im Schiebegerüst sind auch die Arretierungen der Endlagen (c_1 , n ,

c₂) über Feder-Kugel-Elemente realisiert. Die Ansteuerung des Aktors erfolgt über ein sogenanntes CANcase mittels CANape-Software.

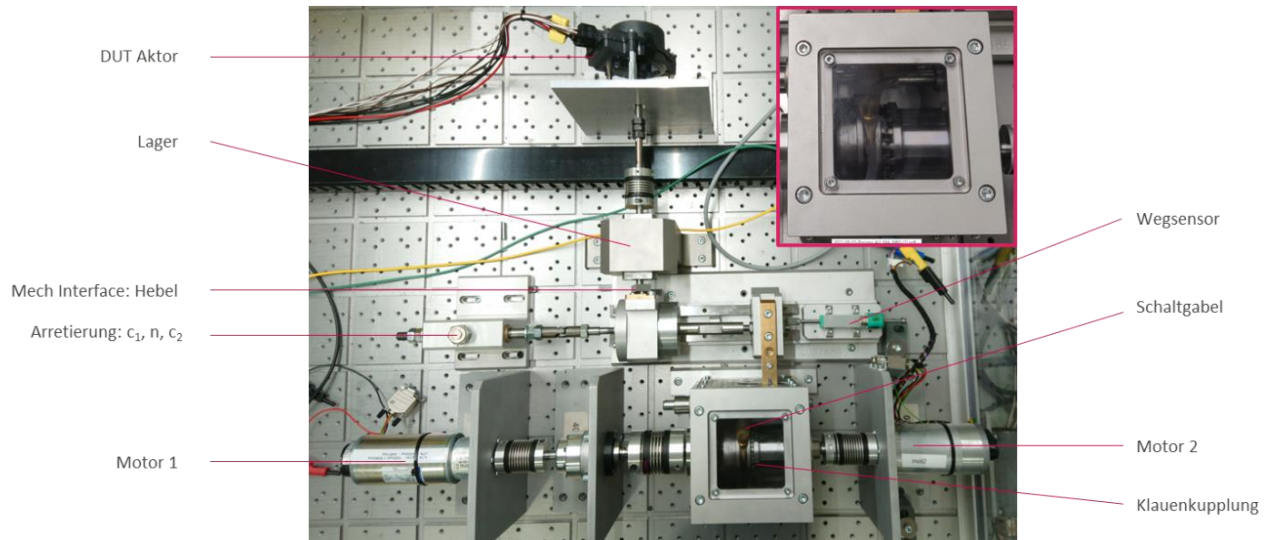


Abbildung 17: Prüfstand Klauenkupplung

3.1.9 AP5.4: Entwicklung Ölkreislauf

In Zusammenarbeit mit der ISAR Getriebetechnik KG und dem IMS wurde das Grundkonzept für den Ölkreislauf entwickelt. Im ersten Design wurde die Ölpumpe seitlich an das Getriebegehäuse angeflanscht und saugte über einen Filter im sogenannten Ölsumpf an. Anschließend sollte ein Verteiler mit einem definierten Volumenstrom (dV/dt) versorgt werden. Der Verteiler teilt den Ölstrom in zwei Komponenten auf:

- **Einspritzung:** direkte Beölung von Lagern und Zahneigriffen
- **Wärmetauscher:** regelbarer Durchfluss zur thermischen Konditionierung des Getriebeöls

Beide Teilkreise sollten schließlich in den Ölsumpf zurückgeführt werden.

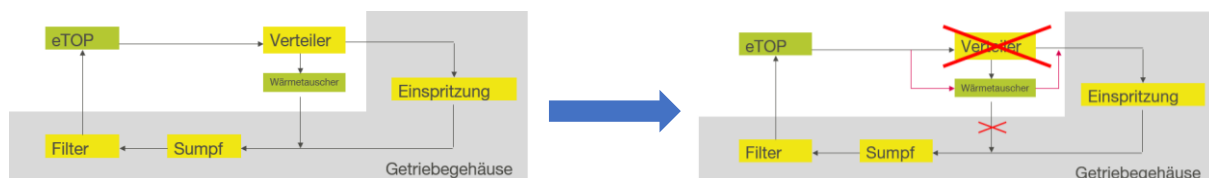


Abbildung 18: Schema Ölkreislauf Subkomponenten

Auf Basis des vorliegenden Getriebemodells nahm ISAR Getriebetechnik KG eine erste Abschätzung der für die Schmierung notwendigen Ölvolumina an verschiedenen Schmierstellen vor. Diese Ergebnisse dienen als Ausgangsbasis für die weitere Auslegung der Einzelkomponenten wie Ölfilter und Wärmetauscher. Eine nähere Betrachtung der Volumenströme zeigte, dass auf die Integration des ursprünglich geplanten Verteilers (mechanische Einheit zur Aufspaltung des Ölstroms mit Vorzug der Einspritzung, siehe Abb. 18) verzichtet werden konnte. Ausschlaggebend war, dass erste

Berechnungen am Designentwurf ergaben, dass die Strömungsverluste im Wärmetauscher deutlich geringer ausfallen als ursprünglich erwartet. Der gesamte Ölvolumenstrom kann kontinuierlich durch den Wärmetauscher geführt werden, was den Temperaturübergang zwischen Kühlmittelkreislauf der Leistungselektronik und Getriebeöl verbessert, die Komplexität des Ölkreislaufs verringert und zusätzlichen Bauraum im Vorderwagen einspart.

Im weiteren Verlauf fokussierte Vitesco seine Aktivitäten auf das Design und die Funktionalitäten der Ölkreis Komponenten:

- **Filter:** Schutz der Ölpumpe → Reinheitsklasse ISO 4406; -/17/14
- **eTOP:** Regelbarer Ölfluss (dV/dt) für Schmierung und thermische Konditionierung
- **Wärmetauscher:** Interface Ölkreis zu Kühlmittelkreis Leistungselektronik & E-Maschinen
- **Einspritzung:** Bedarfsabhängige Direktschmierung von Lagern und Zahneingriffen

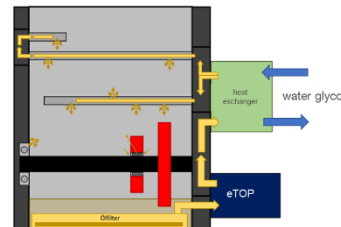
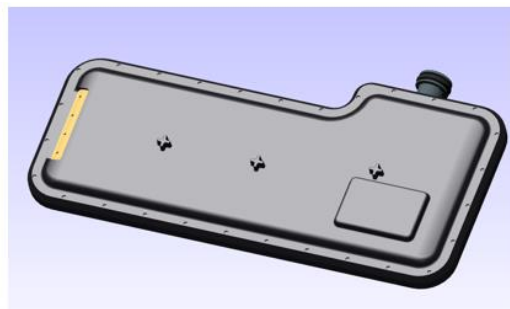
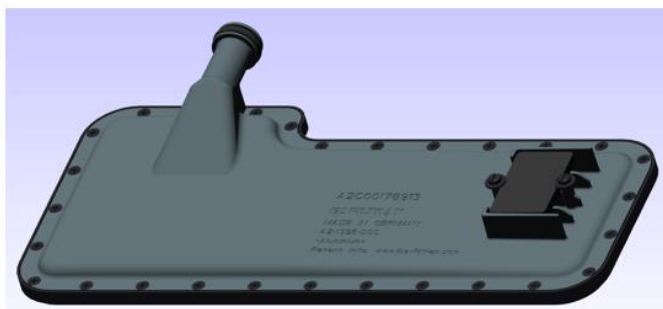


Abbildung 19: Konzept Ölkreislauf

3.1.10 Auslegung und Design Ölfilter

Auf Basis applikationsspezifischer Anforderungen (z.B. zulässige Partikelgröße, Reinheitsklasse ISO 4406, Durchflussmenge, Strömungswiderstand) und den vorherrschenden Bauraumbedingungen wurde ein Ölfilter für den Getriebeölkreislauf ausgelegt und ein Prototypendesign erstellt. Dies erfolgte in enger Abstimmung zwischen den Partnern IMS, ISAR-Getriebetechnik KG, Vitesco und IBS-Filtran. Die IBS-Filtran GmbH, ein langjähriger Partner von Vitesco, wurde mit der Fertigung der Prototypen beauftragt. Die Designvalidierung erfolgte auf Basis von CFD-Simulationen (CFD: Computational Fluid Dynamics).



- Oberschale: Aluminium
- Unterschale: Aluminium
- Stützgitter: PDX glasgestrahlt (3-D Druck)
- Metallgewebe: Edelstahl; Maschenweite 71µm
- Filtermedium: Z-Pore35
- O-Ring: AEM
- Magneten: HF 24/23

Abbildung 20: Design Ölfilter

3.1.11 Auslegung und Design Wärmetauscher

Ebenso wurde auf Basis abgeleiteter Anforderungen (z.B. Temperaturverhältnisse auf beiden Fluidseiten, Volumenströme, Kennwerte Öl/Kühlmittel) und den vorherrschenden

Bauraumbedingungen ein Wärmetauscher für den Getriebeölkreislauf und den Kühlmittelkreislauf der E-Maschine/Inverter ausgelegt und ein Prototypendesign erstellt. Dies erfolgte in enger Abstimmung zwischen den Partnern IMS, ISAR-Getriebetechnik KG, Vitesco und Modine. Die Modine Europe GmbH, ebenfalls ein langjähriger Partner von Vitesco, wurde mit der Fertigung der Prototypen beauftragt.

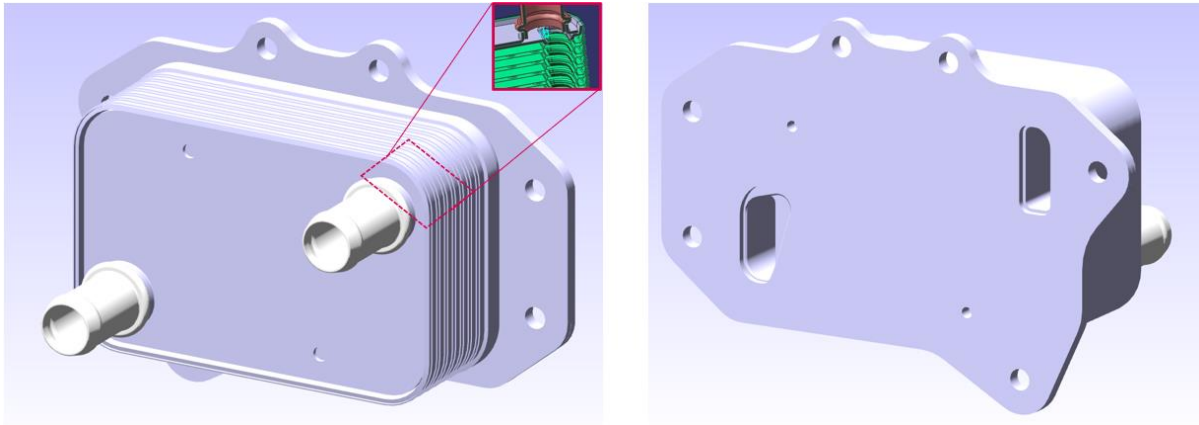


Abbildung 21: Design Wärmetauscher

Letztlich basiert das Design des Wärmetauschers auf Rohrplatten mit den Abmessungen 110 mm x 70 mm, deren Anordnung 8 Passagen auf der Kühlmittelseite und 7 Passagen auf der Ölseite ergibt. Über Stutzen an der Oberseite kann der Kühlkreislauf mit entsprechenden Schläuchen angeschlossen werden. Der Anschluss auf der Ölseite erfolgt über die Flanschplatte, mit der der Wärmetauscher am Getriebe verschraubt wird. Zur Ölführung im Wärmetauscher dienen Fräskanäle direkt in der Gehäusewandung.

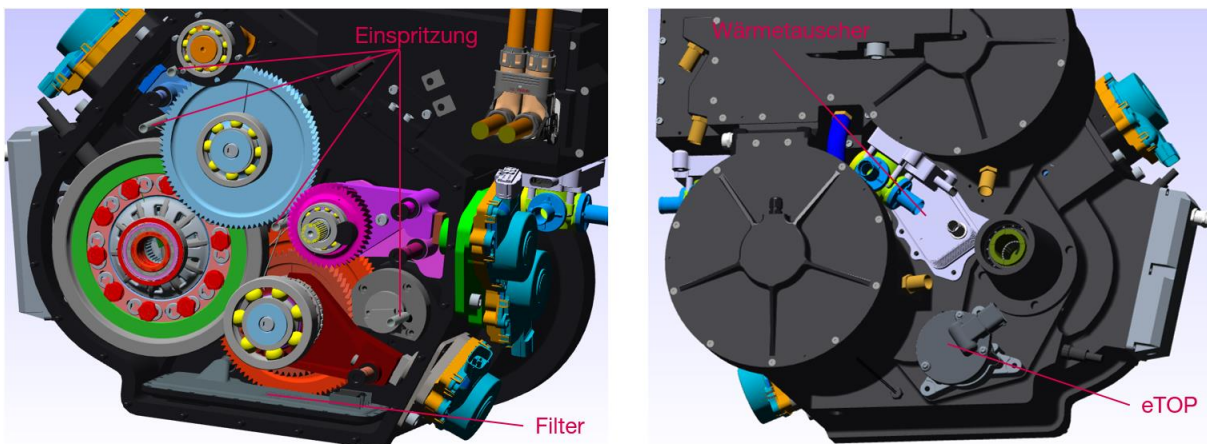


Abbildung 22: Komponenten Ölkreislauf Einbauort

Weiter hatte Vitesco in Zusammenarbeit mit der PETRONAS LUBRICANTS Deutschland GmbH, einem Lieferanten für Automotive-Fluide (Getriebeöle, Kühlmittel etc.), eine Vorauswahl von Getriebeölen für das Projekt getroffen. Dabei wurde auch die Verträglichkeit der vorgeschlagenen Fluide mit den Kunststoffkomponenten, die in direkten Ölkontakt kommen, bewertet. Dies betraf die sogenannten Schaltgabelschuhe (Abbildung 23) und die Arretierung der Schiebemuffe (Abbildung 24).

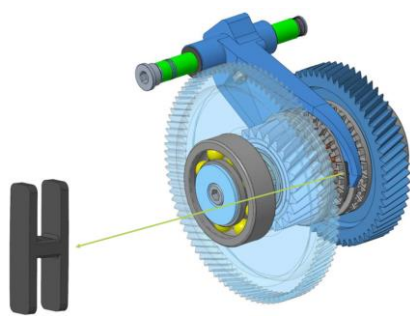


Abbildung 23: Schaltgabelschuh

Konstruktion der Arretierung und der Einstellbarkeit der Schaltgabel

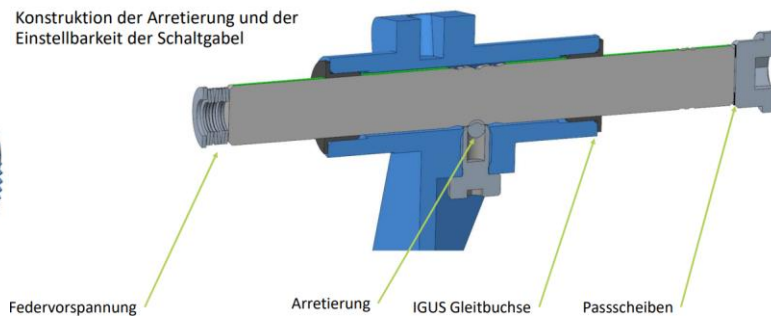


Abbildung 24: Schaltgabelarretierung

Die Verträglichkeit wurde durch Eintauchen der Komponenten in das Öl und anschließendes Altern bei 100°C für 500 Stunden geprüft. Die Bewertung erfolgte durch Messung der Änderung der Härte und des Volumens der Komponenten. Zusätzlich wurde eine vollständige Charakterisierung des Fluids vor und nach dem Alterungsprozess mittels IR-Spektroskopie durchgeführt.

Die Ergebnisse der Materialverträglichkeitstests mit den Getriebeölen lassen wie folgt zusammenfassen.

Schaltgabelarretierung

Die Fluide hatten keinen Einfluss auf die Materialien der Arretierung der Schaltgabel. Es wurden keine Änderungen in den Abmessungen, im Volumen oder in der Härte festgestellt. Die Öle behielten nach dem Alterungstest alle ihre Eigenschaften bei und es wurden keine Verunreinigungen durch Inhaltsstoffe der Komponente nachgewiesen. Somit gab es keine Materialkorrosion der Schaltgabelarretierungen.

Schaltgabelschuh

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Fluide von den Komponenten in sehr geringer Menge absorbiert wurden. Die Komponenten zeigten nach dem Alterungstest eine geringe Änderung der Härte. Signifikante Änderungen in den Abmessungen konnten nicht festgestellt werden. Da eine Härteänderung von maximal -13 IRHD akzeptabel war, konnten die Flüssigkeiten als kompatibel angesehen werden. Die Öle behielten nach dem Test alle ihre Eigenschaften bei und es wurden keine Verunreinigungen aus der Komponente gefunden. Es gab keine nachweisbare Auflösung oder Korrosion des Materials.

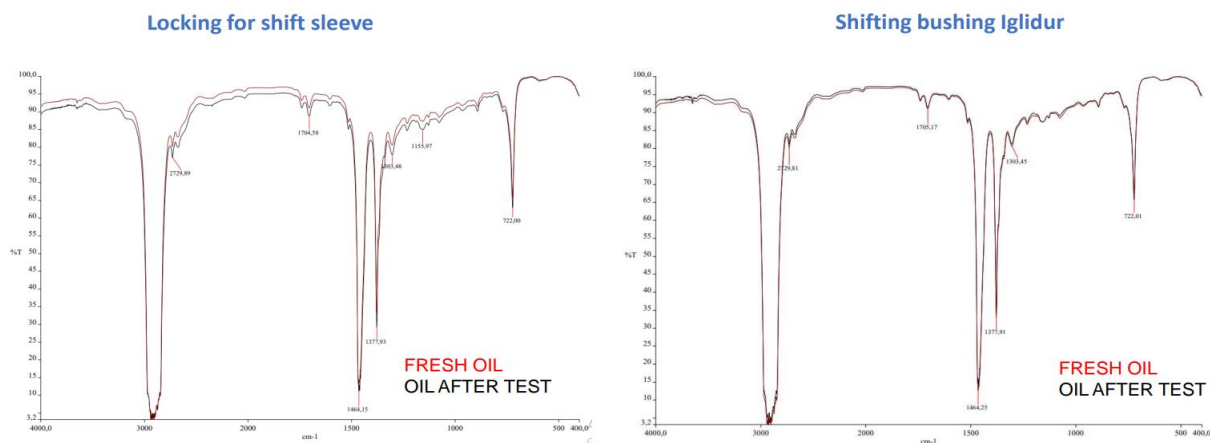


Abbildung 25: Ergebnisse IR-Spektroskopie (Schaltgabelarretierung (l.) & Schaltgabelschuh (r.))

Auf Basis von Kenndaten der Öle wurden erste Simulationen am IMS durchgeführt. Ziel war es, den Einfluss der thermischen Vorbehandlung in Kombination mit den unterschiedlichen Schmiereigenschaften auf die Gesamteffizienz des Getriebes zu ermitteln.

3.1.12 AP5.5: Entwicklung Gehäuse

Die Schaltaktoren werden direkt am Getriebegehäuse montiert. Der Hebel des Aktors an der Ausgangswelle greift durch eine Öffnung im Gehäuse in die jeweilige Schaltgabel ein und bildet so das mechanische Interface zwischen Aktor und Schaltgabel. Die notwendige Gehäuseöffnung erfordert ein Abdichtkonzept nach außen, um ein Austreten des Getriebeöls zu verhindern. Gleichzeitig ist eine Abdichtung zum Inneren des Aktors notwendig, da das Getriebeöl Korrosionseffekte verursachen und die Elektronik im Aktor beschädigen kann. Die Lösung besteht in Montageadaptern für die einzelnen Schaltaktoren. Ein Simmering auf der Ausgangswelle dichtet das System nach innen ab, während O-Ringe zwischen Gehäuse und Flanschplatte die Abdichtung nach außen gewährleisten (siehe Abb. 23, 24).

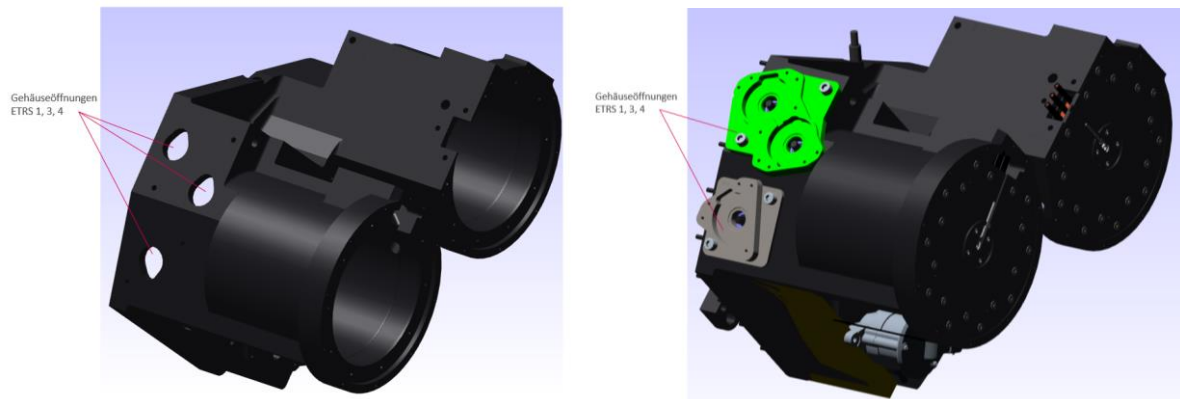


Abbildung 26: Montage Schaltaktoren an Getriebegehäuse

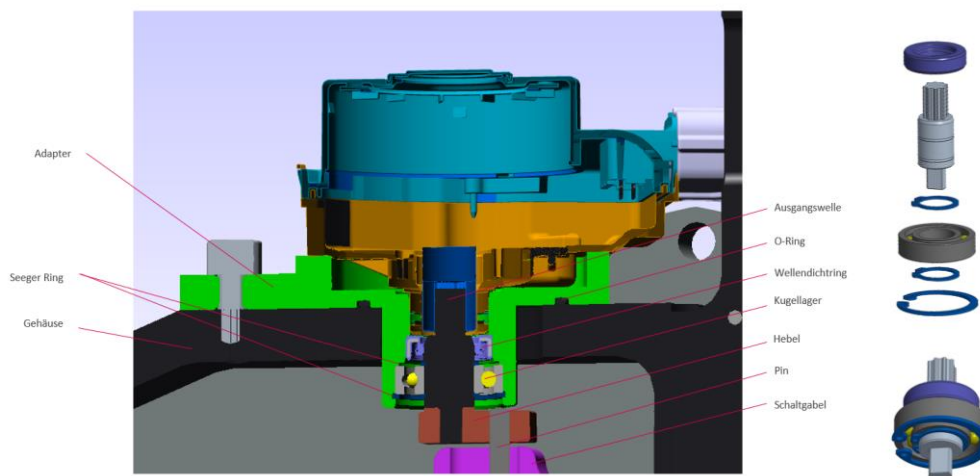


Abbildung 27: Montage Schaltaktoren

3.1.13 AP5.7: Montage

Der Aufbau der prototypischen Hardware wurde termingerecht abgeschlossen. Alle erforderlichen Komponenten wurden fristgerecht an den Partner Isar Getriebetechnik KG übergeben, um die Montage der Getriebe zu ermöglichen.

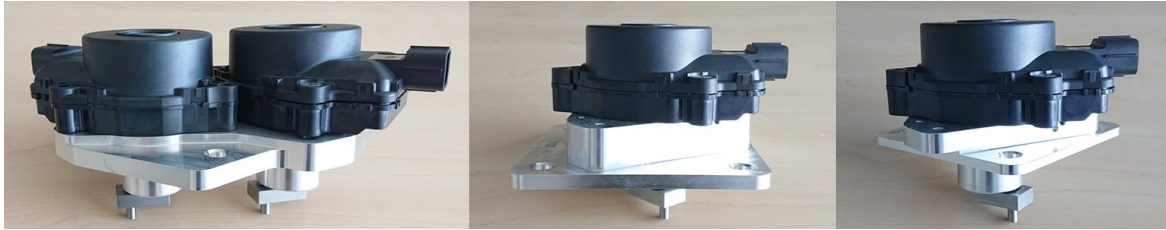
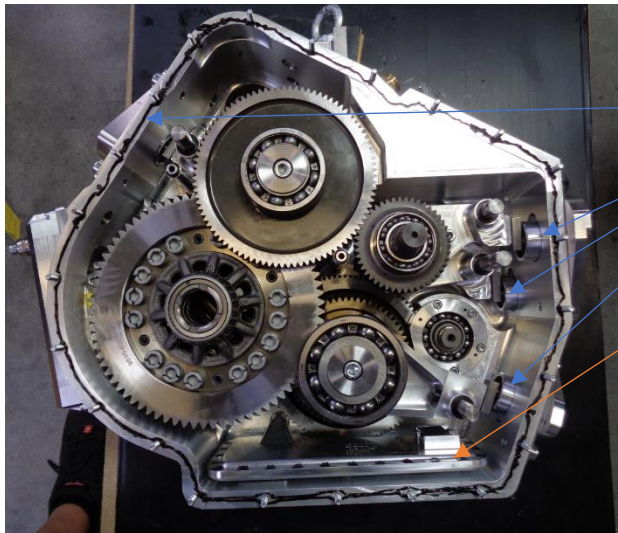


Abbildung 29: Prototypen der Schaltaktoren ETRS 1 - 4



Abbildung 28: Prototypenkomponenten Ölkreislauf (eTOP, Wärmetauscher, Ölfilter)



Montageadapter inkl. Gehäusedurchführung und Hebelarm (mech. Interface zur Schaltgabel)

Ölfilter

Abbildung 30: Getriebe montiert offen

3.1.14 AP5.8: Mechanische Grunderprobung

Beölungstest des Getriebes

Der Beölungstest für das Getriebe wurde erfolgreich abgeschlossen. Detaillierte Informationen sind im Zwischenbericht von ISAR-Getriebetechnik KG dargestellt. Die Funktionalität des Getriebes wurde durch thermografische Analysen umfassend überprüft. Vitesco unterstützte den Test durch die Bereitstellung einer Pumpenstufe, die der mechanischen Komponente der elektronischen Ölpumpe entspricht, wie sie im Fahrzeug und am Getriebeprüfstand der TU Darmstadt verwendet wird. Diese Pumpenstufe wurde mit einem externen Antriebsmotor gekoppelt und in den Prüfstand von ISAR-Getriebetechnik KG integriert.

Zusätzlich wurden verschiedene Betriebsbedingungen simuliert, um die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Beölung unter realistischen Szenarien zu testen. Die Ergebnisse bestätigen die Funktionalität des Systems, was einen wichtigen Schritt in der Entwicklung des Getriebes darstellt.

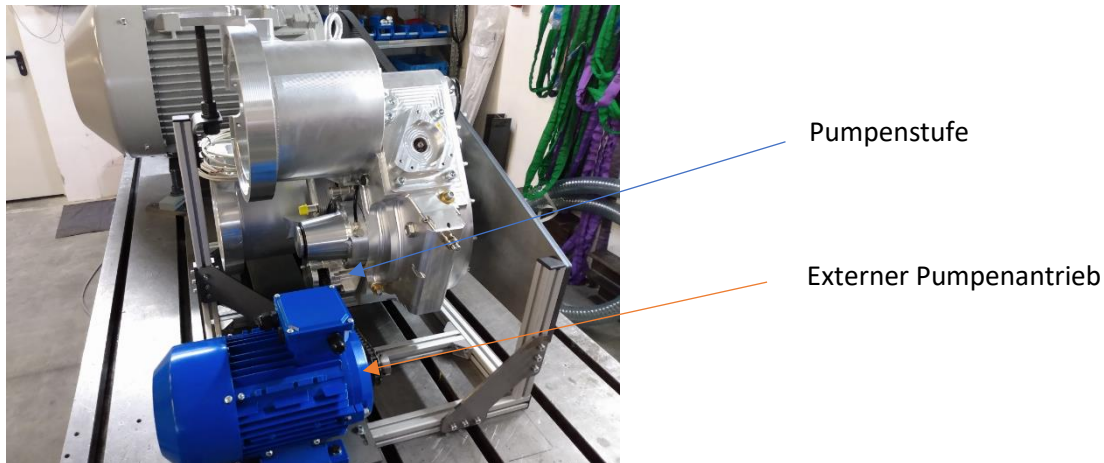


Abbildung 31: Testaufbau Beölungstest bei ISAR Getriebetechnik KG

Inbetriebnahme der Aktoren am Prüfstand

Initiale Kalibrierung

Mit der initialen Kalibrierung wurden alle Schaltaktoren auf die mechanischen Gegebenheiten im Getriebe angepasst. Hauptsächlich galt es zu prüfen, ob die Neutral- und Endlagen vom Aktor angefahren werden können. Für die Ermittlung der Parameter wurde das Verhalten jedes Aktors einzeln im verbauten Getriebe beobachtet. Anschließend wurde der ermittelte Parametersatz (siehe Abbildung 28) auf den jeweiligen Aktor gespeichert, damit dieser bei späteren Einschaltvorgängen sofort zur Verfügung steht.

Eine Besonderheit stellten hier die Aktoren ETRS3 und ETRS4 dar, da die Schaltgabeln zur Aktuierung der beiden Klauenkupplungen mechanisch verbunden sind und somit bei einem Schaltvorgang beide Aktoren verfahren werden (siehe Abbildung 29). Die Verbindung **ist** Teil des Sicherheitskonzeptes für die Fahrzeugerprobung und verhindert, dass beide Klauenkupplungen – durch einen Fehler – gleichzeitig geschlossen werden. Dies würde dazu führen, dass das Getriebe blockiert und entsprechend Schaden nimmt.

Aufgrund eines zu diesem Zeitpunkt nicht ohne unverhältnismäßig großen Aufwand behebbaren Defektes am Prüfstand konnte die initiale Kalibrierung nur bei stehendem Getriebe durchgeführt werden. Bei Bedarf erfolgt eine weitere Anpassung, wenn mehr Erfahrungen aus dem realen Betrieb vorliegen.

Name	Value
AcBldcM_ControlParameter[0]_Position	1450
AcBldcM_ControlParameter[0]_SpeedG	10
AcBldcM_ControlParameter[0]_SpeedG	350
AcBldcM_ControlParameter[0]_SpeedG	330
AcBldcM_Pr_Parameter.m_targetReach	200 ms
AcBldcM_Pr_Parameter.m_targetReach	0.8 °
AcBldcM_Pr_Parameter.PrndPosReque	23 °
AcBldcM_Pr_Parameter.PrndPosReque	-23 °
AnglOffsetDsrCs_AcDcTrP	0 °
TmPreEngaCs_AcDcTrP	0.05 s
TmEngaCs_AcDcTrP	0.05 s
TmPreWaitCs_AcDcTrP	0.05 s
LenArmActCs_AcDcTrP	0.015 m
PosEngaVal_AcDcTrP	0.0052 m
PosPreEngaVal_AcDcTrP	0.002 m
PosEngaDiffVal_AcDcTrP	0.003 m
TmEngRetryCs_AcDcTrP	0.3 s
AcBldcM_ControlParameter[0]_Currentf	15 A
AcBldcM_ControlParameter[0]_Currentf	15 A
PosThrEngRetryCs_AcDcTrP	0.0003 m

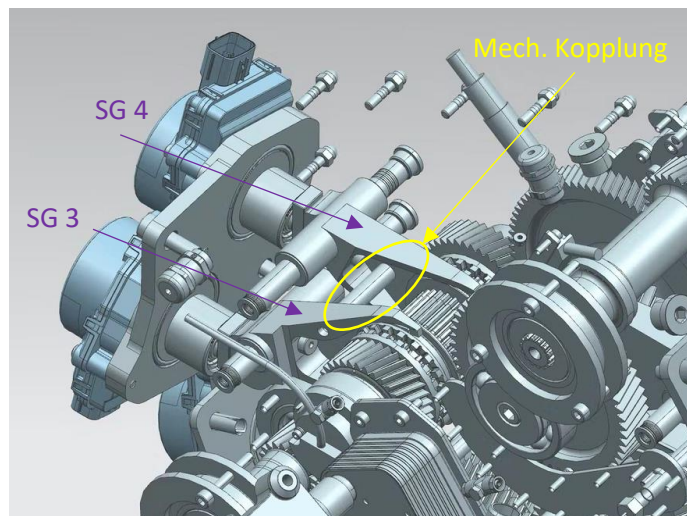


Abbildung 32: Übersicht der geänderten Parameter Abbildung 33: Mech. Kopplung der Schaltgabeln für KK 3 & 4

Optimierung der Schaltgeschwindigkeit

Die Schaltgeschwindigkeit lässt sich über Regel-Parameter justieren. Bei der Übergabe der Schaltaktoren an das IMS waren Basiswerte für diese Parameter eingestellt; dies hatte zur Folge, dass die Schaltgeschwindigkeit nicht den notwendigen Anforderungen entsprach. Durch die Kalibrierung der Regler konnte die Einlegezeit auf 170 ms und die Auslegezeit auf 80 ms reduziert und somit die geforderten Zielwerte erlangt werden. Zu beachten ist hier, dass durch das Anfahren des Kisspoints mittels Trajektorienplanung Zeit beim Einlegen, im Vergleich zum Auslegen, verloren geht. Die Schaltrajektorie beschreibt dabei die Anpassung der Drehzahl (n) des Aktors in Abhängigkeit des Drehwinkels ($\hat{=}$ Position Schaltgabel/Klauenkupplung) beim Ein- und Auslegen der Klauenkupplung.

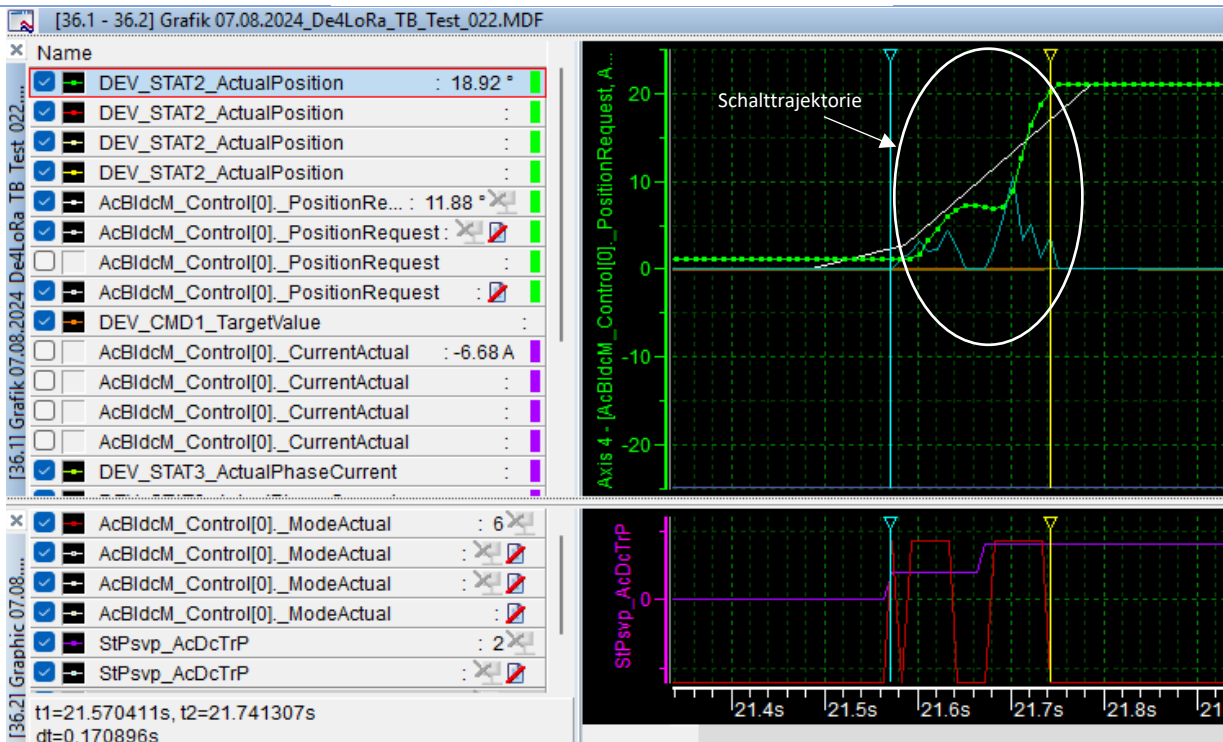


Abbildung 34: Einlegevorgang mit Trajektorienplanung

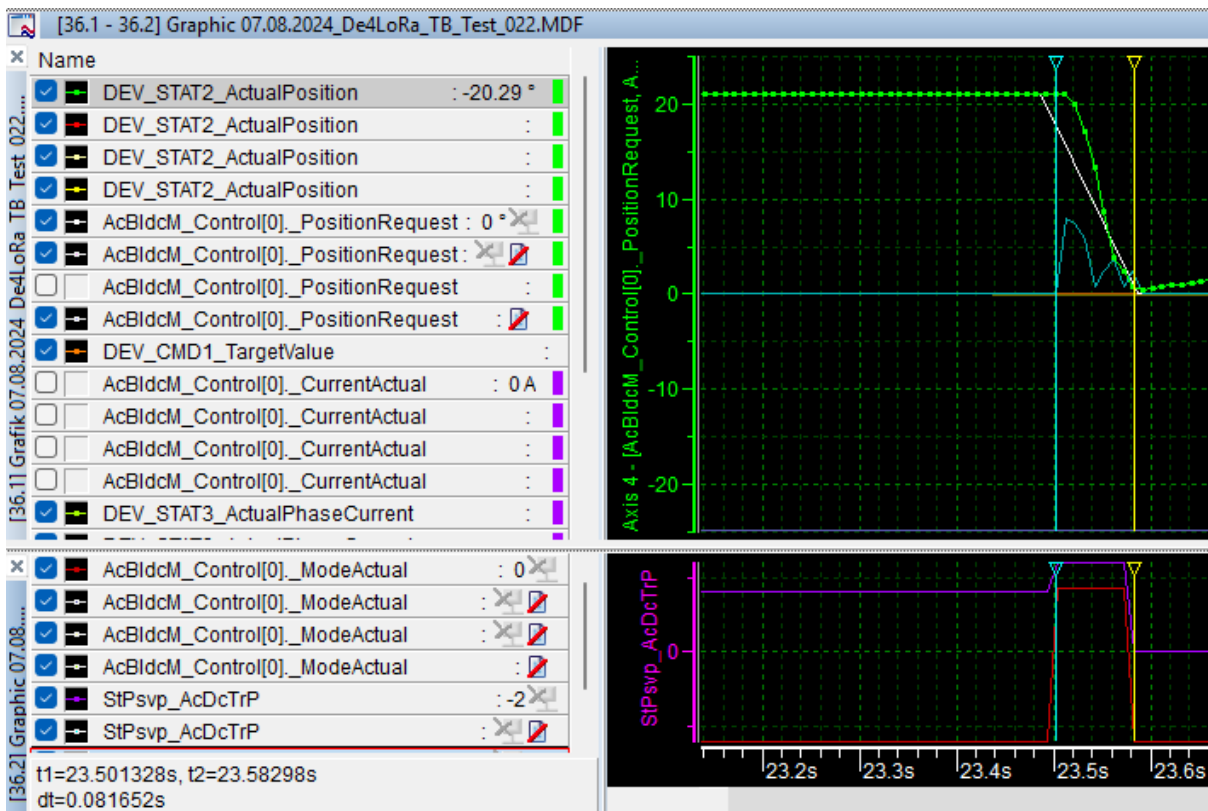


Abbildung 35: Auslegevorgang

Des Weiteren stellt die Verkabelung der Aktoren einen limitierenden Faktor für die Schaltzeit dar. Schnellere Schaltzeiten führen zu höheren Strömen. Die Verkabelung im Zielfahrzeug erlaubt maximal 15 A, wodurch eine aggressivere Parametrierung der Regler zu Problemen führen könnte.

Eine besondere Rolle spielen hierbei ETRS3 und ETRS4 aufgrund der mechanischen Kopplung der beiden Schaltgabeln. Durch das Mitschleppen des jeweils anderen Aktors erhöht sich die zu bewegende Masse bzw. der mechanische Widerstand, was zu einem höheren Stromverbrauch führt, um die gleiche Schaltgeschwindigkeit zu erreichen.

Herausforderung

Während der ersten Tests am Klauenkupplungsprüfstand des IMS zeigte sich ein fehlerhaftes Verhalten des Aktors in der sogenannten Zahn-auf-Zahn-Stellung beim Einlegen der Klauenkupplung. Der Aktor deaktivierte sich in dieser Situation ungewollt, wodurch die gespeicherte elastische Energie im System (Aktor/Schaltgabel) ein Rückfedern der Kupplung verursachte, was zu einem „Überschießen“ der Neutrallage in die Gegenrichtung führte. Dieses Verhalten könnte im Getriebe zu einer kritischen Situation führen, bei der ungewollt ein falscher Gang eingelegt wird. Darüber hinaus nahm der Aktor im deaktivierten Zustand für 10 Sekunden keine weiteren Kommandos entgegen („Totzeit“).

■ Ist-Position ■ Regler Zustand

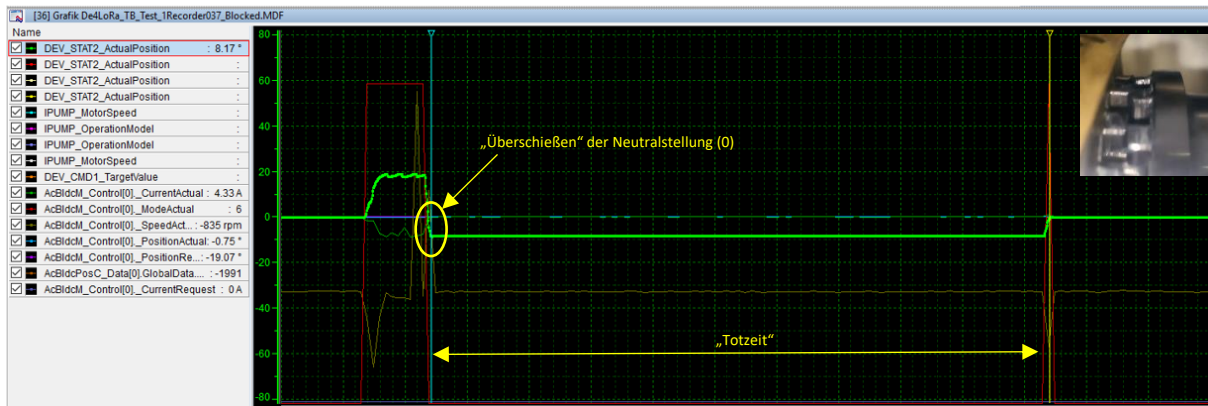


Abbildung 36: Verhalten Zahn auf Zahn Situation

Ursache und Abstellmaßnahme

Die Fehleranalyse ergab, dass die Ursache für dieses Verhalten eine in der Basissoftware integrierte Schutzfunktion war, die den Aktor bei zu hoher Belastung deaktivierte. Zusätzlich reagierte die Software beim Wiederversuch des Einlegens der Klauenkupplung nicht wie ursprünglich vorgesehen.

Als Abstellmaßnahme wurde der maximal zulässige Strom für den Aktor beschränkt, wodurch sich das maximale Drehmoment des Aktors in der sogenannten Zahn-auf-Zahn-Stellung reduzierte und die mechanischen Kräfte im System sanken.

Durch eine Anpassung der Basissoftware wurde das Verhalten des Aktors beim Wiederversuch des Einlegvorgangs auf das gewünschte Verhalten abgestimmt (siehe Erfolgskontrolle).

Erfolgskontrolle

Mit dem Software-Update und den angepassten Parametern konnte das erforderliche Verhalten des Aktors realisiert werden. Wenn die Zielposition (z.B. bei Zahn-auf-Zahn-Stellung) in der geforderten Schaltzeit nicht erreicht wird, kehrt der Aktor in die Kisspoint-Position zurück, um nach einer kurzen Wartezeit ($< 0,1$ s) den Einlegevorgang erneut zu starten. Dies wiederholt sich so lange, bis eine andere Zielposition, wie z.B. Neutral, angefordert wird.

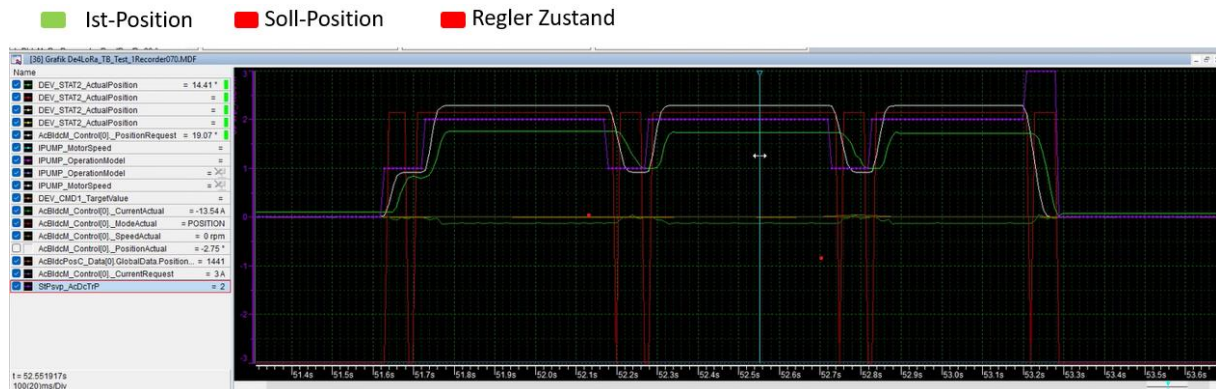


Abbildung 37: Korrektes Verhalten nicht Erreichen der Zielposition (z.B. Zahn auf Zahn Stellung)

AP8.3: Getriebebesteuerung

AP8.3 widmete sich den Bewegungsabläufen der Schaltaktoren während des Schaltvorganges. Insbesondere die Entwicklung einer sog. Schalttrajektorie stand hier im Fokus. Diese beschreibt die Anpassung der Drehzahl (n) des Aktors in Abhängigkeit des Drehwinkels (\triangleq Position Schaltgabel/Klauenkupplung) beim Ein- und Auslegen der Klauenkupplung. Ziel war es, das Einlegen und Öffnen der Kupplung so schnell wie möglich zu ermöglichen, ohne spürbares „Rucken“ und mit minimaler Geräuschbildung, um maximalen Schaltkomfort zu erreichen und gleichzeitig die mechanische Belastung der Getriebekomponenten zu minimieren. Besonderer Fokus lag dabei auf dem Thema „Kisspoint-Accuracy“ und „Overshoot“.

Bei den ersten Versuchen am eigens entwickelten Prüfstand (Abbildung 39) zeigte sich, dass es im definierten Bewegungsprofil des Aktors, insbesondere in der Endlage (Klauenkupplung geschlossen), zu einem Überschwingen (Overshoot) kam (siehe Abbildung 38). D.h. die interne Sensorik des Aktors zeichnete eine Rotation der Abtriebswelle über die eigentliche Endposition (mech. Anschlag der geschlossenen Klauenkupplung) hinaus auf. Da die Endlage durch das mechanische Design von Schiebemuffe und Klauenkupplung fixiert ist, wurde das Systemspiel als mögliche Ursache identifiziert. Für eine detaillierte Untersuchung dieser These wurden Hochgeschwindigkeitsaufnahmen der Schaltvorgänge (Ein- und Auslegen der Klauenkupplung) am Prüfstand angefertigt. Die Highspeed-Aufnahmen bestätigten die Vermutung und es wurde eine intensivere Untersuchung des Themas „Systemspiel“ gestartet.

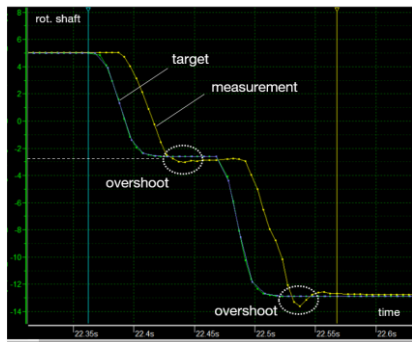


Abbildung 38: Aktor Position über Zeit

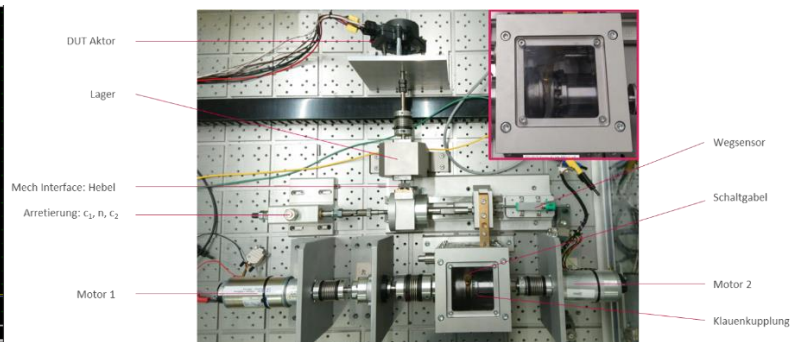
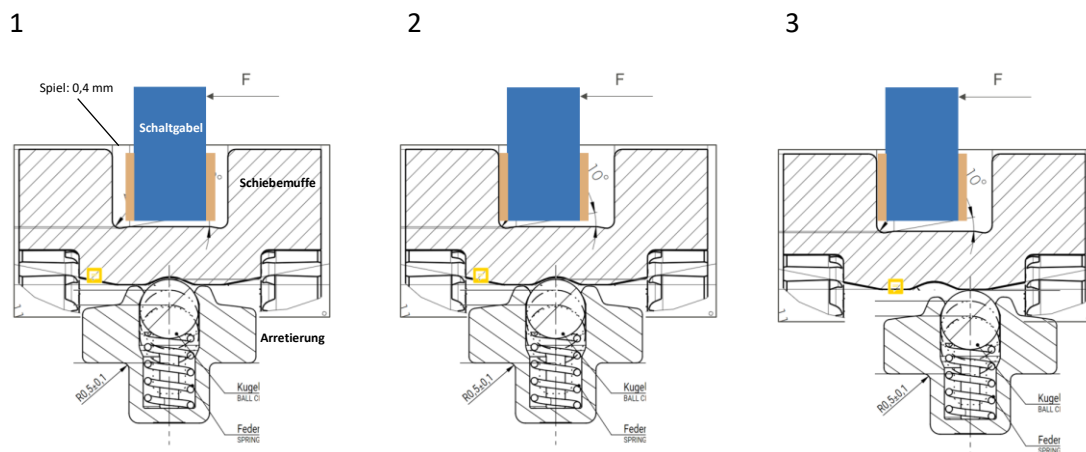


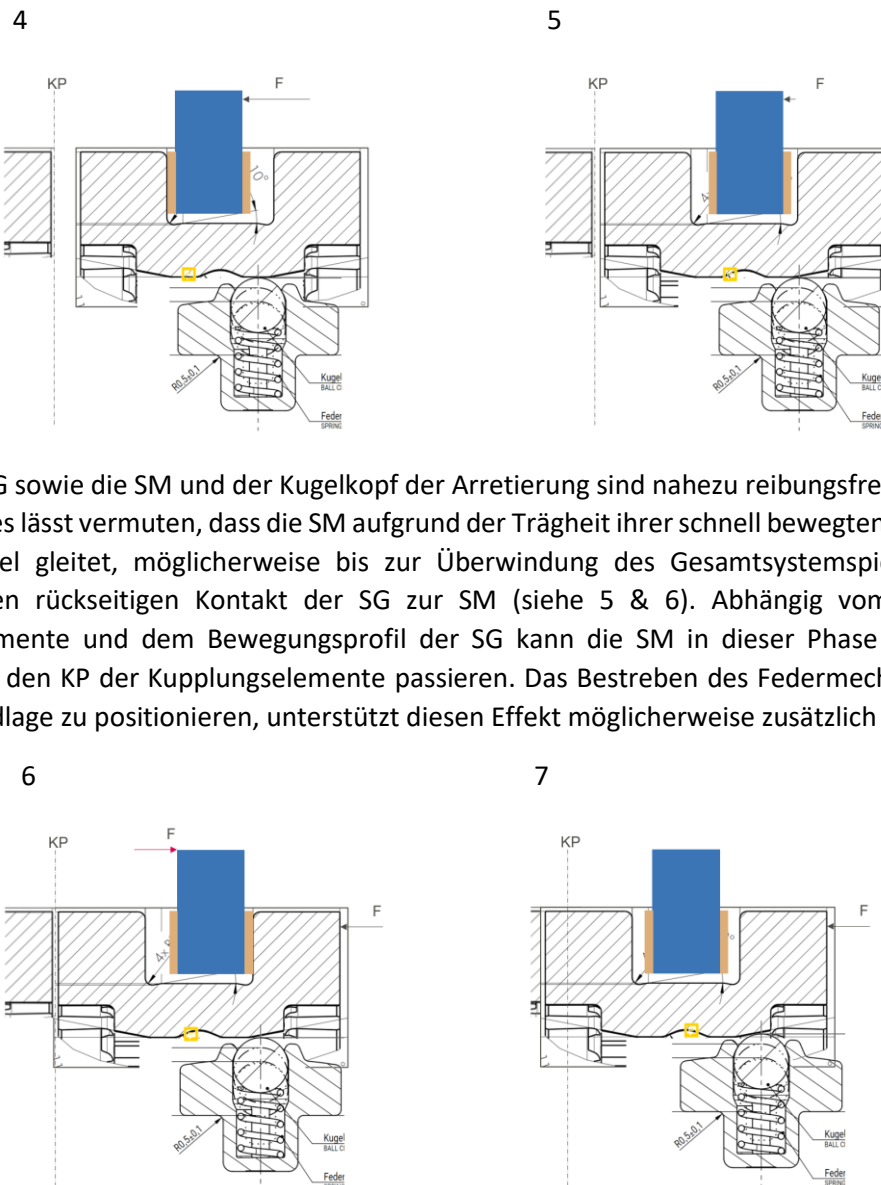
Abbildung 39: Aktor-Prüfstand

Zum besseren Verständnis ist nachfolgend ein Ablaufschema des Schaltvorganges der Klauenkupplung aus der Neutralstellung (n) in die Endlage (c) der geschlossenen Klaue dargestellt.



In Neutralstellung ist die Schiebemuffe (SM), durch insgesamt drei auf den Umfang der SM verteilte Federmechanismen, in ihrer Position arretiert (siehe 1). Zum Einlegen der Klauenkupplung wird die Schiebemuffe (SM) durch die Schaltgabel (SG) in den Zahneingriff der Klauenkupplung (nach links) bewegt (siehe 7). Die Abschrägung der Innenkontur sorgt dafür, dass die SM auch in der Endlage über den Federmechanismus arretiert bleibt.

Zu Beginn des Schaltvorgangs muss die SG (blau) zunächst das „Spiel“ überwinden, bevor sie Kontakt zur SM hat. Bis zu diesem Zeitpunkt bleibt die SM unverändert in der Neutralstellung (n). Mit fortschreitender Bewegung der SG wird die SM aus der Neutralstellung (n) verschoben (siehe 3). Dabei wird die Feder der Arretierung komprimiert und die Kugel befindet sich im planen Bereich der Innenkontur. Die SM nähert sich dem sogenannten „Kiss-Point“ (KP) der Klauenkupplung an (siehe 4). Die Bewegungsgeschwindigkeit der SG wird drastisch reduziert, um den KP langsam zu überwinden. Dies dient dazu, mechanische Belastungen bei einer nicht vollständig abgeschlossenen Synchronisation der Kupplungshälften zu reduzieren und den Schaltkomfort zu gewährleisten.



Die SM und SG sowie die SM und der Kugelkopf der Arretierung sind nahezu reibungsfrei miteinander gekoppelt. Dies lässt vermuten, dass die SM aufgrund der Trägheit ihrer schnell bewegten Masse durch die Schaltgabel gleitet, möglicherweise bis zur Überwindung des Gesamtsystemspiels und dem anschließenden rückseitigen Kontakt der SG zur SM (siehe 5 & 6). Abhängig vom Design der Kupplungselemente und dem Bewegungsprofil der SG kann die SM in dieser Phase des Gleitens unkontrolliert den KP der Kupplungselemente passieren. Das Bestreben des Federmechanismus, die SM in ihre Endlage zu positionieren, unterstützt diesen Effekt möglicherweise zusätzlich (siehe 6).

Abbildung 40: Ablaufschema Schaltprozess

Diese Abhängigkeiten der Bewegungsabläufe, sowie deren Einfluss auf die Trajektorienplanung waren Gegenstand der darauf folgenden simulatorischen Untersuchung des Schaltvorganges.

Einlegen der Klauenkupplung bei vollständiger Synchronisation

Im ersten Schritt wurde mit Hilfe des Softwaresystems AnSim der gesamte Antriebsstrang in einem entsprechenden Simulationsmodell abgebildet (siehe Abb. 41). Für die mechanischen Komponenten des Schaltmechanismus wurden die entsprechenden Designdaten aus den bereits erarbeiteten CAD-Modellen und Zeichnungen übernommen. Auf Basis dieser Daten lassen sich die Bewegungsabläufe beim Ein- bzw. Auslegen der Klauenkupplung in Form von Diagrammen und Animationen visualisieren (Abbildung 42 & 43).

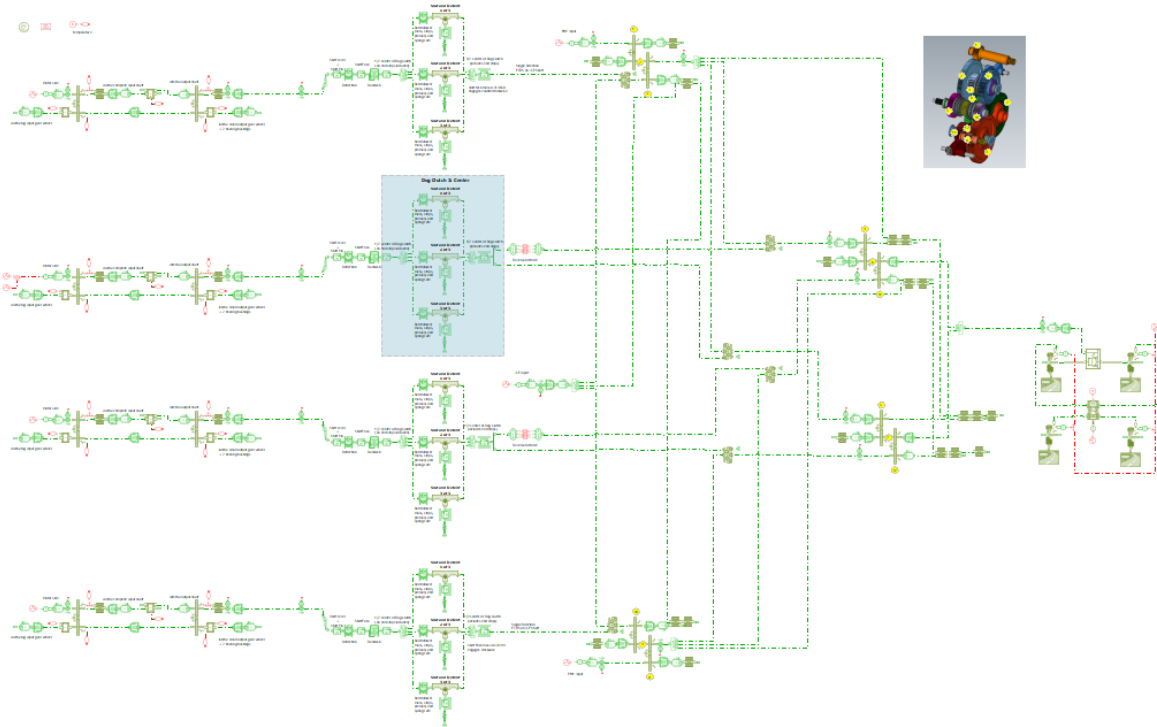


Abbildung 41: Übersicht AnSim-Modell

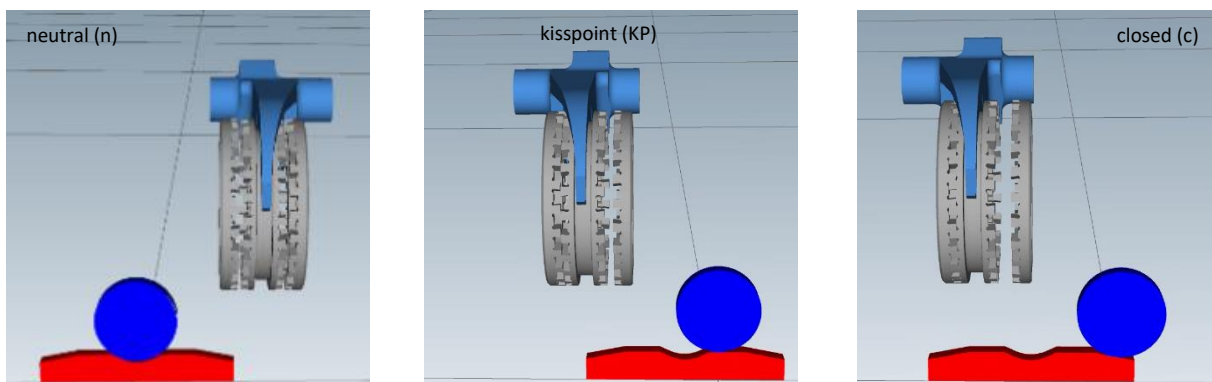


Abbildung 42: Animation des Einlegevorgangs Klauenkupplung EM 2

Abbildung 42 zeigt Ausschnitte der Animation des Schaltvorgangs der Klauenkupplung in Teilgetriebe 2 (EM2). Dargestellt sind drei Phasen des Einlegeprozesses: Neutralstellung (n), Kisspoint (KP) und Geschlossen (c). Die daraus resultierende Position der Schiebemuffe (SM) zwischen den beiden Hälften der Klauenkupplung ist ebenfalls zu sehen. Im unteren Bildteil wird korrelierend die Position des Kugelkopfes der Arretierung auf dem Profil der SM-Innenkontur dargestellt.

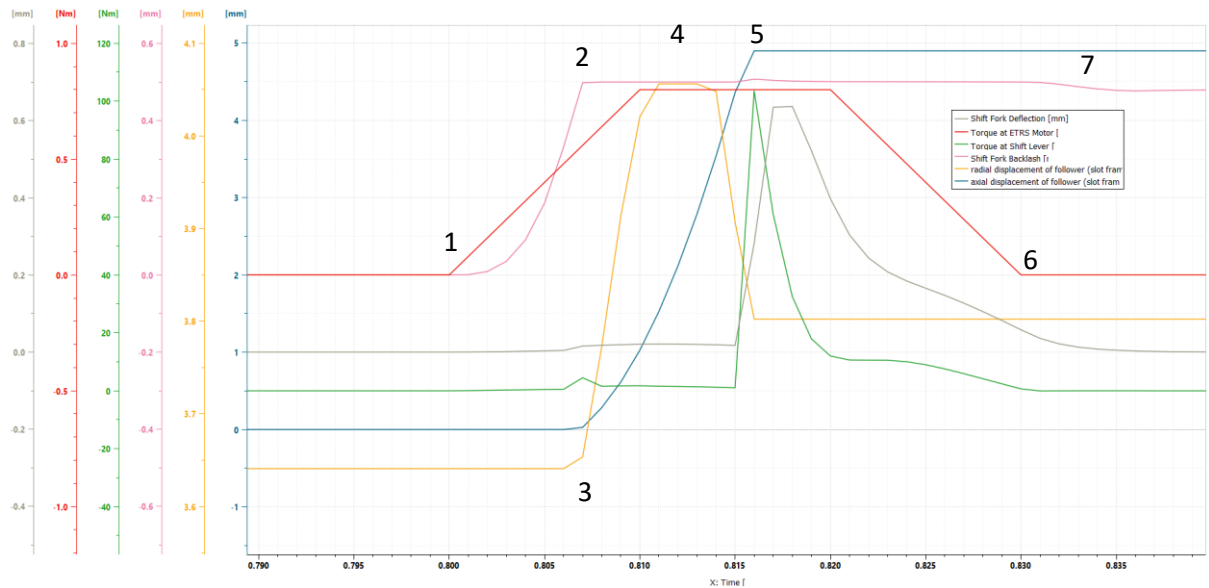


Abbildung 43: Einlegevorgang vollsynchronisierte Klauenkupplung EM2

- Auslenkung/Biegung Schaltgabel
- Motordrehmoment Schaltaktor (ETRS 2)
- Drehmoment am Aktorhebel (Interface Aktor zu Schaltgabel)
- Schaltgabel-Systemspiel (Distanzüberwindung)
- Bewegung Z-Richtung Arretierung (Kugel)
- Distanz Schiebemuffe SM

In (1) erhält der Aktor den Befehl für den Schaltvorgang und das Drehmoment des Antriebs wird kontinuierlich gesteigert. Gleichzeitig setzt sich die Schaltgabel in Bewegung und überwindet so das Spiel zwischen SG und SM, bis in (2) schließlich Kontakt zwischen SG und SM besteht. Die SM wird in Bewegung versetzt (3), wodurch sich die Kugel beginnt aus der Vertiefung in der Innenkontur zu bewegen. Der Widerstand verursacht eine minimale Auslenkung der SG (grau) und impliziert ein Drehmoment auf dem Hebel (grün). Die Feder der Arretierung wird komprimiert und eine Z-Verschiebung der Kugel wird erkennbar (gelb). In 4 hat die Kugel die Vertiefung verlassen und bewegt sich über den planen Bereich der Innenkontur. Das Motordrehmoment des Aktors bleibt konstant und die SM wird kontinuierlich vorwärtsbewegt. (5) Die SM erreicht ihre Endlage und die Klauenkupplung ist geschlossen. Das anhaltende Drehmoment des Aktors bedingt eine Auslenkung der SG und damit verbunden einen Drehmomentanstieg am Hebelarm. Gleichzeitig nähert sich die Arretierung ihrer Endposition (Winkelbereich der Innenkontur), die Feder wird entspannt und die Kugel bewegt sich erneut in Z-Richtung, bis die Endlage (5) erreicht ist. (6) Der Aktor wird abgeschaltet und das Motordrehmoment reduziert sich auf 0 Nm. Die Schalngabel federt durch die reduzierte Krafteinwirkung minimal zurück (7). Dadurch ergibt sich erneut eine Distanz zwischen SG und SM (Spiel). SM und SG sind entkoppelt und reibungsfrei. Der Einlegevorgang der Klauenkupplung ist abgeschlossen.

Mit voller Motorleistung des Aktors und bei vollständiger Synchronisation (Differenzdrehzahl = 0; Zahn auf Lücke) lässt sich der Einlegevorgang so in ca. 0,016 s realisieren.

Auslegen der Klauenkupplung bei vollständiger Synchronisation

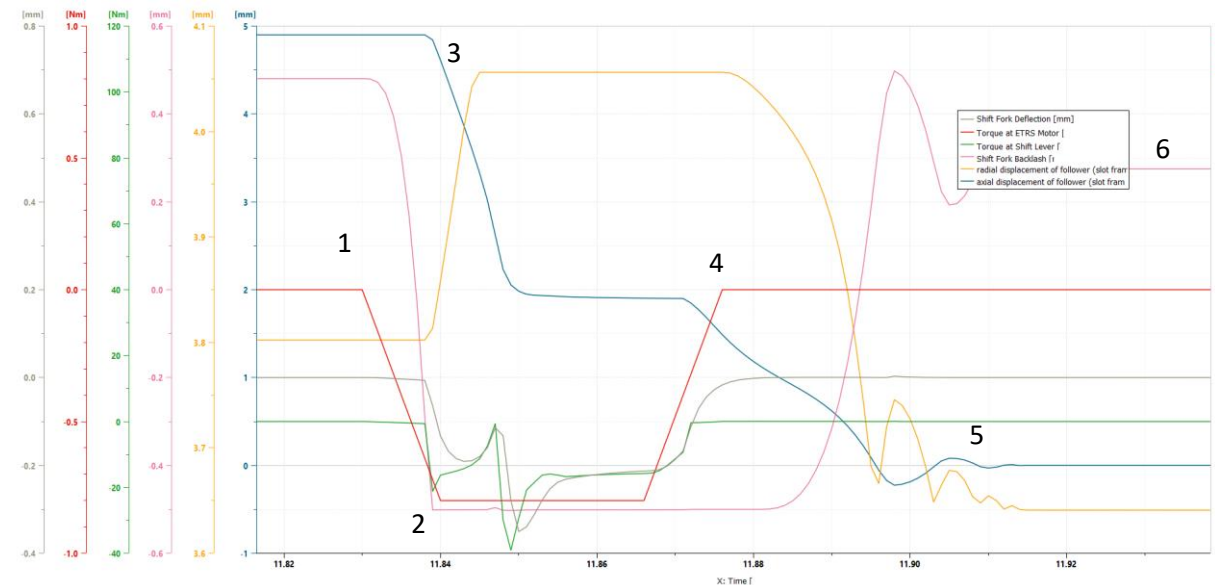


Abbildung 44: Auslegevorgang vollsynchronisierte Klauenkupplung EM2

In (1) erhält der Aktor den Befehl zum Auslegen bzw. Öffnen der Klauenkupplung. Der Motor wird entsprechend bestromt und das Drehmoment steigt kontinuierlich an. Die SG setzt sich in Bewegung und überwindet das gesamte Spiel zwischen SG und SM, bevor in (2) der Kontakt zwischen SG und SM hergestellt ist. Ab diesem Moment beginnt auch die Bewegung der SM (blau). Die Arretierung wirkt der Bewegung der SM entgegen und erzeugt so einen Drehmomentanstieg am Aktorhebel (grün), woraus wiederum eine Auslenkung der SG resultiert (grau). Die Kugel überwindet den Winkelbereich der Innenkontur und erreicht eine konstante Auslenkung in z-Richtung im planen Bereich. (4) kurz vor dem Erreichen der Endlage (Neutralstellung (n)) wird der Aktormotor abgeschaltet, das Drehmoment wird entsprechend wieder auf 0 Nm reduziert. Die Kugel tritt im selben Moment in die Vertiefung der Innenkontur ein, deutlich erkennbar an der sich schnell ändernden z-Auslenkung. Vor dem Erreichen der Endlage (5) sind deutliche Schwingungen in den Graphen *Distanz SM*, *Z-Richtung der Arretierung*, *SG-Systemspiel* erkennbar. Die SM pendelt also um die Endlage, bevor sie sich schließlich in Neutralstellung (n) stabilisiert und auch die SG ihre Endposition (6) relativ zur SM erreicht. Die SG ist auch hier kontaktfrei zur SM in Endlage. Der Auslegeprozess ist abgeschlossen.

Im nächsten Schritt wurde das Modell dahingehend erweitert, dass Schaltprozesse mit einer Differenzdrehzahl zwischen den Kupplungskomponenten (Klauenkupplung 1: KK1, Klauenkupplung 2: KK2 und Schiebemuffe: SM) simuliert werden können. Dies entspricht den in der Realität zu erwartenden Verhältnissen, im Falle einer nicht vollständig abgeschlossenen Synchronisation der Getriebestufen beim Schaltvorgang. Damit verbunden ist es nun auch möglich, das Auftreten einer „Zahn auf Zahn – Stellung“ von Klauenkupplung und Schiebemuffe im sog. Kisspoint KP zu betrachten (siehe Abb. 46).

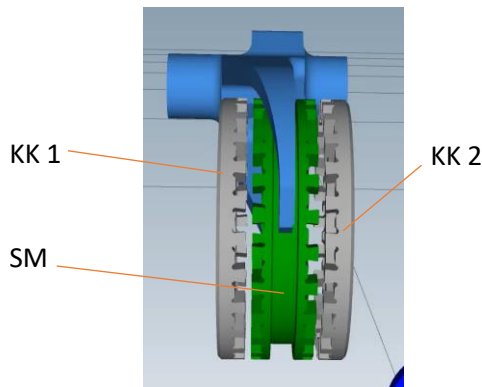


Abbildung 45: Animation Klauenkupplung

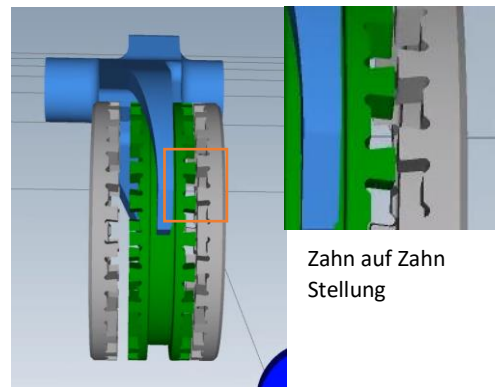


Abbildung 46: Animation Klauenkupplung „Kisspoint“

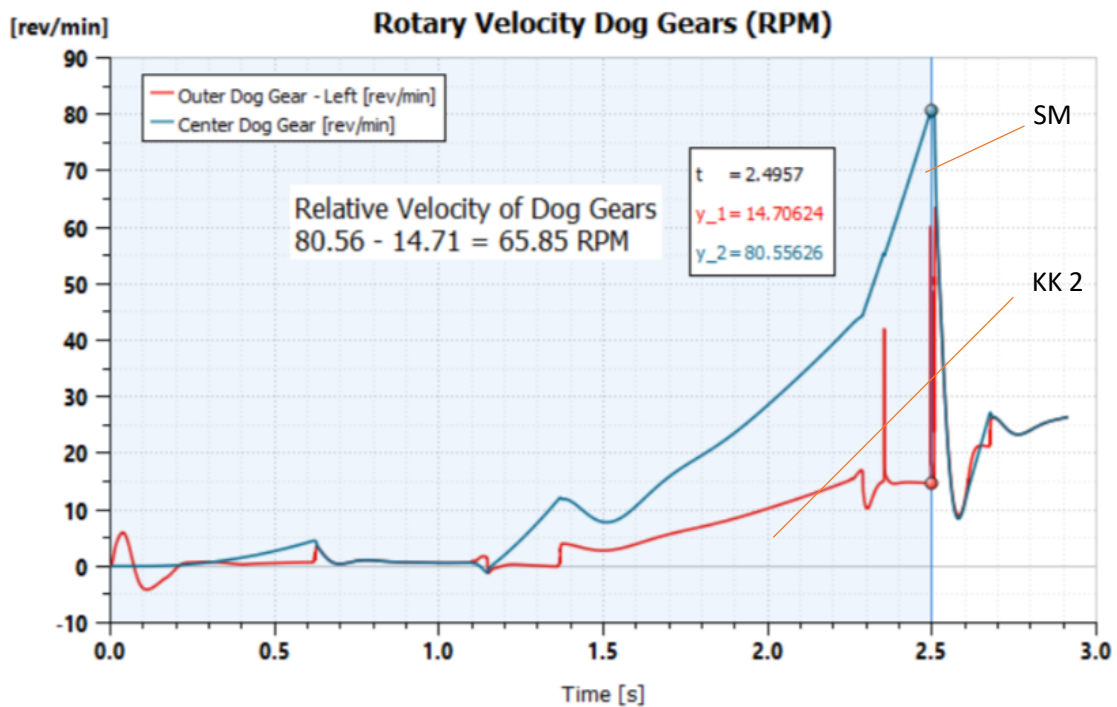


Abbildung 47: Drehzahldifferenz der Kupplungskomponenten

Die oben aufgezeigte Animation (Abb. 46) entstammt einem Simulationsdurchlauf des Schaltvorgangs bei nicht abgeschlossener Synchronisation. Die Drehzahldifferenz vom SM und KK2 betrug im Kisspoint 65,85 rpm (siehe Abb 47.). Systemseitig wird im späteren Prototypen ein Schaltvorgang bis zu einer Differenzdrehzahl von 100 rpm zulässig sein. D.h. das übergeordnete Steuergerät sendet den Befehl zum „Schalten“ der KK nur oder erst dann an den Aktor, wenn die Synchronisation so weit fortgeschritten ist, dass sensorseitig dem Steuergerät eine Differenzdrehzahl < 100 rpm signalisiert wird.

Basierend auf den Prüfstandserprobungen und den Erkenntnissen aus den weiterführenden Schaltsimulationen wurde die Trajektorienplanung der Aktorsoftware weiter verbessert und auf die Prototypen der Getriebeaufbauten übertragen. Weitere Optimierungsschleifen werden an den Getriebeprüfständen der TU Darmstadt am vollständigen Getriebe durchgeführt.

AP10: Aufbau Versuchsfahrzeug(e)

Die geplanten Arbeiten in AP 10, an denen Vitesco aktiv in den Unterarbeitspaketen AP10.5 und AP10.9 (siehe Kapitel 2.3) beteiligt war, bezogen sich auf die Inbetriebnahme des Prototypenfahrzeugs. Bis zum Ende der Projektlaufzeit konnte ein komplettes Prototypenfahrzeug mit dem neuen DE4LoRa-Antriebsstrang aufgebaut werden. Die Inbetriebnahme des Gesamtsystems erfolgt jedoch erst außerhalb der offiziellen Projektlaufzeit und war zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht abgeschlossen. Daher konnten die Erkenntnisse aus diesen Arbeitspaketen nicht in diesem Bericht verarbeitet werden.

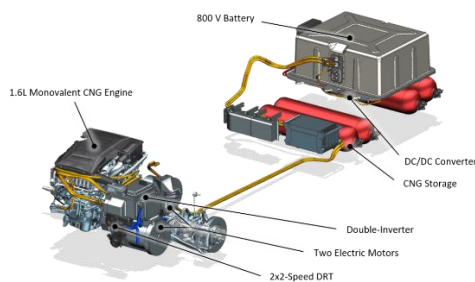


Abbildung 48: DE4LoRa-Antriebsstrang



Abbildung 49: DE4LoRa-Prototypenfahrzeug

AP11: Erprobung und Bewertung

Gleiches gilt für die Aktivitäten in Arbeitspaket AP11 und die zugehörigen Unterarbeitspakete. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme des Prototypenfahrzeugs wird die Erprobungsphase des Fahrzeugs im ersten Quartal 2025 starten. Auch außerhalb des förderfähigen Projektzeitraums haben sich die Partner des Konsortiums freiwillig verpflichtet, die geplanten Arbeiten weiterzuverfolgen, um die ursprünglichen Projektziele vollumfänglich zu erreichen und sicherzustellen, dass die notwendige Datenbasis zum Nutzen aller Partner entsprechend dem ursprünglichen Verwertungsplan generiert wird.

3.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Erläuterungen zu dem zahlenmäßigen Kostennachweis befinden sich ausschließlich im Erfolgskontrollbericht.

3.3 Notwendigkeit

Das übergeordnete Ziel von DE4LoRa war die Entwicklung eines komplexen, hybriden Antriebssystems und dessen prototypische Umsetzung. Eine solche Entwicklung war nur in enger Kooperation innerhalb eines Konsortiums möglich, in dem sich die Partner die Kosten teilen und bereits ein Markt für die neue Technologie erkennbar ist. Eine zusätzliche öffentliche Förderung hilft dabei, den notwendigen finanziellen Rahmen zu schaffen, um die oft ungeplanten Mehraufwände durch die Beteiligung an einem solchen Vorhaben zu bewältigen. Diese Förderung ist entscheidend, um die finanziellen Herausforderungen zu meistern und die Entwicklung voranzutreiben. Zudem wird das Risiko minimiert, da bei einem hohen Innovationsgrad eines Vorhabens immer ein Restrisiko des Misserfolgs besteht. Durch die Zusammenarbeit und die geteilten Kosten wird dieses Risiko weiter reduziert.

Die von Vitesco entwickelten Komponenten waren ein unverzichtbarer Bestandteil des Gesamtkonzeptes, und alle durchgeführten Arbeiten waren notwendig für deren Realisierung. Dabei wurde stets auf Effizienz und einen angemessenen Aufwand der Aktivitäten geachtet. Eine sorgfältige Planung und stete Adaption bei der Durchführung gewährleisteten, dass die Ressourcen optimal genutzt wurden und die Projektziele erfolgreich erreicht werden konnten.

3.4 Verwertbarkeit

Nach erfolgreichem Projektabschluss steht nun ein funktionsfähiges Prototypenfahrzeug sowie ein Prüfstands Aufbau für das DE4LoRa-Antriebssystem zur Verfügung. In den kommenden Monaten werden diese intensiv erprobt und weiter optimiert. Voraussichtlich stehen Ende 2025 umfangreiche Daten zur Verfügung, um das Konzept abschließend ganzheitlich zu bewerten.

Bestätigen sich die erwarteten Potenziale hinsichtlich Performance sowie ökologischer und ökonomischer Attraktivität, so bietet der DE4LoRa-Ansatz ein attraktives Basiskonzept, mit spezifischen Vorteilen für bestimmte Regionen und Nutzungsprofile, parallel zu langstreckentauglichen BEVs. Mit Hyundai steht zudem ein potenzieller OEM für eine Weiterführung bis hin zur Serienreife bereit. Vitesco ist es gelungen, im Rahmen von DE4LoRa die Machbarkeit einer elektromechanischen Betätigung für ein mehrgängiges Klauenkupplungsgetriebe mit einem entsprechenden Aktorprototypen nachzuweisen. Die Nutzung eines vergleichbaren Konzepts bietet somit das mittelfristig angestrebte Marktpotenzial für Vitesco bzw. die Schaeffler AG, nach deren Verschmelzung mit Vitesco zum 1. Oktober 2024.

Allgemein gewinnt die intelligente Aktorik in effizienten Antrieben kontinuierlich an Bedeutung, um je nach Fahrzustand den optimalen Betriebspunkt einzustellen. Während sich für einzelne oder verteilte Betätigungsaufgaben elektromechanische Aktoren anbieten, lassen sich mit hydraulischen Aktorsystemen auch komplexe Steuerungsarchitekturen sowie Temperier- und Schmierfunktionen umsetzen. Schaeffler stellt innovative Aktorsystemlösungen bereit, die die spezifischen funktionalen Anforderungen des Antriebs und dessen Aufbaus erfüllen. Die Erfahrungen aus DE4LoRa in Bezug auf die Klauenkupplungsaktivierung (elektromechanisch) und die zentrale, elektronische Ölpumpe im Getriebeölkreis können direkt in aktuelle und zukünftige Entwicklungen einfließen und somit weiterverwertet werden.

3.5 Fortschritte auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Neue Erkenntnisse, welche den Projektlaufzeit beeinflusst hätten, sind Vitesco während der gesamten Projektlaufzeit nicht bekannt geworden.

3.6 Veröffentlichungen

Neben dem gemeinsamen Abschlussbericht für das Gesamtvorhaben sind seitens Vitesco aktuell keine weiteren Veröffentlichungen geplant.

4 Abkürzungsverzeichnis

AEM	Ethylen-Acrylat-Kautschuk
AP	Arbeitspaket
BLDC	Brushless Direct Current (-Motor)
CAN	Controller Area Network
CFD	Computational Fluid Dynamics
CNG	Compressed Natural Gas
CVT	Continuously Variable Transmission
DSG	Direktschaltgetriebe
EM	Elektromotor/Elektromaschine
eTOP	Electronic Transmission Oil Pump
ETRS	Electronic Transmission Range Selector
HIL	Hardware in the Loop
KK	Klauenkupplung
KP	Kiss Point
MIL	Model in the Loop
OBC	Onboard Charger
OEM	Original Equipment Manufacturer
PbW	Park by Wire
PSM	Permanenterregte Synchronmotoren
SbW	Shift by Wire
SG	Schaltgabel
SM	Schiebemuffe
TG	Teilgetriebe

5 Anhang

- Erfolgskontrollbericht (nicht öffentlich)
- Berichtsblatt
- Document Control Sheet
- Schriftliche Bestätigung über Versand des Schlussberichtes (formlos)

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN -	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung): Schlussbericht
3. Titel Verbundprojekt: DE4LoRa - Universales hochintegriertes 800V-Hybrid-Antriebssystem mit ganzheitlich optimierter Ökologie und Ökonomie Teilvorhaben: Konsortialführung; Auslegung Ölkreislauf und regelbarer Ölpumpe; Auslegung und Bereitstellung der Schaltaktoren	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Fella, Frank	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2024
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Vitesco Technologies Germany GmbH Sieboldstraße 19 90411 Nürnberg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen 19I20027A
	11. Seitenzahl 53
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. Literaturangaben
	14. Tabellen 4
	15. Abbildungen 49
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Technische Informationsbibliothek Hannover, Hannover, 22.01.2025	
18. Kurzfassung <p>Im Forschungsprojekt „Doppel-E-Antrieb for Long-Range“ (DE4LoRa) arbeitete ein Konsortium aus acht Industrieunternehmen und vier Forschungsinstituten der TU Darmstadt zusammen, um ein universelles, hochintegriertes 800V-Hybrid-Antriebssystem zu entwickeln, das sowohl ökologisch als auch ökonomisch optimiert ist. Das DE4LoRa-Konzept basiert auf einem zum Patent angemeldeten parallel-seriellen Hybridantrieb, der zwei hochintegrierte E-Maschinen, eine kombinierte Leistungselektronik und einen monovalenten CNG-Motor umfasst. Ergänzt wird das Hochvolt-System durch eine neu entwickelte 800V-Batterie.</p> <p>Das dreijährige Projekt umfasste die Auslegung und Gestaltung des Antriebssystems, die prototypische Umsetzung auf Prüfständen sowie den Aufbau und die anschließende Erprobung von zwei Demonstratorfahrzeugen. Ziel der prototypischen Erprobung des Gesamtsystems war es, die Potenziale der Kerninnovationen zu bewerten und den Technologiereifegrad signifikant zu steigern. Durch gezielte Untersuchungen zur Weiterentwicklung des Konzepts sollte ein Reifegrad erreicht werden, der eine Überführung in die Serie ermöglicht.</p> <p>Vitesco übernahm die Konsortialführung des Gesamtvorhabens und alle damit verbundenen Aufgaben. Darüber hinaus verantwortete und erarbeitete Vitesco verschiedene technische Inhalte, wie die Entwicklung, Erprobung und Bereitstellung von Schaltaktoren zur Aktuierung der Klauenkupplungen im DE4LoRa-Getriebe, die Integration des Getriebeölkreislaufs in das Thermomanagementkonzept des DE4LoRa-Antriebsstrangs, einschließlich der Auslegung und Bereitstellung der Hardwarekomponenten des Ölkreislaufs. Diese umfassten eine elektronische, regelbare Ölpumpe (eTOP), einen Wärmetauscher als Schnittstelle zwischen Ölkreislauf und dem verbundenen Kühlkreislauf von E-Maschinen und Leistungselektronik sowie einen integrierten Getriebeölfilter. Weiterhin beteiligte sich Vitesco aktiv an der Untersuchung des Einflusses der thermischen Vorkonditionierung des Getriebeöls auf die Gesamteffizienz des Antriebsstrangs.</p>	
19. Schlagwörter Doppel-E-Antrieb, Hybridantrieb, Antriebssystem, 800V, Hochintegration, CNG-Motor, Klauenkupplung, Schaltaktor, thermische Konditionierung Getriebeöl, ökologisch, ökonomisch	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN -	2. type of document (e.g. report, publication): Final Report
3. title Collaborative project: DE4LoRa - Universal highly integrated 800V hybrid drive system with holistically optimized ecology and economy Subproject: 19 20027A: Consortium management; design of oil circuit and controllable oil pump; design and provision of gear shift actuators	
4. author(s) (family name, first name(s)) Fella, Frank	5. end of project 30.09.2024
	6. publication date
	7. form of publication Final Report
8. performing organization(s) (name, address) Vitesco Technologies Germany GmbH Sieboldstraße 19 90411 Nürnberg	9. originator's report no. -
	10. reference no. 19 20027A
	11. no. of pages 53
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. no. of references -
	14. no. of tables 4
	15. no. of figures 49
16. supplementary notes -	
17. presented at (title, place, date) Technische Informationsbibliothek Hannover, Hannover, 22.01.2025	
18. abstract In the research project "Double-E-Drive for Long-Range" (DE4LoRa), a consortium of eight industrial companies and four research institutes at TU Darmstadt worked together to develop a universal, highly integrated 800V hybrid drive system that is both ecologically and economically optimized. The DE4LoRa concept is based on a patent-pending parallel-serial hybrid drive comprising two highly integrated electric motors, combined power electronics and a monovalent CNG engine. The high-voltage system is supplemented by a newly developed 800V battery. The three-year project included the layout and design of the drive system, prototype implementation on test benches and the construction and subsequent testing of two demonstrator vehicles. The aim of the prototype testing of the overall system was to evaluate the potential of the core innovations and significantly increase the level of technological maturity. Through targeted investigations into the further development of the concept, a level of maturity was to be achieved that would allow the system to be transferred to series production. Vitesco took on the consortium management of the overall project and all associated tasks. In addition, Vitesco was responsible for and elaborated various technical contents, such as the development, testing and provision of gear shift actuators for actuating the dog clutches in the DE4LoRa transmission, the integration of the transmission oil circuit into the thermal management concept of the DE4LoRa drivetrain, including the design and provision of the hardware components of the oil circuit. These included an electronic, controllable oil pump (eTOP), a heat exchanger as an interface between the oil circuit and the connected cooling circuit of the electric motors and power electronics, as well as an integrated transmission oil filter. Vitesco was also actively involved in investigating the influence of thermal preconditioning of the transmission oil on the overall efficiency of the drivetrain.	
19. keywords Double electric drive, hybrid drive, drive system, 800V, high integration, CNG engine, ecological, economical	
20. publisher -	21. price -