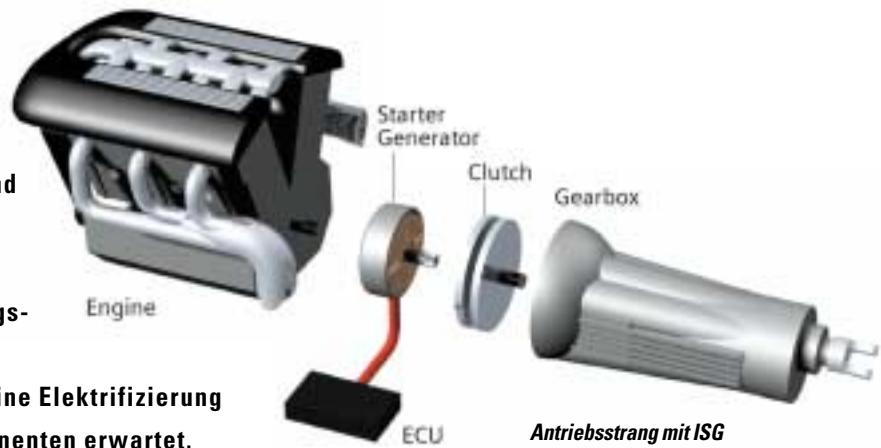


**EIN NEUES LEISTUNGSFÄHIGES ENERGIEVERSORGUNGSKONZEPT ERMÖGLICHT DIE VOLLE FUNKTIONALITÄT BEI REDUZIERTER BATTERIEANFORDERUNG.**

# Mehr Power für den ISG

**Aus Sicht der elektrischen Energieversorgung sind Kraftfahrzeuge die am weitesten verbreiteten autarken Systeme. Die steigende Anzahl elektrischer Verbraucher muß aus dem eigenen Bordnetz versorgt werden. Innerhalb der letzten Jahre wurden in der Automobiltechnik deutliche Fortschritte erzielt.**

**Einerseits konnte der Kraftstoffverbrauch und Emissionen reduziert werden, andererseits konnten die Fahrgastsicherheit, der Fahrkomfort und die Fahrdynamik entscheidend verbessert werden. Weitere Erfolge werden durch Verbesserungen am Verbrennungsmotor (z.B. Diesel Common-Rail oder Benzindirekteinspritzung) und durch eine Elektrifizierung bisher mechanisch betriebener Komponenten erwartet.**



**S**ein vielen Jahrzehnten sind der vom Verbrennungsmotor angetriebene Generator und die Batterie die wesentlichen Stützen des 12V Bordnetzes. Mit jedem neuen Modell werden die Schwächen dieses Bordnetzes, die Stabilität sicherzustellen, offensichtlicher.

Aus den beschriebenen Gründen reicht das 14V-Bordnetz nicht für moderne Fahrzeugkonzepte aus. Eine Bordnetzspannung von 42V kristallisierte sich als bester Kompromiß für das sogenannte PowerNet heraus. Mittel- bis langfristig werden alle Fahrzeughsteller zunächst Fahrzeuge mit Zweispansnungsboardnetz (12V/42V) und schließlich mit reinen 42V-Bordnetzen anbieten.

Eine zentrale Rolle in diesen modernen Fahrzeugkonzepten kommt dem riemengetriebenen oder dem Integrierten Starter-Generator (ISG) zu. Wird der Starter-Generator zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe integriert, eröffnen sich vollkommen neue Möglichkeiten im Antriebsstrang. Funktionen wie Start-Stop, elektrische Unterstützung des Verbrennungsmotors beim Beschleunigen (boosten) oder Bremsenergierückgewinnung, verbessern den Wirkungsgrad des Gesamtfahrzeugs. Die dadurch erzielte Kraftstoffersparnis re-

duziert die Emissionen und hilft dadurch der Umwelt, denn basierend auf solchen Funktionen können Kraftstoffeinsparungen über 20 Prozent im Stadtverkehr realisiert werden.

## Heutige Lösungen

Mit einem Starter-Generator können Wirkungsgrade bis über 88 Prozent erzielt werden. Allerdings werden die tatsächlichen Werte von der Maschinenauslegung, von der benötigten Leistung und von der Drehzahl bestimmt. Besonders der Integrierte Starter-Generator erlaubt es Leistungen von 10.000W in das 42V PowerNet abzugeben und den zunehmenden Bedarf an elektrischer Energie für zukünftige Anwendungen zu befriedigen. In der Vergangenheit wurde heftig über geeignete Konzepte diskutiert. Wegen ihrer Robustheit favorisiert Siemens VDO eine Asynchronmaschine, die direkt in den Antriebsstrang integriert wird.

Sobald sich der Motor im Leerlauf befindet und das Bremspedal gedrückt wird, schaltet der Verbrennungsmotor ab. Ein elektrischer Energiespeicher muß infolge der fehlenden Generatorleistung das Bordnetz mit Leistung versorgen. Sobald das Bremspedal wieder gelöst wird, führt der Starter-Gen-

## DIE AUTOREN

Dipl.-Ing. Rainer Knorr,  
Dr. Hans-Michael Graf,  
Dr. Günter Lugert  
**SIEMENS VDO**  
Automotive AG,  
Regensburg, Germany



# all-electronics.de

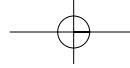
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



Entdecken Sie weitere interessante  
Artikel und News zum Thema auf  
all-electronics.de!

Hier klicken & informieren!



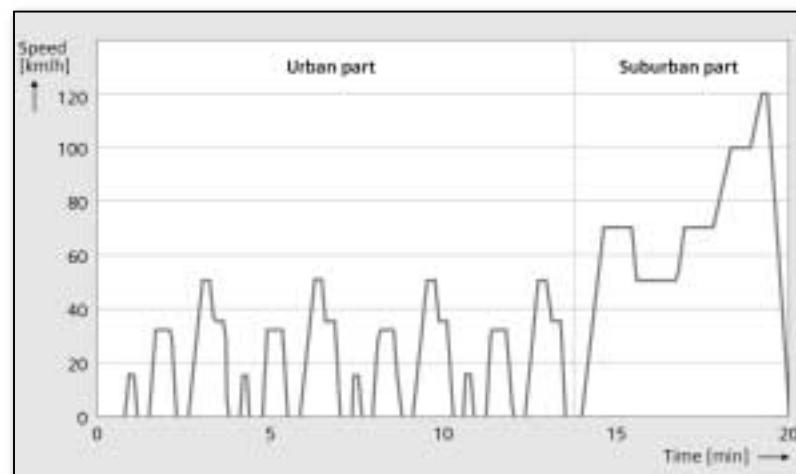


## Komponenten & Systeme

rator einen Schnellstart durch und beschleunigt den Verbrennungsmotor in wenigen hundert Millisekunden bis zur Leerlaufdrehzahl. Die elektrische Unterstützung des Antriebsstrangs kann in zwei Arten erfolgen. Eine mögliche bei Siemens VDO realisierte Strategie ist die, das Gesamtdrehmoment des Antriebsstrangs um das Drehmoment des ISG zu erhöhen. Dieses Konzept ermöglicht eine Reduzierung des Motorhubraumes. Allerdings erfordert dieses Konzept einen garantierten Mindestladezustand des Speichers, da diese Funktion zu jedem Zeitpunkt verfügbar sein muß.

In einer zweiten möglichen Strategie wird der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors optimiert. Oberhalb eines gewissen Drehmomentbedarfs im Antriebsstrang unterstützt der ISG den Verbrennungsmotor mit Energie, die vorher aus Bremsenergie gewonnen wurde. Hierbei kann das vom Verbrennungsmotor geforderte Drehmoment abgesenkt werden, damit dieser mit besserem Wirkungsgrad arbeiten kann. Das für den Fahrer beobachtbare Verhalten des Antriebs wird hierdurch nicht verändert. Zusätzlich kann ein automatisches Getriebe dieses Zusammenspiel zwischen Verbrennungsmotor und ISG positiv unterstützen. Siemens VDO Automotive entwickelte ein integriertes Antriebsstrangmanagement (IPM®), mit dessen Hilfe der Wirkungsgrad des Antriebsstrangs bestehend aus Verbrennungsmotor, ISG und Automatikgetriebe optimiert wird.

In heutigen Zweispannungsbordnetzen wird die Energie in neu ent-



**Neuer Europäischer Fahrzyklus (NEFZ).**

wickelten 18-zelligen Bleibatterien gespeichert. Die 42V-Lasten werden direkt aus Generator und Batterie versorgt. Weiterhin vorhandenen 12V-Verbraucher werden aus der 42V-Quelle über einen DC/DC-Steller mit Energie versorgt. Eine solche PowerNet-Architektur ist in der Abbildung unten dargestellt. Die Leistung, die ein ISG dauerhaft abgeben kann, hängt vom Design der Maschine und der Leistungselektronik ab und liegt typischerweise bei 4kW. Eine solche Maschine kann kurzzeitig Spitzenleistungen von bis zu 10kW abgeben. Übersteigt der Bedarf aller Verbraucher mittelfristig 4kW, muß der Leistungsmangel durch einen elektrischen Speicher ausgeglichen werden. Benötigt der ISG zusätzlich Leistung zur Unterstützung des Antriebsstrangs, verschärft sich die Belastung des Speichers dramatisch. Hierbei kann der Leistungsbedarf deutlich 10kW überschreiten. Außerdem führt die häufige Wiederholung von Ladung und Ent-

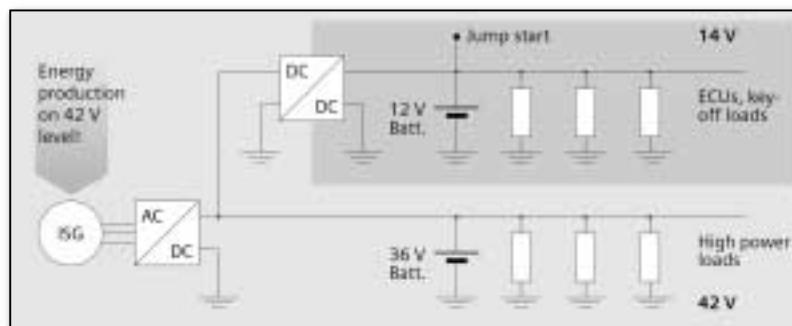
ladung des Speichers zu einer vorzeitigen Alterung desselben.

Neu entwickelte Bleisäurebatterien, die ausreichende Energiemengen speichern können, erreichen Leistungsdichten von 200W/kg bei einem Gewicht von etwa 30kg. Die maximale Entladungsleistung erreicht 6kW bei einer Kapazität von 30Ah. Trotzdem würde eine permanente Folge von Ladung und Entladung mit lediglich 4kW infolge eines optimalen ISG-Betriebes in einem europäischen Standardfahrzyklus starke Spannungsschwankungen verursachen.

Der größte Teil der Energie die vom ISG geliefert werden könnte, kann nicht genutzt werden. Dies schränkt die Möglichkeiten des neuen Systems unverhältnismäßig stark ein.

### 1. Anforderung an mögliche Speichertechnologien

Um geeignete Speichertechnologien auswählen zu können, wurden bei Siemens VDO zahlreiche der üblichen Fahrzyklen in Bezug auf den optimalen ISG-Einsatz hin analysiert. Die Anforderungen an das Speichersystem konnten aus Simulationen abgeleitet werden. Hauptdesignkriterien der Speicher sind Lade- und Entladeverhalten, Zustandserkennung und Lebensdauer. Sogar Kombinationen verschiedener Technologien als Alternative zum Einzelsystem, das allen Anforderungen gerecht wird, wurden in Betracht gezogen. Selbstverständ-



**Aktuelle Architektur des 42V Bordnetzes.**

lich mussten die Lade-/Entladestrategien angepasst werden. Bei der Auswahl geeigneter Speicher wurde Siemens VDO von Speicherherstellern unterstützt und von der zentralen Forschung- und Entwicklung der Siemens AG beraten. Um das geeignete Speichersystem auswählen zu können, wurden einige Annahmen getroffen.

▷ Anforderung während des Start-Stop-Betriebes. Ein Fahrzeug, das mit einer Start-Stop-Funktion ausgerüstet ist, benötigt einen Speicher, der einen Kaltstart (6kW, 10 sec.), einen Flughafentest bestehend, aus einer Entladung mit 250mW für eine Dauer von 30 Tagen mit anschließendem Kaltstart sowie während des Fahrzeugstandes eine Leerlauflast von 1kW für 60s gefolgt von einem Warmstart mit 6kW für 1 sec. sicherstellen kann. Pro Kilometer wurde ein Start-Stop-Zyklus angenommen, die Fahrzeugglebensdauer wurde mit 250.000 km angesetzt. Die Möglichkeit eines Warmstartes vor Abschaltung des Verbrennungsmotors sollte erkennbar sein.

▷ Anforderungen bei Boostbetrieb und bei Rekuperation. Der Speicher eines Fahrzeugs, in dem auch der Boostbetrieb und Rekuperation erlaubt ist, muß zunächst ebenfalls die Anforderungen des Start-Stop-Betriebes erfüllen. Zusätzlich müssen Leistungen in Höhe von 6kW zwischen ISG und Speicher ausgetauscht werden können. Antriebsleistungen über 6kW werden zumindest teilweise vom Verbrennungsmotor abgedeckt, die 6kW überschreitende Bremsleistungen werden von der mechanischen Bremse in Wärme umgewandelt. Typischerweise wird bis zu 8 Sekunden lang beschleunigt und maximal 30 Sekunden lang verzögert. Im Mittel folgt jeder Beschleunigung ein Bremsvorgang. Pro Kilometer wurde von zwei Beschleunigungsvorgängen ausgegangen. Die Erkennung der Restenergie im Speicher ermöglicht eine Optimierung der Fahrstrategie mit ISG.

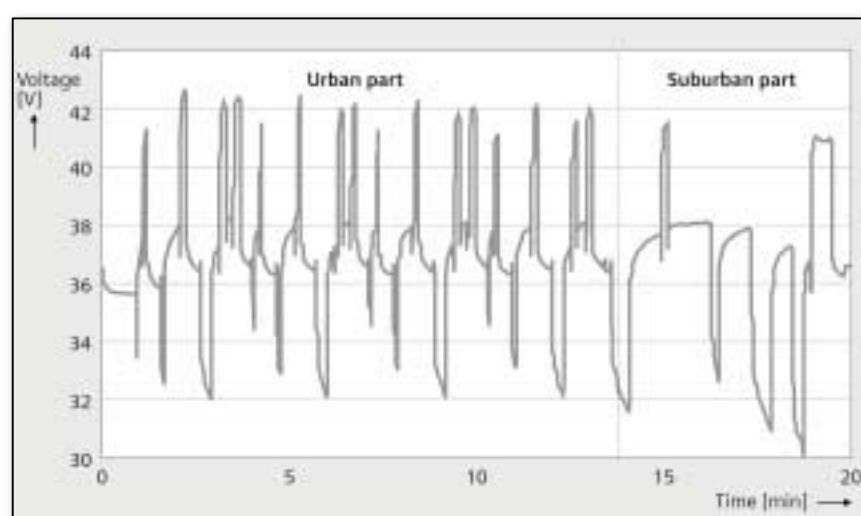
Die Größe der Batterien (Gewicht, Volumen, Kosten) wird bestimmt durch Leistungsdifferenzen zwischen Erzeugung und Verbrauch, Leistungsspitzen, key-off-Verbrauchern und Startleistung. Die Startleistung setzt sich wiederum zusammen aus dem Design des ISG und den Anforderungen des Verbrennungsmotors. Wegen des beträchtlichen Gewichts und der Größe der Fahrzeuggatterien können Einbau- und Verkabelungsüberlegungen zu zahlreichen Einbauorten dieser Komponente führen. Siemens VDO führte eine detaillierte Analyse dieser Zusammenhänge durch.

Solange lediglich eine Start-Stop-Funktion realisiert werden soll, hat sich die Blei-Säure-Technologie als guter Kompromiss zwischen Erfüllung technischer Anforderungen und Kosten erwiesen. Diese Technologie ist auch in Zukunft eine zuverlässige Speichertechnologie für Automobilanwendungen. Allerdings werden zukünftig verstärkt zyklenoptimierte Varianten (Gel, AGM) zum Einsatz kommen. Solche Batterien mit einer Kapazität von etwa 30Ah bei 36V werden gegenüber heute nur unwesentlich teurer werden und können mit den oben dargestellten Anforderungen übliche Lebensdauern von drei bis vier Jahren erfüllen. Die Vorhersage der Startfähigkeit erscheint möglich. Bleibatterien mit ihrer hohen Energiedichte sind daher hervor-

ragend geeignet um die Start-Stop-Funktion zu realisieren.

Andere Technologien, die als Start-Stop-Puffer zum Einsatz kommen könnten, wie beispielsweise Nickel-metalhydrid-Batterien NiMh, haben Gewichtsvorteile (50%) und längere Lebensdauern (bis 10 Jahre) aber verursachen erheblich höhere Kosten und Nachteile beim Kaltstart. Andererseits treibt die Versorgung der Leerlaufverbraucher aus Doppelschichtkondensatoren (z.B. SuperCaps, UltraCaps, PowerCaps, GoldCaps im folgenden als DLC [Double Layer Capacitor] bezeichnet) auf Grund der wesentlich geringeren Energiedichte die Kosten extrem nach oben.

Für die Versorgung der Funktionen Boost und Rekuperation wären allerdings Technologien wie NiMH oder Doppelschichtkondensatoren vorzuziehen, da die Bleisäuretechnik in bezug auf Leistung und Zyklusfestigkeit stark limitiert ist. Doppelschichtkondensatoren sind teuer, können jedoch die geforderten 5000000 Zyklen problemlos überstehen (10 Jahre) und müssen deshalb normalerweise nicht ausgetauscht werden. Diese Technologie kann mit Leistungen von bis zu 16 kW/kg geladen und entladen werden und passt daher ausgezeichnet zu den Anforderungen die von einem Fahrzeug mit ISG ausgehen. Darüber hinaus ist eine Kontrolle des Ladezustandes relativ einfach



Spannungsschwankung während es NEFZ bei einer Lade-Entladeleistung von 4 kW.

## Komponenten & Systeme

realisierbar. Hauptnachteil ist allerdings die geringe Energiedichte, weswegen sich Doppelschichtkondensatoren nicht als Energiespeicher eignen.

Eine Kombination der beiden Technologien Bleisäure und DLC würde daher alle Anforderungen eines Fahrzeugs mit ISG erfüllen. Ein solches Hybridspeichersystem kann über die geeignete Kombination aus Leistung (DLC) und Energieinhalt (Bleisäure) an die Anforderungen des Fahrzeugs angepasst werden. Die Herausforderung besteht jedoch darin, beide Speicher elektrisch und kostenoptimiert miteinander zu verbinden.

### Hardware-Lösung

Eine direkte Parallelschaltung beider Speicher erhöht nur für eine extrem kurze Zeit die verfügbare Leistung. Grund sind unterschiedliche Spannungscharakteristika von Batterien und Kondensatoren bei Ladung und Entladung. Während die Spannung einer Batterie über einen weiten Bereich kaum vom Ladezustand abhängt, ist diese beim Kondensator direkt zum Ladezustand proportional. Der Doppelschichtkondensator kann daher nur in einem sehr schmalen Spannungsbereich betrieben und somit könnte nur ein sehr geringer Anteil des Energieinhaltes genutzt werden.

Alternativ kann ein DC/DC-Wandler die mit zunehmender Ladung

oder Entladung auftretenden Spannungsdifferenzen zwischen beiden Speichern ausgleichen. Der DLC sollte dabei während Boost und Rekuperation direkt mit dem ISG verbunden sein, wogegen die Bleibatterie normalerweise mit den Lasten verbunden ist. Dieser DC/DC-Wandler muß folglich den durchschnittlichen Bordnetzbedarf unter ungünstigsten Umständen übertragen können. Da die Spannung des DLC sowohl über als auch unter der Spannung der Batterie liegen kann, ist eine sehr kostspielige elektronische Lösung erforderlich. Vorteilhaft ist allerdings die komplette Steuerbarkeit der übertragenen Leistung. Folglich bietet die elektronische Kopplung ein Maximum an Flexibilität aber verursacht auch die höchsten Zusatzkosten und scheidet daher für die Anwendung im Automobil aus.

Die oben beschriebenen Funktionszustände des ISG können nicht gleichzeitig auftreten und können daher zeitlich unterschieden werden. Unter geringfügiger Reduzierung der Flexibilität können die einzelnen Komponenten des Speichersystems je nach ISG-Zustand abwechselnd mit dem ISG verbunden werden. Im Hause Siemens VDO wird dies als „Dual Energy Supply“ bezeichnet.

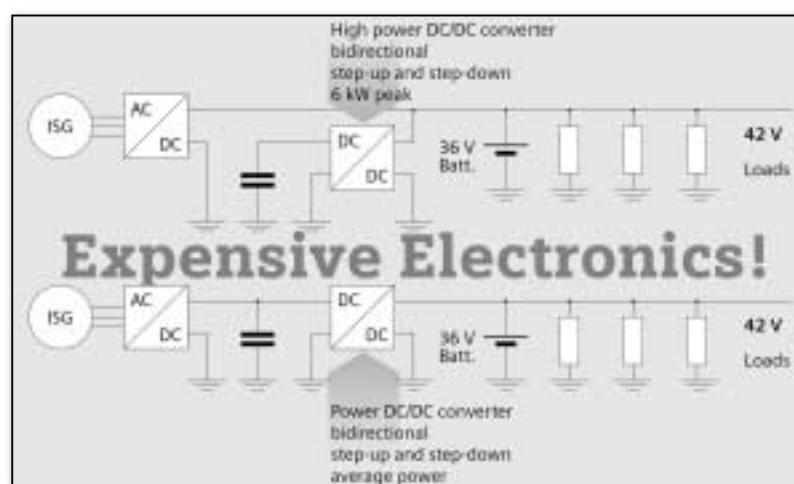
Zwischen ISG und den beiden Speichern wird je ein Schalter ein-

gefügt. Je nach Funktionszustand des ISG wird dieser entweder mit der Bleibatterie und den Bordnetzlasten oder mit dem Doppelschichtkondensator verbunden. Da der Doppelschichtkondensator hierbei niemals mit den Bordnetzlasten in leitender Verbindung steht, ist dessen Spannung nicht notwendigerweise an den 42V-Standard gebunden. Beispielsweise kann der Doppelschichtkondensator in einem Spannungsbereich zwischen 30 V und 60 V betrieben werden, wodurch 75 Prozent des Energieinhaltes ausgenutzt werden können. Höhere Spannungen erlauben sowohl eine Reduktion der Größe des Doppelschichtkondensators als auch der des ISG. Leistungsspitzen während der Funktionen Boost und Rekuperation belasten darüberhinaus nicht das Bordnetz, wodurch die Einhaltung der Spannungsgrenzen an den Verbrauchern erleichtert wird.

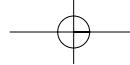
Bei der Gestaltung der Schalteinheit muß einerseits die Zuverlässigkeit der Umschaltung zwischen beiden Speichern sichergestellt werden können als auch ein Algorithmus gefunden werden, nach dem immer der geeignete Speicher mit dem ISG verbunden ist.

### Kaltstart des Verbrennungsmotors – Startmodus

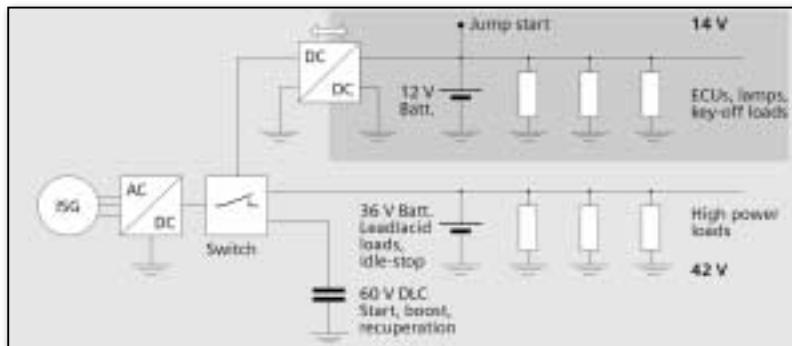
Aufgrund des Fahrerwunsches „Start des Verbrennungsmotors“ wird der ISG mit dem Doppelschichtkondensator verbunden. Der geladene Kondensator liefert die zum Start erforderliche Leistung. Obwohl der Startvorgang sehr kurz ist (unter 200ms), ist der Leistungsbedarf relativ hoch (kurzzeitig bis zu 16kW). Nach dem Startvorgang und der Umschaltung des ISG in den Generatorbetrieb wird der DLC mit Priorität bis zur Maximalspannung geladen. Während des Starts und der anschließenden Ladung muß die Batterie die erforderlichen Bordnetzlasten kurzzeitig ohne generatorische Unterstützung versorgen. Nach erfolgter Ladung wird der ISG vom DLC getrennt und mit



Übliche Einbindung eines Doppelschichtkondensators in die Bordnetzarchitektur.



## Komponenten & Systeme



*„Dual energy supply“ Architektur.*

dem Bordnetz, das die Batterie beinhaltet, verbunden.

### Generatormodus mit laufendem Verbrennungsmotor

Im generatorischen Betrieb speist der ISG das Bordnetz mit der für die Batterieladung optimalen Spannung. In diesem Betriebszustand versorgt der ISG alle 42V-Lasten und über einen DC/DC-Wandler das eventuell vorhandene 12V-Bordnetz. Die Dauerleistung ist typischerweise auf 4kW begrenzt. Um eine dauerhafte Entladung der Batterie zu verhindern, müssen die Bordnetzlasten diesen Wert von 4kW deutlich unterschreiten.

### Boost-Modus

Durch Drücken des Fahrpedals löst der Fahrer den Übergang in den Boost-Modus aus. Abhängig von der Pedalstellung und dem Zustand der Verbrennungsmotors wird die Boostfunktion freigegeben. Der ISG wird zunächst von der Batterie getrennt und anschließend mit dem Kondensator verbunden. Der geladene DLC ermöglicht nun eine mehrsekündige Leistungsabgabe von über 10kW an den ISG, der das zur Verfügung stehende Drehmoment zum Beschleunigen an den Antriebsstrang abgibt. Der DLC wird hierbei entladen. Sobald der Beschleunigungsvorgang beendet ist, wird der ISG vom teilentladenen Kondensator getrennt und erneut mit der Batterie verbunden. Während des Beschleunigungsvorgangs muß die Batterie die Bordnetzlasten versorgen.

### Rekuperationsmodus

Der Rekuperationsmodus wird durch das Betätigen des Bremspedals ausgelöst. Vor einer Bremseung ist der Doppelschichtkondensator wegen der vorhergehenden Beschleunigung normalerweise entladen, bzw. teilentladen. Ist der Ladezustand zu hoch, muß die mechanische Bremse die Energie abbauen, ansonsten wird die Rekuperation eingeleitet. Nach Trennung des ISG von der Batterie wird dieser mit dem Kondensator verbunden. Die Ladung des Kondensators erfolgt mit der maximalen Leistung aus dem ISG, die für einige Sekunden über 10 kW betragen kann.

### Start-Stop-Modus

Normalerweise wurde ein Fahrzeug vor Erreichen der Leerlaufdrehzahl abgebremst und der DLC daher geladen oder teilgeladen. Kommt das Fahrzeug zum Stillstand und bleibt das Bremspedal gedrückt, wird über die Motorsteuerung der Verbrennungsmotor gestoppt. Auch in diesem Modus liefert die Batterie benötigte Energie zur Versorgung der Lasten.

### Key-off Modus

Durch Drehen des Zündschlüssels wird der Betrieb des Verbrennungsmotors endgültig beendet. Beide Schalter werden geöffnet um eine unbeabsichtigte Entladung des DLC zu vermeiden.

Die Anforderungen des ISG und die des Fahrers können also durch abwechselnde Verbindung des ISG mit

dem DLC oder mit dem Bordnetz, in dem die Bleibatterie integriert ist, erfüllt werden. Die gesamte Schaltzeit liegt unter 80ms und wird daher vom Fahrer nicht wahrgenommen. Spannungsdifferenzen vor dem Schließen der Schalter verhindern allerdings den Einsatz eines einfachen Integration eines Schaltelements.

Der ISG, der von Siemens VDO favorisiert wird, besteht aus einer elektrischen Maschine und einem AC/DC-Wandler, an dessen Ausgang ein großer Zwischenkreiskondensator (20mF) angebracht ist. Beim Schließen der Verbindung des Zwischenkreiskondensators und eines der beiden Speicher hätten Spannungsunterschiede einen sehr hohen Ausgleichsstrom zur Folge. Dieser Ausgleichsstrom, der allein durch die niedrigen Innenwiderstände der Speicher begrenzt ist, kann besonders bei hohen Spannungsunterschieden schädigende Werte annehmen. Für Innenwiderstände in der Größenordnung von 15mW und Spannungsdifferenzen von 30V ergäben sich Ströme in Höhe von 2000A. Während der Öffnung der Kontakte sollte der ISG elektrisch neutral sein und vor dem Schließen der Kontakte sollte ein Spannungsausgleich herbeigeführt werden.

Aufgabe des AC/DC-Wandlers im ISG ist die Gleichrichtung des Wechselstroms der Maschine in Gleichstrom bzw. der Invertierung des vom Speicher gelieferten Gleichspannung in die von der Maschine benötigten Wechselspannung. Im Boostmodus und beim Startvorgang wird Energie vom Speicher in die Maschine transferiert, im Generatorbetrieb und während der Rekuperation ist der Energietransfer umgekehrt von der Maschine zum Speicher. Diese Fähigkeit des beidseitigen Energietransfers wird nun benutzt, um die Spannung des Zwischenkreiskondensators am DC-Ausgang des Gleichrichters auf den gewünschten Wert einzustellen.

Sind beide Schalter geöffnet und läuft der Verbrennungsmotor, kann

der ISG den Zwischenkreiskondensator innerhalb weniger Millisekunden laden (AC nach DC) oder entladen (DC nach AC). Sobald die Spannungen des Zwischenkreiskondensators und des entsprechenden Zielspeichers übereinstimmen, kann der Schalter, der den Energiespeicher mit dem ISG verbindet, geschlossen werden. Da beide Spannungen identisch sind und kein Strom fließt, erfolgt die Schaltung strom- und spannungslos. Beide Schalter tragen lediglich den Strom, ohne ihn schalten zu müssen. Dies ermöglicht die Verwendung kostengünstiger Schalter ohne negativen Einfluß auf die Lebensdauer.

Alternativ kann die Spannung über den DC/DC-Wandler, der eine energetische Verbindung zwischen 12 V und 42 V Bordnetz darstellt, angeglichen werden. Diese Komponente arbeitet ebenfalls bidirektional. Die Ladeenergie des Zwischenkreiskondensators wird dann der 12V-Batterie entnommen, die Entladeenergie wird in diese gespeichert. Kombinationen beider Methoden sind ebenfalls denkbar. Die vorgeschlagene Lösung für die Speichereinheit, bestehend aus Doppelschichtkondensator und Bleibatterie, ermöglicht die Ausnutzung aller Funktionen eines 42V-ISG mit Spitzleistung von bis zu 20kW: Start-Stop, Boost und Rekuperation. Die Leistungswerte eines Doppelschichtkondensators passen dabei hervorragend zur Leistungsfähigkeit des ISG, der kurzzeitig deutlich über die Dauerleistung belastet werden kann. Die erforderliche Zustandsüberwachung des DLC läßt sich außerdem leicht über eine Spannungsmessung realisieren.

Dieses „Dual Energy Supply“ Konzept verbessert das System aus ISG und Speicher erheblich. Ein Vergleich dieses neuen Dual Energy Supply Konzept mit einer einfachen Bleibatterie ist in der nebeneinstehenden Abbildung dargestellt.

Jeder Punkt in der Abbildung repräsentiert einen Arbeitspunkt des ISG. Kreuze stehen für ein System

mit einer 36V/28Ah-Bleibatterie, Sterne repräsentieren das Dual Energy Supply Konzept mit einem DLC von etwas über 100F. Die Zunahme der Leistungsfähigkeit ist überzeugend. So kann die Boostleistung von 4kW auf 10kW angehoben und die Rekuperationsleistung von 1kW auf 8kW erhöht werden. Die Leistungen sind nun nicht mehr durch ISG oder Speicher begrenzt, sondern lediglich durch die Fahrstabilität.

## 2. Zusammenfassung und Ausblick

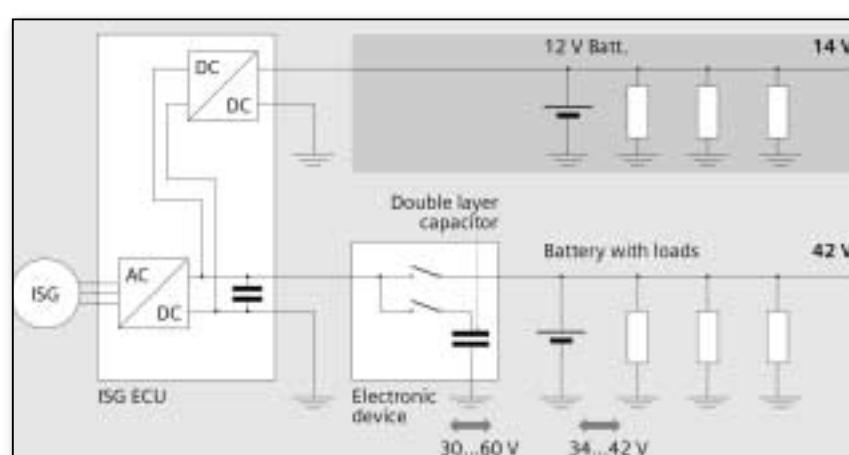
Das Dual Energy Supply Konzept bestehend aus Doppelschichtkondensator, Bleibatterie und intelligentem Schalter, der die Verbindung zum ISG herstellt, verfügt über ausreichende Leistungsreserven um die volle Funktionalitäten des ISG zu ermöglichen. Gegenüber der Versorgung mit einer Bleibatterie kann die Boostleistung von 4kW auf 10kW erhöht und die Rekuperationsleistung kann von 1kW auf 8kW angehoben werden. Auch der hochdynamische Betrieb durch den ISG, mit sehr vielen Lade- Entladzyklen, erfordert keinen kostspieligen Austausch des Energiespeichers während der üblichen Fahrzeuggesamtlaufzeit.

Raumtemperatur kaum ansteigt und deshalb die ISG-Leistung im üblichen Temperaturbereich über unverändert bleibt.

Durch den Einsatz eines zweiten Speichers wird die Zuverlässigkeit des kompletten Bordnetzes erhöht, da

- ▷ die Zyklenfestigkeit des DLC gegenüber Bleibatterien extrem groß ist
- ▷ der Doppelschichtkondensator gut überwacht werden kann
- ▷ die Vorhersage der verfügbaren oder speicherbaren Energiemenge einfach und ausreichend genau ist
- ▷ eine Nachladung des DLC über den DC/DC-Wandler aus der 12V-Batterie möglich ist, auch wenn diese sehr schwach ist
- ▷ die Bleibatterie nicht mit dem Startpuls belastet wird und daher robuster ausgelegt werden kann

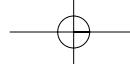
Das hier beschriebene Dual Energy Supply Konzept wurde bereits erfolgreich in Testfahrzeuge eingebaut. Erste Tests untermauerten die erwarteten Leistungssteigerungen des ISG. Allerdings bieten die benutzen neuartigen Komponenten wie DLC, Bleibatterie und Schalteinheit noch zahlreiche ungenutzte Optimierungspotentiale. Doppelschichtkondensatoren werden bereits heute industriell hergestellt



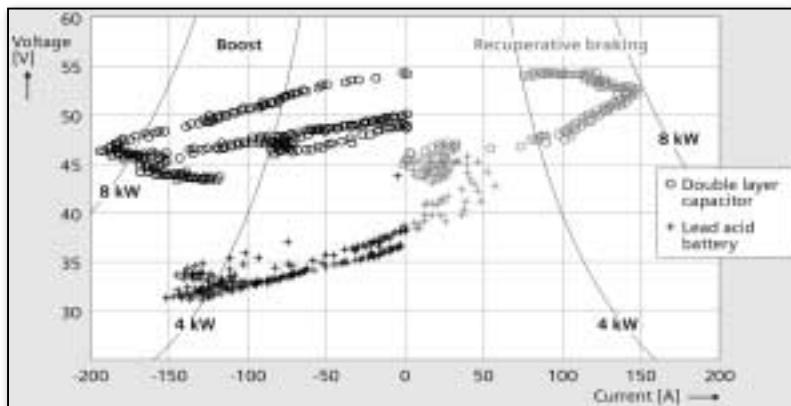
**Neues Integrations Konzept mit Doppelschichtkondensator.**

Die Durchführung eines Kaltstarts stellt mit der vorgeschlagenen Lösung kein Problem dar, da der Innenwiderstand eines DLC bei tiefen Temperaturen gegenüber

und genutzt. Allerdings erfordert der Einsatz eines DLC in der Automobilindustrie weitere Entwicklungsaktivitäten (z.B. Kostensenkung, Packaging).



## Komponenten & Systeme



**Arbeitspunkte des ISG mit Doppelschichtkondensator im Vergleich zum Betrieb mit einer optimierten Bleibatterie.**

### Die folgenden Entwicklungsschritte sind erforderlich

▷ Entwicklung eines sehr kompakten Doppelschichtkondensatormoduls mit den Zielen Kosten senkung, Reduktion der Verlustleistung, erhöhter Zuverlässigkeit und Eignung zum Verbau im KFZ

- ▷ Entwicklung einer kostengünstigen und zugleich zyklusfesten Bleibatterie mit deutlich geringen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit bei tiefen Temperaturen
- ▷ Entwicklung eines serientauglichen Steuergerätes als Link zwischen ISG den beiden Speichern

DLC und Batterie, das den Spannungsausgleich regelt

▷ Integration des Dual Energy Supply Konzept in bestehende Steuer algorithmen zur Realisierung der ISG-Funktionalitäten Start-Stop, Boost und Rekuperation.

Diese Entwicklung führt zu komplett neuen Speichersystemen für Kraftfahrzeuge mit Starter-Gener ator. Obwohl weitere Verbesserungen erforderlich sind, zeigen die Tests in den Versuchsfahrzeugen bereits jetzt die enormen Vorteile der beschrie benen Lösung für den Betrieb eines Starter-Generators mit weitreichenden Auswirkungen auf die zukünftige Fahrzeugfunktionalität sowie auf die zu erwartende Markteinführung des Integrierten Starter Generators.

**334**