



# Verbrauchseinfluss der elektrischen Energie im Fahrzeug

Der Fahrer erwartet von einem Fahrzeug optimale Performance, Sicherheit und höchsten Komfort. Dem stehen steigende Kraftstoffkosten gegenüber, die eine starke Sensibilisierung für den Verbrauch unter Praxisbedingungen zur Folge haben. Hinzu kommen Forderungen des Gesetzgebers in Form von CO<sub>2</sub>-Grenzen für die Fahrzeugflotten. Gefragt sind daher Ansätze zur CO<sub>2</sub>-Optimierung unter Beibehaltung oder Erhöhung des Kundennutzens. Dieser IAV-Beitrag schildert die nicht unwesentliche Rolle der Erzeugung und Umsetzung elektrischer Energie in diesem Kontext.

## 1 Einleitung

**Bild 1** zeigt die Wirkungsgradkette für elektrisch betriebene Verbraucher in einem konventionellen Fahrzeug. Charakteristisch ist der begrenzte Wirkungsgrad bei der Umwandlung der chemischen Energie in mechanische Energie im Verbrennungsmotor, dem wiederum ein relativ schlechter Wirkungsgrad des Generators nachgeschaltet ist. Die in der Abbildung benannten Wertebereiche sind jeweils als nach unten offen zu betrachten, da ein signifikanter Anteil der Verluste unabhängig von der abgegebenen Leistung anfällt und daher in Schwachlastsituationen der rechnerische Wirkungsgrad noch weiter absinkt.

Wirksam für Änderungen des Kraftstoffverbrauchs bei Maßnahmen an elektrischen Verbrauchern ist aber der differentielle Wirkungsgrad. Dieser ergibt sich aus dem Quotienten der an einem bestimmten Arbeitspunkt zusätzlich entnommenen elektrischen Energie und der dafür zusätzlich zugeführten Primärenergie. Da feste Verlustanteile nicht im Ergebnis wirksam werden, ist dieser differentielle Wirkungsgrad deutlich höher als der Absolutwirkungsgrad. Für die Kombination Verbrennungsmotor/Generator ergeben sich Werte bis zu 42 %, natürlich stark arbeitspunktabhängig.

Die auf der 14-V-Seite befindliche Batterie ist für normale Lastfälle nicht wirksam, lediglich der auch bei Vollladung auftretende Ladestrom wirkt als konstante Verlustleistung. Wird jedoch in hohen Lastsituationen beziehungsweise bei Abregelung des Generators auf die Energie der Batterie zurückgegriffen, ist dafür deren Lade- und Entladewirkungsgrad zu berücksichtigen. Weiterhin ist als zusätzlicher Pfad die Rückgewinnung von Bremsenergie über den Generator dargestellt, deren Umfang bei konventionellen Fahrzeugen sehr gering ist, über entsprechende Eingriffe aber erhöht werden kann.

Die Verbraucherseite ist durch eine Vielfalt an elektrisch versorgten Systemen geprägt. Für einen Teil der Verbraucher, der eine Umwandlung in eine andere Energieform ausführt, lassen sich physikalische Wirkungsgrade angeben. Andere Verbraucher, vorrangig Steuergeräte und Sensoren, setzen den aufgenommenen Strom energetisch betrachtet ausschließlich in Wärme um. Praktisch wä-

re hier anstelle eines physikalischen Wirkungsgrades eher ein Nutzwirkungsgrad zur Bewertung geeignet. Neu in Fahrzeuge eingebrachte Systeme werden meist elektrisch versorgt, so dass zumindest die Zahl der Verbraucher auch weiter ansteigen wird. Optimierungsansätze ergeben sich sowohl bei der Energieerzeugung als auch bei den Verbrauchern.

## 2 Optimierung der Energieerzeugung

### 2.1 Erhöhung des Generatorwirkungsgrades

Der bislang nahezu ausschließlich eingesetzte Klauenpolgenerator besitzt prinzipiell das in **Bild 2** gezeigte Wirkungsgradkennfeld. Dieses ergibt sich aus der Überlagerung von drehzahlabhängigen elektrischen und mechanischen Verlustanteilen. Die mechanischen Verluste sind dabei unabhängig vom gelieferten Strom, so dass der Absolutwirkungsgrad bei geringer Last sehr schlecht ist. Mit wachsender Drehzahl steigen diese Verluste noch überproportional an, vorrangig aufgrund der Propeller-Kennlinie des Lüfterrades.

**Tabelle 1** zeigt eine Auswahl bekannter Maßnahmen zur Optimierung dieses Generatortyps, die bei den in Bild 2 dargestellten Verlustanteilen ansetzen. Unter den rein elektrischen Maßnahmen hat die aktive Gleichrichtung sicherlich den Vorteil geringer Mehrkosten am Generator, ohne weitere Anpassungen auf Systemebene zu erfordern. Diese Maßnahme wurde bislang nur in Sonderfällen eher zur Reduzierung der Einsatzdrehzahl des Generators eingesetzt. Eine

## Die Autoren



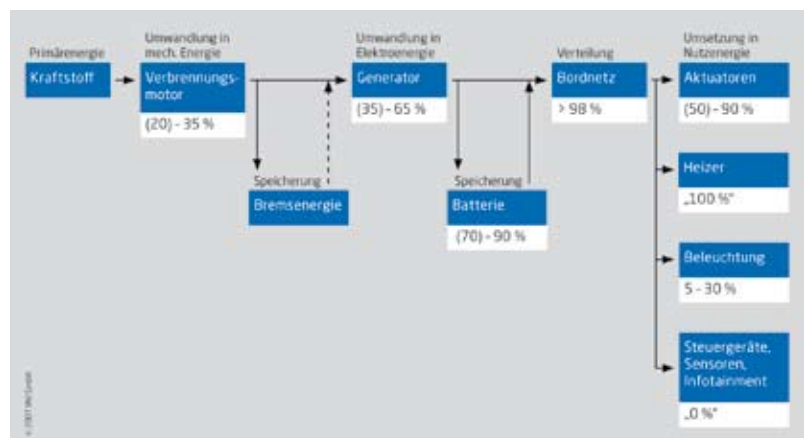
Dipl.-Ing.  
**Wolfgang Reimann**  
ist Bereichsleiter  
Elektronik Fahrzeug im  
Geschäftsbereich Fahr-  
zeugelektronik der IAV  
GmbH in Gifhorn.



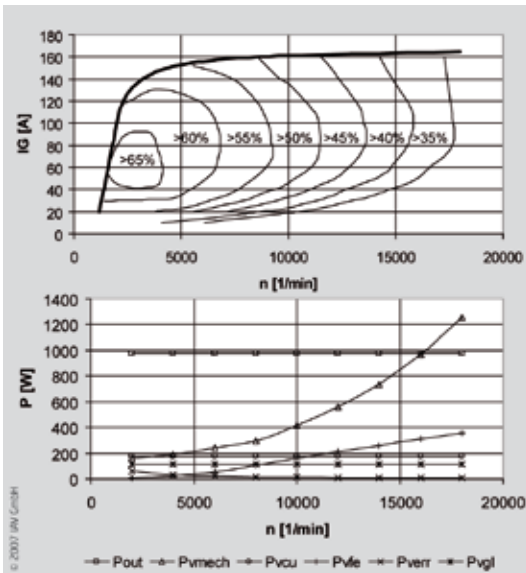
Dipl.-Ing.  
**Ralf Männel**  
ist Abteilungsleiter  
Hardwareentwicklung  
und elektrisches Ener-  
giemanagement bei der  
IAV GmbH in Chemnitz.

Erhöhung der Spannung erfordert eine externe Spannungsanpassung an das 14-V-Netz, was mit Kosten und zusätzlichen Verlustleistungen verbunden ist. Bekannte Beispiele nutzen die erhöhte Spannung nur im Warmlauf [1]. Aktuell umgesetzt wurde eine allgemeine Optimierung der Maschine [2] durch Umstieg auf bessere Materialien.

Zur Senkung der mechanischen Verluste und der Eisenverluste kann eine Entkopplung der Generator Drehzahl vom Verbrennungsmotor vorgenommen werden, die Maßnahmen dazu sind aber auf-



**Bild 1:** Wirkungsgradkette für elektrische Energie im Fahrzeug



**Bild 2:** Wirkungsgradkennfeld und Verlustanteile eines exemplarischen Klauenpolgenerators

wändig und nur bei hohen Motordrehzahlen wirksam. Andere Ansätze gehen hier noch einen Schritt weiter und schlagen den Betrieb weiterer Nebenaggregate hinter einem gemeinsamen Variator in einem abgesenkten Drehzahlbereich vor [3]. In jedem Fall muss zur Versorgung der Verbraucher bei niedriger Motordrehzahl eine ausreichend hohe Generator-drehzahl gewährleistet werden.

Eine in den Medien relativ positiv dargestellte Nachrüstlösung [4] setzt sich über diese Prämisse hinweg: Es wird die Drehzahl über den gesamten Bereich durch Einsatz einer größeren Riemenscheibe abgesenkt. Der von der GTÜ im Rahmen eines Fernsehbeitrages gemessene Verbrauchsvorteil lag bei rund 6 %. Durch die größere Scheibe erfolgt eine Umskalierung des Kennfeldes aus Bild 2 in der Drehzahlach-

se, so dass die größeren Wirkungsgrade im unteren Generator-drehzahlbereich für höhere Motordrehzahlen wirksam werden. Der Anbieter geht davon aus, dass er mit Preisen von etwa 250 Euro ein Kundenpotenzial erschließen kann, und dies trotz der negativen Ladebilanz im Stadtverkehr und der Risiken durch den manipulierten Riementrieb.

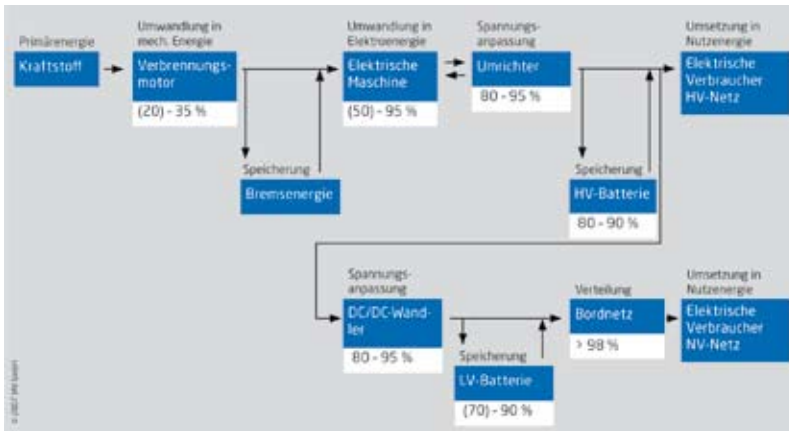
Eine bedarfsgerechte Kühlung ist über verschiedene Ansätze darstellbar [5], wird aber auch nur für hohe Drehzahlen, das heißt bei hohen Geschwindigkeiten, wirksam. Bekannt sind Generatoren mit Wasserkühlung, bei denen keine Lüfterverluste anfallen. Nachteilig ist bei diesem Konzept die aus Kühlungsgründen erforderliche, feststehende Erregerwicklung. Der daraus entstehende doppelte Luftspalt hebt die Wirkungsgradvorteile zum Teil wieder auf.

### 2.2 Einsatz alternativer Maschinentypen als Generator

Grundsätzlich sind aus dem Elektromaschinenbau verschiedene Maschinentypen bekannt, die einen höheren Wirkungsgrad als die Klauenpolmaschine versprechen. Eine systematische Analyse der Vor- und Nachteile dieser Maschinen soll nicht Gegenstand dieses Beitrages

**Tabelle 1:** Auswahl bekannter Ansätze zur Optimierung des Klauenpolgenerators

Maßnahme	Wirkung	Aufwand Elektronik	Aufwand Mechanik	Potential
Aktive Gleichrichtung	Reduzierung Gleichrichter- verluste	FET-B6-Brücke, Steuerung	Keine Änderung	Drehzahlunabhängige Verlustreduzierung
Optimierung Blechpaket und Wicklung	Reduzierung Eisen- verluste, Kupferverluste	Keine Änderung	Veränderte Materialien, Aufbau	Optimierung im gesamten Kennfeld
Anhebung der Spannung	Reduzierung Kupfer- verluste, Gleichrichter- verluste	DC/DC-Wandler für 14 V-Verbraucher	Keine Änderung	Optimierung im gesamten Kennfeld, Vorteile bei Auslegung
Bedarfsoptimierter Lüfter (Rotorblattverstellung)	Reduzierung Lüfterverluste	Keine Änderung	Andere Bauweise Lüfter	Verlustreduzierung für höhere Drehzahlen
Wasserkühlung	Vermeidung Lüfterverluste	Keine Änderung	Andere Bauweise Maschine, Wasserkühlung	Vorteile durch doppelten Luftspalt nahezu aufge- hoben
Absenkung der Drehzahl über Schaltgetriebe	Reduzierung Lüfter- und Eisenverluste	Ansteuerung Getriebeumschaltung	Getriebe mit Umschaltung	Deutliche Verlust- reduzierung für höhere Drehzahlen
Anpassung der Drehzahl über Variator	Reduzierung Lüfter- und Eisenverluste	Ansteuerung 2. E-Maschine	Planetengeräte, 2. E-Maschine	Leichte Vorteile bei hoher Drehzahl



**Bild 3:** Wirkungsgradkette für elektrische Energie im Hybridfahrzeug

sein. Für den Einsatz als Generator im Fahrzeug sind in jedem Falle höhere Kosten zu erwarten, speziell aufgrund veränderter Anforderungen an die Fertigung, sowie der meist erforderlichen Leistungselektronik.

Bei genauerer Betrachtung kommen aber auch hier einige Probleme des Klauenpolgenerators zum Tragen: Eine an die Rotordrehzahl gekoppelte Luftkühlung über den gesamten Drehzahlbereich wird auch hier zu Verlusten bei hohen Drehzahlen führen, auch die Eisenverluste bei höheren Drehzahlen steigen an. Hinzu kommen die Schlepptomente bei permanentmagneterregten Maschinen.

Eine gute Konstellation wäre eine wassergekühlte Asynchronmaschine. Entwicklungen auf diesem Gebiet werden derzeit vom Hybrid-Boom getrieben, so dass zu erwarten ist, dass auch für konventionelle Fahrzeuge geeignete Komponenten abgeleitet werden.

### 2.3 Verstärkte Nutzung von Bremsenergie

Auch wenn die Leistungen im 14-V-Bordnetz verglichen mit denen im Antriebsstrang gering sind, kann eine verstärkte Nutzung der Bremsenergie durch Erhöhung der Generatorspannung im Schub eine Erhöhung der Gesamteffizienz bewirken. Die daraus resultierende Schwankung der Bordnetzspannung erfordert verbraucherseitige Maßnahmen. Weiterhin wird die Batterie stärker zyklisiert und auch nicht mehr immer voll geladen, so dass ein Batteriemanagement die Batterie überwachen muss. Die Batterie selbst muss eine höhere Zyklenfestigkeit besitzen. Das CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial wird zwi-

schen 1 % und 4 % angegeben [1] [6]. Praktisch dürfte es wie alle Rekuperationskonzepte sehr stark vom Fahrprofil abhängen, aber auch davon, welcher Bereich einer Bordnetzspannungsänderung akzeptiert wird. Der Vorteil der Lösung liegt im geringeren Mehraufwand, speziell wenn die flankierenden Maßnahmen an der Batterie bereits zur Verbesserung der Verfügbarkeit eingeführt wurden.

Eine stärkere Nutzung der Bremsenergie führt zum Hybridfahrzeug. Erkennbar ist, dass die Wirkungsgradkette, **Bild 3**, aufgrund der Umwandlungen vom Hochvolts in Niederspannung länger geworden ist. Bei den zu erwartenden Wirkungsgraden ist damit auf den ersten Blick keine große Verbesserung erreichbar. Aber auch hier fallen signifikante Verlustanteile unabhängig von der umgesetzten Leistung an, so dass der differentielle Wirkungsgrad wesentlich höher ausfällt als der mittlere Wirkungsgrad des Systems. Weitere Verbesserungen entstehen, wenn Verbraucher mit hoher Leistungsaufnahme direkt am Hochvoltnetz betrieben würden.

Die Nutzung der Bremsenergie zur Speisung des Bordnetzes steht beim Hybridfahrzeug aber im Wettbewerb zur Nutzung im Antrieb, das heißt diese Energie ist nicht „kostenlos“. Erforderlich ist daher ein sehr ausgeklügeltes Energiemanagement auf Hochvolt- und Niederspannungsseite.

## 3 Optimierung auf Verbraucherseite

Reduzierungen der Leistungsaufnahme bewirken über den differentielle Wirkungsgrad von Motor und Generator eine direkte Verbrauchersparung, sowohl im

Testzyklus als auch im Kundenbetrieb. Energetisch relevant sind nur Verbraucher, die eine signifikante Einschaltdauer besitzen. Für alle Verbraucher steht daher eine bedarfsoptimierte Auslegung und Ansteuerung im Vordergrund. Hierbei ist auch der jeweilige Kundennutzen zu hinterfragen. Das Einsparpotenzial ist trotz vieler in der Vergangenheit bereits umgesetzter Maßnahmen noch relativ groß, hier nur einige Beispiele:

- bedarfsgeregelte Kraftstoffpumpe
- klimagesteuerter Betrieb aller Heizelemente
- Abschaltung temporär nicht benötigter Funktionen, zum Beispiel Rückfahrkamera bei höherer Geschwindigkeit.

Im Folgenden sollen die einzelnen Verbrauchergruppen betrachtet werden, wobei die Einteilung aus energetischer Sicht naheliegender nach der jeweils erzeugten Nutzenergie erfolgt.

### 3.1 Aktoren

Im Betrieb entscheidet bei Aktoren der Wirkungsgrad über die Energieeffizienz. Für Elektromotoren empfiehlt sich dazu der Einsatz höherwertiger Maschinen. Eine elektronische Kommutierung beziehungsweise ein Betrieb mit Umrichter ermöglicht zusätzliche Effizienzsteigerungen und vereinfacht die bedarfsgeführte Regelung.

Für künftige Systeme mit höheren Leistungen und langen Einschaltzeiten, beispielsweise elektrifizierte Nebenaggregate, kann neben den genannten Maßnahmen durch Wechsel auf ein höheres Spannungsniveau eine Reduzierung der Leitungsverluste erreicht werden.

### 3.2 Elektrische Heizsysteme

Die Umsetzung von Strom in Wärme erfolgt mit nahezu 100 % Wirkungsgrad. Die Konstruktion der Komponenten muss dafür sorgen, dass diese Wärme an der richtigen Stelle ankommt. Aus elektrischer Sicht dominieren die Leitungsverluste. Daher wäre auch hier der Wechsel auf ein höheres Spannungsniveau sinnvoll. Für Verbraucher im Komfortbereich ist das Problem von Fehlbedienungen nicht zu vernachlässigen. So bewirkt zum Beispiel eine längere Zeit eingeschaltete Sitzheizung für die Beifahrerseite ohne Belegung einen zusätzlichen Strom- und damit Kraftstoffverbrauch, der über die Sitzbelegungs-erkennung vermeidbar wäre.

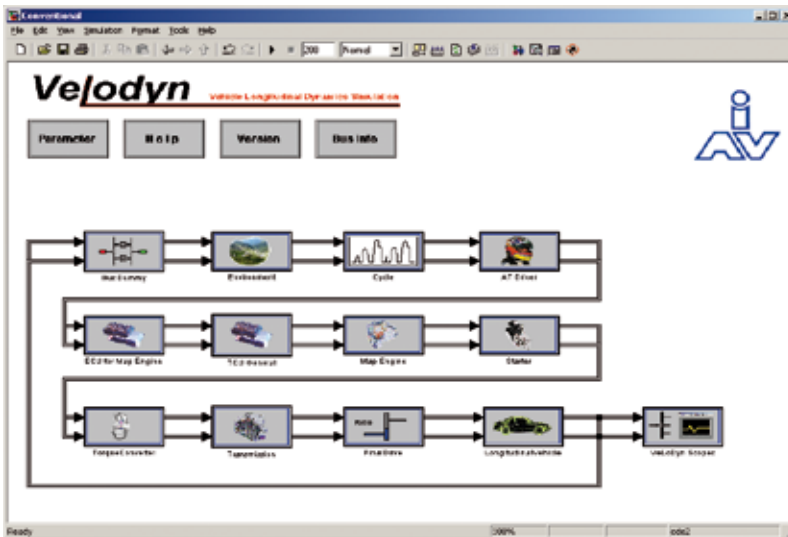


Bild 4: Gesamtfahrzeugsimulation mit VeLoDYN

### 3.3 Licht und Beleuchtung

Bei der Umwandlung elektrischer Energie in Licht zählt die Ausbeute des sichtbaren Lichts pro zugeführter elektrischer Leistung. Die Glühfadenslampe hat hierbei die geringste Ausbeute von 0,7 bis 2,7 %. Halogenlampen erreichen mit 2,3 bis 3,5 % fast eine Verdopplung. Gasentladungslampen liegen mit 7 bis 30 % deutlich besser, allerdings entstehen hier Verluste in den erforderlichen Vorschaltgeräten. Die im Kfz derzeit üblichen Xenon-Lampen liegen eher am unteren Ende dieser Spanne. Die zunehmend eingesetzten LED haben Lichtausbeuten von 4 bis 10 %, allerdings geht hier die Entwicklung in Richtung höherer Ausbeuten. Für eine Optimierung kann daher der Anteil von Gasentladungslampen und LED erhöht werden. Energetisch wirksam ist dabei aufgrund der höheren Leistung die Außenbeleuchtung. Nach heutigen Vorschriften ist diese aber nicht relevant für den Abgastestzyklus.

Für Dauerbeleuchtungen im Innenraum sind aus Lebensdauergründen bereits ausschließlich LED im Einsatz. Zeitweilig eingeschaltete Innenraumlampen sind energetisch zu vernachlässigen, besitzen aber das Risiko von Fehlbedienungen (etwa dauerhaft eingeschaltete Lesebeleuchtung im Fond bei Tage). Neue Möglichkeiten für die hocheffiziente Innenraumbeleuchtung versprechen künftig Elektrolumineszenzfolien.

Die erhöhte Lichtausbeute moderner Quellen lässt sich jedoch nur nutzen,

wenn die Ansteuerung über eine effiziente Elektronik erfolgt.

### 3.4 Steuergeräte, Sensoren und Infotainment

Ein großer Teil elektrischer Verbraucher liefert keine Nutzenergie, sondern dient zur Ermittlung und Verarbeitung von Informationen oder steht in Bereitschaft, um Aktoren mit teilweise geringer Einschalthäufigkeit anzusteuern. Ziel muss es sein, deren Stromverbrauch auf ein Minimum zu reduzieren. Eine naheliegende Lösung ist der Einsatz von Schaltungsteilen, die bei üblichen internen Spannungen von 3,3 oder 5 V ein Einsparpotenzial von 60 bis 70 % bei glei-

cher Stromaufnahme der aktiven Elemente bieten. Bei 20 Steuergeräten mit bisher 100 mA Stromaufnahme ist über 1 A einsparbar. Für die Schaltungen selbst bieten neue Halbleiterbausteine, getrieben auch durch neue Technologien aus dem Consumerbereich, immer höhere Verarbeitungsleistungen bei geringer Leistungsaufnahme. Diese Technologien müssen auch im Kfz Verwendung finden, zum Beispiel durch Clustering von Funktionen auf wenigen, energetisch optimierten Steuergeräten.

## 4 Neuartige Ansätze

Bezieht man neben dem Generator auch noch den Verbrennungsmotor in die Betrachtung ein, wäre eine Bereitstellung der elektrischen Energie an diesen beiden Komponenten vorbei mit höherem Wirkungsgrad erstrebenswert. Diesen Ansatz verfolgen Auxiliary Power Units (APU) zur Bordnetzversorgung. Mit Wasserstoff betriebene APUs ließen sich mit heutiger Technologie darstellen, jedoch ist dieser Energieträger derzeit nicht im Fahrzeug verfügbar. Konzepte mit Hochtemperaturbrennstoffzellen und Reformern sind bekannt, allerdings erscheinen deren Anlaufzeit und vermutlich auch die erforderliche Anlaufenergie für einen normalen Fahrzeugbetrieb mit ausgeglichener Ladebilanz der Batterie problematisch.

Noch einen Schritt weiter gehen die Überlegungen zur Nutzung der Abwärmeströme des Verbrennungsmotors. Das



Bild 5: Messung von Ruhe- und Betriebsströmen an einem Fahrzeug

**Tabelle 2:** Simulierte Wirkung ausgewählter Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung

Maßnahme	CO <sub>2</sub> für elektrische Verbraucher (Simulation mit Otto-Motor)			
	im NEFZ	NEFZ mit Klima / Licht	Autobahnzyklus (150 km/h v <sub>max</sub> )	Konstant 180 km/h
Mittlerer Strom	13,6 A	40,5 A (Klima / Licht)	40,5 A (Klima / Licht)	40,5 A (Klima / Licht)
Basis	5,90 g/km (195 g/h)	12,96 g/km (429 g/h)	6,1 g/km (811 g/h)	5,33 g/km (996 g/h)
Drehzahlabenkung Generator mit Umschaltgetriebe	-0,16 g/km	-0,14 g/km	-0,70 g/km	-0,95 g/km
Drehzahlabenkung mit Variator	+0,54 g/km	+1,45 g/km	-0,12 g/km	-0,37 g/km
Lüfterradverstellung ab 3000 1/min VKM	-0,03 g/km	-0,03 g/km	-0,14 g/km	-0,42 g/km
Wassergekühlte Asynchronmaschine	-1,88 g/km	-3,08 g/km	-1,42 g/km	-1,21 g/km
Generatorregelung zur optimalen Bremsenergieerückgewinnung	-1,60 g/km	-2,38 g/km	-0,31 g/km	0,00 g/km
Reduzierung Stromaufnahme 2D Steuergeräte um je 70 mA	-0,31 g/km	-0,44 g/km	-0,17 g/km	-0,13 g/km

Abgas enthält bis zu 30 % der eingesetzten Primärenergie, die allerdings auch zur Abgasreinigung benötigt wird. Selbst bei geringen Wirkungsgraden wäre damit eine Versorgung des Bordnetzes in weiten Fahrbereichen denkbar. Trotz der in [7] herausgearbeiteten Möglichkeiten von Kreisprozessen für die Energierückgewinnung bieten thermoelektrische Generatoren deutliche technologische Vorteile. Ein totaler Entfall des Generators ist damit aber noch nicht darstellbar.

### 5 Simulation ausgewählter Maßnahmen

Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge ist die Wirksamkeit von Optimierungsmaßnahmen nicht mit Faustformeln zu bewerten. Die IAV nutzt daher eine eigene, modular aufgebaute Gesamtfahrzeugsimulation, **Bild 4**, (siehe auch [8]), die sich bereits in einer Vielzahl von Simulationenaufgaben von der Fahrleistungsermittlung bis hin zur Emissionsvorhersage bewährt hat. Für die messtechnische Überprüfung im Fahrzeug bestehen ebenfalls umfangreiche Erfahrungen, **Bild 5**.

**Tabelle 2** zeigt die berechneten CO<sub>2</sub>-Werte für ausgewählte Maßnahmen in verschiedenen Fahrsituationen eines Fahrzeuges mit konventionellem Ottomo-

tor. Das erschließbare Gesamtpotenzial entspricht der angegebenen Basis-CO<sub>2</sub>-Menge für die Bereitstellung der elektrischen Energie. Auffällig ist deren scheinbare Abnahme bei hohen Geschwindigkeiten, die auf die streckenbezogene Berechnung (g/km) zurückzuführen ist. Weitere, mit einfachen Abschätzungen nicht sofort nachvollziehbare Differenzen ergeben sich aus unterschiedlichen Anstiegen der Wirkungsgradkennfelder (differentieller Wirkungsgrad).

Ein einfacher Königsweg lässt sich wie erwartet daraus nicht ableiten, die Optimierung muss an mehreren Stellen ansetzen. Maßnahmen, die nur bei sehr hoher Geschwindigkeit greifen, sind sicherlich wirtschaftlich und energetisch nicht mehr sinnvoll.

### 6 Zusammenfassung

Der Einfluss der umgesetzten elektrischen Energie auf den Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeuges ist beträchtlich. Ein Potenzial zur Optimierung bietet dabei der Generator aufgrund seines spezifischen Verlustverhaltens. Auch auf der Verbraucherseite gibt es noch Potenziale, die genutzt werden müssen, um den Gesamtstromverbrauch mit zunehmender Ausstattung

nicht weiter ansteigen zu lassen oder möglichst abzusenken. Wichtig ist eine bedarfsgerechte Auslegung und Ansteuerung, die auch eine Hinterfragung des Kundennutzens für viele Funktionen erfordert. Neue Wege zur Bereitstellung der elektrischen Energie versprechen hohe Kraftstoffeinsparungen, sind aber noch nicht in der Nähe einer Serienanwendung.

### Literaturhinweise

- [1] Kreipp, A.-M., Winkler, J.: Energiemanagement mit variabler Bordnetzspannung und Rekuperationsfunktion. Tagungsband DGES-Fachtagung 2005
- [2] Bartusch, S., Pfaller, S.: Weiter kommen. Elektronik automotive Sonderausgabe Audi A4 2007
- [3] Patente zur Anpassung der Nebentriebsbeziehungswise Generatorerdrehzahl über Variator: DE4330622, DE4333907
- [4] Nachrüstlösung für größere Generatorriemenscheibe: [www.espa-system.de](http://www.espa-system.de)
- [5] Patente zur Begrenzung der Lüfterverluste für Generatoren: DE3145947, DE3309708, DE4446345
- [6] Liebl, J., Frickenstein, E., Wier, M., Hafkemeyer, M., El-Dwaik, F., Hockgeiger, E.: Intelligente Generatorregelung. ATZelextronik, 04/2006
- [7] Klose, A., Kitte, J., Bals, R., Jänsch, D.: Potenzialstudie verschiedener Wärmerecuperationskonzepte im Fahrzeug. Tagungsband 5. Tagung Wärmemanagement des Kraftfahrzeugs im Haus der Technik 2006
- [8] Lindemann, M., Gühmann, C.: VeLoDyn – Ein Werkzeug zur Triebstrangsimulation von Kraftfahrzeugen. 1. Tagung Simulation und Test in der Funktions- und Softwareentwicklung des HdT, Berlin, 2003