

# Steigerung der Effizienz elektrischer Fahrzeuge durch die Integration von Hilfsantrieben im Antriebsmotor

Dr. Michael Schier, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Stuttgart, Deutschland, [michael.schier@dlr.de](mailto:michael.schier@dlr.de)  
N. Satheesh Kumar, Nanyang Technological University, Singapur, [ns0001ar@e.ntu.edu.sg](mailto:ns0001ar@e.ntu.edu.sg)

## Kurzfassung

Die Anforderungen an die Klimatisierung von Elektrofahrzeugen hängen weitgehend vom Einsatzort des Fahrzeuges ab. Zum Beispiel benötigen Elektrofahrzeuge in den europäischen Ländern einen hohen Heizaufwand während der Wintersaison, wohingegen in den äquatorialen Regionen betriebene Fahrzeuge während des ganzen Jahres gekühlt werden müssen. Zum heutigen Stand wird die für die Klimatisierung notwendige Leistung aus der Batterie bezogen, was die Reichweite in beiden Fällen reduziert und für eine Einschränkung der breiten Akzeptanz von Elektrofahrzeugen sorgt. Die wichtigsten elektrischen Lasten für die Batterie eines Elektrofahrzeugs sind der Fahrmotor und der Klimakompressor-Antriebsmotor. Im vorliegenden Beitrag wird eine neue Design-Lösung zur Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades von Elektrofahrzeugen vorgeschlagen, bei der beide Motoren, der Fahrmotor und der Kompressormotor, in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht werden. Diese integrierte Einheit wird voraussichtlich im Rekuperationsmodus mit nahezu 100 % Effizienz arbeiten. Die Verbesserung der Effizienz wird durch eine direkte mechanische Kopplung des Fahrmotors mit dem Klimakompressor während der Bremsphase erreicht. Die mechanische Konfiguration der Einheit erlaubt es, die Drehmomente und die Drehzahlen von Fahrmotor und Kompressormotor unabhängig voneinander zu steuern. Neben der verbesserten Leistungsfähigkeit und der höheren Effizienz hat die integrierte Einheit zahlreiche weitere Vorteile wie erhöhte Zuverlässigkeit, Kompaktheit und geringeres Gewicht.

## Abstract

The requirements for the climatisation of Electric Vehicles largely depend on the vehicles usage location. For example, electric vehicles operated in European countries require heating during the winter season, while those operated in equatorial regions face cooling load throughout the year. To date, the low range for a given battery charge remains the single-most important factor hindering the widespread acceptance of electric vehicles. The principal electrical loads of an electric vehicle comprises of the traction and air-conditioning (A/C) compressor motors. These high power loads expedite the battery drain, leading to poor cruise range. The paper proposes a novel design solution geared towards improving the overall operating efficiency of these motors by integrating them into a single housing. The integrated unit is expected to operate close to 100 % efficiency during recuperation mode. The unprecedented improvement in efficiency is achieved through direct mechanical coupling of the traction motor with the A/C compressor during braking events. The mechanical configuration of the unit is such that the torque and speed characteristics of traction and compressor motors can be independently controlled during drive mode. In addition to improved efficiency, the integrated unit has numerous other advantages such as increased reliability, compact design and weight saving.

## 1 Einleitung

Die in den letzten Jahren wachsende Besorgnis über den Klimawandel hat die Automobilindustrie veranlasst, Elektrofahrzeuge als geeignete Ergänzung zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zu entwickeln. In der Vergangenheit konnten viele Fortschritte in der Elektrofahrzeugentwicklung erzielt werden, um höhere Gesamtwirkungsgrade und längere Wartungsintervalle zu erhalten. Dennoch ist die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen aufgrund der schlechten Leistungseigenschaften im Vergleich mit verbrennungsmotor-betriebenen Fahrzeugen noch gering.

Die Neuheit des in diesem Beitrag behandelten Konzeptes ist es, einen Konstruktionsvorschlag für die Integration des Klimakompressors in den Fahrmotor zu entwerfen

und es zu validieren. Eine der Herausforderungen des Projekts ist es, die Anforderungen an die Leistung und das Drehmoment des Kompressors zu erfüllen, während der Fahrzeugantriebsmotor in einem unabhängigen Drehzahlbereich läuft.

Die folgenden vier Unterkapitel beschreiben vier unterschiedliche Gesichtspunkte, die mehr oder minder gleichberechtigt zu dem Konzept der Integration von Hilfsantrieben in den Antriebsmotor führen.

### 1.1 Bestreben, die Anzahl der Bauteile zu reduzieren

Elektrofahrzeuge sind zwischenzeitlich auf einem Serienstand angelangt. Aufgrund der noch als moderat zu bezeichnenden Produktions-Stückzahlen sind die Kosten für ihre Anschaffung noch relativ hoch und die Attraktivität zum Kauf wegen der begrenzten Reichweite (aufgrund

der geringeren Energiedichten der Batterien gegenüber flüssigen Kraftstoffen) noch begrenzt. Aus diesen Gründen erscheint es sinnvoll, eine hohe Integration von Funktionalitäten in die einzelnen Komponenten anzustreben oder heute getrennt betrachtete Bauteile zukünftig in einem zu vereinen, um damit die Bauteileanzahl und weiterhin die Kosten und das Gewicht möglichst klein zu halten.

## 1.2 Auswirkung der Betriebsweise

Die Fortschritte in der Batterieentwicklung, die besondere Eigenschaft der Energierückspeisefähigkeit des elektrischen Antriebs und der hohe Energieumwandlungswirkungsgrad elektrischer Maschinen haben das Elektrofahrzeug trotzdem zwischenzeitlich als Alternative zum herkömmlichen Fahrzeug und aussichtsreich zu einem Teil zukünftiger Mobilitätssysteme werden lassen. Der Antriebstrang mit seinem neuen Verhalten ist dafür aber nicht mehr einfach in die bewährte Klassifizierung der Verbrauchsmessung eingliederbar. Er reagiert sehr sensibel auf die Betriebsweise oder die Einsatzart des Fahrzeuges, ebenso auf die Nutzung weiterer elektrischer Verbraucher. Die deutlichste spürbare Auswirkung ist die Reduzierung der Reichweite beim Einschalten der Heizung oder der Klimaanlage.

## 1.3 Einfluß des Thermomanagements

Gerade im Stadtbetrieb, also dem besonderen Einsatzbereich von Elektrofahrzeugen, sind die mittleren benötigten Fahrleistungen gering. Sie bewegen sich im Bereich der für die Klimatisierung benötigten Leistungen, das sind etwa 6 kW. Entsprechend drastisch sind die Auswirkungen des Klimamanagements auf die Reichweite der Fahrzeuge, im NEFZ spricht man von der Halbierung der Reichweite durch die Klimatisierung, sei es zum Heizen z.B. in Europa oder zum ständigen Kühlen bei gleichzeitig hoher Luftfeuchtigkeit z.B. in äquatorialen Gegenden.

## 1.4 Funktion des elektrischen Antriebs

Die Besonderheit elektrischer Maschinen ist ihre Fähigkeit, berührungslos mit Hilfe eines magnetischen Feldes Energie übertragen zu können, dies mit günstigem Leistungsgewicht, hohem Wirkungsgrad, wenig Bauteilen und zudem verschleißarm. Die Funktion der elektrischen Maschine im Elektrofahrzeug beschränkt sich heute meist auf eine einzelne Aufgabe, namentlich die des Fahrentriebs, damit prinzipbedingt auch auf die der Energierückspeisung. Es stellt sich daher die Frage, ob der Elektromotor, der die im Automobilbereich bekannten Produktionsverfahren für den Antriebstrang so grundlegend in eine andere technische Richtung steuern kann, nicht auch noch weitere Funktionen übernehmen soll, um damit wiederum die Entwicklung von Straßenfahrzeugen vorteilhaft in die Zukunft führen zu können. Ein Beispiel für die Integration von elektrischer Maschine, Kupplung und Schwungradspeicher wurde in der Vergangenheit bereits demonstriert [1].

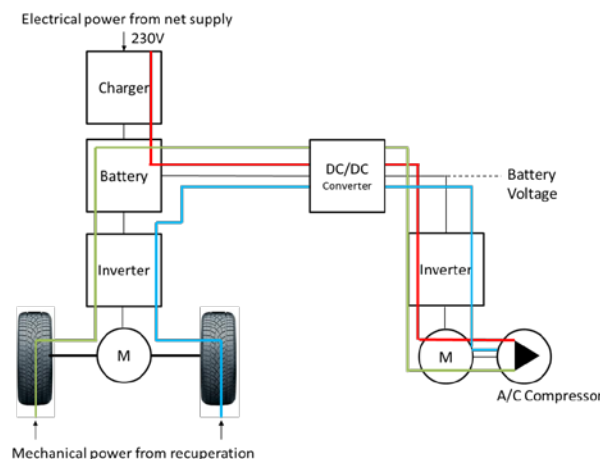
# 2 Konzept zur Integration von Hilfsantrieben in den Fahrmotor

## 2.1 Energiekonzept

Im Zuge der Elektrifizierung von Straßenfahrzeugen, d.h. in der Entwicklungsperiode der letzten 40 Jahre (70er Jahre, 90er Jahre und wieder um 2010), stand das Energiemanagement immer im Vordergrund. Der Elektromotor diente in immer stärkerem Ausmaß dem Management des Verbrennungsmotors und konnte sich trotz seiner Vorteile nicht als alleiniger Antrieb durchsetzen, im Wesentlichen der geringen Speicherenergiedichten wegen. Unterschiedliche Hybridisierungsgrade zwischen Verbrennungs- und Elektromotor entstanden. Heute hat sich das Verhältnis in Richtung rein elektrisch betriebener Fahrzeuge geschoben. Der rein elektrische Antrieb versorgt sich heute aus elektrischer Energie, die eine umfangreiche Wandlungskette durchläuft. Die Reduzierung der Anzahl von Energiewandlungsstufen ist ein wesentlicher Schritt zur effizienteren Nutzung hochwertiger elektrischer Energie.

### 2.1.1 Reduzierung der Energiewandlungsvorgänge

**Bild 1** veranschaulicht den Energiefluss des Klimakompressors in einem herkömmlichen Elektrofahrzeug. Wie im Bild dargestellt, kann der Klimakompressor elektrische Energie aus drei verschiedenen Quellen (drei farbige dargestellte Linien) beziehen.



**Bild 1** Energiefluss zum Antrieb des Klimakompressormotors in einem Elektrofahrzeug (rot: aus dem elektrischen Versorgungsnetz, grün: aus der beim Bremsen rückgespeisten und in der Batterie zwischengespeicherten Energie, blau: beim Bremsen direkt genutzten rückgespeisten Energie)

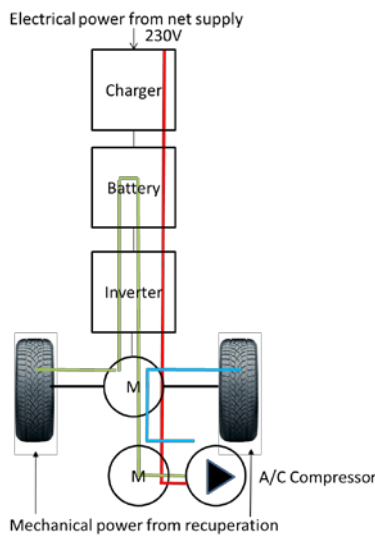
Die drei möglichen Energieübertragungswege sind:

- die rote Linie stellt den Energiebezug aus der ersten Quelle dar. Diese Quelle liefert die Energie aus dem externen Stromnetz über das Ladegerät zuerst in die Batterie, dann

über einen DC/DC-Wandler zum Umrichter für den Klimakompressor, unabhängig davon, ob das Fahrzeug fährt, bremst oder steht.

- die grüne Linie zeigt den Energiefluss, wenn der Klimakompressor aus der Rekuperationsenergie versorgt wird, welche aber auch zuerst in der Batterie zwischengespeichert wurde. Dazwischen liegt noch die Energiewandlung über den Fahrmotor und den Fahrumrichter.
- Die blaue Linie zeigt den Energiefluss im aktiven Rekuperations-Modus. Dieser Stromflusspfad umgeht die Zwischenspeicherung in der Batterie und verbindet den Fahrtrieb mit dem Kompressorantrieb auf der Zwischenkreisebene. Die Antriebsleistung für den Klimakompressor wird direkt aus der zurückgewonnenen Energie des aktuellen Bremsvorgangs über zwei elektromagnetische und zwei elektronische Energiewandler zugeführt.

Aus den Überlegungen in Kapitel 1 ergibt sich nun der grundlegende Ansatz, den Klimakompressor direkt mit der Antriebswelle des Fahrzeuges bzw. des Fahrmotors zu koppeln, um die Energieverluste der Übertragungswege über die vielen Energiewandler zum Antrieb des Klimakompressors weitgehend zu minimieren. **Bild 2** zeigt den Energiefluss im vorgeschlagenen Konzept.



**Bild 2** Energiefluss zum Antrieb des Klimakompressormotors im vorgeschlagenen Konzept (rot: aus dem elektrischen Versorgungsnetz, grün: aus der beim Bremsen rückgespeisten und in der Batterie zwischengespeicherten Energie, blau: beim Bremsen direkt genutzten rückgespeisten Energie)

Die wichtigsten Unterschiede zwischen dem konventionellen und vorgeschlagenen System sind:

- ein gemeinsamer Wechselrichter für Fahrmotor und Kompressormotor,
- Entfall des DC/DC-Wandlers und

- die Möglichkeit der mechanischen Kopplung des Antriebsmotors mit dem Kompressormotor während der aktiven Rekuperationsphasen.

Um die Wirkungsgrade des herkömmlichen und des vorgeschlagenen Systems vergleichen zu können, werden die Systemkomponenten mit den in Tabelle 1 aufgeführten Einzelwirkungsgraden abgeschätzt. Zu beachten ist, dass sowohl die besten und schlechtesten Fälle der Wirkungsgrade aufgezeichnet und dann der Mittelwert für die nachfolgenden Berechnungen verwendet wird. Wie durch die Gleichung (1) angegeben, wird die Gesamteffizienz eines gegebenen Energiepfades durch Multiplizieren der Einzelwirkungsgrade der Komponenten gegeben.

$$\eta_{energy\ path} = \prod_i^N \eta_{component_i} \quad (1)$$

Energiewandler	Wirkungsgrad in %		
	Best case	Worst case	Mittelwert
Ladegerät	95	90	93
Batterie	95	70	83
Fahrumrichter	95	85	90
Fahrmotor	95	90	93
DC/DC-Wandler	95	90	93
Kompressor-Umrichter	95	85	90
Kompressormotor	95	85	90

**Tabelle 1** Wirkungsgrade der einzelnen Komponenten

Wird die Energie nach Bild 1 aus dem Versorgungsnetz entnommen und über das Ladegerät, den Lade-/ Entladevorgang der Batterie, einen DC/DC-Wandler und einen Kompressor-Umrichter sowie einen Kompressormotor an den Kompressor geleitet, so ergibt sich nach Gl. (1) ein geschätzter Nettowirkungsgrad von 58 %, während die vorgeschlagene Anordnung nach Bild 2 einen Wirkungsgrad von nahezu 100 % für den gleichen Modus erzielt, da der Kompressor direkt mit der Antriebswelle verbunden ist. Im Falle der Nutzung der kinetischen Energie der sich bewegenden Fahrzeugmasse käme die Energie nach Bild 1 über den Fahrmotor sowie den Fahrumrichter anstelle aus dem Ladegerät und der Batterie, was zu einem mittleren Wirkungsgrad von 63 % führen würde. In jedem Fall ist die direkte Kopplung über die Antriebswelle nach dem vorgeschlagenen Konzept effizienter.

### 2.1.2 Potentiale der Betriebsweise

Im städtischen Umfeld führt der starke Verkehr mit seinem häufigen Start- und Stoppbetrieb, auch von Ampeln, zu häufigen Bremsereignissen. Gewöhnlich wird dabei zuerst die Batterie wieder geladen. Häufiges Zyklisieren reduziert aber deren Lebensdauer, weshalb eine vorausschauende bzw. kartenvorgegebene Fahrweise die Verteilung

lung und Nutzung der Energie vorteilhaft beeinflussen kann. Dies bietet ein enormes Potenzial, um die für die Versorgung des Klimakompressors benötigte Energie ebenfalls aus der Bremsenergie zu nutzen. Eine quantitative Analyse wurde durchgeführt, um die maximal erzielbare Energie für die verschiedenen europäischen Fahrzyklen zu bestimmen. Für die Zwecke der Untersuchung wurde ein Mittelklasse-Elektroauto, versorgt von einer NiZn-Batterie und mit einer Masse von 1008 kg, in ADVISOR modelliert. Anschließend wurde das Fahrzeug in verschiedenen Fahrzyklen simuliert, um die gesamte Bremsenergie und Bremszeit für jeden Fahrzyklus zu bestimmen. Die mittlere Leistung ist in **Tabelle 2** dargestellt.

Fahrzyklus	Zurückgelegte Strecke [km]	Fahrzeit [s]	Bremszeit [s]	Anteil Bremszeit [%]	Mittlere Leistung [kW]
ECE 15	1,0	195	39,4	20,5	1,5
EUDC	7,0	400	45,0	11,3	2,9
EUDC, low power	10,6	1224	101,0	8,3	3,8
ECE 15 + EUDC	10,9	1225	202,1	16,5	1,9
NEDC	10,9	1184	201,3	17,0	1,8

**Tabelle 2** Anteil der Bremszeit und mittlere Bremsleistung in unterschiedlichen Fahrzyklen

Wie Tabelle 2 zeigt, gibt es Fahrzyklen wie ECE 15, ECE 15 + EDUC und NEFZ mit einem erheblichen zeitlichen Anteil an Bremsvorgängen. Im Durchschnitt verbringt ein Fahrzeug etwa 15 % seiner Gesamtfahrzeit beim Bremsen, was ein nennenswertes Potenzial zur Energierückgewinnung für alle Fahrzyklen bedeutet.

Ein Mittelklasse-Auto hat bei mäßiger Hitzeeinwirkung einen Kühllastbedarf von 5 kW. Für den automotive-Bereich ausgelegte Kompressoren arbeiten typischerweise mit einem COP von 3. Da die vorgeschlagene Einheit in der Lage ist, nahezu 100 % der mechanischen Energie zu nutzen, ist ein Kompressor mit einer Leistung von 1,6 kW in der Lage, allein die zurückgewonnene Leistung zu nutzen, während die Klimatisierungsanforderung erfüllt werden.

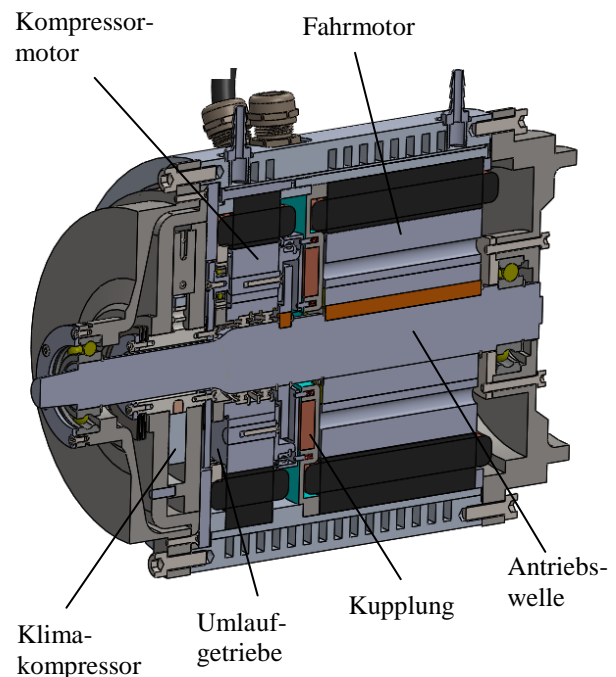
Abhängig von der Betriebsweise, die sich aus vorausschauender Fahrweise, Lebensdauererwartung der Batterie und Effizienzsteigerung des Gesamtsystems bestimmt, läßt das vorgeschlagene System eine Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades erwarten. Dabei wird von einer maximalen Erhöhung von 3,2 %-Punkten ausgegangen, s. **Bild 3**.



**Bild 3** Anteil der Bremszeit (orangene Balken) und erwartete Reichweitenerhöhung (blaue Linie) bei unterschiedlichen Fahrzyklen

## 2.2 Designkonzept

Basierend auf Bild 2 erfordert die vorgeschlagene Systemkonfiguration ein Design, das es ermöglicht, einen Teil der kinetischen Energie des sich bewegenden Fahrzeuges beim Bremsen direkt auf den Kompressormotor übertragen zu können. Das durch den Fahrmotor erzeugte Drehmoment wird verwendet, um das Fahrzeug anzutreiben, während ein separater Motor, der Kompressormotor, den Klimakompressor antreibt. Die Verwendung von zwei unabhängigen Motoren ermöglicht eine unabhängige Steuerung beider Motoren, sodass der Klimakompressor auch während des Fahrzeugstillstandes betrieben werden kann. Die beiden Motoren können durch eine Kupplung miteinander gekoppelt werden, damit wird der Kraftschluss von der Antriebswelle zum Kompressor hergestellt. Da die Antriebsmotoren aus Gründen der Gewichtseinsparung mit möglichst hohen Drehzahlen arbeiten, der Klimakompressor hingegen vorteilhaft mit einem kleineren Drehzahlbereich auskommt, ist es hilfreich, ein Umlaufgetriebe zwischen Kompressorantrieb und Klimakompressor zu schalten.

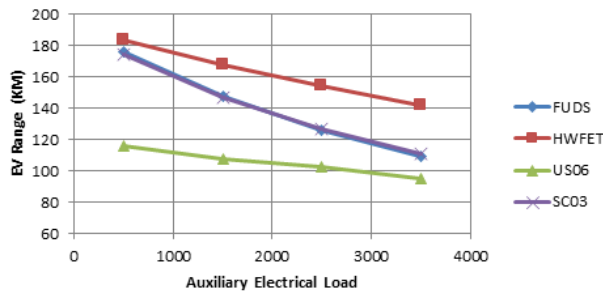


**Bild 4** Designkonzept zur Integration eines Klimakompressors in den Fahrmotor eines Elektrofahrzeuges

**Bild 4** zeigt das prinzipielle Designkonzept für die Integration eines Klimakompressors in den Fahrmotor, bei dem der Klimakompressor in einer koaxialen Anordnung auf der Antriebswelle gelagert ist.

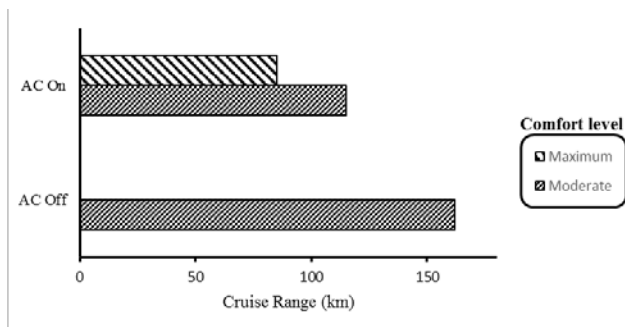
### 3 Stand der Technik

#### 3.1 Reichweitenverkürzung beim Betrieb der Klimaanlage



**Bild 5** Einfluß zusätzlicher elektrischer Lasten auf die Reichweite von Elektrofahrzeugen für verschiedene Fahrzyklen [2].

Farrington und Rugh [2] geben einen umfassenden Einblick in die nachteiligen Auswirkungen einer elektrischen Zusatzlast auf die Reichweite von Elektrofahrzeugen. In der Studie wird ein Fünf-Personen-Fahrzeug mit ADVISOR (Advanced Vehicle SimulatOr) simuliert, das von NiMH-Akkus gespeist wird. Die Flexibilität der Simulationsplattform erlaubt die Untersuchung der Auswirkung elektrischer Zusatzlasten auf Basis von US EPA Zertifizierungsverfahren: FUDS, HWFET, SC03 und US06. Um die Auswirkungen abzuschätzen, wurde ein Elektrofahrzeug betrachtet, das im SC03-Fahrzyklus mit einer elektrischen Last von 500 W beaufschlagt wurde. Das Zuschalten Klimakompressors mit einer Aufnahmeleistung von 1500 W erhöht die elektrische Zusatzlast auf 2000 W, was die Reichweite des EV um drastische 22 % verkürzt (**Bild 5**). In der Studie wird die Klimaanlage als die größte einzelne elektrische Last identifiziert, die zu einer drastischen Reduzierung der Reichweite führt. Darüber ergibt sich, dass eine geringfügige Verbesserung der Klimaanlage-Effizienz einen großen Einfluss auf die Energieeinsparung hat.



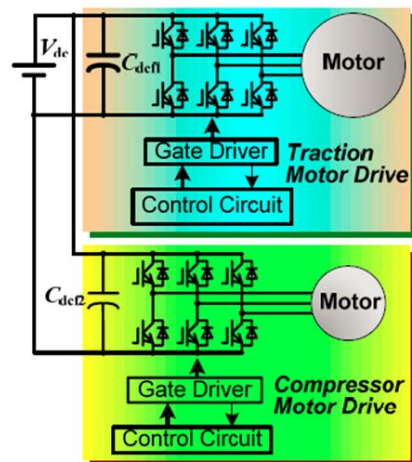
**Bild 6** Einfluss der Klimaanlage-Betriebsweise auf die Reichweite des i-MiEV's [3]

Im Durchschnitt wird ein Auto bis zu 250 Stunden pro Jahr betrieben [4]. Dies entspricht in etwa 115 [5] Stunden im Betrieb mit eingeschalteter Klimaanlage, entsprechend 45 % der Fahrzeugnutzungszeit. Die Klimaanlage in einem EV wirkt als zusätzliche Belastung, da das System nur Energie benötigt, wenn der Fahrer es einschaltet. Solch eine elektrische Last wird häufig als "off-cycle" elektrische Last bezeichnet. Andere off-cycle-Lasten sind Scheibenwischer, Stereoanlagen, Sitzheizung, Scheinwerfer und Scheibenentfroster. Obwohl diese Lasten ebenfalls die Batterie belasten, ist die Klimaanlage bevorzugt zu behandeln, da sie eine erheblich größere elektrische Last darstellt. In der Tat wird geschätzt, dass die Nutzung der Klimaanlage typischerweise eine ungefähre 33 %ige Abnahme der Reichweite [6] verursacht.

In einer anderen Studie [3] hat Mitsubishi Motors sein jüngstes Elektrofahrzeug i-MiEV einer Anzahl von Tests ausgesetzt, um den Rückgang der Reichweite durch den Betrieb der Klimaanlage zu ermitteln. Die maximale Reichweite des Fahrzeugs wurde bei ausgeschalteter Klimaanlage ermittelt. In den folgenden Versuchen wurde die Klimaanlage mit mittlerer und maximaler Leistung betrieben, um die Wirkung auf die Reichweite zu bestimmen. **Bild 6** zeigt, dass sich die Reichweite um 30 % verringert, wenn die Klimaanlage mit moderaten Einstellungen betrieben wird, und um 48 %, wenn sie mit der maximalen Leistung betrieben wird.

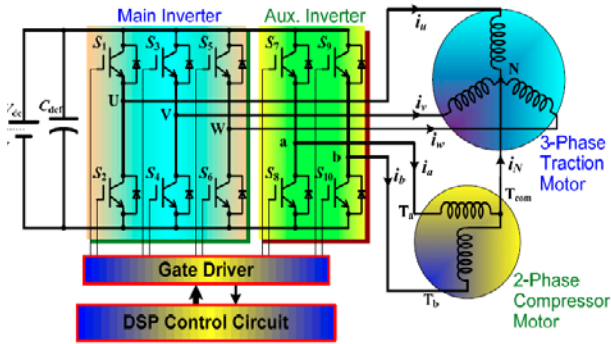
#### 3.2 Integration der Leistungselektroniken

Su [7] untersucht das Konzept der Integration der beiden Leistungselektroniken für Fahr- und Kompressormotor in einer Elektronik. Das Motiv für eine solche Integration ist, die Anzahl der Komponenten zu verringern, die Kosten zu minimieren und die Gesamtgröße des Systems zu verkleinern. Mit Bezug auf **Bild 7** erklärt Su, dass in einem konventionellen System unabhängige Wechselrichter den Fahr- und Kompressormotor steuern. In diesem Fall sind zwei Drehstrommotoren und Wechselrichter für einen störungsfreien Betrieb und eine unabhängige Drehzahlregelung der Motoren erforderlich.



**Bild 7** Konventionelle Ansteuerung von Fahrmotor und Kompressormotor mit zwei unabhängigen Umrichtern [7]

Su [7] schlägt vor, den dreiphasigen Kompressorantrieb durch einen günstigeren Zweiphasenmotor und Umrichter zu ersetzen, **Bild 8**. Im Vergleich der Bilder 7 und 8 ist zu erkennen, daß die elektrische Integration des Zweiphasen-Wechselrichters und des Dreiphasen-Wechselrichters für weniger Teile sorgt und auch die Möglichkeit der Aufteilung der DC-Bus-Kondensator-Filter und der Gatetreiber ermöglicht. Im allgemeinen verringert das Konzept die Herstellungskosten, die Herstellzeit und reduziert die Anzahl der Komponenten.



**Bild 8** Umrichterkonzept mit 3phasiger Endstufe für Fahrmotor und 2phasiger Endstufe für Kompressormotor und gemeinsamer Steuerelektronik [7]

Neben der elektrischen Integration ist die physische Integration des Antriebs- und des Kompressormotors für eine Reihe von anderen Gründen vorteilhaft:

- Eliminierung von je einem separaten Kühlsystem für die beiden Motoren,
- Minimierung des Aufwandes für die Verlegung der Zuleitungen, Durchführungen, Dichtungen und Anschlüsse,
- Reduzierung des Aufwandes zur Gewährleistung der elektromagnetischen Verträglichkeit,
- Gewichts- und Platzersparnis durch
- Reduzierung der Teileanzahl (Gehäuse, Dichtungen etc.) und
- höhere Zuverlässigkeit.

### 3.3 Klimakompressor

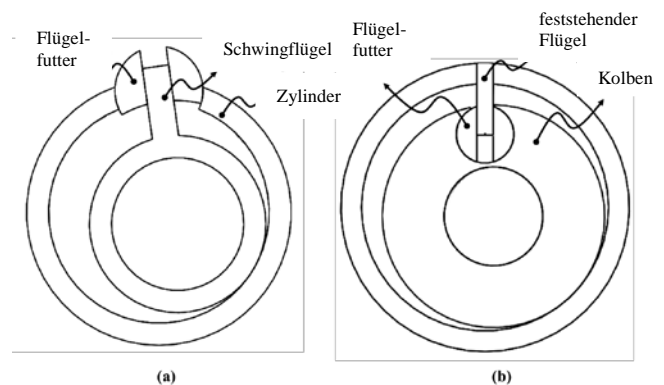
In erster Linie gibt es drei verschiedene Typen von Kompressoren (Verdichter), die für die genannte Aufgabestellung geeignet sind: Schrauben-Verdichter, Axialkolben-Verdichter und Drehkolbenverdichter. Drehkolbenverdichter gibt es nach dem Wankelprinzip oder auch mit kreisförmigem Kolben. Der Drehkolbenkompressor mit kreisförmigem Kolben (Rollkolben) wird oftmals im Industriebereich wegen seines einfachen Aufbaus und seiner hohen Zuverlässigkeit bevorzugt. Allerdings leidet der Rollkolbenkompressor an großen Reibungs- und Leckverlusten. Diese Verluste wirken sich negativ auf die Kühlleistung und den volumetrischen Wirkungsgrad des Kompressors aus [8]. Um diesem Umstand entgegen zu wirken, wurde eine neue Art von Drehkolbenverdichtern

durch Dikin mit dem Namen "Swing-Vane Kompressor (SVC)" eingeführt. Der SVC ähnelt dem Rollkolbenkompressor, mit Ausnahme der Tatsache, dass der Flügel fest am Kolbenkörper befestigt ist, wodurch alle Lecks und Reibungsverluste zwischen dem Flügelende und dem Kolben vermieden werden. Folglich führt diese neue Variante zu höherer Effizienz.

## 4 Konstruktionsvorschlag

Der Konzeptvorschlag aus Bild 3 verwendet zwei konzentrischen Wellen in coaxialer Anordnung der Fahr- und Kompressormotoren. Diese Anordnung bietet die Flexibilität der unabhängigen Drehmoment- und Drehzahlregelung der beiden Antriebe. Daher kann der Klimakompressor mit voller Kapazität betrieben werden, während das Fahrzeug im Stillstand ist. Die elektromagnetische Kupplung tritt während eines Bremsvorgangs in Aktion. Wenn die Bremse betätigt wird, verbindet die Kupplung die Antriebswelle mit dem Kompressormotor, Dieser Kurzschluss des Energieflusses führt dazu, den Klimakompressor mit nahezu 100 % Wirkungsgrad an die Antriebswelle und damit an die Räder des Fahrzeugs zu koppeln.

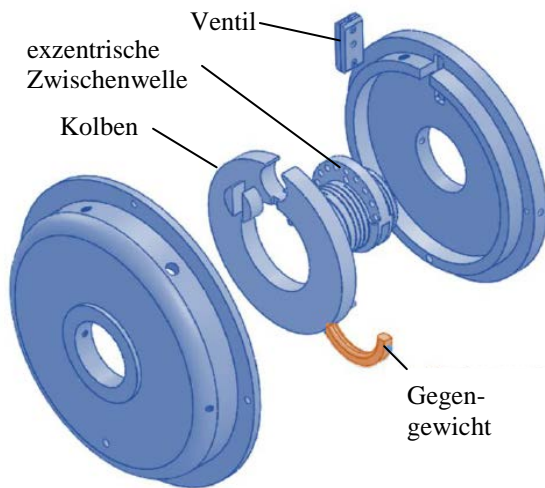
Die vorgeschlagene Konstruktion für den Kompressor ist eine modifizierte Variante des SVC, wie unter Kap. 3.3 beschrieben, die voraussichtlich zur weiteren Verbesserung der Effizienz führt.



**Bild 9** (a) konventioneller SVC, (b) modifizierter SVC

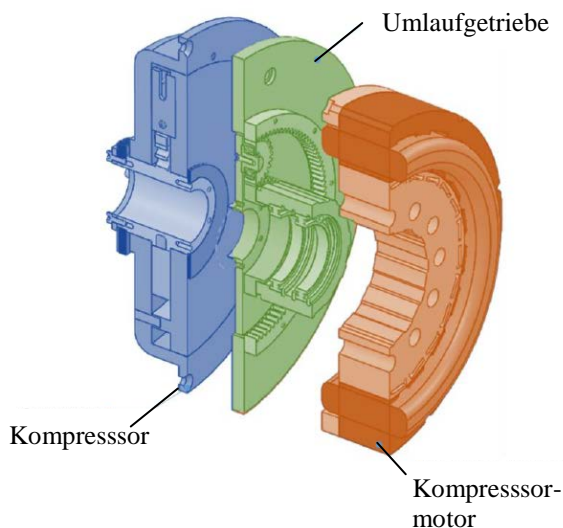
**Bild 9** zeigt einen Vergleich des herkömmlichen (a) und des modifizierten SVC (b). Ein herkömmlicher SVC hat einen Schwenkflügel, während der modifizierte SVC seinen Flügel steif gegen die Zylinderwand führt. Dies verringert die Reibungsverluste zwischen Flügel und der Flügelbuchse, da die Kontaktkraft zwischen diesen Komponenten nicht länger eine Funktion der Druckdifferenz an den im Zylinderraum freiliegenden Flügelflächen ist. Das Ventil selbst besteht aus einem Metallblättchen und ist im Flügel untergebracht.

**Bild 10** zeigt den inneren Aufbau des Klimakompressors. Der Rollkolben wird durch eine exzentrische Zwischenwelle angetrieben, die mit einem Gegengewicht und durch Einbringen von Bohrungen gegen Vibrationen ausbalanciert ist.



**Bild 10** Aufbau des Klimakompressors nach dem xx-Prinzip

Der Klimakompressor wird über ein Umlaufgetriebe mit dem Kompressormotor verbunden, siehe **Bild 11**.



**Bild 11** Aufbau des Klimakompressors mit Umlaufgetriebe und Kompressormotor

Beide Motoren, Fahrmotor und Kompressormotor, sind permanentmagneterregte Synchronmaschinen. Sie können mit einer elektromagnetisch betätigten Kupplung miteinander verbunden werden und so ihre Drehmomente bei Bedarf auch addieren.

Dazu wurde aus einem kleinen Elektrostraßenfahrzeug ein bestehender Antriebsmotor mit Asynchronmaschine modifiziert. Unter Beibehaltung der gleichen äußeren Abmessungen kann der Antriebsmotor mit dem integrierten Klimakompressor in einem bestehenden Versuchsfahrzeug ausgetauscht werden. Die Motorspezifikationen des Testfahrzeuges sind in der **Tabelle 3** aufgeführt. Stator und Rotor des Motors müssen verkleinert werden, um Platz für den Verdichter und seinen Antriebsmotor zu liefern. Die Leistungsdichte des Traktionsmotors wird unter

Verwendung der permanentmagneterregten Synchronmaschine erhöht. Außerdem werden die Kühlrippen des luftgekühlten Motor durch einen Wassermantel ersetzt.

Parameter	Wert
Nennleistung	12 kW, S6 40 % ED
Nenndrehzahl	5920 1/min
Nennfrequenz	200 Hz
Nennspannung	100 V
Nennstrom	86 A
Phasenzahl	3
Anzahl Statornuten	36
Polpaarzahl	2
Lochzahl	3
Rotorschrägung	1/2 Rotornutteilung

**Tabelle 3** Parameter des zu ersetzenden Antriebsmotors

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Leistungsbedarf für die Klimatisierung von Elektrofahrzeugen hat einen immensen Einfluss auf die Reichweite. Tests zeigen einen drastischen Rückgang der Reichweite um 30 % bei mittlerer bis 48 % bei Betrieb mit maximaler Kühlleistung. Es besteht die Notwendigkeit, den Energieaufwand für die Klimatisierung zu mindern.

Der Beitrag beschreibt eine neuartige Systemkonfiguration zur Erhöhung der Effizienz der Klimaanlage. Dabei wird der Klimakompressor während der Bremsphasen direkt durch die Antriebswelle des Fahrzeuges angetrieben. Das führt dazu, dass die Energieversorgung nicht über mehrere Wandlerstufen erfolgt, sondern mit fast 100 % Wirkungsgrad an den Kompressor gelangt.

Die Konstruktion mit konzentrischen Wellen des Kompressor- und Antriebsmotors erlaubt es, außerdem unabhängig voneinander Drehmoment-Drehzahl-Anforderungen des Fahrzeuges und des Kompressors erfüllen zu können. Es wird erwartet, dass das System zu einer verbesserten Effizienz und zu einer erhöhten Reichweite führt. Ein Prototyp wird in ein Testfahrzeug eingebaut, um die Machbarkeit und Praktikabilität der Erfindung zu überprüfen.

## 6 Literatur

- [1] Schier, M.: Statorerregte Synchronmaschine als Schwungstarter-Generator zur Verbesserung des Arbeitswirkungsgrades von KFZ-Brennkraftmaschinen-Antrieben, Verlag Mainz, ISBN 3-89653-984-1, 2001.
- [2] Farrington, R.; Rugh, J.: Impact of Vehicle Air-Conditioning on Fuel Economy, Tailpipe Emissions and Electric Vehicle Range Preprint, no. September, 2000.
- [3] Umezu, K.: Air Conditioning System for Electric Vehicle (i-MiEV), JSAE Review. SAE Automotive Refrigerant & System Efficiency Symposium 2010, 2010.

- [4] Fischer, S.; Sand, J.: Total Environmental Warming Impact (TEWI) Calculations for Alternative Automotive Air-Conditioning Systems, SAE, 1997.
- [5] Fischer, S. K.: Comparison of Global Warming Impacts of Automobile Air-Conditioning Concepts, in 1995 International CFC and Halons Alternative Conference, 1995.
- [6] Lee, J. T.; Kim, D.: Effect of Air-Conditioning on Driving Range of Electric Vehicle for Various Driving Modes, no. December, 2013.
- [7] Su, G.-J.: An integrated traction and compressor drive system for EV/HEV applications, Twent. Annu. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. 2005. APEC 2005., vol. 2, pp. 719–725.
- [8] Hu, X.; Qu, Z.; Yang, X.; Sun, J.: Theoretical study on frictional losses of a novel automotive swing vane compressor, Int. J. Refrig., vol. 36, no. 3, pp. 758–767, May 2013.