



Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences



Learning
e-Mobility
Plus

Demonstrator Power-Split-Getriebe Toyota Prius III

Lastenheft

Gruppe A & B

Überarbeitet von Prof. Dr.-Ing. Michael
Lindemann



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.



Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences



Learning
e-Mobility
Plus

Demonstrator Power-Split-Getriebe Toyota Prius III

Lastenheft

Projekt:	Demonstrator/Lernmodell
Bearbeiter:	Gruppe A: Michel Schädlich 540662 Stefan Giencke 540792 Steve Hansel 541493 Thomas Jäger 540530 Gruppe B: Ben Kalwert 538414 Marc Gottschalk 543060 Marian Bookhahn 542640 Markus Große 538253
Überarbeitet:	Prof. Dr.-Ing. Michael Lindemann
Studiengang:	Fahrzeugtechnik Bachelor
Modul:	E63 – Wintersemester 2014/15
Betreuer:	Prof. Dr.-Ing. Michael Lindemann
Version:	4.0
Datum:	19.02.2015



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichern wir an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer, als der angegebenen Hilfsmittel und Quellen angefertigt wurde; die aus dritten Quellen direkt oder indirekt übernommen Passagen sind als solche kenntlich gemacht.

Michel Schädlich	540662	_____
Stefan Giencke	540792	_____
Steve Hansel	541493	_____
Thomas Jäger	540530	_____
Ben Kalwert	538414	_____
Marc Gottschalk	543060	_____
Marian Bookhahn	542640	_____
Markus Große	538253	_____



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Ausgangssituation	3
3	Zielsetzung	4
4	Produkteinsatz.....	5
5	Beschreibung des Demonstrators	6
6	Übungsversuche	9
7	Versuchsgruppe 1	11
7.1	Motorstart	11
7.1.1	Motorstart im Stand.....	11
7.1.2	Motorstart aus der Bewegung	12
7.2	Konstantfahrt	12
7.2.1	Konstantfahrt rein elektrisch	12
7.2.2	Konstantfahrt mit Verbrennungsmotor	12
7.3	Rekuperation	13
8	Versuchsgruppe 2	15
8.1	Versuch 1: Anfahren	15
8.1.1	Anfahren mit niedriger Last und geladener Batterie	15
8.1.2	Anfahren mit hoher Last/geladener Batterie mit „Boost“-Modus.....	16
8.1.3	Anfahren mit niedrigem Batterieladezustand	18
8.2	Versuch 2: Fahren und Laden	19
8.2.1	Laden im Stand.....	19
8.2.2	Konstant fahren bei niedrigem und hohem Ladezustand der Batterie	21
9	Versuchsgruppe 3	23
9.1	Rekuperation aus Konstantfahrt in D und B.....	23



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

10	Produktanforderungen.....	26
11	Abnahmekriterien	36
12	Anlagen	37
12.1	Literatur- und Quellenverzeichnis	37
12.2	Abbildungsverzeichnis.....	37
12.3	Tabellenverzeichnis	38
12.4	Wahrheitstabelle Versuche.....	39



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Abkürzungsverzeichnis

Bat.	Batterie (SOC)
bzw.	beziehungsweise
BB	Bremspedalbetätigung
FB	Fahrpedalbetätigung
GM	Geräuschmodul mit Lautsprecher
HR1	Handrad MG 1
HR2	Handrad MG 2
HRM	Handrad Motor
HTW Berlin	Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
HV	Hochvolt
ICE	Internal Combustion Engine
Kfz	Kraftfahrzeug
HV	Ladezustand Hochvoltbatterie
LB	Lastbetätigung
LM	Lastmotor
LED	Light-Emitting Diode
Mio.	Millionen
MG1	Motorgenerator 1
MG2	Motorgenerator 2
PS	Parkschalter
Pkw	Personenkraftwagen
PSG	Power-Split-Getriebe
PTWS14/15	Projektteam Wintersemester 2014/15
Re	Ready-Modus
SoSe	Sommersemester
SOC	State of charge
WH	Wahlhebel
WiSe	Wintersemester

1 Einleitung

In unserer globalisierten Welt spielt der Straßenverkehr eine wichtige Rolle zur Sicherstellung individueller Mobilität. Vor allem das Auto hat weiterhin einen hohen Stellenwert und ist nach wie vor des Deutschen liebstes Kind. Mit 44 Millionen Pkw sind heute so viele Autos auf Deutschlands Straßen unterwegs wie nie zuvor, was eine starke Belastung der Umwelt mit sich bringt. [1] Damit Emissionen reduziert und unter anderem der Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre gesenkt werden, ist es für die Fahrzeughersteller notwendig, den Übergang von herkömmlichen Antrieben zu Hybrid- und Elektrofahrzeugen nachhaltig voranzutreiben.

Die Bundesregierung verfolgt mit ihrem Maßnahmenpaket des „Integrierten Energie- und Klima-Schutzprogramms“ das Ziel, den verkehrsbedingten CO₂-Ausstoß signifikant zu senken. Demnach sollen 2020 etwa 1 Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland fahren. Außerdem wird versucht die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im Bereich Elektromobilität zu stärken, um sich so zu einem Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. [2] Doch der rein elektrische Antrieb stößt weiterhin schnell an seine Grenzen. Vor allem die maximal mögliche Reichweite überzeugte bisher nicht, sodass die Kombination mit Verbrennungskraftmaschinen derzeit am sinnvollsten ist. Dadurch hat sich das Hybridfahrzeug zu einem sehr erfolgreichen Konzept entwickelt und schlägt eine wichtige technologische Brücke zum rein elektrischen Antrieb.

Als erfolgreiches Beispiel für ein Hybridfahrzeug präsentiert sich allen voran der, seit vielen Jahren in Großserie gefertigte, Toyota Prius. Dieser kombiniert zwei Elektromotoren und einen Verbrennungsmotor mittels leistungsverzweigter Hybridtechnologie. Der Verbrennungsmotor gibt dabei einen Teil seiner Leistung mechanisch an einen Elektromotor weiter. Mit der übrigen Energie erfolgt der Betrieb eines Generators, der sowohl die Batterie laden, als auch den zweiten Elektromotor antreiben kann. Durch die Leistungsverzweigung kann der Verbrennungsmotor in einem effizienteren Betriebspunkt arbeiten (Lastpunktverschiebung), woraus sich ein geringerer Kraftstoffverbrauch ergibt. Um ein einwandfreies Zusammenspiel der einzelnen Komponenten sicherzustellen ist ein hoher Steuerungs- und Regelungsaufwand erforderlich. Diese Technologie erzielt einen überdurchschnittlich hohen Gesamtwirkungsgrad



und einen daraus resultierenden Verbrauchsvorteil. Der Toyota Prius gilt als das bekannteste leistungsverzweigte Hybridfahrzeug. [3]



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

2 Ausgangssituation

In der heutigen Zeit, welche von sehr schnell voranschreitenden und komplexen technischen Innovationen geprägt ist, ist es auch immer eine Herausforderung, diese dem entsprechenden Personenkreis verständlich zu machen.

Wo früher oftmals von den Automobilherstellern untereinander ähnliche Systeme für längere Zeit eingesetzt wurden, treten heute schon nach kurzer Zeit Änderungen und Neuerungen in den Fahrzeugen auf. Dieser Tatsache geschuldet sind auch aufwendigere und vielseitigere Ausbildungsmethoden notwendig.

Vor allem die an Relevanz zunehmende Umwelt- und Ressourcenschonung hat in den letzten Jahren eine Vielzahl von alternativen Antriebskonzepten zu Tage gebracht. Die Hybridtechnik tritt somit immer mehr in Erscheinung. Neben dem seriellen und parallelen Hybrid-System hat sich auch die Variante des Mischhybrides durchgesetzt. Letztere stellt eine Kombination aus serielllem und parallelem Hybrid dar.

Der schon erwähnte Toyota Prius ist ein Mischhybrid und ist mit dieser Hybridvariante seit 1997 sehr erfolgreich auf unseren Straßen unterwegs. Er besitzt ein sehr komplexes Antriebssystem, in dessen Zentrum sich das sogenannte „Power-Split-Getriebe“ befindet. Es besteht aus einem Planetenradsatz, welcher zur Leistungsverzweigung der verschiedenen Antriebskomponenten dient.

Die Funktionalität eines leistungsverzweigten Antriebs lässt sich nur schwer erschließen. Dies äußert sich erfahrungsgemäß nicht nur in den Ausbildungszentren der Handwerkskammern beziehungsweise der Kraftfahrzeuginnungen, sondern auch bei der akademischen Ausbildung der Studentinnen und Studenten an den Hochschulen.

Aus diesem Grund wurde ein Forschungsprojekt ins Leben gerufen, das sich mit der Vermittlung komplizierter Lerninhalte - international, interdisziplinär und ausbildungsstättenübergreifend, beschäftigt. Kernthema des Forschungsprojekts ist das „Power-Split-Getriebe“ des Toyota Prius III. Bei dem internationalen Projekt beteiligen sich die Länder Polen, Italien und Deutschland. Dabei soll, im Rahmen dieser Lehrveranstaltung und in Zusammenarbeit mit der Kraftfahrzeuginnung, ein Lastenheft zur Entwicklung eines Demonstrators erstellt werden. [4]



3 Zielsetzung

Ziel des Projektes ist es, ein Lernmodell/Demonstrator zu entwickeln um das Verständnis des leistungsverzweigten Antriebs zu erleichtern. Das Modell soll in der Lage sein, ausgewählte Betriebszustände des Hybridfahrzeugs Toyota Prius III einfach und verständlich zu vermitteln.

Tab. 3-1: Zielerfordernungen für das Lernsystem

Was soll das System können?	
LZ0001	Das Verständnis für die Funktionsweise eines leistungsverzweigten Hybridantriebs soll erleichtert werden.
LZ0002	Ausgewählte Betriebszustände des Hybridfahrzeugs Toyota Prius III sollen einfach und verständlich vermittelt werden.



4 Produkteinsatz

Der Demonstrator soll vor allem Auszubildenden aus technischen Fachrichtungen aller Lehrjahre dienen, um die Technik besser kennen zu lernen. So könnte in der Berufsausbildung der leistungsverzweigte Antrieb eingehend erläutert werden. Zum Beispiel könnten in der Kraftfahrzeuginnung Inhalte aus Theorie und Praxis besser miteinander verknüpft werden, sodass Auszubildende ihr Wissen leichter erarbeiten und beim Durchführen von Versuchen die Funktionalitäten des Hybridsystems auf einfache Weise verstehen können.

Auch für Berufsschulen und Lehrwerkstätten wäre der Demonstrator eine sinnvolle Anschaffung. Dadurch könnte auch hier die Vermittlung komplizierter Lerninhalte deutlich erleichtert werden. Die Aus- und Weiterbildung an Hybridkonzepten würde so ein hohes Maß an Qualität und Fachwissen erfüllen.

Des Weiteren könnte der Demonstrator in Universitäten und Hochschulen zum Einsatz kommen. Studierende unterschiedlichster Fachrichtungen können innerhalb von Workshops oder Projekten Versuche und Labortests am Antriebskonzept mittels Simulation durchführen.

Zusätzlich kann der Demonstrator nicht nur für diverse Ausbildungszwecke eingesetzt werden, sondern auch auf verschiedenen Berufsbildungsmessen. Auf diese Weise kann man bei Schülern, Lehrern und Eltern die Faszination für moderne Fahrzeugkonzepte wecken und auch das Interesse an einem technisch orientierten Beruf fördern.



5 Beschreibung des Demonstrators

Abbildung 5-1 zeigt einen ersten, skizzenbasierten Entwurf des Demonstrators.

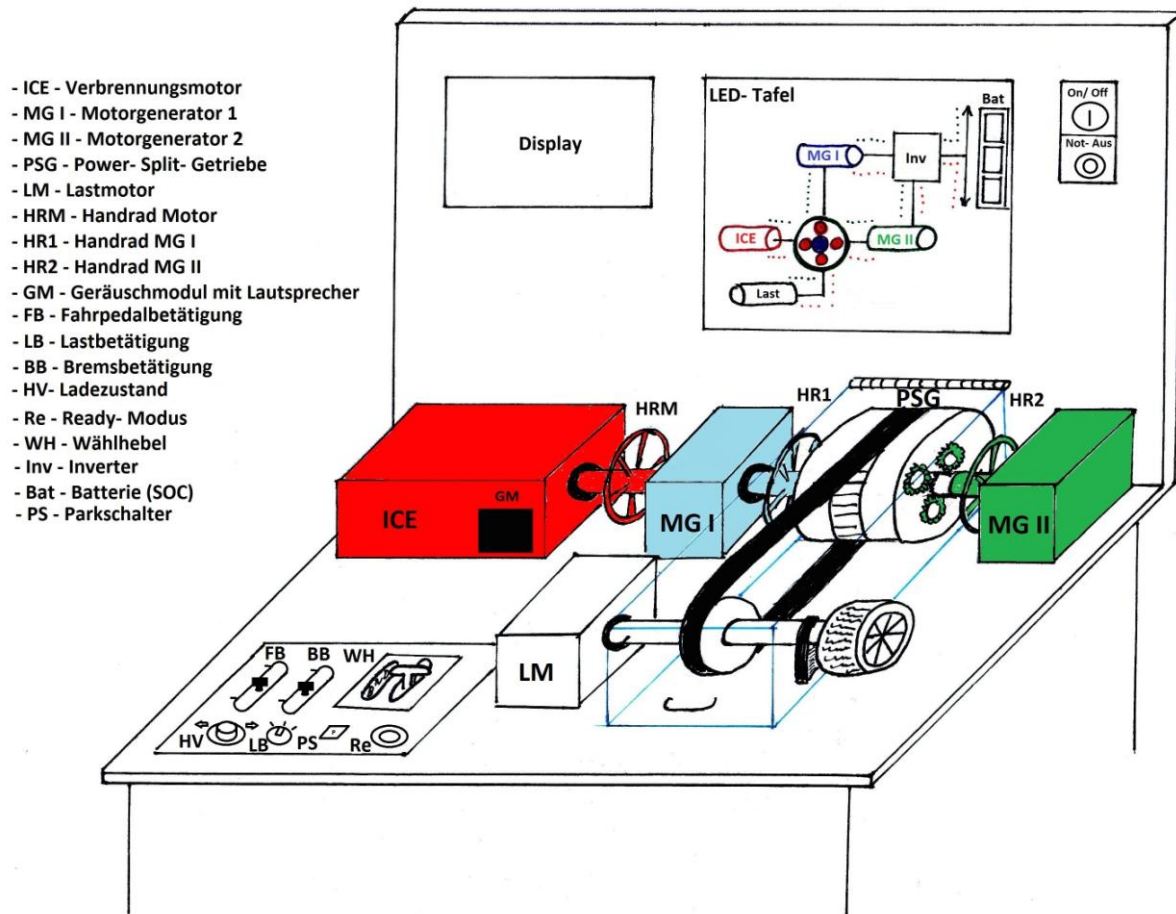


Abbildung 5-1: Entwurf Demonstrator

Der Aufbau besteht aus einem Tisch mit angebrachter Tafel. Auf dem Tisch sind alle mechanischen Komponenten, sowie ein Steuerpult zur Einstellung der verschiedenen Fahrmodi untergebracht. Die mechanischen Komponenten umfassen jeweils einen Elektromotor für die Funktion des ICE, MG1 und MG2, sowie diverse Handräder zum Erfühlen der Kraftflüsse. Das Power-Split-Getriebe ist offen ausgeführt und soll, durch verschiedene Farben der einzelnen Baugruppen, die Leistungsverzweigung möglichst anschaulich darstellen. Die Antriebsachse, mit einem montierten Rad, ist über einen Riemen mit dem PSG verbunden. Die kinetische Energie des bewegten Fahrzeugs und Fahrsituationen wie Bergauf- und Bergabfahrten können durch den Lastmotor, welcher ebenfalls als Elektromotor ausgeführt ist, simuliert werden.



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

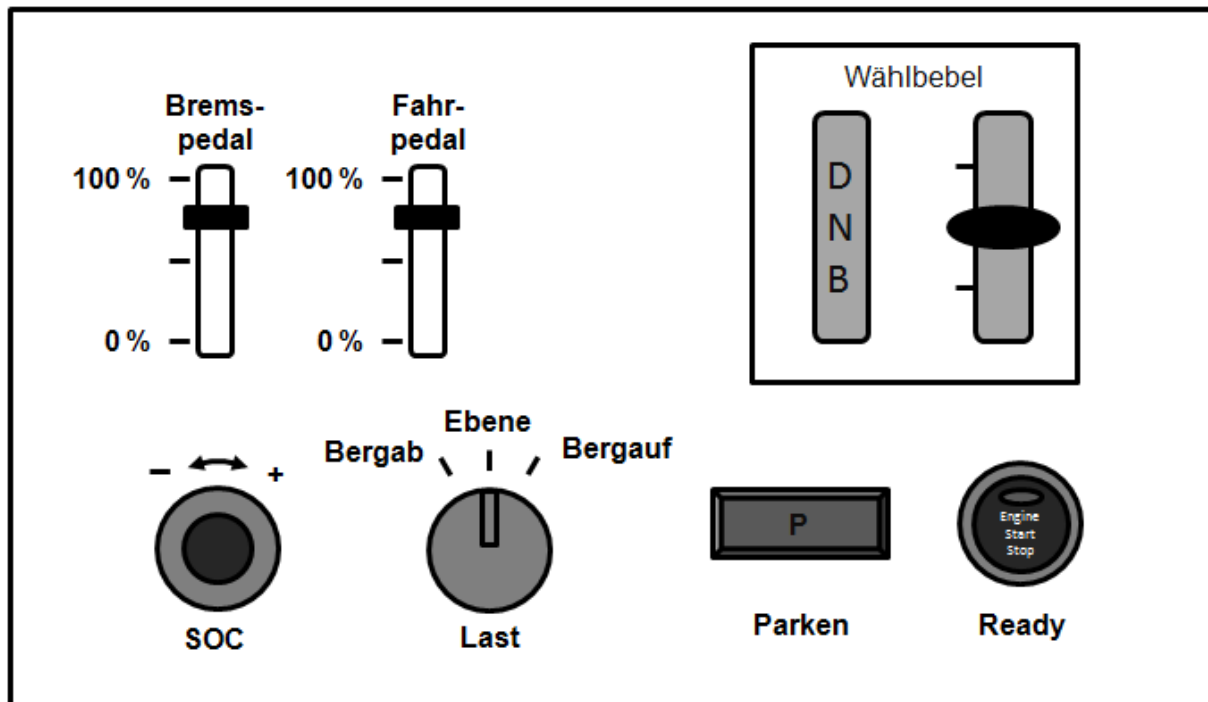


Abbildung 5-2: Entwurf Steuerpult

Das Steuerpult kann mit zwei Linearpotentiometer für die Fahrpedalbetätigung (FB) und Bremsbetätigung (BB) ausgestattet werden. Mit der Fahrpedalbetätigung soll die Lastanforderung an den Antrieb eingestellt werden. Über die Bremsbetätigung soll die Verzögerungsanforderung eingestellt werden. Dabei soll aber nur der Anteil der Bremsenergie, welcher aus der Rekuperation resultiert, simuliert werden. Eine dem Original entsprechend hydraulische Bremse ist nicht nötig. Je höher die Bremsanforderung ist, desto höher soll also die Rekuperationsrate und damit die Verzögerung sein.

Für den Batterieladezustand (HV) kann ein „Endlos-Potentiometer“, beziehungsweise ein Drehimpulsgeber genutzt werden. Der Ladezustand soll damit im Sinne von „Batterie leeren“ und „Batterie füllen“ manipulierbar sein. Der Ladezustand kann im Betrieb Werte von 0% bis 100% annehmen und soll auch in diesen Grenzen manipulierbar sein. Ein Ladezustand von 0% soll einer verbleibenden Batterieladung von 40% entsprechen. Ein Ladezustand von 100% einer Batterieladung von 80%. Dieses Verhältnis entspricht dem im Prius abgebildeten „SOC – State Of Charge“ und der tatsächlichen Batterieladung.

Um im Versuch eine Bergauf- oder Bergabfahrt simulieren zu können sollte ein Schalter gewählt werden, der über drei Stellungen verfügt. Diese sollen die Last für Bergauffahrt, Bergabfahrt und auf horizontaler Ebene über den Lastmotor



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

simulieren. Für den Wählhebel, Parkschalte und Start/Stopp-Schalte sollten originale „Prius“- Bauteile verwendet werden.

Die Tafel verfügt über ein Display und eine LED-Sektion. Die LED-Sektion stellt die verschiedenen Kraft- und Stromflüsse, der mechanischen und elektrischen Komponenten, in Echtzeit dar. Das Display sollte den Nomographen, die Drehzahlen der Motoren und die gefahrene Geschwindigkeit darstellen. Die Ein-/Ausschalte und der Not-Aus-Schalte befinden sich oben rechts.

Dem Demonstrator soll ein Glossar beiliegen. Darin sollen Fachwörter wie „Rekuperation“ oder „Planetenradgetriebe“ in einfachen Worten erklärt werden, damit auch Personen mit wenig Vorkenntnissen den Demonstrator benutzen können.



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

6 Übungsversuche

Um das Gesamtlernziel zu erreichen, sollen die Erkenntnisse aus den einzelnen Versuchen aufeinander aufbauen. Daher sollen die Versuche am Demonstrator in die drei folgenden Versuchsgruppen unterteilt werden.

Versuchsgruppe 1: Mechanische Funktionsweise des PSG

Zunächst soll nur auf die mechanische Funktionsweise des Power-Split-Getriebes eingegangen werden. Dazu sollen einige Betriebszustände des Antriebsstranges durch händisches Drehen der Komponenten vom Laboranten nachgebildet werden. Durch gezielte und geführte Aufgabenstellungen soll dem Lernenden die mechanische Verknüpfung der beiden Motorgeneratoren MG1 und MG2, sowie dem Verbrennungsmotor und den Antriebsrädern über den Planetenradsatz aufgezeigt werden. Dabei ist es wichtig, dass der Laborant erkennt, welcher Teil des Planetenradsatzes mit welcher Antriebskomponente verbunden ist.

Versuchsgruppe 2: Dynamische Nachbildung der Betriebszustände des Antriebstrangs

In der zweiten Versuchsgruppe sollen die einzelnen Betriebszustände des Antriebstranges elektrisch eingestellt und angefahren werden. Der Fokus dieses Lernkomplexes liegt darauf, welche Lastanforderung des Fahrers und welche Ladezustände der Hochvolt-Batterie zu welchen Betriebszuständen der einzelnen Komponenten führen. Für den Laboranten soll hier nachvollziehbar sein, was die Leistungsverzweigung in den einzelnen Betriebszuständen bedeutet und wie die Komponenten miteinander arbeiten. Dazu sollen die Stromflüsse zwischen den elektrischen Komponenten und die Kraftflüsse zwischen den mechanischen und elektromechanischen Komponenten dargestellt werden, um so aufzuzeigen, welche Komponenten elektrische Energie abgeben und welche Komponenten elektrische Energie aufnehmen. Für das Verständnis ist dabei nicht erforderlich, dass ein tatsächlicher Stromfluss zwischen den Komponenten gemessen wird. Es reicht aus wenn durch symbolisches Darstellen zu erkennen ist, dass Strom fließt und in welche Richtung.

Versuchsgruppe 3: Rekuperation

In der dritten Versuchsgruppe soll auf die Rekuperationsfähigkeit des Systems eingegangen werden. Es soll nachvollziehbar dargestellt werden, unter welchen Umständen Bremsenergie zurückgewonnen wird, welche Komponenten daran beteiligt sind und was die Unterschiede zwischen den verschiedenen



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Betriebsmodi („D“ und „B“) sind. Es soll ersichtlich sein, unter welchen Bedingungen eine Rekuperation stattfindet. Außerdem soll man erkennen, dass mit steigender Anforderung an die Bremsleistung die Rekuperationsrate steigt.



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

7 Versuchsgruppe 1

Power-Split-Getriebe

Manuelles Kennenlernen des Power-Split-Getriebes durch experimentelles Ausprobieren der verschiedenen Fahrzustände.

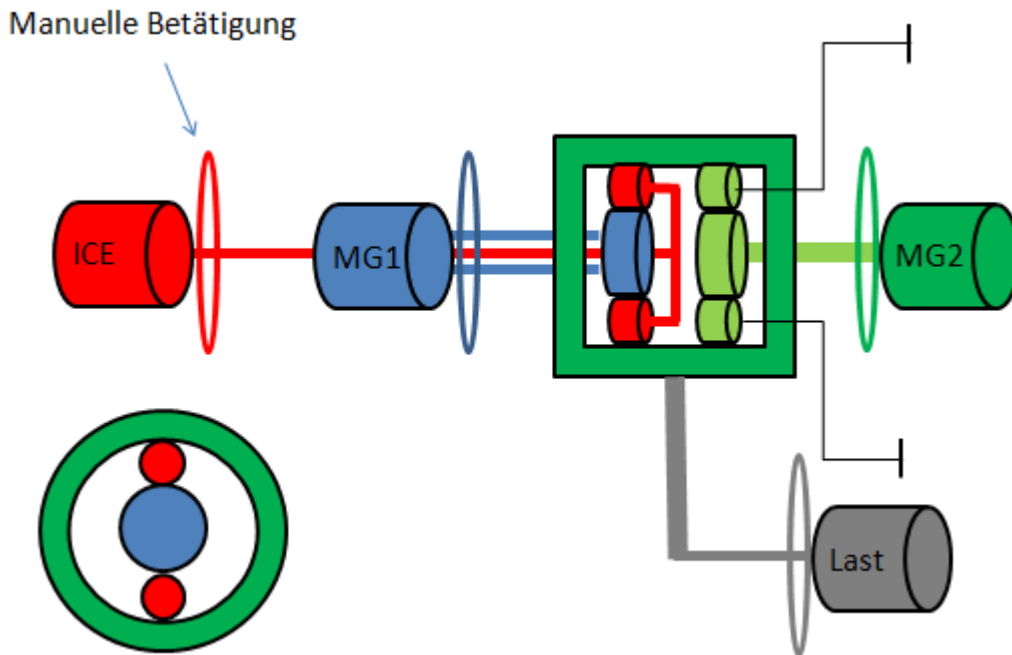


Abbildung 7-1: Schematische Darstellung des Demonstrators mit Positionierung der manuellen Betätigungseinrichtungen

Ziel des Versuches ist es, das Power-Split-Getriebe experimentell kennenzulernen. Die verschiedenen Fahrzustände und daraus resultierenden Kraftflüsse sollen durch manuelles Drehen der Wellen nachgeahmt und dadurch verstanden werden.

7.1 Motorstart

7.1.1 Motorstart im Stand

Wie wird der Motor bei stehendem Fahrzeug gestartet? Die Betätigung oder Abstützung welcher Welle/Komponente ist nötig?

Lösung:



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Um den Verbrennungsmotor starten zu können, muss der Wählhebel in Stellung „N“ gebracht werden und der Parkschalter „P“ aktiviert werden. Der Abtriebsstrang ist somit arretiert und MG2 kann sich nicht drehen. Um den Start des Verbrennungsmotors zu simulieren, muss der Motorgenerator 1 (MG1) gedreht werden. Der Kraftfluss verläuft über das Sonnenrad auf die Planetenräder zum Verbrennungsmotor und würde diesen so starten.

7.1.2 Motorstart aus der Bewegung

Wie wird der Motor, bei dem sich bewegenden Fahrzeug, gestartet? Die Betätigung oder Abstützung welcher Welle/Komponente ist nötig?

Lösung:

Der Wählhebel soll sich bei diesem Versuch in Position „N“ befinden, die Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit wird durch möglichst gleichmäßiges Drehen von MG2 per Hand simuliert. Der Motor wird während der Fahrt gestartet, indem MG1 von Hand abgebremst/gehalten wird und so ein Moment über das PSG auf die Motorwelle überträgt.

7.2 Konstantfahrt

7.2.1 Konstantfahrt rein elektrisch

Wie verhält sich das PSG während der Konstantfahrt? Welche Wellen/Komponenten müssen betätigt oder abgestützt werden, damit MG2 die Antriebsräder antreiben kann?

Lösung:

Der Wählhebel soll sich bei diesem Versuch in Position „N“ befinden. Die Antriebsräder werden angetrieben, indem MG2 gedreht wird. MG1 dreht frei (ohne Last) in entgegengesetzter Richtung mit. Im Realfall wird die Arretierung vom Verbrennungsmotor über den Widerstand, welcher die Kompression des Motors hervorruft, sichergestellt. Im Versuch muss der Verbrennungsmotor von Hand festgehalten werden.

7.2.2 Konstantfahrt mit Verbrennungsmotor

Wie verhält sich das PSG während der Konstantfahrt?

a) Kann der Verbrennungsmotor direkt das Fahrzeug antreiben?



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

b) Welche Wellen/Komponenten müssen betätigt oder abgestützt werden, damit MG2 und der Verbrennungsmotor die Antriebsräder antreiben können?

Lösung zu a):

Die Antriebskraft des Verbrennungsmotors wird am PSG geteilt. Durch die Leistungsverzweigung muss ein Teil der Antriebskraft immer den Umweg über die Motorgeneratoren nehmen. Um ein Moment vom Verbrennungsmotor zu übertragen, muss der Motorgenerator MG1 ein Abstützmoment erzeugen, so dass die Antriebskraft auf das Hohlrad übertragen werden kann. Simuliert wird dies dadurch, dass der Verbrennungsmotor gedreht und MG1 von Hand abgestützt wird.

Ein direktes Übertragen des gesamten Momentes (ICE) auf die Räder ist nicht möglich.

Achtung: Im Realfall treibt MG2 über MG1 die Antriebsräder auch mit an. Dieses Verhalten kann manuell nicht dargestellt werden.

Lösung zu b):

Die Welle des Verbrennungsmotors wird gedreht und MG1 wird festgehalten (Abstützmoment). MG2 dreht mit und die Räder werden angetrieben.

7.3 Rekuperation

Welche Welle/Komponente muss betätigt oder abgestützt werden, um das Rekuperieren (Antreiben von MG2 durch das Antriebsrad) zu ermöglichen?

Lösung:

Das Antriebsrad muss von Hand gedreht werden um MG2 anzutreiben. Gleichzeitig muss der Verbrennungsmotor festgehalten werden. Die Drehzahl von MG1 stellt sich automatisch ein. MG1 und MG2 fungieren in diesem Zustand als Generator.

Achtung: Im Realfall, beim Rekuperieren in hohen Geschwindigkeiten, wirkt der Verbrennungsmotor zunächst als Motorbremse und wird erst bei Erreichen einer niedrigeren Geschwindigkeit komplett ausgeschaltet.



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Effekt/Auswertung

Bei diesem Versuch kann beobachtet werden, wie sich die Kraftflüsse über das Power-Split-Getriebe aufteilen und die einzelnen Komponenten und Wellen miteinander verknüpft sind.



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

8 Versuchsgruppe 2

Anfahren und Fahren in verschiedenen Fahrsituationen

Ziel des Experiments ist es zu zeigen, welche verschiedenen Verhaltensweisen des Hybridsystems unter verschiedenen Bedingungen (Fahrsituation, Ladezustand der Batterie) auftreten. Zusätzlich sollen die mechanischen und elektrischen Energieflüsse in unterschiedlichen Fahrsituationen vom Anwender erkannt werden. Die Fahrzustände reichen vom rein elektrischen Anfahren/Fahren, Anfahren/Fahren im Hybridmodus bis hin zum Anfahren/Fahren im „Boost“ Modus (Hybridmodus mit Batterieunterstützung).

Teilversuche:

- Versuch 1 – Anfahren
- Versuch 2 – Fahren und Laden
- Versuch 3 – Rekuperation aus Konstantfahrt

8.1 Versuch 1: Anfahren

8.1.1 Anfahren mit niedriger Last und geladener Batterie

Ziel des Versuches ist es, dass rein elektrische Losfahren aus dem Stillstand mittels Demonstrator zu zeigen. Ersichtlich soll sein, welche Komponenten des Antriebsstrangs dabei beteiligt sind.

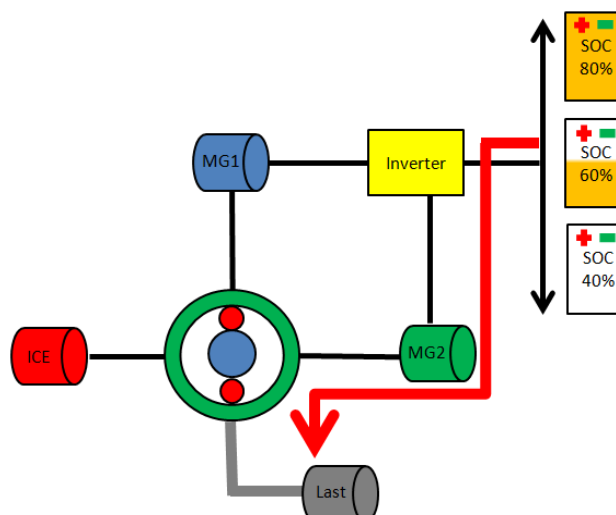


Abbildung 8-1: Elektrisches Fahren



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Durchführung:

Der Versuchsstand muss mit dem „On/Off“-Schalter eingeschaltet werden. Die Anlage sollte still stehen. Der Demonstrator ist nun mit dem Druckschalter (Re) in den „Readymodus“ zu versetzen und mittels Wählhebel (WH) auf Stellung „D“ einzustellen. Der Batterieladestand ist mit dem Drehschalter (HV) auf 100% Ladezustand einzustellen. Anschließend wird mit Hilfe des Hebels der Fahrpedalbetätigung (FB) ein Wert von 1-20% (sanftes Beschleunigen) eingestellt.

Wichtig! Schon beim Anheben des Fahrpedalwertes ist vom Anwender auf die Energieflüsse und den Batterieladezustand zu achten!

Es soll erkannt werden, dass elektrische Energie aus der Batterie zu MG2 fließt und mechanische Energie von MG2 zur Abtriebsseite. MG1 dreht frei und in die entgegengesetzte Richtung, wie schon aus Experiment 1 bekannt.

Anmerkung: Das gleiche Verhalten gilt für die Rückwärtsfahrt, nur mit umgekehrter Drehrichtung. Aus diesem Grund wird die Rückwärtsfahrt nicht weiter behandelt.

8.1.2 Anfahren mit hoher Last/geladener Batterie mit „Boost“-Modus

Ziel des Versuches ist es zu zeigen, dass sich bei hoher Lastanforderung der Verbrennungsmotor zuschaltet und bei Vollast der Boost-Modus einschaltet. Hierbei soll wiederum gezeigt werden, wie die Antriebskomponenten zusammenwirken und welche Funktionen sie übernehmen. Es soll gezeigt werden, dass der Batterie Energie entnommen wird und der Verbrennungsmotor zusätzliche Energie liefert, um das schnelle Anfahren zu gewährleisten.



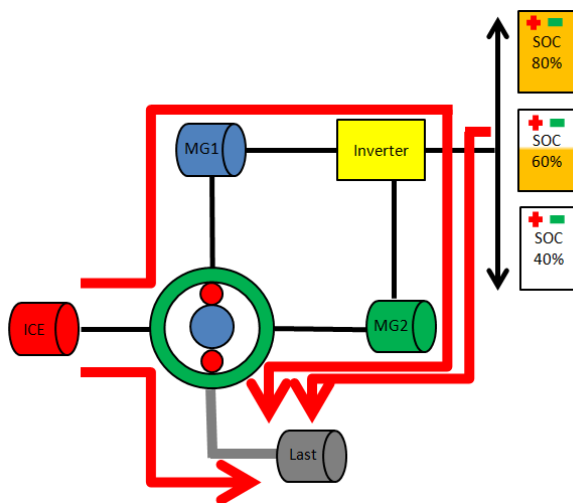


Abbildung 8-2: Boostmodus

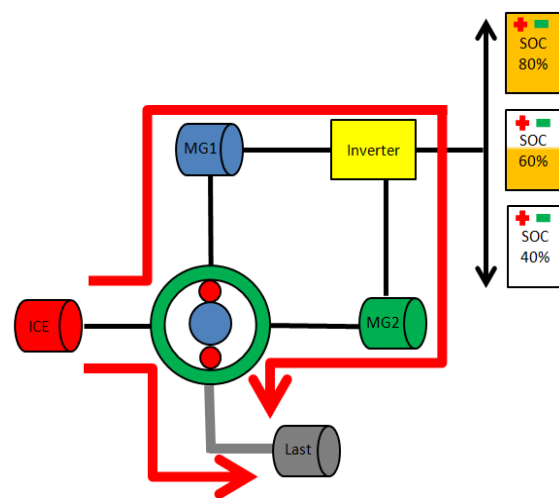


Abbildung 8-3: Fahren mit ICE, ohne Laden

Durchführung:

Sollte der Demonstrator nicht eingeschaltet sein ist dieser mit Hilfe des „On/Off“-Schalters einzuschalten. Der Demonstrator muss stillstehen und der Fahrpedalwert (mit FB) muss auf Null eingestellt sein. Befindet sich der Demonstrator noch nicht im „Readymodus“, ist dies mit dem Druckschalter (Re) nachzuholen. Der Batterieladezustand ist mittels Drehschalter (HV) auf 100% einzustellen. Der Fahrpedalwert wird nun zügig (mit FB) auf 60-100% (starke Beschleunigung) eingestellt.

Wichtig! Wie im vorangegangenen Versuch ist schon beim steigern des Fahrpedalwertes vom Anwender auf die Energieflüsse zu achten! Das Anheben muss zügig geschehen um das starke Beschleunigen aus dem Stand heraus korrekt zu simulieren! Zusätzlich ist auf den Batterieladezustand (Bat.) zu achten.

Bei hoher Last (FB<90%) soll der Anwender sehen, dass der Verbrennungsmotor mechanische Energie an MG1 liefert, dieser die gewonnene elektrische Energie über den Inverter an MG2 abgibt und nun das Rad angetrieben wird. Etwaige überschüssige elektrische Energie wird an die Batterie abgegeben (kein Dauerzustand!). Das ist in diesem Fall an der Ladezustandsanzeige (Bat.) zu erkennen.

Bei Volllast (FB=100%) soll der Anwender sehen, dass der Verbrennungsmotor mechanische Energie an MG1 liefert, dieser die gewonnene elektrische Energie über den Inverter direkt an MG2 abgibt und nun zusätzlich noch elektrische



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Energie aus der Batterie an MG2 geliefert wird (Boost-Modus). Dies ist auch in diesem Fall an der Ladezustandsanzeige (Bat) zu erkennen.

Dieser Versuch sollte mehrmals durchgeführt werden um die einzelnen Vorgänge genauer betrachten zu können.

8.1.3 Anfahren mit niedrigem Batterieladezustand

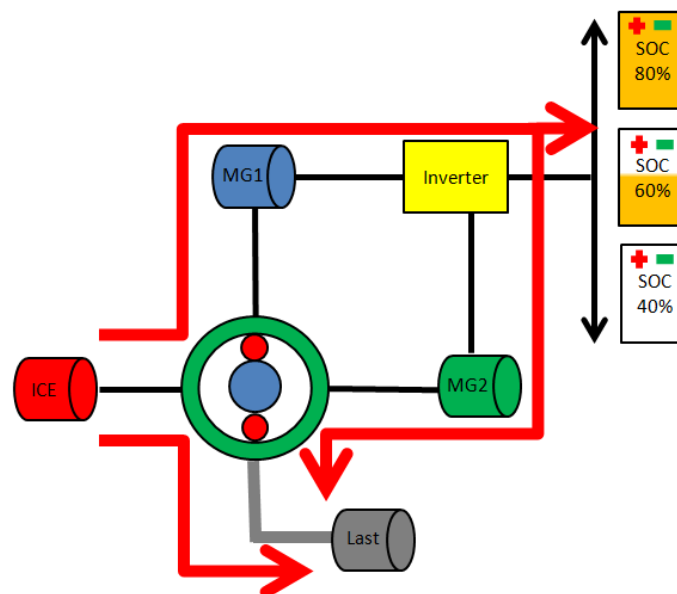


Abbildung 8-4: Anfahren durch Unterstützung des ICE um Batterie zu laden

Ziel des Versuches ist es zu zeigen, dass die zum Anfahren nötige elektrische Energie, ähnlich wie bei hoher Lastanforderung, gewonnen wird. Der Fokus liegt nun aber auf dem Laden der Batterie, da hierfür nun genug Energie vorhanden ist. Es soll wiederum zu sehen sein, wie die Antriebskomponenten dabei zusammen arbeiten.

Durchführung:

Sollte der Demonstrator nicht eingeschaltet sein ist dieser mit Hilfe des „On/Off“-Schalters einzuschalten. Der Demonstrator muss stillstehen und der Fahrpedalwert (mit FB) auf Null eingestellt sein. Befindet sich der Demonstrator noch nicht im „Readymodus“, ist dies mit dem Druckschalter (Re) nachzuholen. Der Batterieladezustand ist mittels Drehschalter (HV) auf 0% einzustellen. Der Wählhebel (WH) wird auf „D“ gestellt. Der Fahrpedalwert wird (mit FB) auf 20-60% (normales Beschleunigen) angehoben.



Wichtig! Beim Anheben des Fahrpedalwertes ist auf die Energieflüsse und den Batterieladezustand zu achten.

Die Anwender sollen erkennen, dass bei zu geringem Ladezustand der Batterie der Verbrennungsmotor anspringt. Das sekundäre Ziel, neben dem Anfahren, ist die Batterie wieder zu laden.

Bei dieser Situation ist es nicht relevant, ob eine hohe oder niedrige Lastanforderung vom Fahrer vorliegt, da die Priorität auf dem Laden der Batterie liegt.

Effekt/ Auswertung:

Je nach Lastanforderung beim Anfahren oder dem Ladezustand der Batterie befinden sich unterschiedliche Komponenten des Antriebssystems im Zusammenspiel. Die Erkenntnisse aus der Versuchsgruppe 1 „PSG“ sollen nun in der Anwendung gefestigt werden. Auf den „State of Charge“ (SOC) soll im Rahmen der Versuchsunterlagen (Glossar) eingegangen werden.

8.2 Versuch 2: Fahren und Laden

8.2.1 Laden im Stand

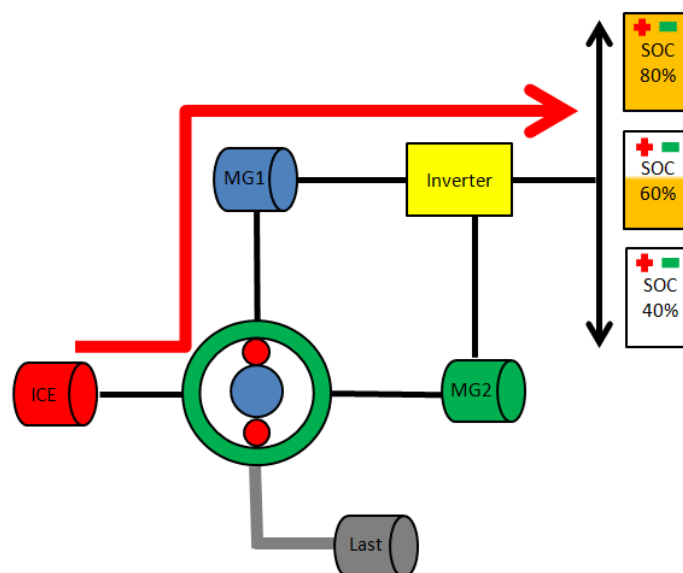


Abbildung 8-5: Laden im Stand

Ziel des Versuchs ist das Verhalten des Hybridsystems bei niedrigem Ladezustand der Batterie im Stand, zum Beispiel an einer Ampel, zu zeigen.



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Durchführung:

Der Versuchsstand muss mit dem „On/Off“-Schalter eingeschaltet werden. Die Anlage muss zu Beginn des Versuches still stehen. Der Demonstrator ist nun mit dem Druckschalter (Re) in den „Readymodus“ zu versetzen. Der Batterieladestand ist mit dem Drehschalter (HV) auf einen Wert größer 0% einzustellen. Die Wählhebelposition (WH) ist auf „D“ zu stellen und der Parkschalter (PS) ist zu drücken um die Arretierung von MG2 zu gewährleisten. Der Fahrpedalschalter (FB) muss auf 0% stehen.

Der Batterieladezustand ist nun langsam (mit HV) auf 0% abzusenken.

Wichtig! Während des Absenkens des Batterieladezustandes ist auf die Energieflüsse zu achten.

Der oder die Anwender sollen erkennen, dass bei niedrigem Ladezustand und arretiertem MG2 (Fahrzeug steht), MG1 elektrische Energie aus der Batterie bezieht, um mit mechanischer Energie den Verbrennungsmotor auf Drehzahl zu bringen, damit dieser anspringen kann. Ist der Verbrennungsmotor angesprungen versorgt er MG1 mit mechanischer Energie und dieser versorgt den Inverter mit elektrischer Energie und lädt somit die Batterie.



8.2.2 Konstant fahren bei niedrigem und hohem Ladezustand der Batterie

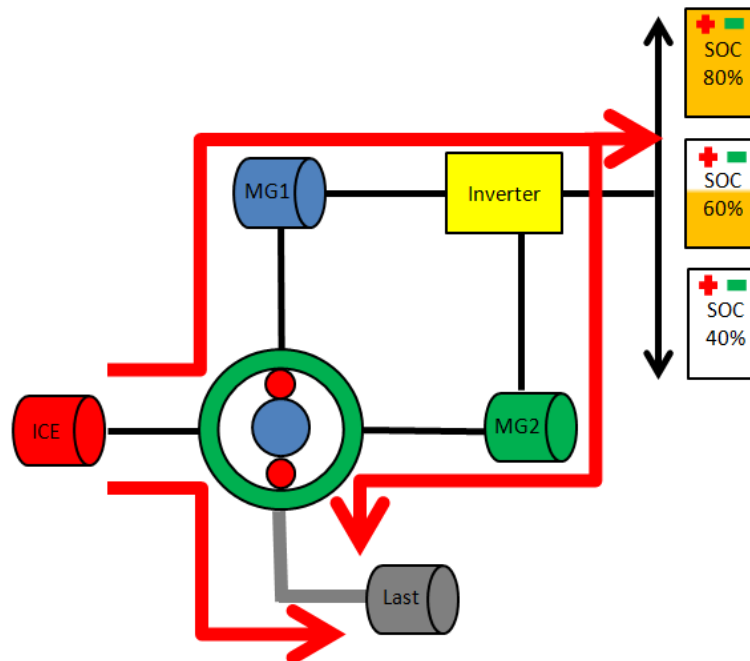


Abbildung 8-6: Fahrt mit Laden und ICE

Ziel des Versuches ist das Verhalten des Hybridsystems bei moderater Konstantfahrt und niedrigem beziehungsweise hohem Ladezustand zu zeigen.

Durchführung:

Sollte der Demonstrator nicht eingeschaltet sein ist dieser mit Hilfe des „On/Off“-Schalters einzuschalten. Der Versuchsstand muss für diesen Versuch nicht zwangsläufig still stehen. Ist der Readymodus noch nicht eingeschaltet, ist dies mit dem Druckschalter (Re) nachzuholen. Der Batterieladezustand ist auf 0% einzustellen. Der Wählhebel (WH) wird auf „D“ gestellt. Der Fahrpedalwert wird auf 50% (Normalfahrt) gesetzt. Der Batterieladezustand wird nun langsam auf 0% abgesenkt.

Wichtig! Beim Absenken des Ladezustandes ist auf die Energieflüsse zu achten. Das Absenken sollte langsam geschehen, um die Vorgänge genau betrachten zu können.

Der Anwender soll sehen, dass bei einem niedrigen Ladezustand der Batterie der Verbrennungsmotor anspringt und über MG1 die Batterie lädt, sowie MG2 mit elektrischer Energie versorgt. Außerdem soll gezeigt werden, dass rein



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

elektrisches Fahren trotz geladener Batterie nur bis zu einer gewissen Geschwindigkeit sinnvoll ist. Die konstruktiven Hintergründe werden in Versuchsgruppe 1 erläutert.

Effekt/Auswertung

Je nach Lastanforderung, Fahrsituation oder Ladezustand der Batterie befinden sich unterschiedliche Komponenten des Antriebssystems im Zusammenspiel. Die Erkenntnisse aus der Versuchsgruppe 1 „PSG“ sollen nun in der Anwendung gefestigt werden. Die Erkenntnisse aus den Teilversuchen sollen mit weiteren realen Situationen (zum Beispiel Bergauf fahren) verglichen und besprochen werden.



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

9 Versuchsgruppe 3

9.1 Rekuperation aus Konstantfahrt in D und B

Arbeitsweise von Fahrstufe „D“:

Im Falle einer rein mechanischen Bremsanlage würde die kinetische Energie nur in thermische Energie umgewandelt und könnte nicht genutzt werden. Beim Toyota Prius wird der Elektromotor MG2 zum Generator und erzeugt elektrische Leistung, die das Fahrzeug entsprechend verzögert und die Hochvolt-Batterie lädt. Erst wenn die Verzögerung des MG2, der hierbei als Generator arbeitet, nicht ausreicht oder die Hochvolt-Batterie vollgeladen ist, schaltet sich automatisch die hydraulische Bremse zu. Der Ottomotor wird in der Regel, sobald er nicht benötigt wird, abgestellt und steht still.

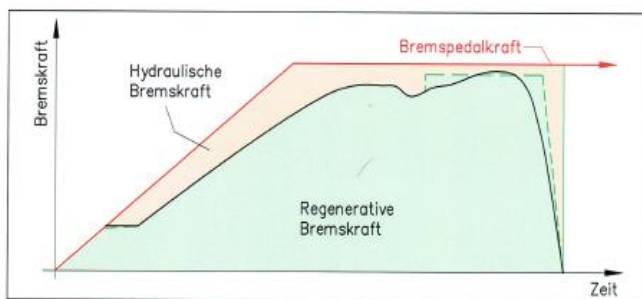


Abbildung 9-1: Änderung der Bremskraftzuteilung

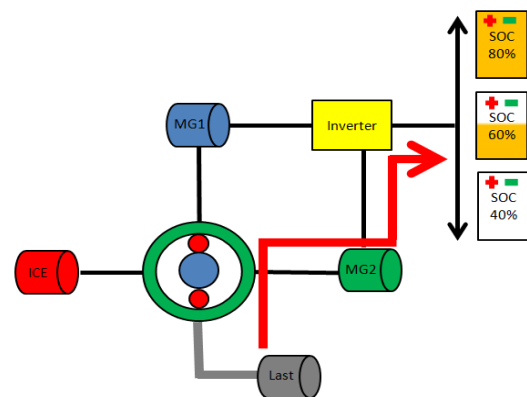


Abbildung 9-2: Rekuperieren in Fahrstufe D

Arbeitsweise von Fahrstufe „B“:

Beim Gaswegnehmen in der Fahrstufe „B“ wird, zusätzlich zum Bremsseffekt des als Generator geschalteten E-Motors (MG2), der ICE ohne Brennstoffzufuhr von MG1 mitgeschleppt. Der Widerstand der engen Ansaugkanäle und die von den Zylindern zum Auslass transportierte Luft erzeugen den Bremsseffekt, der als "Motorbremse" bezeichnet wird.

Weil die Motorbremse einen Teil der sonst von MG2 rekuperierten Energie wegnimmt, wird im B-Modus weniger rekuperiert als im D-Modus.

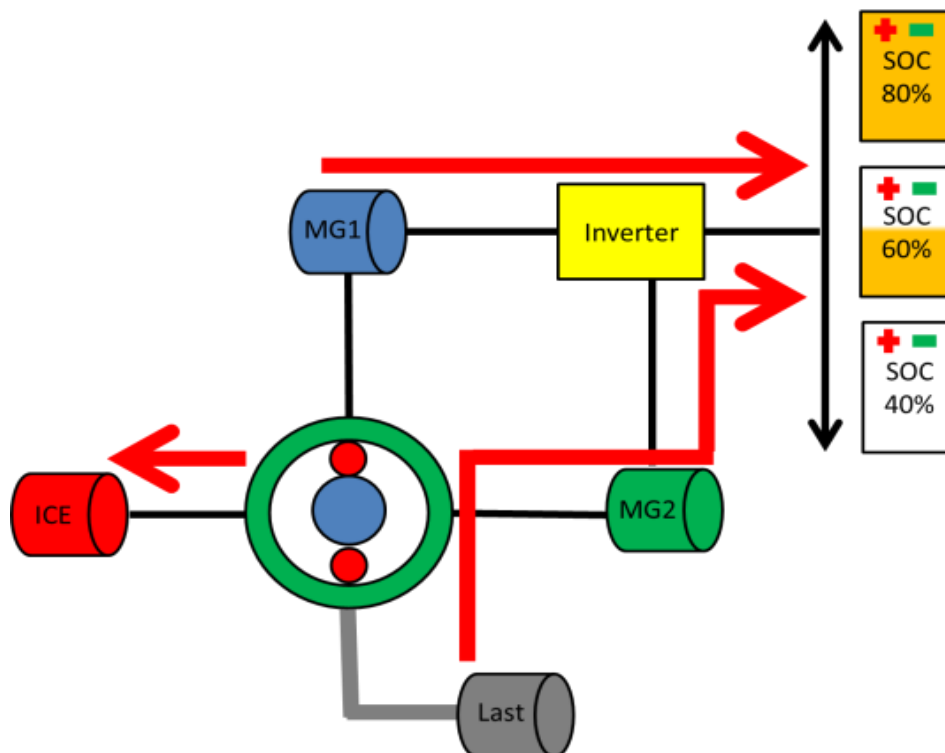


Abbildung 9-3: Rekuperieren in Fahrstufe B

Ziel des Versuches ist zu erkennen, dass die Abbremsung des Fahrzeugs nicht nur rein durch eine mechanische Bremsanlage erfolgt. Es soll gezeigt werden, welche Antriebskomponenten arbeiten und wie diese sich verhalten. Bei Rekuperation in der Wählhebelstellung „B“ muss erkennbar sein, dass der Verbrennungsmotor mitgeschleppt wird und die rekuperierte Energie, welche zum Laden der HV-Batterie genutzt wird, kleiner ist als in Fahrstufe „D“.



Durchführung:

Der Versuchsstand muss mit dem „On/Off“-Schalter eingeschaltet werden. Die Anlage sollte still stehen. Der Demonstrator ist nun mit dem Druckschalter (Re) in den „Readymodus“ zu versetzen und mittels Wählhebel (WH) auf Stellung „D“ einzustellen. Der Batterieladestand ist mit dem Drehschalter (HV) auf 50% Ladezustand einzustellen. Anschließend wird mit Hilfe des Hebels der Fahrpedalbetätigung (FB) ein Wert von 50% (Normalfahrt) eingestellt. Sobald die Fahrgeschwindigkeit konstant ist wird der Fahrpedalwert auf 0% gestellt und die Bremskraft erhöht (BB). Das Fahrzeug wird nun elektrisch durch Rekuperation verzögert. Die Bremszeiten werden dem Benutzer am Ende des Versuches angezeigt, beziehungsweise sind selbst von ihm festzuhalten. Die unterschiedlichen, rekuperierten Energien lassen sich durch die Änderung der Batterieladezustandsanzeige erkennen.

Der Versuch wird erneut mit Wählhebelstellung „B“ durchgeführt.

Wichtig! Beim Anheben des Bremspedalwertes ist auf die Geschwindigkeit zu achten, mit der die Batterie sich füllt.
Den Batterieladezustand vor der erneuten Durchführung wieder auf 50% stellen.

Hinweis: Der Einsatz der gegebenenfalls benötigten, mechanischen Bremsanlage wird hierbei nicht berücksichtigt.

Effekt/Auswertung:

Je nach eingelegter Fahrstufe („D“ oder „B“) erfolgt das Abbremsen langsamer oder schneller. Zu erkennen ist eine geringere rekuperierte Bremswirkung in der Fahrstufe „B“. Diese resultiert aus dem Zuschalten des Verbrennungsmotors im Schleppbetrieb (Motorbremse). Zu begründen ist dies dadurch, dass ein Teil der vorhandenen Energie von der Motorbremse des Verbrennungsmotors aufgenommen wird. Die Fahrstufe „B“ wird hauptsächlich bei langen Bergabfahrten benötigt, um die hydraulische Bremse zu schonen.



10 Produktanforderungen

Die Anforderungsliste ist maßgeblich für den späteren Erfolg des Produkts und ist der wichtigste Teil des Lastenheftes. Sie enthält alle Anforderungen, welche an das zu konstruierende Produkt gestellt werden. Das fertige Produkt wird später nur danach beurteilt, wie gut es die gestellten Anforderungen erfüllt. Daher sollten die Anforderungen möglichst konkret und quantitativ, nicht allgemein und qualitativ angegeben werden. Da sich während des Konstruktionsprozesses Funktionen, Merkmale und auch Werte ändern können, kann die Anforderungsliste laufend aktualisiert werden. Die in den folgenden Tabellen definierten Anforderungen unterteilen sich in LD, LF und LV.

LD sind die technischen Anforderungen an den Demonstrator. Diese definieren alle technischen Eigenschaften des Demonstrators wie Versorgungsspannung, Bedien- und Anzeigeelemente, Handling usw. Ausführungen dazu können dem Kapitel 5 entnommen werden.

LF sind die funktionalen Anforderungen. Damit werden die Funktionen der Komponenten im Einzelnen und ihr Zusammenspiel mit anderen Komponenten beschrieben.

LV sind die versuchsbezogenen Anforderungen. Hier werden die Prozessabläufe zu den einzelnen Versuchsgruppen definiert. Ausführungen dazu können den Kapiteln 6, 7, 8 und 10 entnommen werden.

Tab. 10-1: Technische Anforderungen an den Demonstrator

Aufbau und Versorgung	
LD0100	Die Installation des Demonstrators soll lediglich aus dem Aufstellen und dem Anschluss an das Stromnetz bestehen. Eine notwendige bauliche Veränderung der Betriebsumgebung, wie zum Beispiel der Installation einer Wand- oder Fußbodenverankerungen ist ausgeschlossen.
LD0101	Der Demonstratorstand muss von zwei körperlich nicht eingeschränkten Erwachsenen transportierbar sein.
LD0102	Zur Stromversorgung des Demonstratorstands muss ein 230 V AC 16 A Hausanschluss ausreichen.
LD0103	Es sollen keine zusätzlichen Betriebsmittel für den Demonstrator nötig sein.
LD0104	Der Demonstrator muss im Sitzen bedienbar sein.
LD0105	Die Bedienung des Demonstrators muss nicht auf Bediener mit besonderen Handicaps ausgelegt sein.
LD0106	Der Demonstrator muss von einer einzelnen Person bedienbar



	sein.
LD0107	Die Bedienelemente sollten unter dem Aspekt "natürliches Mapping" angeordnet sein. Ort und Richtung der Bedienelemente sollen mit dem Handlungseffekt übereinstimmen.
LD0108	Die Bewegungen der mechanischen Komponenten Planetenradsatz, MG1, MG2, ICE und Rad sollen aus der Bedienerposition sichtbar und übersichtlich angeordnet sein.
LD0109	Die Planeten- und Sonnenräder des Planetenradsatzes müssen von außen sichtbar sein, dabei soll der Planetenradsatz von den Seiten einsehbar sein.
LD0110	Die Komponenten ICE, MG1 und MG2 sollen farblich unterscheiden werden. Die Verknüpfung der Antriebskomponenten mit den Komponenten des Planetenradsatzes soll durch gleichfarbige Markierungen sichtbar gemacht werden.
LD0111	Die Komponenten MG1, MG2, ICE und Planetenradsatz müssen eine für den Bediener erkennbare Beschriftung haben.
LD0112	Es muss eine durchsichtige Schutzabdeckung der rotierenden Komponenten geben
LD0113	Ein Betrieb des Demonstrators ist erst bei geschlossener Abdeckung möglich
LD0114	Die Anlage muss ein unbeabsichtigtes Berühren rotierender Teile im Normalbetrieb unmöglich machen.
LD0115	Die Anlage muss ein unbeabsichtigtes Berühren spannungsführender Teile im Normalbetrieb unmöglich machen.
LD0116	Die maximale Spannung an den, für die Lehre bestimmten Messpunkten, soll der Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG entsprechen.
LD0117	Der Demonstrator muss gefahrlos für Mensch und Umgebung in geschlossenen Räumen betreibbar sein.
LD0118	Eine zum Lernziel führende Aufgabenstellung und Anleitung muss dem Demonstrator beiliegen.
ICE	
LD0200	Die Komponente Verbrennungsmotor (ICE) muss als Elektromotor ausgeführt sein.
LD0201	Der Motor ICE muss über eine elektrisch ansteuerbare Trennkupplung verfügen



LD0202	Wenn der ICE läuft sollen Verbrennungsgeräusche über einen Lautsprecher drehzahlabhängig wiedergegeben werden. Die Verbrennungsgeräusche müssen abstellbar sein.
LD0203	Der E-Motor des ICE soll optisch wie ein Verbrennungsmotor aussehen.
MG1	
LD0300	Die Komponente Motorgenerator 1 (MG1) muss als Elektromotor ausgeführt sein.
MG2	
LD0400	Die Komponente Motorgenerator 2 (MG2) muss als Elektromotor ausgeführt sein.
Last	
LD0500	Der Fahrwiderstand muss mit einem Elektromotor ausgeführt werden.
LD0501	Zur Veranschaulichung der Last soll ein Rad auf der Welle des Elektromotors mitlaufen.
LD0502	An der Lastmaschine gibt es eine elektromechanische Sperre
Getriebe/Kopplung	
LD0600	Der Planetenradsatz muss im Aufbau dem Original entsprechen. Dieser kann in seiner übertragbaren Leistung den elektrischen Antrieben angepasst werden.
LD0601	Die mechanischen Komponenten müssen, dem Original entsprechend, funktionell miteinander verknüpft sein.
LD0602	Die Drehzahlen von ICE, MG1 und MG2 sind auf dem Demonstrator um den Faktor 10 kleiner als in real.
LD0603	Eine gleichzeitige Drehzahlerfassung der Hauptkomponenten MG1, MG2, ICE und Rad muss vorhanden sein.
LD0604	Die Vorwärtsrichtungen aller Motoren sind am Demonstrator mit Pfeilen gekennzeichnet.
LD0605	An den Komponenten beziehungsweise auf den Antriebswellen der Komponenten ICE, MG1, MG2 und Rad muss eine Handbetätigung vorhanden sein, welche gewährleistet, dass der Bediener die Komponenten manuell drehen kann.
Batterie	
LD0700	Es soll keine reelle Batterie vorhanden sein. Der Ladezustand der Batterie soll manuell eingestellt werden können.
LD0701	
Eingabelemente	
LD0800	Der Demonstrator verfügt über einen On/Off-Schalter



LD0801	Der On/Off-Schalter ist ein Schlüsselschalter
LD0802	Die Anlage verfügt über einen Notausschalter
LD0803	Der Notausschalter ist ein roter Pilzknopf auf gelbem Grund
LD0804	Die Anlage verfügt auf der Bedientafel über einen Parkknopf
LD0805	Der Parkknopf ist ein Drucktaster
LD0806	Der Parkknopf verfügt über eine interne Beleuchtung
LD0807	Die Anlage verfügt auf der Bedientafel über einen Wählhebel
LD0808	Der Wählhebel hat drei Schaltstufen und hat zur Bedienung einen handgroßen Knauf
LD0809	Die Stufen des Wählhebels heißen N, D und B
LD0810	Die Anlage verfügt auf der Bedientafel über ein Fahrpedalgeber
LD0811	Das Fahrpedal ist ein Schiebepotentiometer
LD0812	Die Anlage verfügt auf der Bedientafel über ein Bremspedalgeber
LD0813	Das Bremspedal ist ein Schiebepotentiometer
LD0814	Die Anlage verfügt auf der Bedientafel über einen Knopf zur Einstellung des SOC-Wertes der Batterie
LD0815	Der SOC-Geber ist ein so genannter Angular Encoder und ist als inkrementaler Endlosgeber ausgeführt
LD0816	Die Anlage verfügt auf der Bedientafel über einen Lastknopf zur Einstellung der Last am Fahrzeugabtrieb
LD0817	Der Lastschalter verfügt über drei Schaltstufen
LD0818	Die Stufen des Lastschalters heißen Bergab, Ebene und Bergauf
LD0819	Die Anlage verfügt auf der Bedientafel über einen Ready-Knopf
LD0820	Der Ready-Knopf ist ein Drucktaster
LD0821	Die aktuelle Stellung der Bedienelemente muss leicht erkennbar sein
Anzeigeelemente	
LD0900	Auf der Anzeigetafel sind die Komponenten MG1 mit Inverter, MG2 mit Inverter, ICE, Planetenradsatz (PSD) und Last als Schema dargestellt
LD0901	Der elektrische Stromfluss zwischen MG1 und Inverter1 wird mit einem LED-Lauflicht richtungsgetreu dargestellt
LD0902	Der elektrische Stromfluss zwischen MG2 und Inverter2 wird mit einem LED-Lauflicht richtungsgetreu dargestellt
LD0903	Der elektrische Stromfluss zwischen Inverter1 und Inverter2 und der Batterie wird mit einem LED-Lauflicht richtungsgetreu dargestellt



LD0904	Gleich- und Wechselströme sollen im Lauflicht unterscheidbar sein
LD0905	Der Kraftfluss zwischen ICE und MG1 über das PSD wird mit einem LED-Lauflicht richtungsgetreu dargestellt
LD0906	Der Kraftfluss zwischen ICE und Rad über das PSD wird mit einem LED-Lauflicht richtungsgetreu dargestellt
LD0907	Der Kraftfluss zwischen MG2 und Rad über das PSD wird mit einem LED-Lauflicht richtungsgetreu dargestellt
LD0908	Das Anzeigemodul verfügt über ein Display
LD0909	Auf dem Display soll der Drehzahl-nomograph von MG1, MG2 und ICE quantitativ visualisiert werden
LD0910	Die angezeigten Drehzahlen der Komponenten ICE, MG1 und MG2 sind um den Faktor 10 größer als auf dem realen Demonstrator
LD0911	Zur Darstellung des Ladezustands der Batterie (SOC) dient eine LED-Sektion mit wenigstens 10 LEDs
LD0912	Für die Ladezustände über 20 % werden grüne LEDs verwendet
LD0913	Die letzten umgerechnet 20 % Batterieladung werden mit roten LEDs signalisiert

Tab. 10-2: Funktionsanforderungen der Schalttafel

Hauptfunktionen	
Ein/Aus	
LF0100	Schalterzustand Aus soll die gesamte Anlage stromlos schalten
LF0110	Schalterzustand Ein soll die Stromversorgung der Anlage einschalten
Notausschalter	
LF0200	Der Notausschalter ist nach Betätigung verriegelt
LF0210	Der Notausschalter trennt den Versuchsstand von der Stromversorgung
Parktaster	
LF0300	Parkmodus Ein wird betätigt, wenn die Raddrehzahl null und die Wählhebelstellung N eingelegt ist. Durch einmaliges Drücken wird der Abtrieb über die elektromechanische Sperre arretiert.
LF0310	Ist Parkmodus aktiv, wird MG2 nicht bestromt.



LF0320	Die Aktivierung des Parkmodus wird durch das im Schalter integrierte Leuchtmittel angezeigt werden.
LF0330	Wenn Parkmodus aktiv ist, wird durch einmaliges Drücken der Parkmodus deaktiviert. Die Sperre des Abtriebs wird gelöst.
Wählhebel	
LF0400	Der Wählhebel kann nur in Schaltstufe D gebracht werden, wenn der Parkmodus deaktiviert und die Parksperre gelöst ist.
LF0410	In D können alle Antriebskomponenten je nach Lastanforderung angesteuert werden.
LF0420	In D erfolgt die Rekuperation nur über MG2 ohne Motorbremse.
LF0430	Der Wählhebel kann nur in Schaltstufe B gebracht werden, wenn der Parkmodus deaktiviert und die Parksperre gelöst ist.
LF0440	In B können alle Antriebskomponenten je nach Lastanforderung angesteuert werden.
LF0450	In B erfolgt die Rekuperation über MG2 und über Motorbremse.
LF0460	In N sind alle Elektromotoren unbestromt. Der Parkschalter ist wahlweise ein und ausschaltbar.
Fahrpedal	
LF0500	Der Fahrpedalwert liegt zwischen 0 und 100 %
LF0510	Der Fahrpedalwert wird sinngemäß in ein Leistungsangebot der Antriebsmaschinen umgesetzt
LF0520	In Wählhebelstellung D oder B werden die Elektromotoren beschleunigt bzw. verzögert. 0 % heißt keine Ansteuerung der Antriebsmotoren.
Bremspedal	
LF0600	Der Bremspedalwert liegt zwischen 0 und 100 %
LF0610	Der Bremspedalwert wird sinngemäß in eine Last für den Antrieb umgesetzt
LF0620	Bei Betätigung des Bremspedals werden MG1, MG2 und ICE nicht bestromt. Bei der Betätigung von BB wird FB auf 0% gesetzt, da BB dominant ist.
LF0630	Bei Betätigung des Bremspedals arbeiten MG1 und MG2 als Generator.
LF0640	Das Bremspedal ist dominant. Ist das Bremspedal > 0, wird der Fahrpedalwert als Null überschrieben.
SOC-Geber	
LF0700	Wird der SOC-Geber im Uhrzeigersinn bewegt, erhöht sich der im Display eingestellte Batterieladezustand bis max. 100 %.



LF0710	Wird der SOC-Geber gegen den Uhrzeigersinn bewegt, verringert sich der im Display eingestellte Batterieladezustand bis min. 0 %.
Lastschalter	
LF0800	In Schaltstufe Neutral werden Fahrwiderstände der Ebene simuliert. Das Ausrollen des Fahrzeuges wird über den Lastmotor gewährleistet.
LF0810	In Schaltstufe Bergab treibt der Lastmotor das Antriebsrad an und simuliert die Bergabfahrt. Der Lastmotor wird in Wählhebelstellung D oder B angesteuert. Die MG1 und MG2 arbeiten als Generator.
LF0820	In Schaltstufe Bergauf werden Fahrwiderstände über den Lastmotor simuliert. Das Ausrollen des Fahrzeuges wird über den Lastmotor gewährleistet.
Ready-Knopf	
LF0900	Ist der Ready-Knopf eingeschaltet, sind alle Anzeige- und Bedienelemente einsatzbereit.
LF0910	Ist der Ready-Knopf ausgeschaltet, sind alle Anzeige- und Bedienelemente aus.
Allgemein	
LF1000	Lastmomente an den elektrischen Maschinen werden im Generatorbetrieb durch elektrische Lasten simuliert
LF1010	Leistungsangebote an den elektrischen Maschinen werden im Motorbetrieb durch elektrische Leistung vorgegeben
LF1020	Die Ansteuerung aller Komponenten erfolgt gemäß der im Anhang beigefügten Wahrheitstabelle für die gegebenen Fahrzustände.

Tab. 10-3: Versuchsbezogene Anforderungen

Versuchsgruppe 1: Manueller Betrieb	
Manueller Motorstart aus dem Stand	
LV0100	Der Wählhebel muss in Stellung N sein
LV0101	Der Parkschalter muss aktiviert werden
LV0102	MG1 muss vorwärts gedreht werden, um ICE anzudrehen
Manueller Motorstart aus Bewegung	
LV0200	Der Wählhebel muss in Stellung N sein



LV0201	MG2 muss händig mit konstanter Geschwindigkeit vorwärts gedreht werden
LV0202	MG1 muss gestoppt/abgebremst werden, um ICE anzudrehen
Manuelle Konstantfahrt elektrisch	
LV0300	Der Wählhebel muss in Stellung N sein
LV0301	MG2 muss händig mit konstanter Geschwindigkeit vorwärts gedreht werden.
LV0302	ICE muss festgehalten werden, um still zu stehen.
Manuelle Konstantfahrt mit Verbrennungsmotor	
LV0400	Der Wählhebel muss in Stellung N sein
LV0401	ICE muss vorwärts gedreht werden
LV0402	MG1 muss manuell gehalten werden.
Versuchsgruppe 2: Nachbildung Betriebszustände	
Anfahren mit niedriger Last und geladener Batterie	
LV0500	Versuchsstand mit On/Off-Schalter einschalten
LV0501	Fahrpedal auf 0 % stellen
LV0502	Bremspedal auf 0 % stellen
LV0503	Ready-Knopf betätigen
LV0504	Wählhebel auf Stellung D
LV0505	Batteriezustand mit SOC-Rad auf 100 % einstellen
LV0506	Fahrpedal auf Wert zwischen 1 und 20 % bringen
LV0507	Fahrzeug muss rein elektrisch anfahren
LV0508	ICE bleibt aus
LV0509	MG1 dreht leer mit
LV0510	SOC der Batterie fällt
Anfahren mit hoher Last und geladener Batterie im Boost-Modus	
LV0600	Versuchsstand mit On/Off-Schalter einschalten
LV0601	Fahrpedal auf 0 % stellen
LV0602	Bremspedal auf 0 % stellen
LV0603	Ready-Knopf betätigen
LV0604	Wählhebel auf Stellung D
LV0605	Batteriezustand mit SOC-Rad auf 100 % einstellen
LV0606	Fahrpedal schnell auf Wert zwischen 60 % und 100 % bringen
LV0607	ICE dreht
LV0608	MG1 dreht als Generator
LV0609	MG2 dreht als Motor
LV0610	SOC der Batterie fällt
Anfahren mit niedrigem Batteriezustand	



LV0700	Versuchsstand mit On/Off-Schalter einschalten
LV0701	Fahrpedal auf 0 % stellen
LV0702	Bremspedal auf 0 % stellen
LV0703	Ready-Knopf betätigen
LV0704	Wählhebel auf Stellung D
LV0705	Batteriezustand mit SOC-Rad auf 0 % einstellen
LV0706	Fahrpedal schnell auf Wert zwischen 20 % und 60 % bringen
LV0707	ICE dreht an
LV0708	MG1 dreht als Generator
LV0709	MG2 dreht als Motor
LV0710	SOC der Batterie steigt
Laden im Stand	
LV0800	Versuchsstand mit On/Off-Schalter einschalten
LV0801	Fahrpedal auf 0 % stellen
LV0802	Bremspedal auf 0 % stellen
LV0803	Ready-Knopf betätigen
LV0804	Wählhebel auf Stellung D
LV0805	Parkschalter drücken
LV0806	Batteriezustand mit SOC-Rad auf 10 % einstellen
LV0807	Batteriezustand langsam auf 0 % absenken
LV0808	MG1 dreht als Motor ICE an
LV0809	ICE dreht
LV0810	MG1 dreht als Generator
LV0811	MG2 steht still
LV0812	SOC der Batterie steigt
Konstant fahren bei niedrigem und hohem Ladezustand der Batterie	
LV0900	Versuchsstand mit On/Off-Schalter einschalten
LV0901	Fahrpedal auf 0 % stellen
LV0902	Bremspedal auf 0 % stellen
LV0903	Ready-Knopf betätigen
LV0904	Wählhebel auf Stellung D
LV0905	Batteriezustand mit SOC-Rad auf 10 % einstellen
LV0906	Fahrzeug fährt rein elektrisch
LV0907	SOC der Batterie fällt
LV0908	Wenn Batterie leer (0 %), dann springt ICE über MG1 an
LV0909	MG1 dreht als Generator
LV0910	MG2 dreht
LV0911	SOC der Batterie steigt



Versuchsgruppe 3: Rekuperation	
Rekuperation aus Konstantfahrt in D	
LV1000	Versuchsstand mit On/Off-Schalter einschalten
LV1001	Fahrpedal auf 0 % stellen
LV1002	Bremspedal auf 0 % stellen
LV1003	Ready-Knopf betätigen
LV1004	Wählhebel auf Stellung D
LV1005	Batteriezustand mit SOC-Rad auf 50 % einstellen
LV1006	Fahrpedal auf 50 % stellen
LV1007	Abwarten, bis konstante Fahrzeuggeschwindigkeit erreicht ist
LV1008	Fahrpedal auf 0 % stellen
LV1009	Bremspedal auf 20 % stellen
LV1010	Fahrzeug verzögert
LV1011	SOC der Batterie steigt
Rekuperation aus Konstantfahrt in B	
LV1100	Versuchsstand mit On/Off-Schalter einschalten
LV1101	Fahrpedal auf 0 % stellen
LV1102	Bremspedal auf 0 % stellen
LV1103	Ready-Knopf betätigen
LV1104	Wählhebel auf Stellung D
LV1105	Batteriezustand mit SOC-Rad auf 50 % einstellen
LV1106	Fahrpedal auf 50 % stellen
LV1107	Abwarten, bis konstante Fahrzeuggeschwindigkeit erreicht ist
LV1108	Fahrpedal auf 0 % stellen
LV1109	Bremspedal auf 20 % stellen
LV1110	Fahrzeug verzögert
LV1111	SOC der Batterie steigt anders als bei Rekuperation in D



11 Abnahmekriterien

Die Qualitätsanforderungen an das Produkt ergeben sich größtenteils bereits aus den Kriterien der Anforderungsliste. Zur Sicherstellung der Betriebssicherheit und Vermeidung von groben Fehlern sind in diesem Abschnitt jedoch diejenigen Abnahmekriterien aufgeführt, welche sich aus den gesetzlichen Bestimmungen und allgemeinen Konstruktionsrichtlinien ergeben.

Der Demonstrator sollte unter Einhaltung des Standes von Wissenschaft und Technik entwickelt werden und auf Grund des vorgesehenen Einsatzzweckes als Lernmittel, ein minimales Gefahrenpotenzial aufweisen.

Daraus ergeben sich folgende Abnahmekriterien, welche vor der Übergabe des Produkts zwingend geprüft und erfüllt werden müssen:

Tab. 11-1: Anforderungen Abnahmekriterien

Wie schnell, umfassend, genau, ...?	
LA0001	Von dem Demonstrator darf keine Gefahr für Leib und Leben ausgehen.
LA0002	Bewegliche Teile müssen, sofern von der Bewegung eine Gefahr ausgeht, gekapselt werden.
LA0003	Spannungsführende Leitungen/Komponenten müssen gekapselt oder mit Schutzschaltungen versehen werden, sofern die Stromstärke eine Gefahr darstellt.
LA0004	Der Demonstrator muss mit allen gesetzlich erforderlichen Schutzmechanismen, wie zum Beispiel einem Not-Aus-Schalter, aus-gestattet werden.
LA0005	Die verbauten Komponenten müssen so gefertigt werden, dass keine Gefahr besteht sich an Kanten zu schneiden.
LA0006	Die Anordnung der Komponenten sollte möglichst übersichtlich sein, Komponenten von denen Gefahr ausgeht, müssen besonders gekennzeichnet sein.
LA0007	Ein Dokument zur Unterrichtung der Sicherheitshinweise ist beigelegt.
LA0008	Überprüfung aller Schutzmechanismen unmittelbar vor Übergabe.
LA0009	Anfertigen eines Prüf-/Abnahmeprotokolls zur Entlastung der Verantwortlichen.



12 Anlagen

12.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Autobild KBA-Statistik: Kfz-Bestand 2014.
www.autobild.de/artikel/kba-statistik-kfz-bestand-4971719.html, abgerufen am 15.12.2014
- [2] Bundesregierung Nationale Nachhaltigkeitsstrategie.
www.bundesregierung.de/Content/DE/Publikation/Bestellservice/2012-05-08-fortschrittsbericht-2012.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 15.12.2014
- [3] Konrad, R. Kraftfahrzeug-Hybridantriebe.
 Wiesbaden: Springer Vieweg, 2012, S.42-57
- [4] Lindemann, M. Kfz-Elektrik-Elektronik. HTW Berlin, Berlin: 10/2014

12.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1: Entwurf Demonstrator.....	6
Abbildung 5-2: Entwurf Steuerpult	7
Abbildung 7-1: Schematische Darstellung des Demonstrators mit Positionierung der manuellen Betätigungseinrichtungen	11
Abbildung 8-1: Elektrisches Fahren.....	15
Abbildung 8-2: Boostmodus.....	17
Abbildung 8-3: Fahren mit ICE, ohne Laden.....	17
Abbildung 8-4: Anfahren durch Unterstützung des ICE um Batterie zu laden....	18
Abbildung 8-5: Laden im Stand	19
Abbildung 8-6: Fahrt mit Laden und ICE.....	21
Abbildung 9-1: Änderung der Bremskraft-zuteilung	23
Abbildung 9-2: Rekuperieren in Fahrstufe D	23
Abbildung 9-3: Rekuperieren in Fahrstufe B.....	24



12.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1: Zielanforderungen für das Lernsystem	4
Tab. 10-1: Technische Anforderungen an den Demonstrator	26
Tab. 10-2: Funktionsanforderungen der Schalttafel	30
Tab. 10-3: Versuchsbezogene Anforderungen	32
Tab. 11-1: Anforderungen Abnahmekriterien	36



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.

This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.

