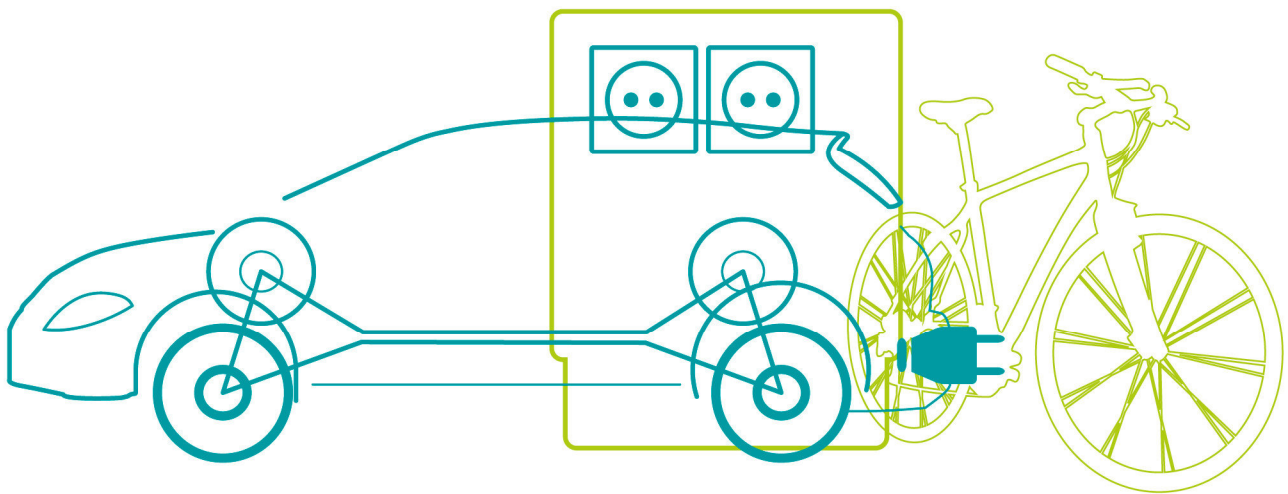




Eco-Sync

Entwicklung einer
verbrauchsreduzierenden
Servo-Synchronisierung für
off highway Fahrzeuge



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhalt

Kurzfassung	2
Abstract	3
1 Technisch-wissenschaftliche Beschreibung der Arbeit	4
1.1 Projektabriss (max. 3 Seiten)	4
1.2 Inhalte und Ergebnisse des Projektes (max. 20 Seiten)	7
1.3 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	21
2 Verwertung.....	23
2.1 Einsatzmöglichkeit und Nutzen der Projektergebnisse bzw. der neuen Technologien.....	23
3 Ausblick	24

Kurzfassung

Die Auslegung und Berechnung der Servo-Synchronisierung erfolgte basierend auf geometrischen Annahmen im Excel. Diese Ergebnisse wurden anschließend für die Simulation der Servo-Synchronisierung verwendet, wobei hier die Funktion dieser geprüft werden konnte. Anschließend konnten mit den geometrischen Daten die Servo-Synchronisierung konstruiert und weiters fertigungsgerechte Detailzeichnungen abgeleitet werden, welche wiederum als Grundlage für die Fertigung (Beschaffung) der Servo-Synchronisierungen dienen. Parallel wurde bei hofer das VDC Getriebe mit Original Synchronisierungen aufgebaut. Für die Erfassung der Schaltkräfte (in den Gängen 1 und 3) wurden die entsprechenden Schaltgabeln mit DMS appliziert und getestet. Zur Messung der Schaltwege wurde ein Weg-Laser-Sensor verbaut. Nach dem Verbau und Überprüfen der Messtechnik konnte das Getriebe am Prüfstand aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Die Inbetriebnahme des Getriebes am Prüfstand bestand einerseits in der Einbindung der Getriebe-Software in die Prüfstands Umgebung, wie auch die Einbindung der Sensorik in die Messtechnik. Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme wurden die ersten Messungen mit Original-Synchronisierungen am Funktionsprüfstand bei hofer durchgeführt. Die Untersuchungen der Reibbeläge an den Servo-Synchronisierungen wurden von der Technischen Universität Graz, am Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik durchgeführt. Hierbei wurde der Prüfstandsaufbau geplant und der Prüfstand entsprechend aufgebaut.

Nach der Durchführung von Referenzmessungen mit einer herkömmlichen Synchronisierung wurden Servo-Synchronisierungs-Prototypen beschafft und auf dem Getriebeprüfstand und auf dem Komponentenprüfstand getestet. Die Resultate korrelieren und zeigen eine deutliche Verbesserung der Synchronperformance um 137% verglichen mit der Referenz. Die Lebensdauertests wurden komplett durch alle 100.000 Schaltungen verifiziert. Auf Basis der Messergebnisse wurden Simulationen mit einem Doppelkupplungsgetriebe durchgeführt um den Vorteil hinsichtlich Schleppmomentreduktion zu ermitteln. Dabei zeigte sich eine sehr große Verbesserung von bis zu 60% in einem typischen urbanen Fahrzyklus.

Abstract

The calculation of the Servo-Synchronizer was done in Excel and based on geometric estimates. These results were used for the simulation of the Servo-Synchronizer to check the function of the new synchronizer. After that the design of the Servo-Synchronizer was started according to the geometric data. The detailed design drawings are necessary for the purchasing of the prototype parts of the Servo-Synchronizer.

Parallel to that the VDC gearbox with the original synchronizer was assembled. To be able to measure the shift forces on the shift fork (gear 1 and gear3) DMS had to be fixed and tested on the shift fork. To measure the shift travel of the shift fork a laser sensor was mounted on the gearbox. After building up and testing the measurement equipment the gearbox was mounted on the test bench. Then the start up procedure of the gearbox on the test bench was done. Therefore the gearbox-software was implemented into the test bench software, also all sensors were implemented into the measurement equipment. After the start up procedure the first measurement results with the original synchronizer were done.

The analyses of the friction lining of the synchronizers were done at the Technical University of Graz by the department "Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik". Therefore the test bench was designed and build up at the TU-Graz.

After all measurement results with the original synchronizer were done and the Servo-Synchronizer was purchased, the measurements with Servo-Synchronizer were done.

The results of the transmission test bench at hofer and the component test bench at TU-Graz showed that the servo synchronizer has a much better performance (factor 2,37 compared to the reference). The lifetime of 100.000 shifts was verified on the component test bench.

According to this measurement results the calculation of the fuel consumption was started on basis of a dual clutch transmission and a typical urban driving cycle. The results are very promising since the drag torque losses of the synchronizers could be reduced by up to 60%.

1 Technisch-wissenschaftliche Beschreibung der Arbeit

1.1 Projektabriss (max. 3 Seiten)

1. Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Um die Energieeffizienz von Verkehrsträgern zu steigern, bedarf es einer Wirkungsgradverbesserung des gesamten Antriebsstrangs. Aus diesem Grund ist es unabdinglich jede Komponente des Antriebsstranges einer genauen Untersuchung zu unterziehen und die vorhandenen Verlustleistungen zu eliminieren bzw. zu reduzieren.

Eine gewichtige Rolle im Antriebsstrang spielt das Schaltgetriebe, welches vor allem bei automatisierten Schaltgetrieben durch seine Ölversorgung mittels konstant mitlaufender Ölpumpe und die Schleppverluste der Synchronisierungen ein großes Einsparungspotential hinsichtlich Wirkungsgradverbesserung aufweist. Um den Druck abzusenken, ist eine selbstverstärkende (Servo-)Synchronisierung notwendig, die es möglich macht, die von außen aufzubringende Betätigungsenergie für eine Schaltung stark zu reduzieren. Die Anwendung dieser Innovation namens ECOSYNC auf die besonderen Anforderungen in off-highway Getrieben und der Nachweis der Verbrauchseinsparung ist Ziel des Projekts. Um dies zu erreichen ist weiters die Anwendung von neuartigen Karbonreibbelägen zu erforschen, was eine besondere Herausforderung darstellt.

2. Zielsetzungen des Projektes

Es soll eine Servo-Synchronisierung für off-highway Fahrzeuge (ECOSYNC) entwickelt und es soll die Leistungsfähigkeit in einem Traktorgetriebe und am Komponentenprüfstand nachgewiesen werden. In Verbrauchszyklen soll der mögliche Verbrauchsvorteil simulationsseitig ermittelt werden.

Die Erforschung der komplexen tribologischen Verhältnisse von Karbonbelägen in der Selbstverstärkung unter off-highway Bedingungen am Komponentenprüfstand an der Technischen Universität in Graz soll die zukünftige Verwendbarkeit dieser Technologie klären und die Auslegungsannahmen bestätigen.

3. Aufbau und Methodik des Projektes

Auslegung:

Mit verschiedenen hauseigenen Auslegungsprogrammen wird die Auslegung der neuen Synchronisierung ECOSYNC durchgeführt. Hierbei sind einerseits die Reibbelagsbelastungen aus dem Lastkollektiv und die Selbstverstärkung herzuleiten. Andererseits sind stets die Sicherheiten wie Sperrsicherheit, Selbsthemmungssicherheit und Performance im Blickfeld zu behalten. Es wird eine möglichst aggressive Auslegung gewählt um eine möglichst hohe Performance zu erzielen.

Simulation:

Es wird ein Simulationsmodell der Synchronisierung auf Basis des Softwaretools LMS Imagine.Lab AMESim aufgebaut. Mit dem Simulationsmodell sollen anfangs erste grobe Vergleiche zwischen Standard-Synchronisierungen und Voll-Servo-Synchronisierungen angestellt werden. Bereits hier sollten sich wesentlich reduzierte Schaltkräfte und damit auch Schaltdrücke zeigen. Ein weiteres Simulationsmodell eines kompletten Fahrzeuges mit Doppelkupplungsgetriebe wird verwendet um das Potential in Verbrauchszyklen bei Anwendung der neuen Synchronisierung ECOSYNC zu ermitteln.

Umsetzung und Versuch:

Die Konstruktion der Servo-Synchronisierung wird inklusive Zeichnungsableitung auf CATIA V5 nach gängigen Ingenieurs-Vorschriften und Normen durchgeführt. Für die endgültige Absicherung der Funktion werden Hardware-Prototypen in ein bestehendes Getriebe verbaut. Durch Eingriff in die Getriebesoftware können verschiedene Situationen systematisch getestet werden. Um die Funktion und die Vorteile der Synchronisierung im Getriebe darzustellen, werden sämtliche Parameter zur Betätigung der Schaltung geändert, gemessen und aufgezeichnet. Anschließend wird im post processing eine umfassende Analyse der Versuchsergebnisse durchgeführt, aus denen dann ein Krafteinsparungspotential hergeleitet werden kann.

Entwicklungsmethodische Verifizierung der Reibbeläge bei Servo-Synchronisierungen (AP Industrielle Forschung TU Graz):

Aufgrund der mechanischen und tribologischen Komplexität der Reibungs-Situation mit vielen schwer zu erfassenden Einflussgrößen erscheint eine analytische oder numerische Beschreibung der Situation nicht als hinreichend. Der experimentelle Nachweis bzw. Überprüfung des Simulationsmodells ist unverzichtbar für aussagekräftige Ergebnisse, weil aufgrund der neuartigen Technologie so gut wie keine Erfahrungswerte vorhanden sind. Dabei sind die Funktion und die Tribologie der Einzelkomponente in Abhängigkeit verschiedener Parameter zu untersuchen.

4. Ergebnisse und Schlussfolgerungen**Auslegung und Berechnung**

Die Auslegung und Berechnung der Servo-Synchronisierung wurde für die am höchsten belastete Stelle im Getriebe (Gang 1/3) durchgeführt. Die Auslegung wurde so angelegt, dass die Technologie möglichst ausgereizt wird, also die Selbstverstärkung an der oberen Grenze ist. Die Sicherheitswerte hinsichtlich Selbsthemmungssicherheit, Sperricherheit und Reibbelagsbelastungen wurden auf Basis von Herstellerdaten eingehalten. Die Auslegung wurde durch die Ergebnisse vom Komponentenprüfstand bestätigt.

Simulation

Das Simulationsmodell wurde aufgebaut und die geometrischen Daten aus der Berechnung wurden in das Modell implementiert. Die Simulationen von Schaltvorgängen bestätigen die Funktion. Mithilfe eines weiteren Simulationsmodells eines Doppelkupplungsgetriebes wurden die möglichen Verbrauchseinsparungen in Verbrauchszyklen berechnet. Dabei wurde festgestellt, dass durch Einsatz von Servo-Synchronisierungen bis zu 60% der Verluste an Synchronisierungen eingespart werden können.

Umsetzung und Versuch

In einem Getriebe mit Sondermesstechnik wurde zuerst eine herkömmliche Einfachkonus-Synchronisierung getestet um eine Referenz für die Entwicklung und die Bewertung zu generieren. Die Konstruktion der Servo-Synchronisierung wurde auf Basis der Auslegung und in Abstimmung mit einem möglichen Serienlieferanten durchgeführt. Das Design der Synchronisierung wäre in Großserie direkt auf verfügbaren Maschinen durchführbar, was detaillierte Abstimmung bis hin zu Fertigungstoleranzen notwendig machte. Diese umfangreiche Abstimmung führte zu einer nicht geplanten Projektverzögerung. Die Prototypenteile wurden großteils seriennah erzeugt und wurden anschließend in das VDC Getriebe montiert und vermessen. Die Analyse zeigt eine Verbesserung der Schaltungen. Bei einer Prototypensynchronisierung wurde ein sehr früher Ausfall durch Verschleiß des Gegenkonus festgestellt. Das Problem wurde mit Lieferanten der Reibbeläge eingehend diskutiert und es ist davon auszugehen, dass die Synchronisierung in die Selbsthemmung gegangen ist. Dies wurde auf die relativ aggressive Auslegung zurückgeführt.

Entwicklungsmethodische Verifizierung der Reibbeläge bei Servo-Synchronisierungen (AP Industrielle Forschung TU Graz)

Ziel der Prüfstandsuntersuchungen war primär die Durchführung eines Funktionsnachweises der Servosynchronisierung und die Darstellung des Verschleißverhaltens bei 100.000 Schaltungen mit vorgegebenem Kollektiv. Dabei zeigt die Servosynchronisierung eine zuverlässige Funktion. Die Verstärkungsfunktion beträgt ca. 2,37. Der Verschleiß bis 100.000 Schaltungen ist sehr gering, zeigt sogar ab ca. 60.000 Schaltungen keine Zunahme.

5. Resümee

Die Zielsetzung dieser Entwicklung einer selbstverstärkenden Synchronisierung für den Off highway Bereich wurde weitgehend erreicht. Die Untersuchungen am Komponentenprüfstand an der TU Graz bestätigen die Auslegung hinsichtlich Schaltkraftreduktion. Es wurde eine ca. 137%-ige Leistungssteigerung (=Verstärkung 2,37) gegenüber der gleich großen Standardsynchronisierung nachgewiesen. Die angestrebten 50% Schaltkraftreduktion lt. Projektantrag wurden also sogar übertroffen. Das erwartete Entwicklungsrisiko durch die tribologischen Verhältnisse am Reibkonus wurde durch einen Ausfall am Getriebeprüfstand bestätigt. Die Untersuchungen am Komponentenprüfstand an der TU Graz zeigen aber, dass das Erreichen der Lebensdauer von 100.000 Schaltungen möglich ist. Für weitere Schritte sollte die Auslegung der Reibbeläge etwas konservativer gestaltet werden um auch eine stabile Funktion in Großserie zu gewährleisten. Die Umsetzung dieser Variante ist bereits nach dem Projektende bei hofer

geschehen. Die errechneten Verbrauchseinsparungen im Zyklus zeigen ein sehr deutliches Potential. Da die Vorteile klar aufgezeigt werden können und bereits ein interessierter Serienlieferant in Italien gefunden wurde, werden wir dieses Produkt intensiv weiter verfolgen.

1.2 Inhalte und Ergebnisse des Projektes (max. 20 Seiten)

1. Beschreibung der ursprünglich geplanten Ziele innerhalb der Berichtsperiode

Die geplanten Ziele in diesem Projekt wurden im Antrag in sechs Arbeitspakete zusammengefasst. In unten stehender Tabelle sind diese Arbeitspakete dargestellt.

AP Nr.	AP Titel	Dauer in Monaten	Start – MM/JJ	Ende - MM/JJ
1	Auslegung, Berechnung und Simulation der Servo-Synchronisierung für den off-highway Bereich (EE)	5	01/10	05/10
2	Konstruktion, Fertigung und Beschaffung der Synchronisierung (EE)	4	03/10	06/10
3	Getriebe-Funktionstests, Softwareabstimmung und Vergleichsmessungen am Prüfstand (EE)	8	05/10	12/10
4	Verbrauchsberechnung (EE)	8	5/10	12/10
5	Tribologie, Komponententest und Lebensdaueruntersuchungen (IE)	10	01/10	10/10
6	Projektmanagement (EE)	12	01/10	12/10

Tabelle 1: Arbeitspakete des Projekts

AP1: Auslegung, Berechnung und Simulation der Servo-Synchronisierung für den off highway Bereich

Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, die Servo-Synchronisierung für den off-highway Bereich so zu berechnen und zu simulieren, dass die Funktionalität gegeben ist und in weiterer Folge sämtliche Daten vorhanden sind um eine fertigungsgerechte Konstruktionszeichnung erstellen zu können.

1. Berechnung der Synchronisierung hinsichtlich Geometrie und Funktion zur Erreichung der benötigten Anforderungen.
2. Simulieren der Synchronisierung im Getriebe unter Berücksichtigung des Antriebsstranges zur Sicherstellung der Funktion der Synchronisierung.

AP2: Konstruktion, Fertigung und Beschaffung der Synchronisierung

Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, einerseits den Prüfstands Aufbau für die Getriebe-Funktionstests zu konstruieren und andererseits die Konstruktion der Synchronisierung sowie deren Fertigung bzw. Beschaffung der Prototypenteile zu organisieren.

Am Ende des Arbeitspaketes ist es das Ziel, einen Getriebe-Prüfstand und die Prototypen am hofer Standort zu haben.

1. Konstruktion des Prüfstandsbaus: Design, Bauraumuntersuchungen und Fertigungszeichnungen
2. Konstruktion: Design, Bauraumuntersuchungen und Fertigungszeichnungen
3. Fertigung: Herstellung zeichnungsgerechter Prototypenteile
4. Beschaffung: zeitgerechte Organisation der Prototypen, wie auch der Norm- und Standardteile

AP3: Getriebe-Funktionstests, Softwareabstimmung und Vergleichsmessungen am Prüfstand

Das Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, die Synchronisierung unter realen Bedingungen am Prüfstand zu untersuchen und die Funktion dieser im Getriebe zu testen und darzustellen.

1. Aufbau des Prüfstandes
2. Einbau der Servo-Synchronisierung
3. Verifizieren der Funktionalität der Synchronisierung am Prüfstand
4. Parametersätze zur Absenkung des Schalt- bzw. Arbeitsdruckes in der Getriebesteuerung generieren
5. Darstellung von Vergleichsmessungen Servo-Synchronisierung mit originaler Synchronisierung

AP4: Verbrauchsberechnung

Darstellen der Verbrauchsvorteile aufgrund des Einsatzes der Servo-Synchronisierung für den off-highway Bereich gegenüber einer herkömmlichen Borg-Warner-Synchronisierung.

1. Aufbau Berechnungsmodell
2. Validierung des Modells
3. Parametrieren
4. Durchführen von Vergleichsmessungen
5. Datenaufbereitung

AP5: Tribologie, Komponententest und Lebensdaueruntersuchungen

Ziel ist es, die Funktion der Synchronisierung am Komponentenprüfstand abzusichern und das tribologische Verhalten der Komponente in Abhängigkeit verschiedener Parameter wie Schaltkraft, Energieeinbringung (durch Drehzahl und Massenträgheitsmoment beeinflussbar) oder Öltemperatur zu erfassen und zu beschreiben.

AP6: Projektmanagement

Ziel ist es, das Projekt und die Partner zu koordinieren und zu führen.

1. effiziente und zielorientierte Abwicklung des Projektes
2. Koordination der Arbeitspakete und Schnittstellendefinition
3. Kommunikation zwischen den Projektpartnern
4. Projektplanung und -controlling
5. Risikomanagement
6. Dokumentation und Berichtslegung

2. Beschreibung der Ergebnisse und Meilensteine

AP1: Auslegung, Berechnung und Simulation der Servo-Synchronisierung für den off highway Bereich

Die Auslegung und Berechnung der Servo-Synchronisierung erfolgt, basierend auf geometrische Annahmen, in hauseigenen Tools auf EXCEL-Basis.

Die Eingabeparameter sind:

- Anzahl der Kone
- Konus-Radius
- Konus-Reibwert
- Konus-Winkel
- Anzahl der Kone
- Servo-Radius
- Servo-Winkel
- Kontaktradius und –winkel
- Schiebemuffenwinkel Alpha

Als Ergebnisse werden die

- Sperrsicherheit
- Selbsthemmungssicherheit
- Entsperrkräfte
- Leistungsfähigkeit (Synchronkapazität)
- Belastungen des Reibbelags (spezifische Reibarbeit, Reibleistung, Relativgeschwindigkeit. und Flächenpressung)

herangezogen.

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Abbildung 1 und Abbildung 2 zusammengefasst.

Als Reibbelag wurde aufgrund der hohen Belastungen ein high performance Karbonbelag der Firma MIBA frictec ausgewählt.

Für die Darstellung von dynamischen funktionalen Vorgängen wurde ein Simulationsmodell der Synchronisierung aufgebaut. Eine Darstellung der Modellierung ist in Abbildung 3 zu

sehen. Kernpunkt ist die Modellierung der Kontakte. Die Grenzfälle der Auslegung und die Sensibilität des Designs wurden mit dem Modell abgeprüft und optimiert.

Die Auslegung wurde anschließend für die konstruktive Umsetzung freigegeben, da sie belegt, dass die Ziele erreichbar sind. Die Verstärkung ist sogar über dem erwarteten Wert 2 und die Belagskennwerte vom Hersteller werden eingehalten.

Berechnungsergebnisse Überblick:

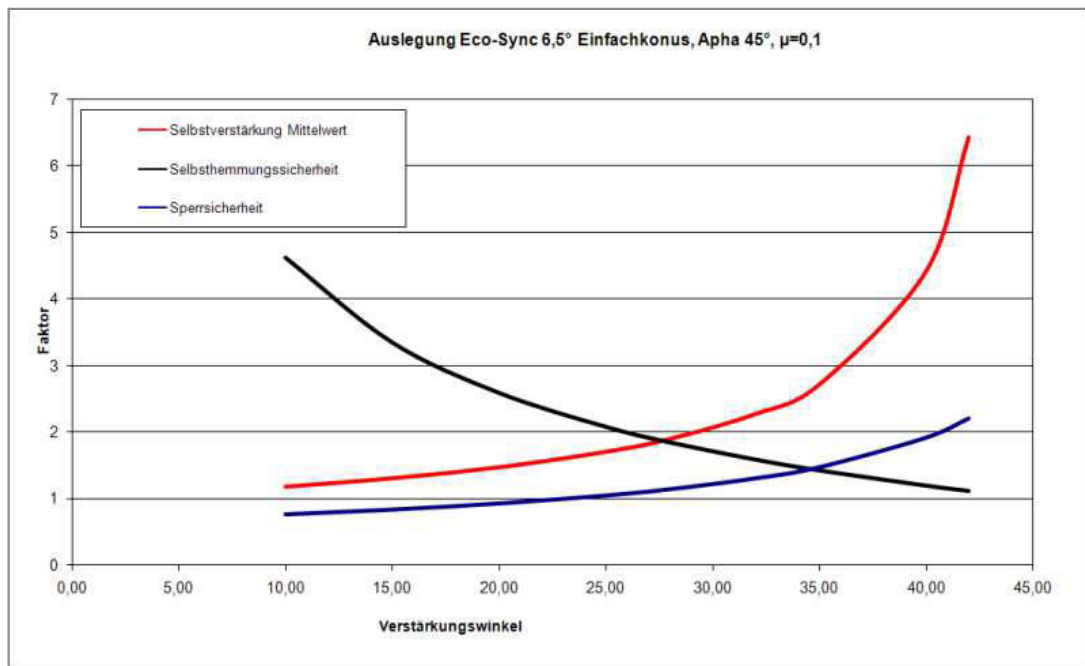


Abbildung 1: Berechnungsergebnisse mit Variation des Verstärkungswinkels

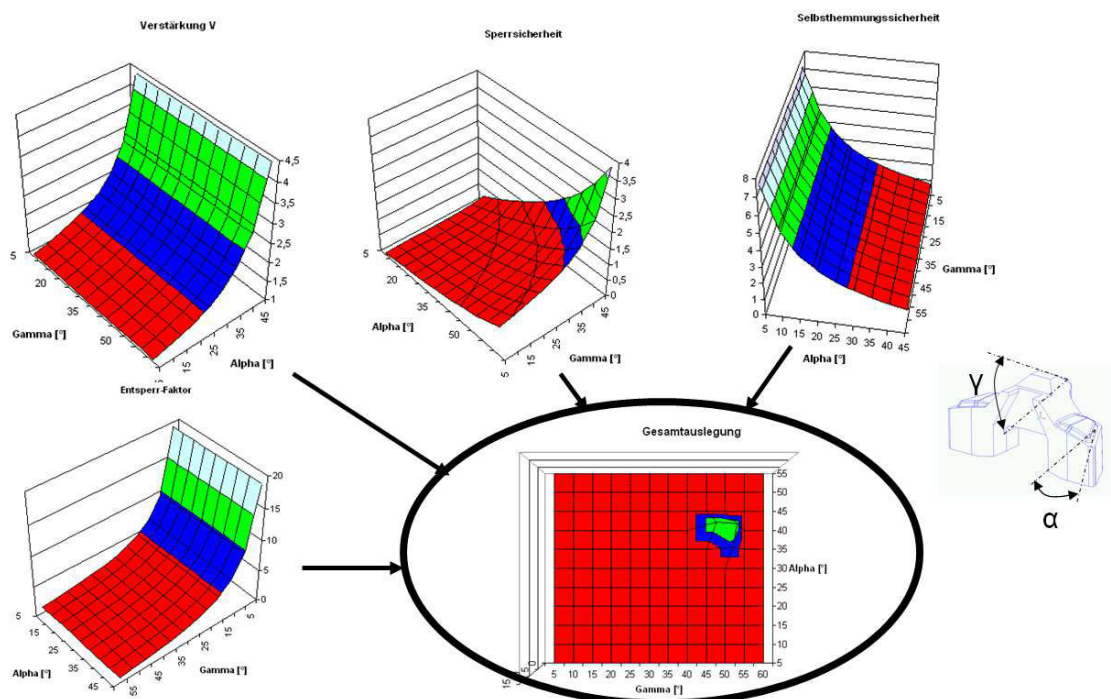


Abbildung 2: Ergebnisse der Auslegung

Es wurde die Plausibilität der Simulationsergebnisse (z.B. Sperrversagen bei ungünstigen Parametern) über die Berechnung nachvollzogen.

AP2: Konstruktion, Fertigung und Beschaffung der Synchronisierung

Einerseits wurden in der Konstruktion der Prüfstandaufbau und andererseits die Servo-Synchronisierung selbst konstruiert.

Um das Getriebe am Funktionsprüfstand in Garsten prüfen zu können musste im ersten Schritt der Aufbau des Getriebes mit allen Halterungen und Fixierungen konstruiert werden. Anhand dieser Zeichnungen konnte die Werkstatt anschließend mit dem Aufbau des Getriebes am Prüfstand beginnen.

Konstruktion der Servo-Synchronisierungen:

Basierend auf den Berechnungs- und Simulationsergebnissen wurden die Servo-Synchronisierungen auf CATIA gezeichnet. Nach erfolgten Bauraumuntersuchungen wurden fertigungsgerechte Detailzeichnungen abgeleitet welche wiederum auf Anraten des FFG mit möglichen Systemlieferanten diskutiert wurden. Es wurden Gespräche mit potentiellen Lieferanten, betreffend der Herstellung der Prototypenteile, geführt. Im Zeitraum zwischen Sommer 2010 und Frühjahr 2011 wurden immer detailliertere Gespräche mit einem Hersteller geführt, was schließlich zu einem LOI für die Verwertung der Rechte und zu einem Seriendesign geführt hat. D.h. das über einen Zeitraum von mehreren Monaten das Design komplett überarbeitet wurde um auf bereits bestehenden Werkzeugmaschinen beim Hersteller und im Serienprozess hergestellt werden zu können. Das führte negativerweise zu einer Projektverzögerung um ein Jahr, hat aber die Qualität des Projekts und des Produkts deutlich gesteigert und die Chancen auf eine wirtschaftliche Verwertung deutlich erhöht.

In den folgenden Abbildungen ist das 3-D Konstruktionsmodell (gerendertes Marketingbild) dargestellt.



Abbildung 3: 3D Modell der Servo-Synchronisierung

AP3: Getriebe-Funktionstests, Softwareabstimmung und Vergleichsmessungen am Prüfstand

Dieses Arbeitspaket beschäftigt sich mit der Messung der Schaltkräfte und Schaltwege (der Gänge 1 und 3) sowie des dafür benötigten Schaltdruckes eines VDC Getriebes mit Original Synchronisierung und im zweiten Schritt mit Servo-Synchronisierungen am Funktionsprüfstand bei hofer in Garsten. Im Zuge dieses Arbeitspaketes musste im ersten Schritt das von hofer entwickelte VDC Getriebe mit Original Synchronisierung aufgebaut und am Prüfstand vermessen werden.

Folgende Arbeitsschritte mussten dafür durchgeführt werden:

- Getriebe mit Sondermesstechnik applizieren
- Am Getriebe Standard Sensorik verbauen
- Zusammenbau des Getriebes am Montageplatz
- Kabelbaum am Getriebe aufbauen
- Aufbau des Getriebes am Prüfstand
- Inbetriebnahme des Getriebes am Prüfstand

Diese Arbeitsschritte werden im Folgenden näher beschrieben.

Getriebe mit Sondermesstechnik applizieren:

Zur Messung der Schaltkräfte, an den zu untersuchenden Synchronisierungen in den Gängen 1 und 3, musste das Getriebe (Schaltgabeln) mit Sondermesstechnik appliziert werden. Hierfür wurde die Schaltgabel mit DMS appliziert und kalibriert.

Der Prüfaufbau zur Kalibrierung der DMS an der Schaltgabel ist in Abbildung 8 dargestellt.

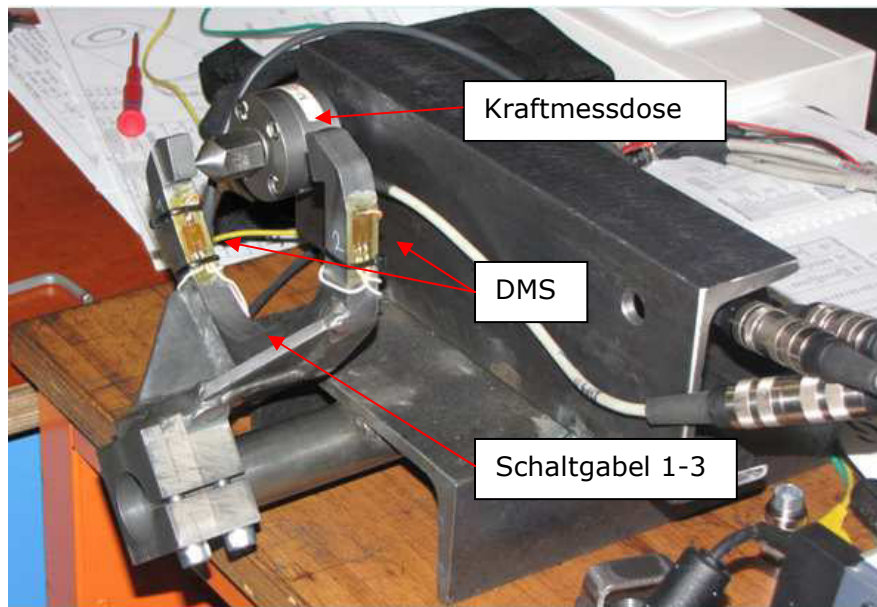


Abbildung 4: Kalibrieren der DMS an der Schaltgabel 1-3

Am Getriebe Drehzahl-Sensorik verbauen:

In diesem Arbeitsschritt wurden die Drehzahlsensoren am Getriebe verbaut und eingestellt, sowie auf Funktion überprüft.

Zusammenbau des Getriebes am Montageplatz:

Hierbei wurde das Getriebe mit sämtlichen Einzelteilen aufgebaut, vermessen und eingestellt.

Kabelbaum am Getriebe aufbauen:

In diesem Schritt wurden sämtliche Sensorleitungen verdrahtet und in einem Kabelbaum zusammengefasst.

In Abbildung 9 ist das Getriebe im zusammengebauten Zustand während der Aufbauarbeiten und das Applizieren des Kabelbaumes zu sehen.

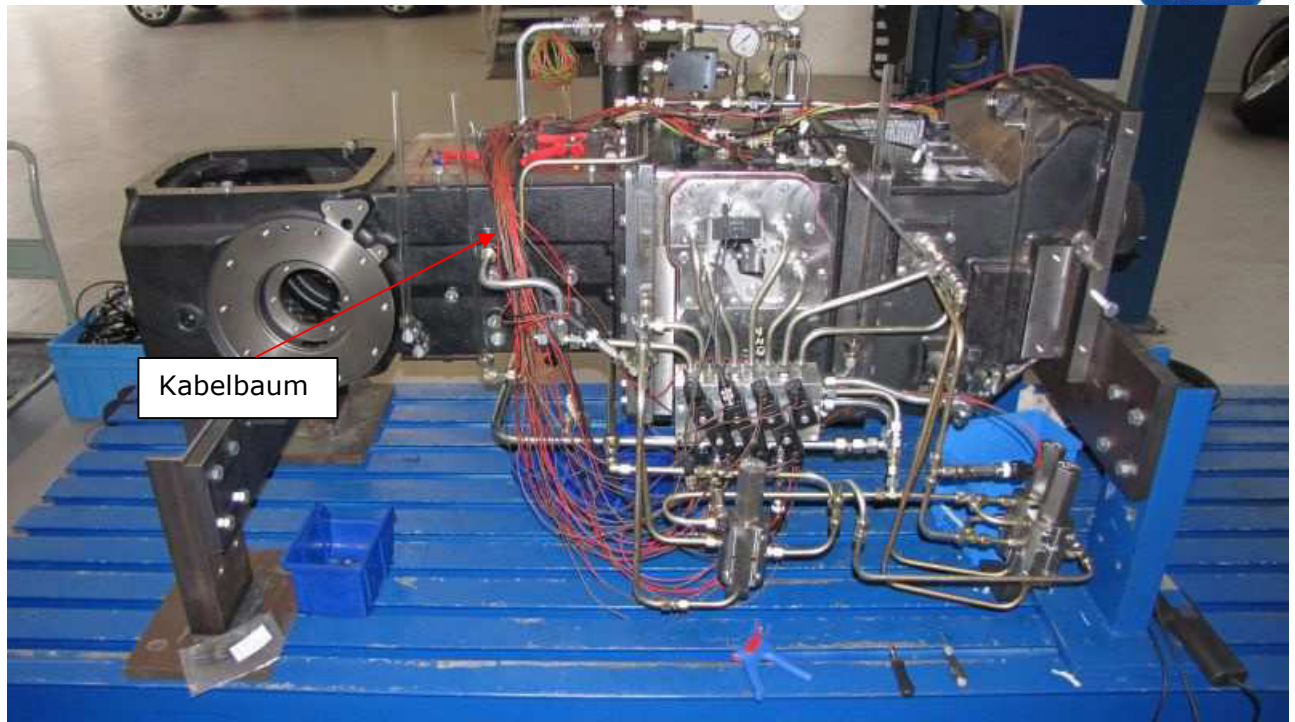


Abbildung 5: Getriebe am Montageplatz

Aufbau des Getriebes am Prüfstand:

Nach Fertigstellung des Kabelbaums wurde das Getriebe am Funktionsprüfstand, unter Zuhilfenahme von Konstruktionszeichnungen, bei hofer in Garsten aufgebaut (siehe Abbildung 10). Nach den Aufbauarbeiten wurde das Getriebe in Betrieb genommen und anschließend die Messungen mit den Original Synchronisierungen durchgeführt.

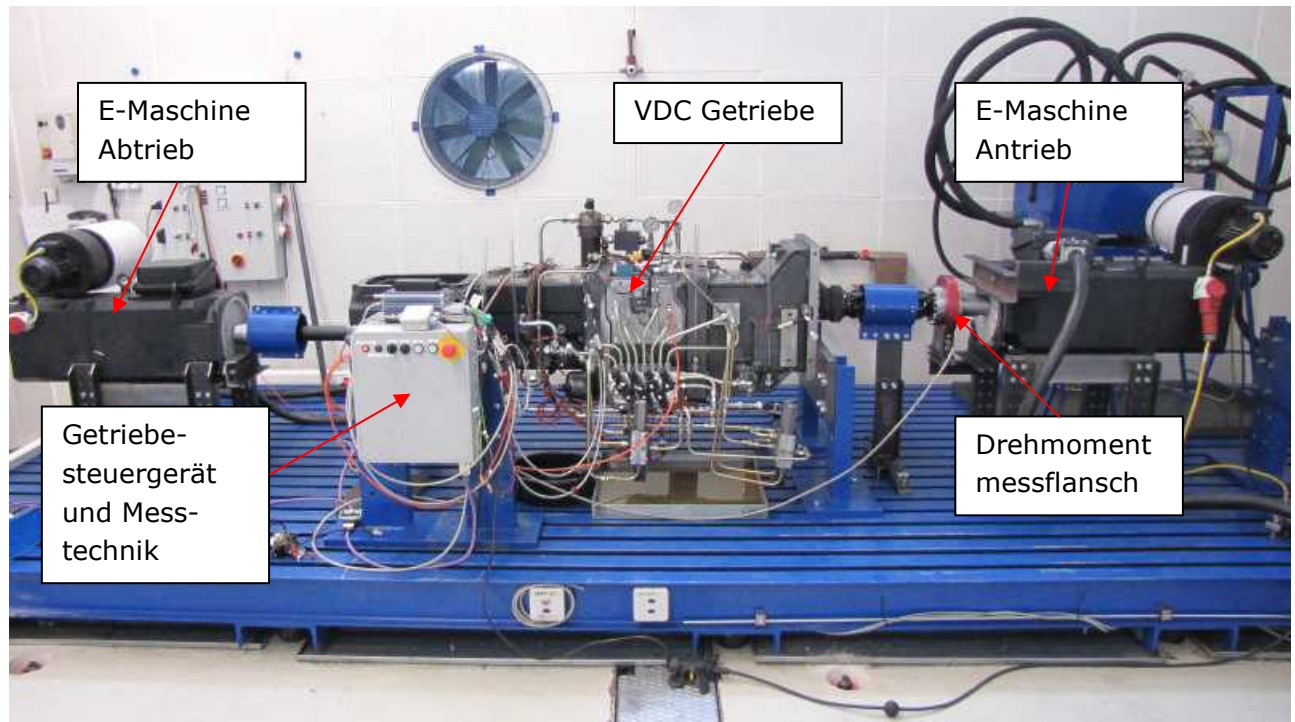


Abbildung 6: Aufbau des Getriebes am Prüfstand

Inbetriebnahme des Getriebes am Prüfstand:

Die Inbetriebnahme des Getriebes am Prüfstand bei hofer umfasste folgende Tätigkeiten:

- Einbindung der Getriebesteuerung in die Prüfstandsoftware
- Einbindung der Sensorik und Messtechnik in die Prüfstandsoftware
- Überprüfung und Abstimmung der Getriebesteuerung (Software)
- Überprüfen der Sondermesstechnik (DMS auf Schaltgabeln und Laser-Wegsensor)
- Erstellen eines Prüfprogrammes (Prüfstandsautomatisierung)
- Antreiben des Prüflings (VDC Getriebe)

Die Inbetriebnahme wurde erfolgreich durchgeführt, wobei die Abstimmung der Getriebesteuerung einer der Hauptkriterien war.

Anschließend konnten die ersten Messungen mit den Original-Synchronisierungen durchgeführt werden.

Messungen der Original-Synchronisierung

Die erste Abbildung zeigt die gesamte Messung (mit mehreren Schaltungen) und die zweite Abbildung eine Schaltung im Detail von Gang 1 in den Gang 3.

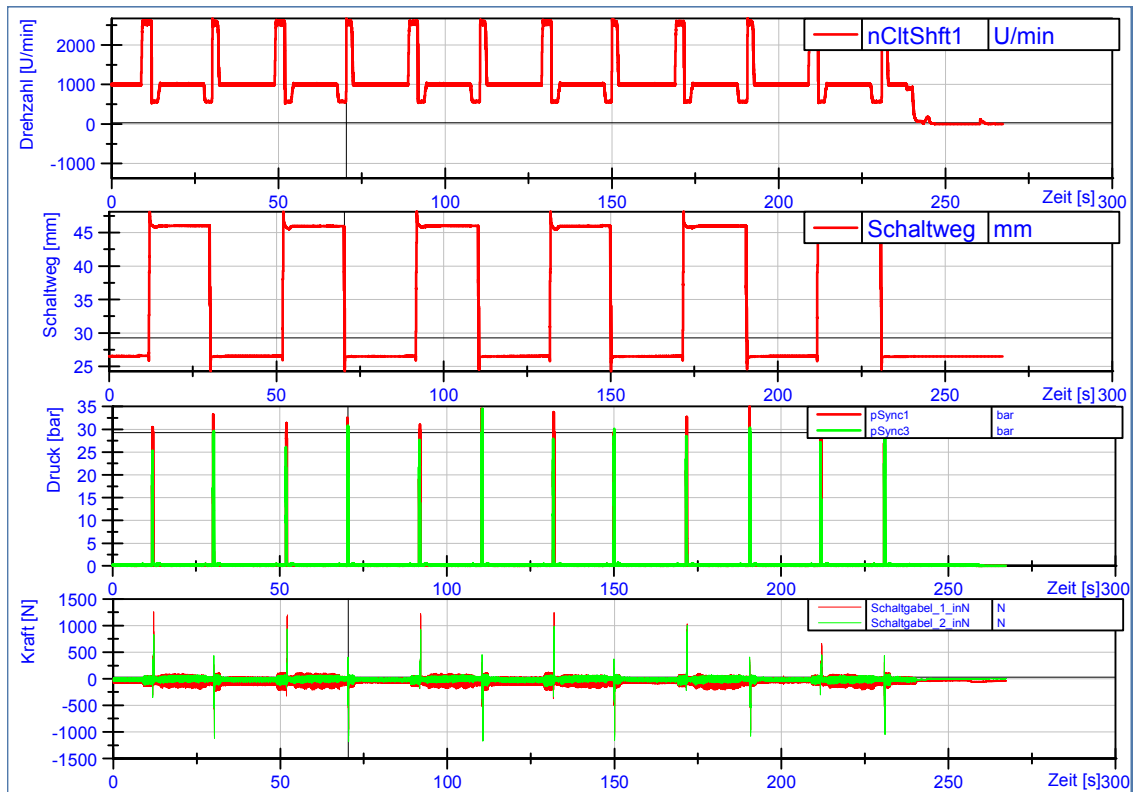


Abbildung 7: Ein Mess-file im Überblick

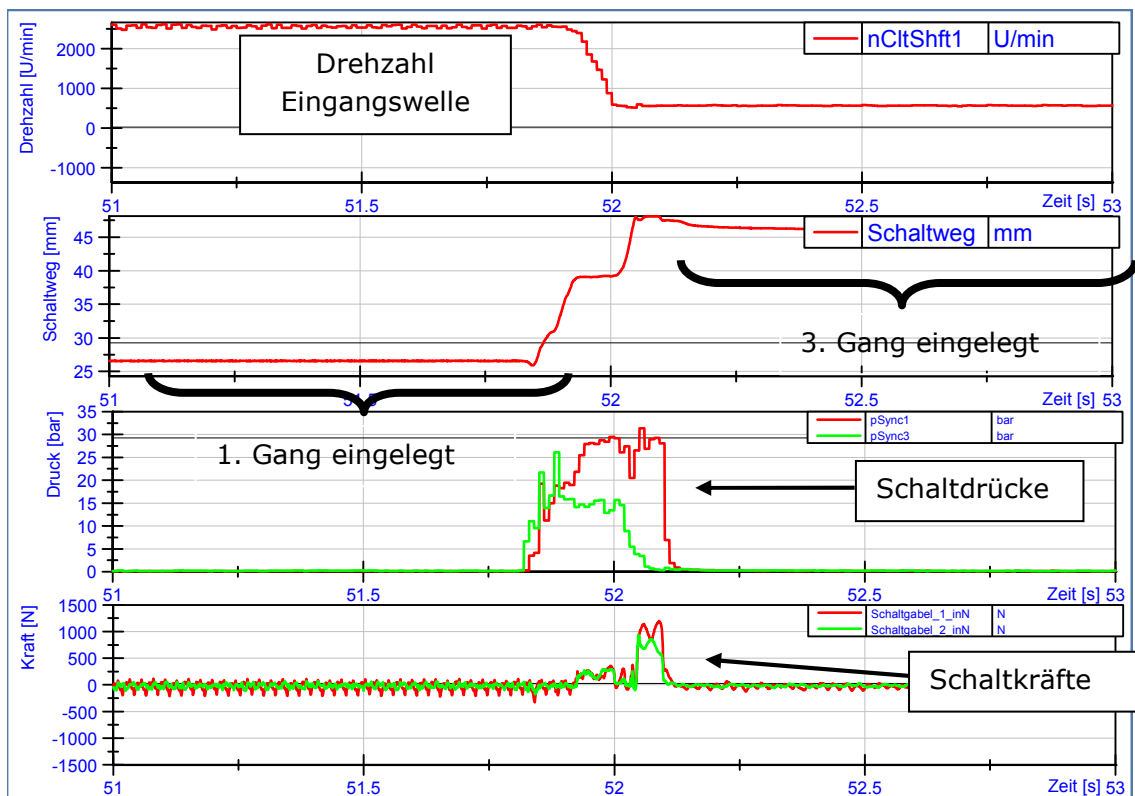


Abbildung 8: Messung 1-3 Schaltung Original Synchronisierung

Nach der verzögerten Beschaffungsphase wurde Mitte 2011 die Servo-Synchronisierung in das Getriebe eingebaut und vermessen.

In der folgenden Messung wird die originale Einfachkonus- Synchronisierung der Servo-Synchronisierung gegenübergestellt.

Man erkennt am Schaltweg und an der Synchronisierzeit einen leichten Vorteil zu Gunsten der Servosynchronisierung. Das Schaltprogramm und somit die Kraft und der Druck sind in beiden Messabläufen ident.

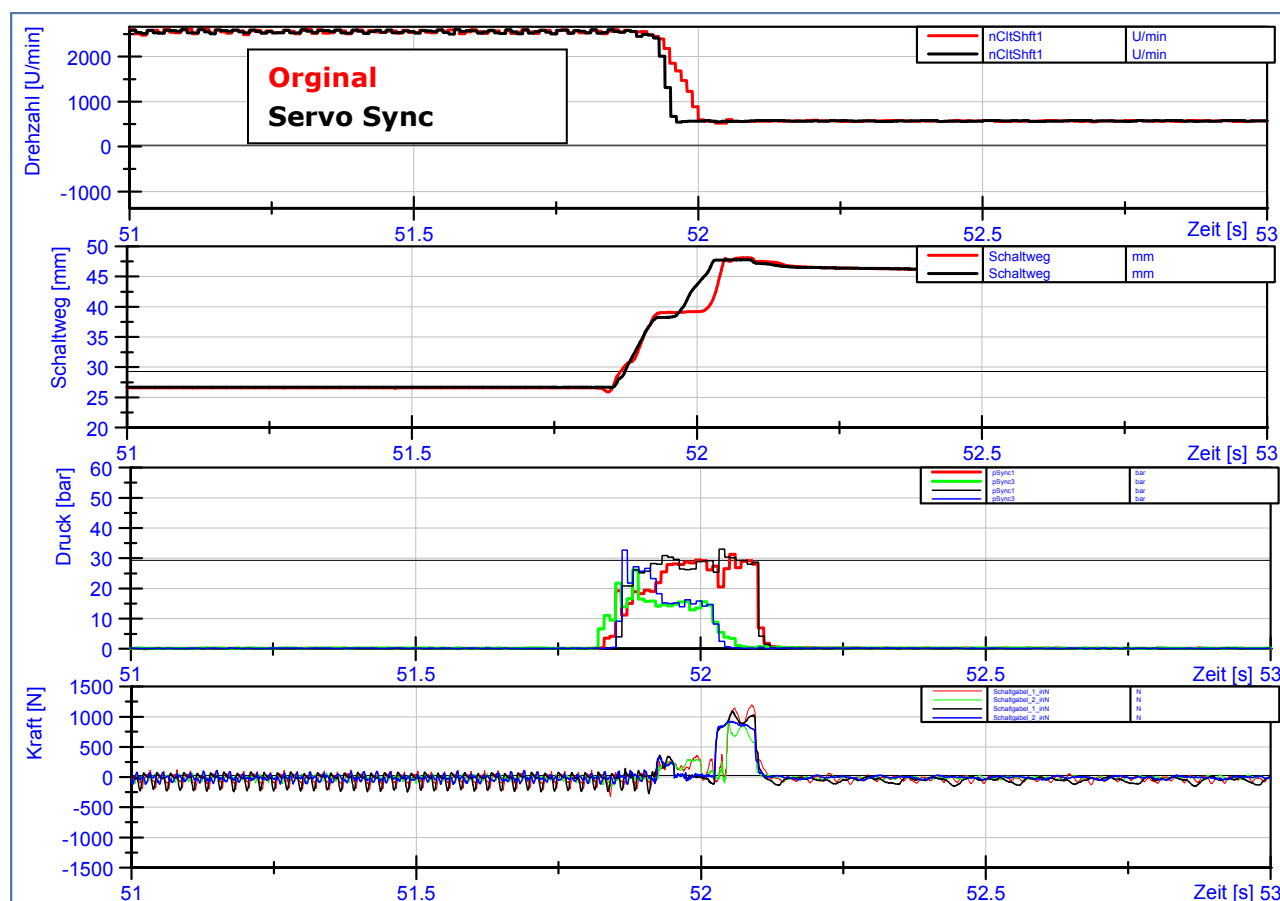


Abbildung 9: Messung Schaltung 1-3 Vergleich Original und Servo-Synchronisierung

Eine detaillierte Auflistung aller gemessenen Synchronisierungszeiten ist in folgender Tabelle aufgelistet.

Original		Servo	
1-3 [s]	3-1 [s]	1-3 [s]	3-1 [s]
0.0500	0.2000	0.0210	0.1000
0.0600	0.1900	0.0250	0.1800
0.0700	0.1900	0.0200	0.1000
0.0600	0.1800	0.0200	0.0800
0.0700	0.2000	0.0250	
0.0700	0.2100		

Synchronisierungszeiten Schaltung: 1-3, 3-1

Die Servosynchronisierung hat somit bei gleichem Schaltdruck eine im Schnitt 50% schnellere Synchronzeit was der Erwartung entspricht.

AP4: Verbrauchsberechnung

Als Grundlage für eine Verbrauchsberechnung dient das Modell eines 8 Gang Doppelkupplungsgetriebe wie im folgenden Bild dargestellt.

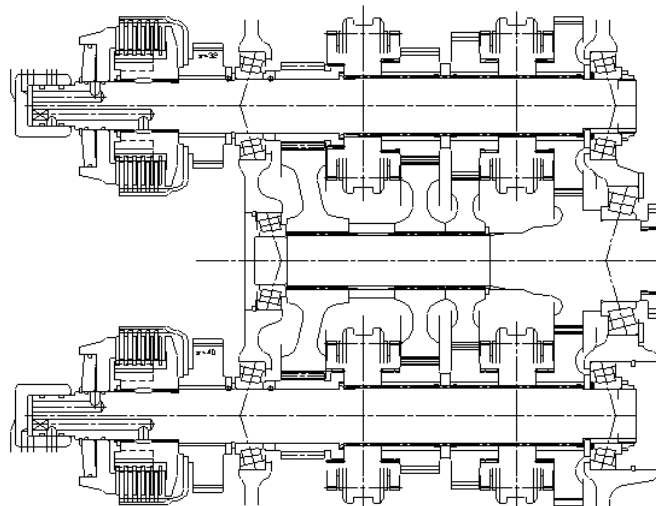


Abbildung 10: 8 Gang Doppelkupplungsgetriebe

Als Fahrzyklus wird der Stadtanteil des NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) herangezogen. Es handelt sich also um einen Transportzyklus, der bei Traktoren im Ortsgebiet auftauchen kann.

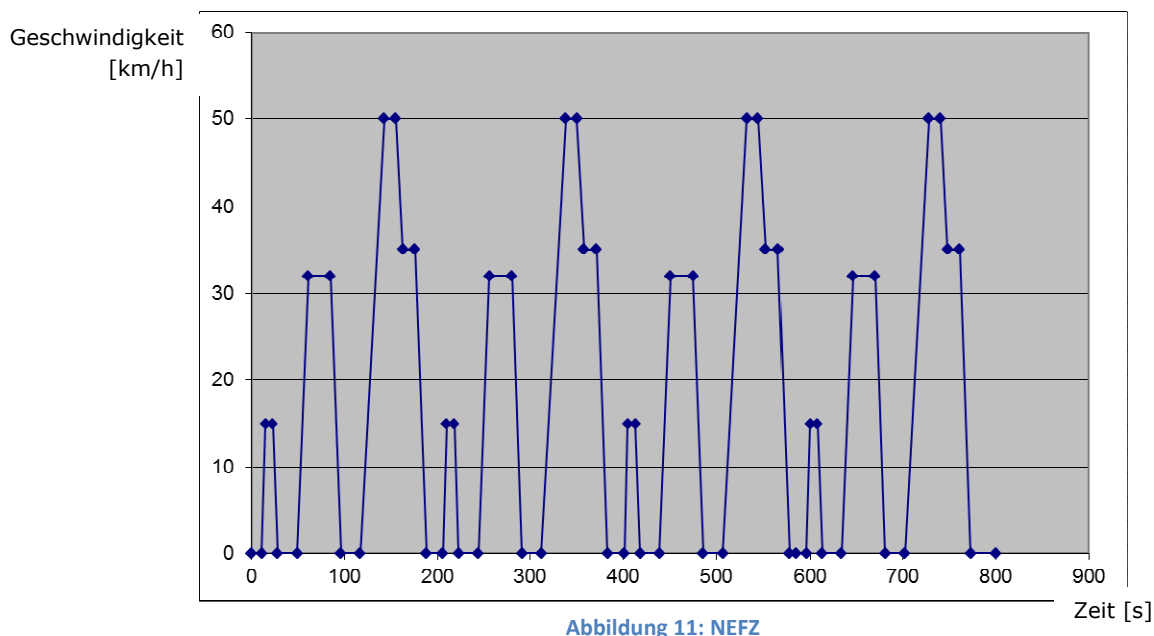


Abbildung 11: NEFZ

Aus dem Schaltprofil, den Übersetzungen der 8 Gänge und der Fahrzeuggeschwindigkeit aus dem Zyklus sind alle Drehzahlen zu jedem Zeitpunkt definiert. Führt das Fahrzeug im 1. Gang, wie im folgenden Bild, stellen sich an den offenen Synchronisierungen

Differenzdrehzahlen ein. Diese Differenzdrehzahlen bilden gemeinsam mit dem Schleppmoment an den Synchronisierungen eine Verlustleistung.

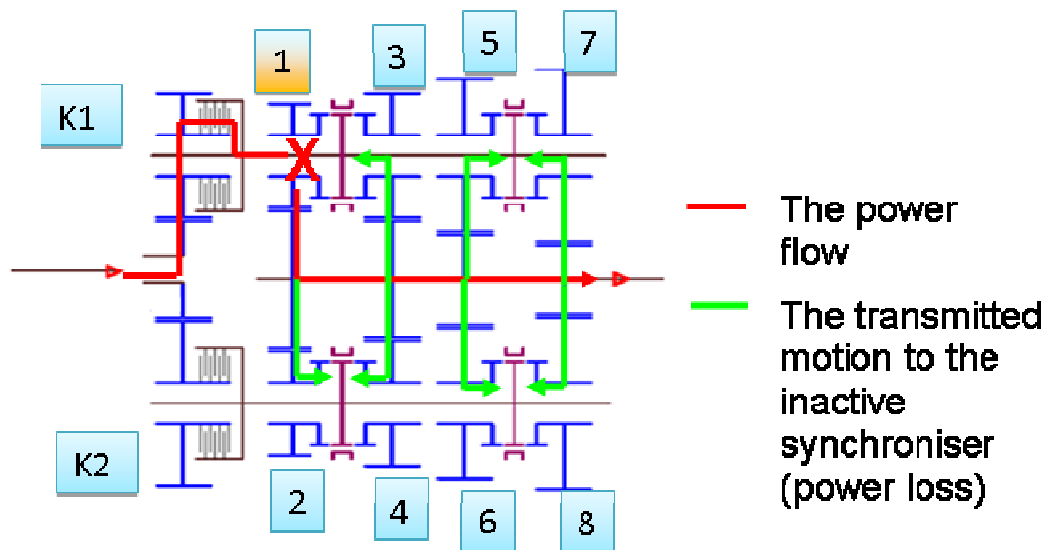


Abbildung 12: Getriebeschema mit Drehmoment-Pfad

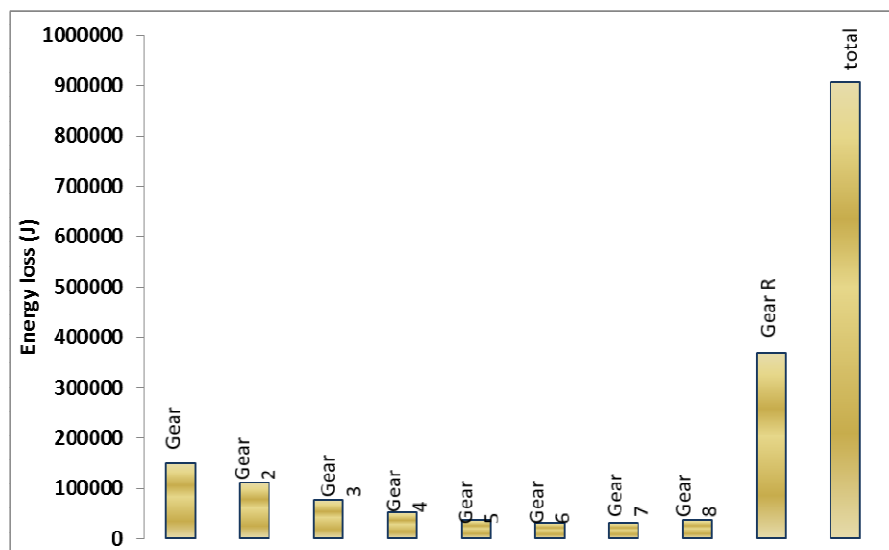


Abbildung 13: Reibenergie der einzelnen Gänge im Zyklus original

Ersetzt man in der Berechnung die Einfachkonus Synchronisierung durch die Servo Synchronisierung erhält man für den NEFZ folgendes Ergebnis.

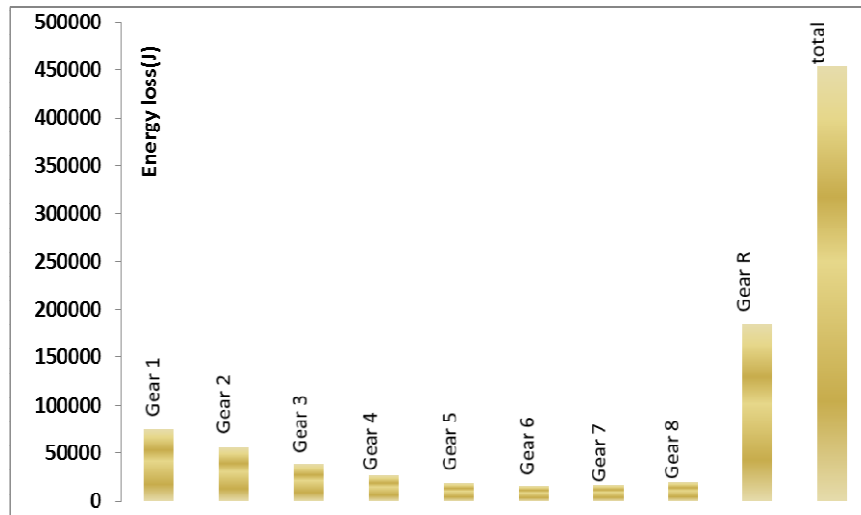


Abbildung 14: Reibenergie mit Servo Synchronisierungen

Das Ergebnis der Berechnung zeigt eine **Reduktion der Reibenergie um 50%**. Durch eine Optimierung der Schaltstrategie durch die Softwareabteilung wird die Motordrehzahl über den Zyklus um 20% abgesenkt. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Differenzdrehzahlen und neue Reibenergien über den Zyklus.

Durch eine verbesserte Auslegung und den Einsatz der Servosynchronisierung im Getriebe, kann so eine **Reduktion der Verluste um 60%** erreicht werden.

AP5: Tribologie, Komponententest und Lebensdaueruntersuchungen (TU Graz)

An der TU Graz wurde ein Komponentenprüfstand für die Synchronisierungstests aufgebaut. Der Aufbau ist in Abbildung 15 dargestellt.

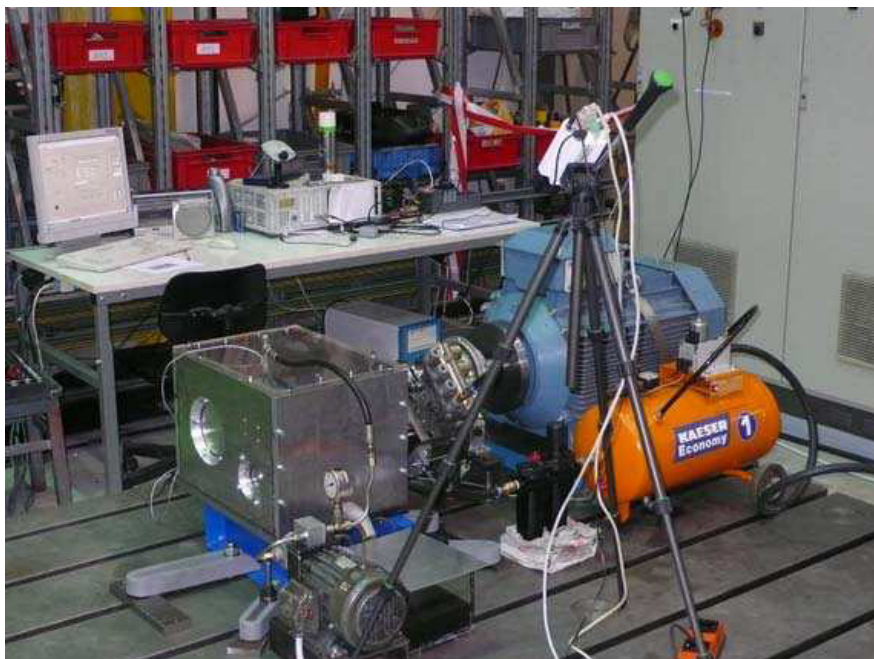


Abbildung 15: Prüfstands Aufbau für Komponententests

Ziel der Prüfstandsuntersuchungen war primär die Durchführung eines Funktionsnachweises der Servosynchronisierung und die Darstellung des Verschleißverhaltens bei 100.000 Schaltungen mit vorgegebenem Kollektiv. Dabei zeigt die Servosynchronisierung mit Karbonbelägen eine zuverlässige Funktion. Die Verstärkungsfunktion beträgt ca. 2,37. Der Verschleiß bis 100.000 Schaltungen ist sehr gering, zeigt sogar ab ca. 60.000 Schaltungen keine Zunahme.

Zum Vergleich wurden Versuche mit einer konventionellen Synchronisierung durchgeführt. Diese zeigt einen höheren Verschleiß. Nach 65.000 Schaltungen war jedoch nur ca. ¼ der Verschleißreserve aufgebraucht.

Beide Systeme zeigen nach einem Einlaufvorgang, der bei der Servosynchronisierung nach ca. 1.000 Schaltungen und bei der Standardsynchronisierung nach ca. 15.000 Schaltungen abgeschlossen ist, ein relativ unverändertes Verhalten bis zum Ende der Dauerlaufversuche.

3. Beschreibung der Schwierigkeiten bei Erreichung der geplanten Ziele innerhalb der Berichtsperiode (falls vorhanden)

Probleme traten am Komponentenprüfstand an der TU Graz auf. Hier musste der Aufbau optimiert werden und bei Versuchen wurde eine Schaltgabel zerstört. Diese Probleme waren aber eher untergeordnet.

4. Beschreibung der „Highlights“ im Projektfortschritt

Der erfolgreiche Nachweis der Verstärkung von 2,37 am Komponentenprüfstand und am Getriebeprüfstand ist die Bestätigung der Wirksamkeit und Überlegenheit der Technologie im Vergleich zu Stand der Technik. Der erfolgreiche Dauerlauf über 100.000 Schaltungen am Komponentenprüfstand ohne hohen Verschleiß bestätigt die Auslegung und damit auch die Verwertbarkeit für eine Serienanwendung. Die Simulationsergebnisse im Zyklus ergeben eine bis zu 60%-ige Reduzierung der Verluste an den Synchronisierungen, was die ökologischen Ziele des Projekts bestätigt.

5. Beschreibung und Begründung der Unterschiede zum ursprünglichen Projektantrag

Der größte Unterschied ist die um ein Jahr längere Laufzeit aufgrund der Verzögerungen in der Prototypenbeschaffung mit dem möglichen Serienlieferanten und die Verhandlungen über die Schutzrechte (LOI). Ansonsten wurde das Projekt grundsätzlich wie geplant verzögert durchgeführt.

1.3 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Wie bereits oben beschrieben, wurde die Auslegung voll bestätigt. Sowohl die Verstärkung als auch die Lebensdauer wurden nachgewiesen. Die Konstruktion ist auf Serienwerkzeugen kostengünstig herstellbar. Die ökologischen Ziele wurden im Zyklus NEFZ mit Reduzierung 60% in der Simulation nachgewiesen.

Hinsichtlich Verwertung der Entwicklung wurden die Ziel übertroffen indem ein Serienlieferant gefunden wurde, der bereit ist das Produkt zu produzieren und zu

vermarkten. Die entsprechenden Verhandlungen zur Verwertung der Schutzrechte wurden bereits geführt und sind mit ein Grund für die Projektverzögerung.

Die Umsetzung von weiteren Prototypen und darauf folgende Tests zusammen mit dem Serienlieferanten sind bereits außerhalb des Projektrahmens im Gange.

2 Verwertung

2.1 Einsatzmöglichkeit und Nutzen der Projektergebnisse bzw. der neuen Technologien

Der Druck energieeffiziente Fahrzeuge (Getriebe) auf den Markt zu bringen steigt auch in dem Bereich der Off- highway Maschinen. Lösungen, die eine signifikante Reduktion der Energiekosten ermöglichen, bergen daher ein hohes Marktpotential.

Die neue entwickelte Servo-Synchronisierung hat gezeigt, dass sie der herkömmlichen Technologie weit überlegen ist, was in einem automatisierten Getriebe einen besseren Verbrauch und bei Ersatz von Mehrfachkonussynchronisierungen auch einen Kostenvorteil bringen kann. Deswegen erwarten wir, dass die Technologie nach entsprechender Vermarktung eine Chance auf breite Anwendung hat.

3 Ausblick

Die Technologie der Servo-Synchronisierung für den Off-highway Bereich hat sich als tauglich erwiesen. Die technischen Verbesserungsmöglichkeiten vor allem in Hinblick auf Robustheit (Ausfall am Getriebe) werden aktuell mit dem möglichen Serienlieferanten umgesetzt.

Die Vermarktung ist aktuell in vollem Gange, so wurden z.B. mehrere Publikationen gemacht.

Forschungsbedarf ist aktuell nicht gegeben, der Fokus wird nun eher in Richtung Applikation bei einem Kunden gelegt.

In Diskussionen mit dem möglichen Serienhersteller wurde aber auch der weitere Markt der Nutzfahrzeuge (Trucks) diskutiert. Hier herrscht ebenfalls Bedarf nach der Technologie der Servo-Synchronisierung.

IMPRESSUM

Verfasser

Hofer forschungs- und entwicklungs GmbH

Thomas Fiechtl

Gewerbepark 1, 4451 Garsten

Tel: +43 7252 706610

Fax: +43 7252 7066150

E-Mail: office@hofer-powertrain.at

Web: www.hofer.de

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Projektpartner

Institut für Maschinenelemente und
Entwicklungsmethodik, TU-Graz

Rechbauerstrasse 12, 8010 Graz

Tel.: +43 (0) 316 873 - 0

Fax: +43 (0) 316 873 - 6562

E-Mail: info@TUGraz.at

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at