



7. LuK Kolloquium

11./12. April 2002



Herausgeber: LuK GmbH & Co.
Industriestrasse 3 • D -77815 Bühl/Baden
Telefon +49 (0) 7223 / 941 - 0 • Telefax +49 (0) 7223 / 2 69 50
Internet: www.LuK.de

Redaktion: Ralf Stopp, Christa Siefert

Layout: Vera Westermann

Druck: Konkordia GmbH, Bühl
Das Medienunternehmen

Printed in Germany

**Nachdruck, auch auszugsweise, ohne
Genehmigung des Herausgebers untersagt.**

Vorwort

Innovationen bestimmen unsere Zukunft. Experten sagen voraus, dass sich in den Bereichen Antrieb, Elektronik und Sicherheit von Fahrzeugen in den nächsten 15 Jahren mehr verändern wird als in den 50 Jahren zuvor. Diese Innovationsdynamik stellt Hersteller und Zulieferer vor immer neue Herausforderungen und wird unsere mobile Welt entscheidend verändern.

LuK stellt sich diesen Herausforderungen. Mit einer Vielzahl von Visionen und Entwicklungsleistungen stellen unsere Ingenieure einmal mehr ihre Innovationskraft unter Beweis.

Der vorliegende Band fasst die Vorträge des 7. LuK Kolloquiums zusammen und stellt unsere Sicht der technischen Entwicklungen dar.

Wir freuen uns auf einen interessanten Dialog mit Ihnen.



Bühl, im April 2002

A handwritten signature in black ink that reads "Helmut Beier". The script is cursive and somewhat stylized.

Helmut Beier

Vorsitzender
der Geschäftsführung LuK Gruppe

Inhalt

1	ZMS – nichts Neues?	5
2	Der Drehmomentwandler	15
3	Kupplungsausrückssysteme	27
4	Der Interne Kurbelwellendämpfer (ICD)	41
5	Neueste Ergebnisse der CVT-Entwicklung	51
6	Wirkungsgradoptimiertes CVT-Anpresssystem	61
7	Das 500 Nm CVT	75
8	Das Kurbel-CVT	89
9	Bedarfsorientiert ansteuerbare Pumpen	99
10	Die temperaturgeregelte Schmierölpumpe spart Sprit	113
11	Der CO2 Kompressor	123
12	Komponenten und Module für Getriebebeschaltungen	135
13	Die XSG Familie	145
14	Neue Chancen für die Kupplung?	161
15	Elektromechanische Aktorik	173
16	Denken in Systemen – Software von LuK	185
17	Das Parallel-Schalt-Getriebe PSG	199
18	Kleiner Startergenerator – große Wirkung	213
19	Codegenerierung contra Manufaktur	227

Kleiner Startergenerator – große Wirkung

Thomas Pels
Dierk Reitz
László Mán
Bård Vestgård, Kongsberg DevoTek

Einleitung

Hybridantriebe bieten als konsequente Weiterentwicklung verbrennungsmotorischer Antriebe ein enormes Potenzial zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs [1]. Für zukünftige Antriebskonzepte spielen aber neben den ökologischen Aspekten auch der Gebrauchswert bzw. der Komfort und vor allem die Kosten eine entscheidende Rolle. Vor diesem Hintergrund werden bei LuK Varianten mit bestem Kosten/Nutzen-Verhältnis favorisiert [2].

In diesem Beitrag werden zwei Systeme vorgestellt, die für ihren jeweiligen Anwendungsfall nach Einschätzung von LuK mittelfristig die größten Chancen für eine breite Marktdurchdringung haben. Im ersten Teil des Artikels wird das Elektrische Schaltgetriebe (ESG) vorgestellt, welches besonders vorteilhaft die Eigenschaften des Doppelkupplungs- bzw. Parallel-Schaltgetriebes mit den Funktionen eines Minimalhybrides kombiniert. Im zweiten Teil wird der Startergenerator im Riemtrieb (RSG) vorgestellt, der mit minimalem Aufwand Start-Stopp-Funktionalität bietet. Hierzu hat LuK ein kompaktes Zweistufengetriebe entwickelt, das den Einsatzbereich des RSG auf hubraumstarke Otto- und Dieselmotoren erweitert.

Das Elektrische Schaltgetriebe (ESG)

Anordnung der elektrischen Maschine

Das Parallel-Schaltgetriebe mit Trockenkupplungen (PSG) bietet die ideale Basis für einen Antrieb mit hohem Komfort und sehr gutem Wirkungsgrad [3]. Zur weiteren Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs wird nach Möglichkeiten zur Einbindung einer elektrischen Maschine gesucht. Diese soll neben dem schnellen, geräuschlosen Start (Start-Stopp) auch die Rückgewinnung von Bremsenergie (Re-

kuperation) und ein "Downsizing" des Verbrennungsmotors durch eine Boosterfunktion ermöglichen. Bild 1 zeigt den ersten Ansatz einer direkten Anbindung der E-Maschine an die Kurbelwelle des Verbrennungsmotors. Eine solche Anordnung wird auch als „Kurbelwellen-Startergenerator (KSG)“ oder „Integrierter Startergenerator (ISG)“ bezeichnet und findet insbesondere in Verbindung mit Schaltgetrieben Anwendung [4]. Nachteilig ist bei einer solchen Struktur das eingeschränkte Rekuperationspotenzial durch Schleppverluste des Verbrennungsmotors im Schub.

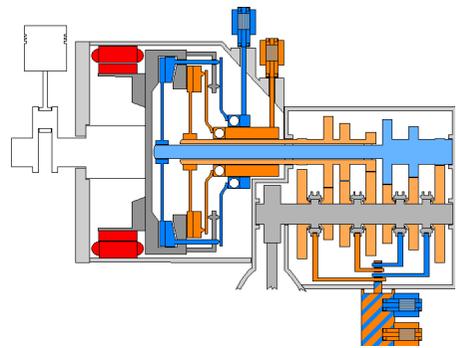


Bild 1: PSG mit Kurbelwellen-Startergenerator

Bild 2 zeigt eine Lösung mit einer weiteren Kupplung zwischen E-Maschine und Kurbelwelle. Durch die Abkopplung des Verbrennungsmotors im Schub kann bei dieser Konfiguration das volle Potenzial zur Rückgewinnung von Verzögerungsenergie genutzt werden.

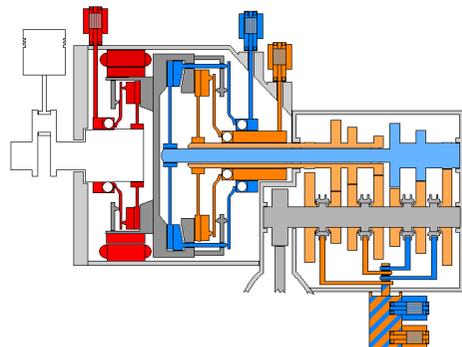


Bild 2: PSG mit drei Kupplungen

Realisierbare Einsparungen liegen entsprechend Simulationen für den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) zwischen 15 und 20% [5]. Außerdem kann durch die Trennung von Motor und elektrischer Maschine zur weiteren Verringerung des Kraftstoffverbrauchs das Fahrzeug rein elektrisch bewegt werden. In Verbindung mit einem Downsizing des Verbrennungsmotors wurden an ausgeführten Prototypen Verbrauchsreduzierungen von ca. 30% (NEFZ) nachgewiesen [6].

Die LuK Idee geht noch einen Schritt weiter. Gemäß Bild 3 wird vorgeschlagen, die E-Maschine in das Getriebe zu integrieren. Neben weiteren funktionalen Vorteilen, auf die im nächsten Kapitel eingegangen wird, bietet diese Struktur signifikante Bauraum- und Kostenvorteile und wird im Weiteren als Elektrisches Schaltgetriebe (ESG) bezeichnet.

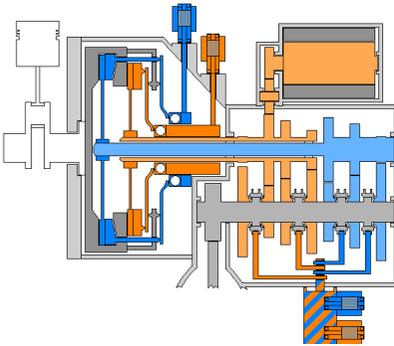


Bild 3: Elektrisches Schaltgetriebe

Funktionen

Um die einzelnen Funktionen des ESG übersichtlich erläutern zu können, werden die beiden Teilgetriebe parallel dargestellt (vgl. Bild 4). Der untere Teil beinhaltet die ungeraden Gangstufen sowie die Kupplung K1 und wird als Teilgetriebe 1 bezeichnet. Analog besteht das Teilgetriebe 2 aus den geraden Gangstufen und der Kupplung K2.

Verbrennungsmotorisches Fahren

Während des Betriebes im Teilgetriebe 2 ist der Startergenerator (SG) über die Kupplung

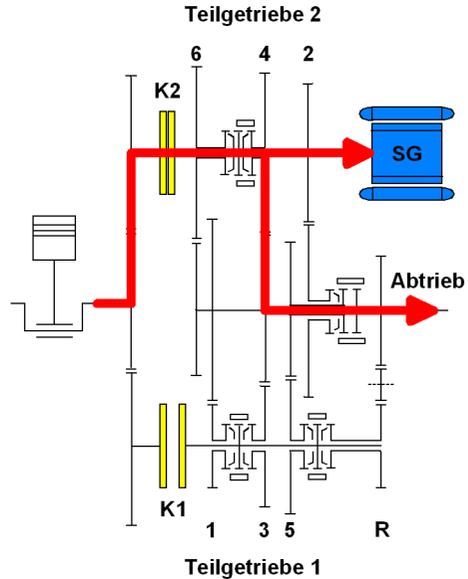


Bild 4: Fahren im 4. Gang mit Teilgetriebe 2 – Generatorbetrieb

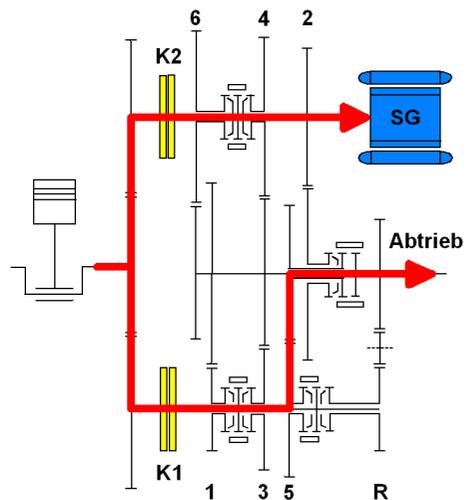


Bild 5: Fahren im 5. Gang mit Teilgetriebe 2 in Neutral

K2 direkt an den Verbrennungsmotor gekoppelt. Bild 4 zeigt beispielhaft das Fahren im 4. Gang mit Generatorfunktion. Durch Umkehr der Momentenrichtung an der elektrischen Maschine ergibt sich eine Boosterfunktion.

Beim Fahrbetrieb in einem ungeraden Gang wird je nach Schaltstrategie im Teilgetriebe 2

ein gerader Gang vorgewählt oder in Neutral geschaltet. Ist das Teilgetriebe 2 in Neutralstellung, so wird die Kupplung K2 geschlossen, um das Generatormoment zu übertragen (Bild 5). Bei vorgewähltem Gang erfolgt der Antrieb der E-Maschine über die eingelegte Gangstufe - wie in Bild 6 dargestellt. Durch Umkehr der Momentenrichtung an der elektrischen Maschine kann wiederum eine Boos-terfunktion erfüllt werden.

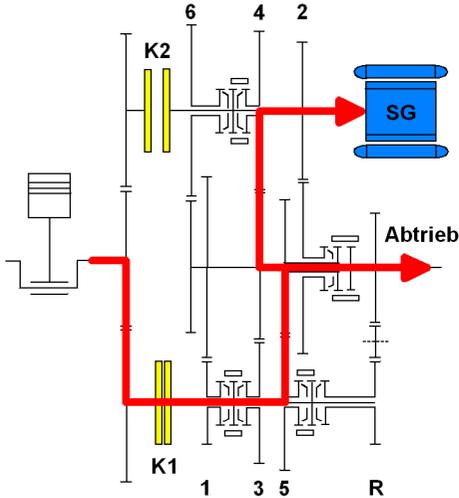


Bild 6: *Fahren im 5. Gang mit vorgewähltem 4. Gang*

Elektrisches Anfahren/Fahren

Bei entsprechend großer installierter elektrischer Leistung der E-Maschine sowie der Batterie ist rein elektrisches Fahren möglich. Dazu bleiben beide Kupplungen geöffnet und in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und Last sowie des Wirkungsgrad-Kennfeldes wird das Moment über den 2., 4. oder 6. Gang auf die Antriebsräder geführt (Bild 7).

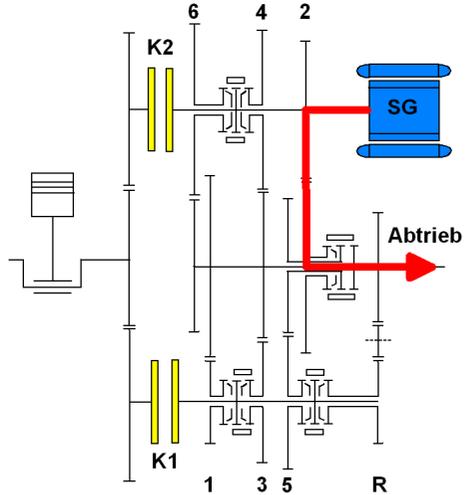


Bild 7: *Elektrisches Fahren*

Bremsenergie-Rückgewinnung (Rekuperation)

Um eine effiziente Nutzung der Bremsenergie zu erreichen, wird der Verbrennungsmotor im Schubbetrieb vom Antriebsstrang abgekoppelt. Die Verzögerung des Fahrzeuges übernimmt die E-Maschine, die je nach Geschwindigkeit, Bremspedalstellung sowie optimaler Übersetzung ein generatorisches Moment aufbaut und die kinetische Energie des Fahrzeuges in elektrische Energie umwandelt (Bild 8).

Durch die Integration des Klimakompressors in das Teilgetriebe 2 gemäß Bild 9 kann die kinetische Energie des Fahrzeuges auch direkt zur Erzeugung von Kälteleistung genutzt werden. So wird bei niedrigen Bordnetz-Leistungen die wirkungsgradbehaftete Zwischenspeicherung in der Batterie vermieden. Unter Voraussetzung einer erhöhten Speicherkapazität der Klimaanlage (A/C) z.B. durch eine größere Verdampferinheit kann Kälteenergie für eine folgende Stillstands-Phase gespeichert werden.

Bei Verwendung eines geeigneten Kältemittels wie CO₂ kann die Klimaanlage außerdem Wärme erzeugen [7]. Neben energetischen Vorteilen analog zur direkten Erzeugung von Kälteleistung bei der Rekuperation verspricht

das System großen Nutzen für das Thermo-
management des Hybridfahrzeuges. Das gilt
insbesondere für moderne Verbrennungsmo-
toren mit Direkteinspritzung, vollvariablen
Steuerzeiten u.ä., die auf Grund ihrer niedri-
gen Teillastverbräuche zum Teil heute schon
auf Zusatzheizer angewiesen sind.

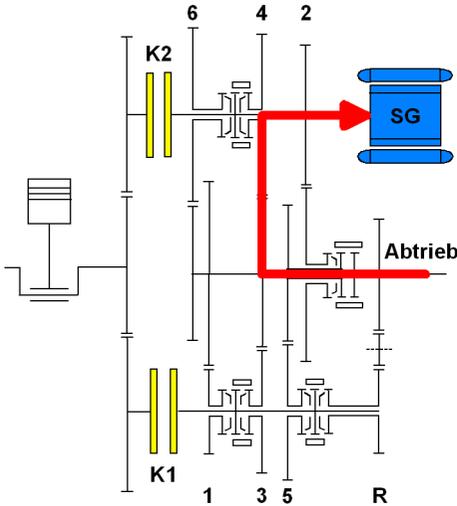


Bild 8: Rekuperation

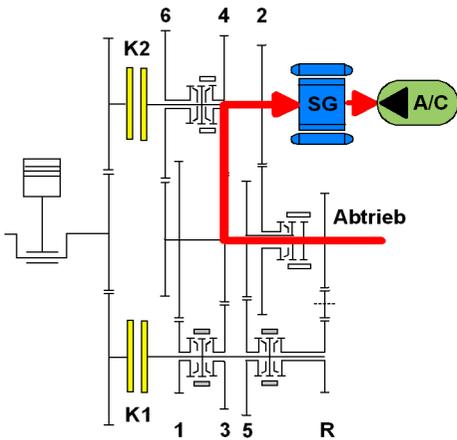


Bild 9: Rekuperation unter Einbeziehung der
Klimaanlage

Standklimatisierung

Für zukünftige Fahrzeuge wird zur weiteren
Komforterhöhung eine Stand- bzw. Vorklima-

tisierung diskutiert. Des Weiteren wird eine
ausreichende Klimatisierung während der
Stillstands-Phasen des Verbrennungsmotors
im Start-Stopp-Betrieb gefordert. Die zur Er-
füllung dieser Anforderungen derzeit unter-
suchten elektrisch angetriebenen Anlagen
haben nach Ansicht von LuK jedoch einige
Nachteile. Zunächst muss als Antrieb eine
elektrische Maschine mit einer mechanischen
Leistungsabgabe von ca. 2 - 5 kW installiert
werden. Darüber hinaus ist der Startergene-
rator einschließlich Leistungselektronik zur
elektrischen Versorgung des Kompressoran-
triebes entsprechend größer zu dimensionie-
ren. Insgesamt führt dies neben Gewichtsnach-
teilen zu erheblichen Kosten für die elektrischen
Komponenten. Weiterhin wurden auf Grund der
mehrfachen Energiewandlung im Vergleich zu
einem konventionellen System energetische
Nachteile nachgewiesen [8].

Beim ESG wird der Klimakompressor über die
konventionelle Magnetkupplung an die E-Ma-
schine angebunden. Der Antrieb erfolgt somit
im Fahrbetrieb über die Getriebeeingangswel-
le 2 mechanisch vom Verbrennungsmo-
tor. Während einer Stillstands-Phase kann in
Neutralstellung des Teilgetriebes 2 und geöff-
neter Kupplung K2 der Startergenerator, wie
in Bild 10 dargestellt, den Klimakompressor
elektrisch antreiben.

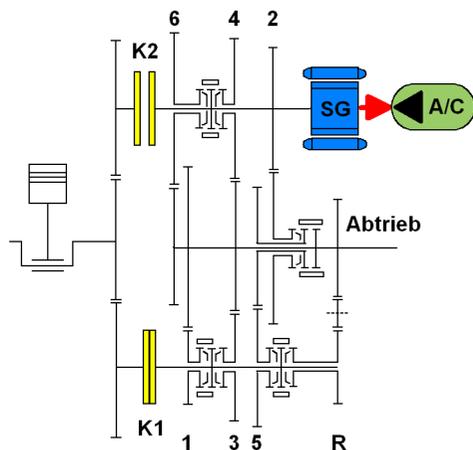


Bild 10: Standklimatisierung

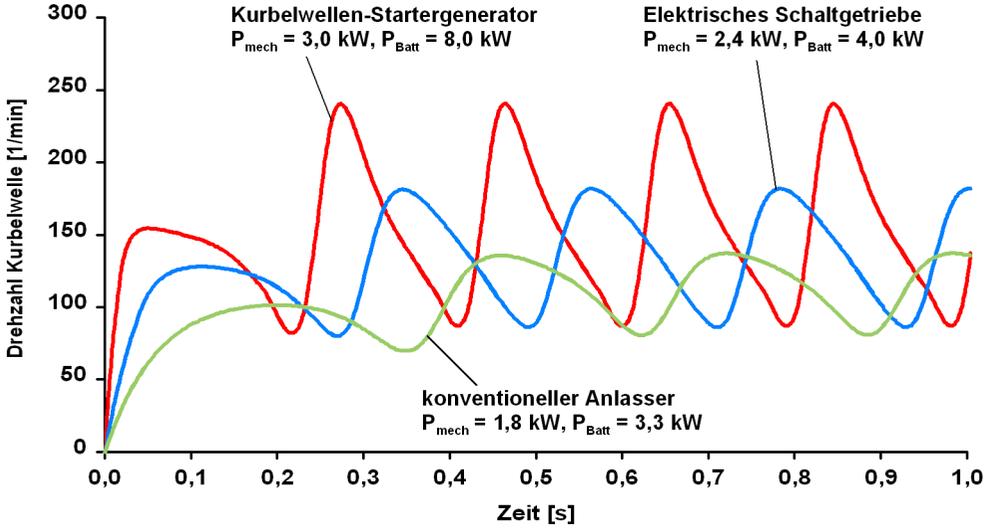


Bild 11: Kaltstartverhalten – Systemvergleich Anlasser / ESG / KSG

Kaltstart

Für den Kaltstart steht neben der Reduzierung des erforderlichen Maximalmoments der elektrischen Maschine eine möglichst geringe Belastung der Batterie im Vordergrund der Entwicklung [9]. Der heutige Starter erfüllt diese Forderung durch eine hohe Übersetzung zwischen Ankerwelle und Schwungrad. Zur Veranschaulichung werden in Bild 11 die grundsätzlichen Vorteile, die sich durch diese Übersetzung ergeben, beispielhaft für einen 1,9 l DI-Dieselmotor aufgezeigt. Zunächst resultiert auf die Kurbelwelle bezogen ein im Vergleich zu einem Kurbelwellen-Startergenerator erhöhtes Massenträgheitsmoment, wodurch die Drehzahlschwankungen während des Starts deutlich reduziert werden. Unter Einhaltung einer für einen sicheren Start notwendigen Mindestdrehzahl (hier: 80 1/min) ergeben sich niedrigere mittlere Startdrehzahlen und somit reduzierte mechanische Startleistungen. Weiterhin wird durch eine Übersetzung die E-Maschine in einem Drehzahlbereich deutlich besseren Wirkungsgrades betrieben, wodurch die aus der Batterie aufgenommene elektrische Leistung nochmals reduziert werden kann. Zur Ausführung einer

Kaltstartübersetzung beim ESG werden zwei Lösungswege vorgestellt. Die Integration der elektrischen Maschine in das Getriebe erlaubt die Nutzung von zwei vorhandenen Gangstufen als Kaltstartübersetzung.

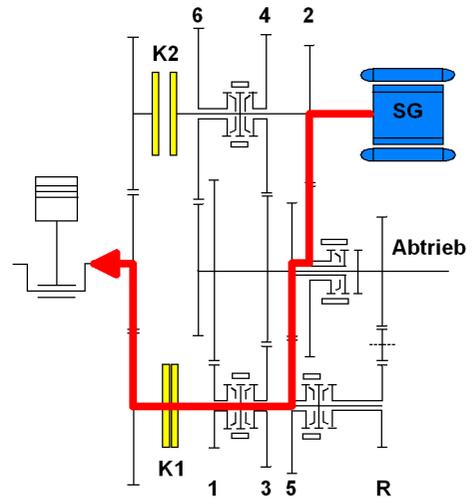


Bild 12: Kaltstart durch Kombination zweier Gangstufen

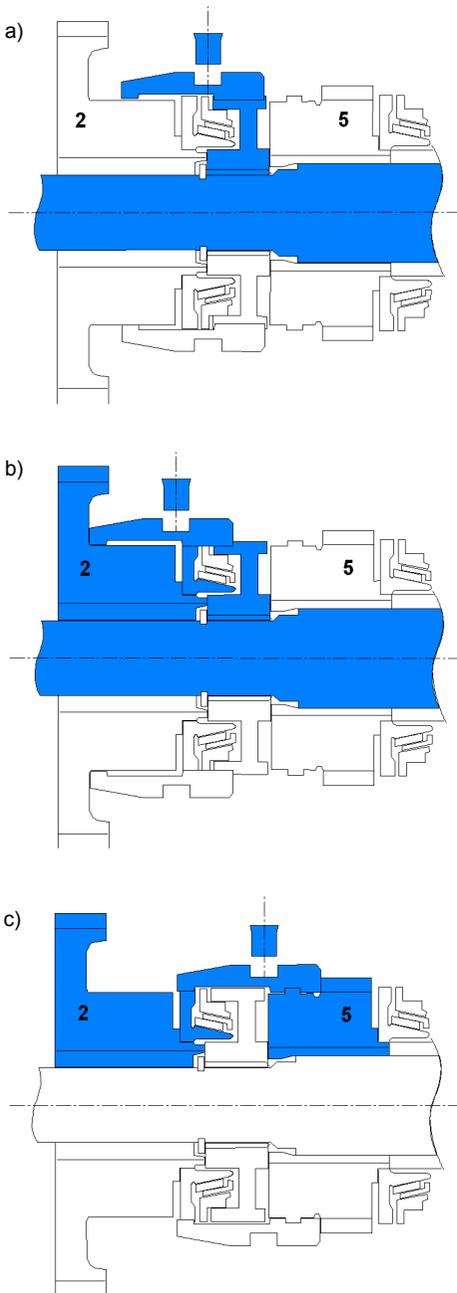


Bild 13: Modifizierte Schaltklaue

- a) Neutral
- b) 2. Gang geschaltet
- c) Kaltstartstellung

Bild 12 zeigt den Momentenfluss von der E-Maschine zum Verbrennungsmotor über eine Kombination zweier Getriebegangräder.

Durch die Anordnung können, je nach Wahl der Gangrad-Paarung, Startübersetzungen zwischen 2,5 und 7 realisiert werden. Während des Startvorgangs muss der Fahrzeug-Abtrieb abgekoppelt sein. Dies kann, wie in Bild 13 beispielhaft gezeigt, durch eine modifizierte Schaltklaue erfolgen, die in der Kaltstart-Stellung als zusätzliche Position die Gangräder 2 und 5 verbindet und gleichzeitig die Abtriebswelle abkoppelt (Bild 13c). Grundsätzlich ist aber die Trennung auch mittels einer Neutralstellung weiterer Schaltelemente, z. B. durch eine Neutralschaltung im Verteilergetriebe eines Allrad-Fahrzeuges, möglich.

Eine zweite Variante einer Kaltstartübersetzung stellt die Schaltung eines axial verschiebbaren Zahnrades auf das Schwungrad dar. Diese wird in einem späteren Kapitel näher erläutert.

Warmstart

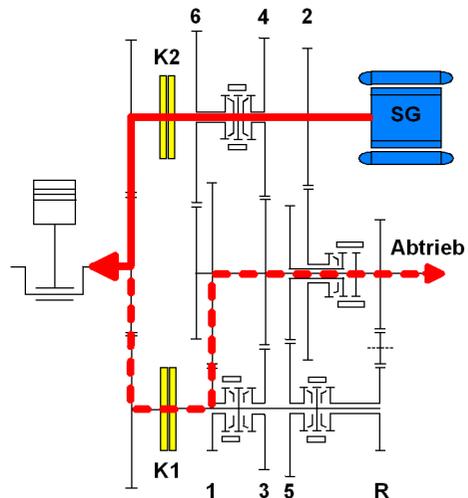


Bild 14: Warmstart im Start-Stopp-Betrieb

Der Warmstart erfolgt in Neutralposition des Teilgetriebes 2 über die Kupplung K2 auf den Verbrennungsmotor. Um die Zeit bis zum Anfahren des Fahrzeuges zu reduzieren, kann be-

reits während des Startvorgangs über Kuppelung K1 und den eingelegten 1. Gang ein Kriechmoment auf den Abtrieb wirken (Bild 14). Wegen der zusätzlichen Übersetzung stellt der Kaltstart nach Bild 11 geringere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der E-Maschine. Deshalb ist das erforderliche Moment für ein schnelles Beschleunigen des Verbrennungsmotors nach einer Stopp-Phase systembestimmend. Hieraus resultieren vergleichsweise kompakte Abmessungen der elektrischen Maschine und ein sehr niedriges Massenträgheitsmoment des Rotors. Dies ist zur Erhaltung kurzer Synchronisierungszeiten im Teilgetriebe 2 von entscheidender Bedeutung.

Der ESG-Prototyp

Mit dem Aufbau eines Fahrzeuges möchte LuK nachweisen, dass die Realisierung der im vorigen Kapitel beschriebenen Funktionen des Antriebskonzepts möglich ist, ohne dadurch den Komfort des Basisgetriebes nega-

tiv zu beeinflussen. Hier stehen vor allem die Synchronisierung des Teilgetriebes 2 sowie das dynamische Ab- bzw. Zuschalten des Verbrennungsmotors zur Ermöglichung des Rekuperationsbetriebes im Vordergrund der Optimierung.

Der Versuchsträger ist ein Fahrzeug der unteren Mittelklasse mit einem 1,3 l DI-Dieselmotor und einem 5-Gang PSG mit trockenen Kupplungen. Der 42 V Startergenerator wird achsparallel zur Getriebeeingangswelle in Fahrtrichtung vor dem Getriebe positioniert. Die Anbindung erfolgt über ein Zwischenrad an das Zahnrad des 4. Ganges mit einer Übersetzung von 0,84. Der Klimakompressor ist am Gehäuse der E-Maschine befestigt und wird mit Übersetzung 1 von der Rotorwelle über einen Keilrippenriemen angetrieben. Bild 15 zeigt die Gesamtansicht des Antriebsstrangs mit der Ausrichtung im Motorraum. Die Befestigung der E-Maschine an das Getriebe erfolgt durch einen modifizierten Getriebehalter.

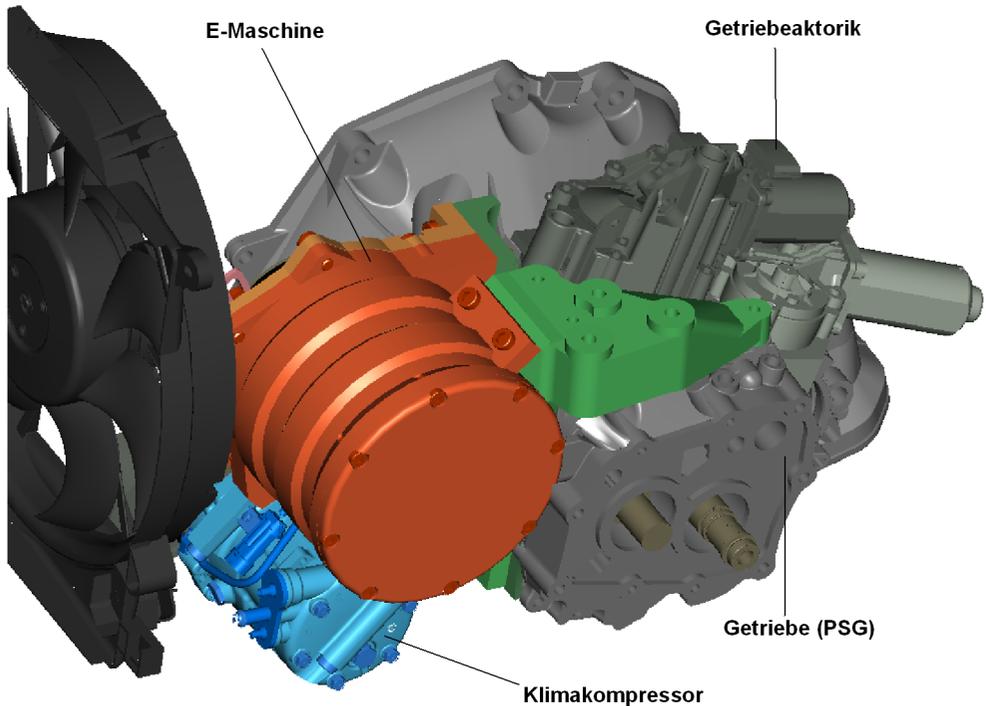


Bild 15: Gesamtansicht des Antriebsstrangs

Eine zusätzliche Versteifung wird durch die in Bild 16 sichtbare Verschraubung der Dichtfläche zwischen Getriebegehäuse und Stirnrad-Stufe erreicht.

Um die beschriebenen Vorteile einer Kaltstartübersetzung zu nutzen, soll im Versuchsträger eine direkte Schaltung der E-Maschine auf das Schwungrad der Kurbelwelle realisiert werden. Bild 17 zeigt das einem konventionellen Starter ähnliche Prinzip. Auf der verlängerten Rotorwelle kann ein axial verschiebbares Zahnrad mit Hilfe eines Magnetschalters in den Anlasserzahnkranz eingespurt werden. Durch die optimierte Auslegung der elektrischen Maschine wird ein Achsabstand zwischen Getriebeeingangswelle und Rotorwelle erreicht, der eine Kaltstartübersetzung von 3,5 ermöglicht.

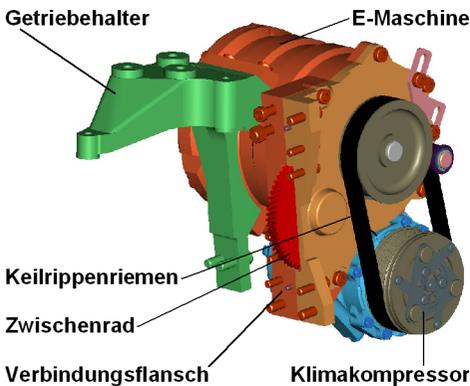


Bild 16: Ansicht der ESG Komponenten

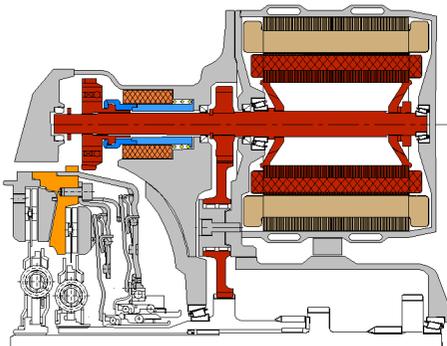


Bild 17: Anbindung der E-Maschine an das Schwungrad für den Kaltstart

Der Startergenerator im Riementrieb (RSG)

Funktionsweise

Das große Potenzial zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs durch die hohe Funktionalität des eingehend beschriebenen ESG bedingt einen umfangreichen Eingriff in den Antriebsstrang. Hierzu gehören komplexe Maßnahmen in der Architektur von Steuergeräten und Software zur Integration eines Energiemanagements. Bei Reduzierung der Funktionen auf den Start-Stopp-Betrieb bietet sich der riemengetriebene Startergenerator an [5], [10], [11]. Dieses Konzept ermöglicht die Verwendung bekannter und somit erprobter Komponenten mit minimalen Änderungen am bestehenden Aggregatetrieb [12]. Darüber hinaus erlaubt die relativ geringe Startleistung die Verwendung herkömmlicher 12 V-Bleibatterien, ggf. in **AGM**-Technik (**A**bsorptive **G**lass **M**att). Der RSG lässt sich mit allen Getrieben ohne Änderungen am Antriebsstrang kombinieren. Demzufolge ist die Applikation im Vergleich zu allen anderen Startergenerator-Systemen mit erheblich weniger Aufwand verbunden.

Bild 18 zeigt schematisch die Funktionsweise des RSG-Systems im Startbetrieb. Es zeigt sich, dass die Übersetzung des Keilrippenriemens (2, 5 ... 3) bei Dieselmotoren und größeren Ottomotoren für den sicheren Start insbesondere bei tiefen Temperaturen nicht ausreicht. Zu diesem Zweck hat LuK ein kompaktes Zweistufengetriebe entwickelt, das für den Start eine höhere Gesamtübersetzung (z. B. 6 ... 7) ermöglicht.

Nach dem Start des Verbrennungsmotors treibt dieser den Generator auf herkömmliche Weise an (Bild 19). Bei Verwendung des Zweistufengetriebes wird hierbei automatisch in die Übersetzung 1 geschaltet.

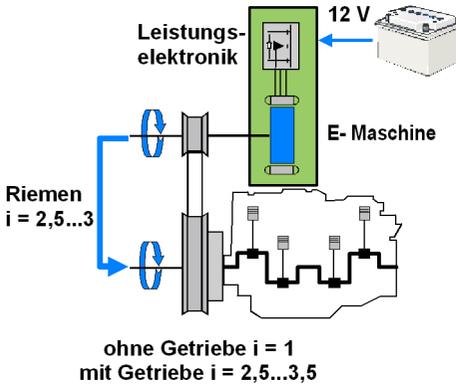


Bild 18: Funktionsprinzip Startbetrieb

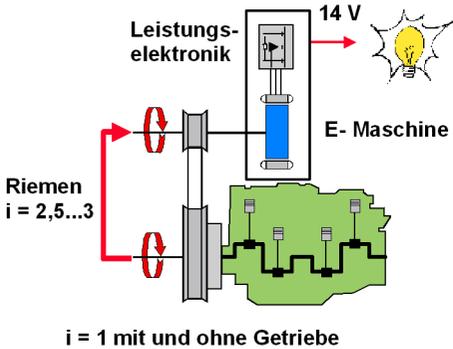


Bild 19: Funktionsprinzip Generatorbetrieb

Das RSG-Getriebe

Eine feste Hubraumgrenze für den notwendigen Einsatz eines Zweistufengetriebes lässt sich wegen der vielen verschiedenen in Entwicklung befindlichen E-Maschinen nicht exakt definieren. Auch das Riemenlayout hat erheblichen Einfluss auf die realisierbaren Übersetzungen der spezifischen Nebenaggregatgetriebe. LuK geht davon aus, dass bei RSG-Systemen für Ottomotoren $\geq 1,8$ Liter Hubraum und für Dieselmotoren ab ca. 1,4 Liter Hubraum Zweistufengetriebe Verwendung finden werden. Diese Richtwerte gelten für ein System mit einer Nennspannung von 14 V. Bei leistungsfähigeren 42 V-Systemen ist der Einsatzbereich ohne Zweistufengetriebe natürlich erweitert. Solche Anwendungen sind aber hinsichtlich der Funktionen (und Kosten!) eher als

Minimalhybride einzuordnen [13]. Die Bilder 20 und 21 zeigen die wesentlichen Komponenten des Getriebes und verdeutlichen die Momentenflüsse in den Betriebszuständen Start- und Generatorbetrieb.

Beim Start wird das Moment von der elektrischen Maschine über den Riemen auf die Riemenscheibe übertragen. Über das mit der Riemenscheibe verbundene Sonnenrad wird das Moment in das Planetengetriebe eingeleitet. Hierbei stützt sich das Hohlrad über einen (Start-)Freilauf gegen das Kurbelgehäuse ab. Das Moment am Hohlrad addiert sich somit zum eingeleiteten Moment und wird über den Planetenträger auf die Kurbelwelle übertragen. Die Startübersetzung dieses Getriebes liegt je nach Ausführung etwa zwischen 2,5 und 3,5. Sobald der Verbrennungsmotor Drehmoment abgibt, wird der beschriebene Startfreilauf überholt, bis schließlich alle Komponenten des Planetengetriebes mit gleicher Drehzahl rotieren. Dann greift der zweite Freilauf, der jetzt das Moment des Verbrennungsmotors vom Planetenträger direkt, d. h. mit der Übersetzung 1, auf das Sonnenrad überträgt. Dieser zweite Freilauf entkoppelt im Generatorbetrieb alle Nebenaggregate von den Drehungleichförmigkeiten des Verbrennungsmotors und wird deshalb als Aggregatefreilauf bezeichnet. Bild 22 repräsentiert Messergebnisse des Aggregatefreilaufs auf dem Verbrennungsmotor-Prüfstand mit einem 1,9 l DI-Dieselmotor unter Last.

Neben der Bereitstellung einer hohen Übersetzung für den Startbetrieb und der Entkopplung der Nebenaggregate übernimmt das Getriebe auch die Funktion des Kurbelwellentilgers, den viele Motoren am freien Kurbelwellen-Ende zur Reduzierung von Torsions-Eigenschwingungen benötigen. Hierzu wird die erforderliche Tilgermasse je nach Ausführung entweder mittels Gummifeder oder unter Verwendung spezieller Schraubendruckfedern an den Planetenträger angebunden. Der Einsatz von Stahl-Druckfedern ermöglicht eine sehr präzise Abstimmung der Wirkfrequenz und erlaubt deshalb den Einsatz relativ kleiner Tilgermassen. Den vielfältigen Bauverhältnissen entsprechend kann es

dennoch sinnvoll sein, den heute zum Teil als separates Bauteil ausgeführten Kurbelwellenlilger als eigene Baugruppe beizubehalten. Eine solche Variante wird u. a. im nächsten Kapitel vorgestellt.

Varianten des LuK Getriebes

Grundsätzlich kann das Getriebe – wie im vorherigen Kapitel beschrieben – auf der Kurbelwelle oder als zusätzliche Variante auf der Rotorwelle des Generators angeordnet sein. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Integration des Getriebes in die Kurbellenscheibe wegen des geringeren Kraftniveaus im Riemen die Verwendung eines Keilrippenriemens zulässt. Beide Versionen wurden in unterschiedlichen Ausführungen bei LuK aufgebaut und auf Prüfständen und in Fahrzeugen getestet. In Bild 23 ist ein Getriebe mit integriertem Kurbellentliger im Schnitt dargestellt. In diesem Beispiel ist die Tilgermasse über eine Gummispur an die Kurbelwelle angebunden. Bild 24 zeigt eine Anordnung mit Tilger als separat ausgeführtes Bauteil. Die Anbindung des Getriebes an die Kurbelwelle des Verbrennungsmotors erfolgt über eine Zentralschraube.

Wegen der kurzen Zeitanteile mit Differenzdrehzahlen im Getriebe werden an die Schmierung der Komponenten nur geringe Anforderungen gestellt. Eine wartungsfreie Fettfüllung genügt diesen Ansprüchen und bietet außerdem Vorteile bei der Auswahl kostengünstiger, reibungsarmer Dichtungen.

Durch die Verwendung eines einfachen Aktors gewinnt das Getriebe zusätzlich an Funktionalität. Mit dem Aktor wird die Abstützung des Hohlrades am Kurbelgehäuse gesteuert. Dies geschieht durch Unterbrechung des Kraftflusses zum Gehäusehalter mit Hilfe eines Elektromagneten. So kann der Startergenerator im motorischen Betrieb bei stehender Kurbelwelle Nebenaggregate antreiben. Insbesondere vor dem Hintergrund einer Standklimatisierung erscheint diese Option interessant.

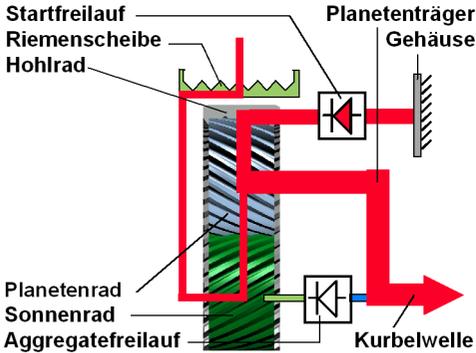


Bild 20: Momentenfluss im Planetengetriebe während des Startvorgangs

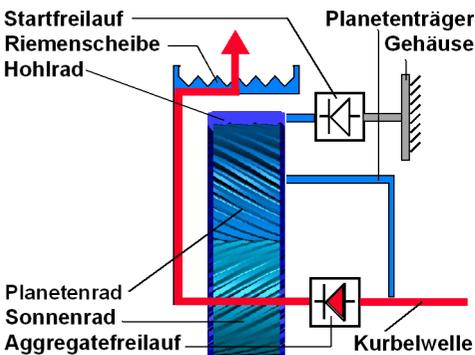


Bild 21: Momentenfluss im Planetengetriebe bei laufendem Verbrennungsmotor

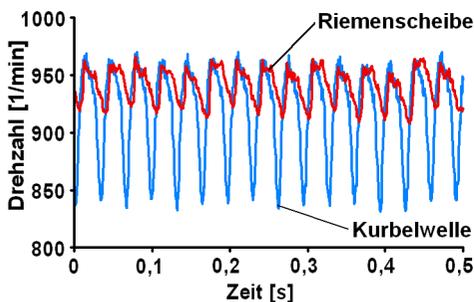


Bild 22: Entkopplung des Aggregatgetriebes (Messung)

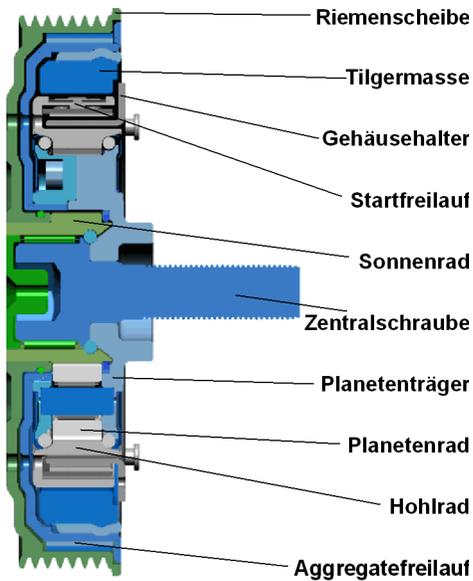


Bild 23: Getriebe mit separatem Kurbelwellentilger

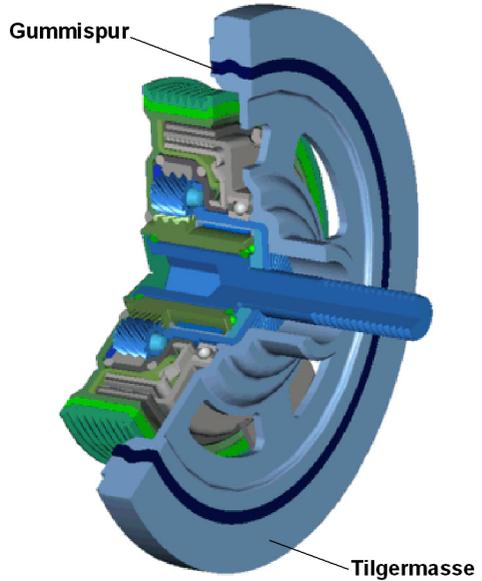


Bild 24: Getriebe mit integriertem Kurbelwellentilger

Zusammenfassung

Das Elektrische Schaltgetriebe zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Sehr niedriger Kraftstoffverbrauch durch
 - Start-Stopp
 - Rekuperation bei abgekoppeltem Verbrennungsmotor
 - Einbindung der Klimaanlage in das Triebstrang-Management
- Schaltkomfort wie das Basisgetriebe ohne E-Maschine
- (Minimal-)Hybrid als Add-on-Lösung mit elektrischen Leistungen je nach Anforderung bis zu 30 kW
- Vergleichsweise niedrige Kosten wegen reduzierter Anforderungen an die elektrischen Komponenten
- Günstige Abmessungen von elektrischer Maschine und Leistungselektronik

- Hohe Funktionalität (Elektrisches Fahren, Boosterfunktion, Standklimatisierung)

Der riemengetriebene Startergenerator wird durch nachstehende Eigenschaften charakterisiert:

- Reduzierter Kraftstoffverbrauch durch Start-Stopp
- Geringer Entwicklungsaufwand, leicht applizierbar
- Anbindung an Verbrennungsmotor unabhängig vom Getriebe
- Sehr niedrige Systemkosten, insbesondere bei Verwendung eines 14 V-Systems
- Kein zusätzliches Gewicht
- Günstige Bauraumverhältnisse

Durch den Einsatz des detailliert beschriebenen Zweistufigengetriebes kann darüber hinaus die Übersetzung des Riementriebes niedrig gewählt werden. Dies führt neben einer deutlichen Entlastung von Riemen und Spannsystem zu weiteren Verbrauchsvorteilen.

len durch Betriebspunktverlagerung des Generators und reduzierte Massenträgheiten. Weitere Vorteile sieht LuK in der schwingungstechnischen Entkopplung des Nebenabtriebs durch den Aggregatefreilauf und die optionale Neutralstellung des Getriebes für den elektrischen Antrieb von Klimakompressor, Wasser- und Lenkhilfpumpe bei stehendem Verbrennungsmotor.

Startergeneratoren und Hybridantriebe sind geeignete Mittel, um den Kraftstoffverbrauch zukünftiger Fahrzeuge signifikant zu verringern. Beide hier vorgestellten Systeme haben das Potenzial, einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung des viel diskutierten anthropogenen CO₂-Ausstoßes entsprechend den bekannten gesetzlichen Forderungen zu leisten.

Literatur

- [1] Weiss, M.; Heywood, J.; Drake, E.; Schafer, A.; AuYeung, F.: ON THE ROAD IN 2020 – A life-cycle analysis of new automobile technologies, Energy Laboratory MIT Cambridge 2000.
- [2] Reik, W.: Mögliche Anordnungen des Startergenerators im Antriebsstrang, LuK Fachtagung „E-Maschine im Antriebsstrang“ 1999.
- [3] Berger, R.; Meinhard, R.; Bündler, C.: Das Parallel-Schalt-Getriebe PSG – Doppelkupplungsgetriebe mit Trockenkupplungen, 7. LuK Kolloquium 2002.
- [4] Koch, A.; Lehmann, J.; Probst, G.; Schäfer, H.: Der integrierte Starter-Generator im Verbund mit dem Antriebsmanagement, 9. Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik 2000.
- [5] Reik, W.; Pels, T.; Reitz, D.: Strukturen für Startergeneratoren und Hybridantriebe, Integrierter Startergenerator (ISG), Hrsg. H. Schäfer, expert Verlag 2000.
- [6] Mesiti, D.; Rovera, G.; Tamburro, A.; Umberti, M.: Minimal Hybrid Configuration Using an Automatic Dual Clutch Gearbox for Matching Comfort and Efficiency, 10. Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik 2001.
- [7] Kuhn, P.; Graz, M.; Obrist, F.; Parsch, W.; Rinne, F.: Kohlendioxid-R744 als Kältemittel in Fahrzeug-Klimaanlagen, ATZ 103, Nr. 12, 2001.
- [8] Morgenstern, S.: Endenergieverbrauch von Kältemittelkompressoren im Pkw, Haus der Technik Tagung „Nebenaggregate im Fahrzeug“ 2001.
- [9] Höcker, J.; Richter, G.: Entwicklungstendenzen für zukünftige Autobatterien, VDI-Berichte Nr. 1418, 1998.
- [10] Bischof, H.; Bork, M.; Schenk, R.: Startergenerator: System, Funktion, Komponenten, LuK Fachtagung „E-Maschine im Antriebsstrang“ 1999.
- [11] Pels, T.; Mán, L.: Strukturen für Startergeneratoren, Haus der Technik Tagung „Nebenaggregate im Fahrzeug“ 2001.
- [12] Duhr, J.; Farah, P.; Schoester, L.: Stop/Start Function: The Clawpole Machine, a good alternative to the ISG. Haus der Technik Tagung „Energiespeicher- und Generatorsysteme für Kraftfahrzeuge“ 2000.
- [13] N. N.: Mild hybrid set for production, European Automotive Design, September 2001, S. 86.