Leistungselektronik für Elektrofahrzeuge

Stefan Reichert

Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE

FVEE Workshop
„Elektrochemische Speicher und
Elektromobilität“

Ulm, 20. Januar 2010
www.ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE

Fraunhofer ISE

Dipl.-Ing. Stefan Reichert
Head of Team Grid Integration and E-Mobility
Dept. Electrical Energy Systems
Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg, Germany

Phone: +49(0)761/4588-5476
FAX: +49(0)761/4588-9000
stefan.reichert@ise.fraunhofer.de
http://www.ise.fraunhofer.de

Teamleiter innerhalb der Gruppe Leistungselektronik mit dem Thema „Netzintegration Erneuerbarer Energien und Elektromobilität“

Gliederung

1. Photovoltaik und Elektromobilität
2. Von der PV-Branche lernen

   Entwicklungen der Leistungselektronik im Photovoltaik-Bereich
3. Leistungselektronik und Elektromobilität

   3.1 Einsatzgebiete

   3.2 Anforderungen

   3.3 Schaltungstopologien

   3.4 Schlussfolgerungen und Trends
4. Power Quality und Elektromobilität

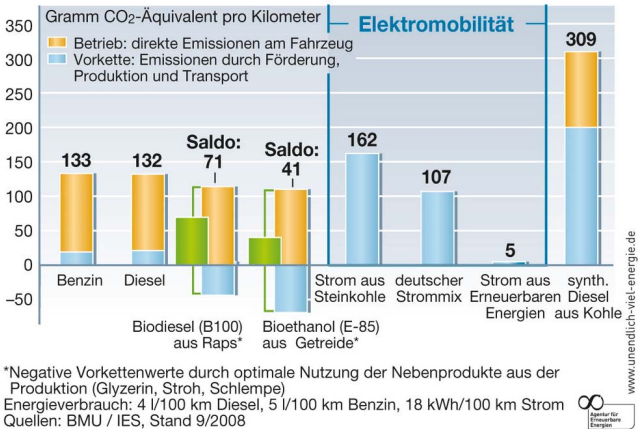
   Netzstützende und Netzbildende Funktionen mit Hilfe von Leistungselektronik

© Fraunhofer ISE

1. Photovoltaik und Elektromobilität

- Relevante CO_2 Einsparung nur wenn Strom aus Erneuerbaren Energien erzeugt wird
- Intelligente, an das Angebot der erneuerbaren Energien orientierte Beladung der Fahrzeuge notwendig

Der Einstieg in die Elektromobilität verspricht Klimaschutz im Verkehr, wenn der Strom aus Erneuerbaren Energien stammt.



*Negative Vorkettenwerte durch optimale Nutzung der Nebenprodukte aus der Produktion (Glyzerin, Stroh, Schlempe)
Energieverbrauch: 4 l/100 km Diesel, 5 l/100 km Benzin, 18 kWh/100 km Strom
Quellen: BMU / IES, Stand 9/2008

© Fraunhofer ISE
Fraunhofer ISE

130g C02 durch Verbrennungsmotoren

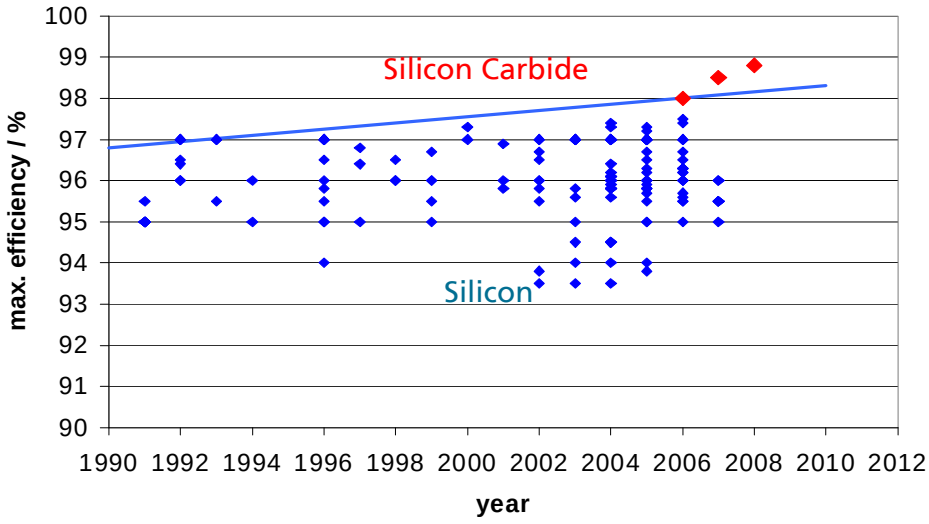
Reduktion auf 40g bis 70g durch Einsatz von Biokraftstoffen

Strom aus Steinkohle verschlechtert CO2 Bilanz

Strom aus derzeitigem deutschem Strommix führt zur leichten Reduktion von CO2 Ausstoß

Nur die Beladung von E-Fahrzeugen mit Strom aus EE ermöglicht signifikante Reduktion des CO2 Ausstoßes

2. Verbesserung des maximalen Wirkungsgrades bei PV-Wechselrichtern



© Fraunhofer ISE

Entwicklung der Leistungselektronik (PV-Einspeisewechselrichter) im PV Bereich

Anzahl und Wirkungsgrad der PV-Einspeisewechselrichter hat sich in den letzten 20 Jahren erhöht

Grenze für Halbleiter aus Silizium liegt bei 98%

Durch den Einsatz von Siliziumcarbid konnte der Wirkungsgrad auf 99% gesteigert werden.

Dies liegt mitunter an der hohen Durchbruchspannung von SiC, welche dünnere Schichten zulässt und somit den On-Widerstand verkleinert.

2. PV-Wechselrichter-Wirkungsgrad (5 kW, 16 kHz)

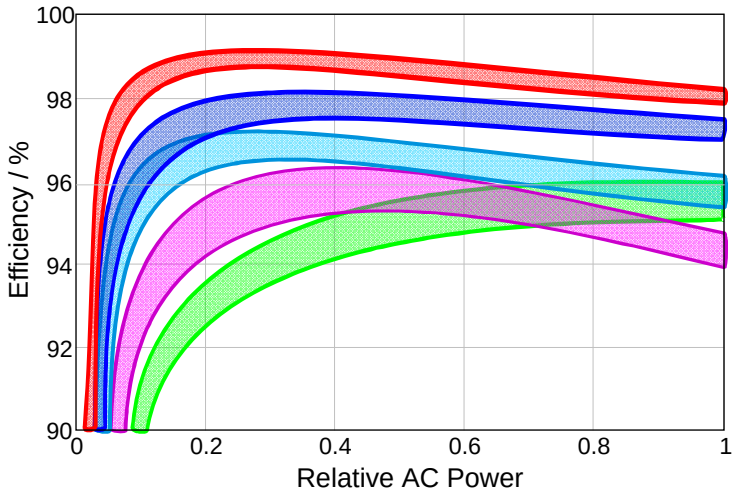
transformerless, unipolar, with SiC transistors (HERIC, H5, 3~NPC)

transformerless, unipolar (HERIC, H5, 3~NPC)

transformerless, bipolar (H4, B6)

HF-transformer (16 kHz)

LF transformer (50/60 Hz)



© Fraunhofer ISE

Wie konnte der Wirkungsgrad gesteigert werden?

Bsp.: 1-phasiger Wechselrichter, 5kW, 16kHz Taktfrequenz

Entwicklungsschritte für maximalen Wirkungsgrad

Niederfrequenz Transformator: 96%,
schlechter Teillastwirkungsgrad

Hochfrequenztransformator: 96%,
schlechter Wirkungsgrad bei Volllast aufgrund hoher Verluste der vielen Halbleiter

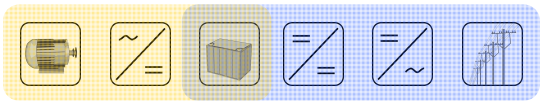
Transformatorlos (bipolare Taktung) 97%

Transformatorlos (unipolare Taktung) 98%

Transformatorlos (unipolare Taktung, bzw. 3-Level) mit SiC-Halbleitern 99%

3. Leistungselektronik und Elektromobilität
3.1 Einsatzgebiete

- bidirektionale Ladegeräte
  - Onboard / Offboard
  - Leistung / Leistungsdichte
  - AC 1~ od. 3~ / DC



- Antriebsstromrichter
  - Leistung / Anzahl der Motoren und Stromrichter
  - Synchron- / Asynchronmotor

© Fraunhofer ISE

Leistungselektronik und Elektromobilität

1. Bidirektionale Ladegeräte um Batteriespeicher mit dem Stromnetz zu verbinden

Ladegeräte werden onbord (mobil) und offboard (stationär) eingesetzt

Entscheidend für onbord Ladegeräte ist die Leistungsdichte

Verbindung zum Fahrzeug entweder AC 1~, 3~ oder DC

2. Antriebsstromrichter

Leistung und Anzahl der Motoren ist verbunden mit der Anzahl der Stromrichter

Grundsätzlich zwei verschiedene Motortypen: permanent erregte Synchronmaschine oder Asynchronmaschine (Käfigläufer)

3.2 Anforderungen an die Leistungselektronik

		Leistung W	Leistungs-dichte W / l	Wirkungs-grad η	Kosten € / kW
Bidirekt-ionale Ladegeräte	Onboard	3,5 / 11 / 22 / 43 kW 1~ / 3~	+	+	+
	Offboard Schnell-ladestation	> 10 kW DC	-	+	0
Antriebsumrichter		20 - 100 kW 3~	++	++	-

Stefan Reichert 7

© Fraunhofer ISE

Fraunhofer ISE

Anforderungen an die Leistungselektronik können in einer Bewertungsmatrix dargestellt werden

Leistung (W)

Ladegeräte Onboard: moderat, hängt von AC-Steckernorm ab.

Ladegeräte Offboard: hoch

Antriebsumrichter: hoch

Leistungsdichte (W/l)

Ladegeräte Onboard: hoch

Ladegeräte Offboard: moderat

Antriebsumrichter: sehr hoch

Wirkungsgrad (eta)

Ladegeräte Onboard + Ladegeräte Offboard: moderat, jedoch falls Rückspeisung gewünscht, wird der Wirkungsgrad umso wichtiger

Antriebsumrichter: sehr hoch, da eingespeicherte kWh in Batterie sehr teuer

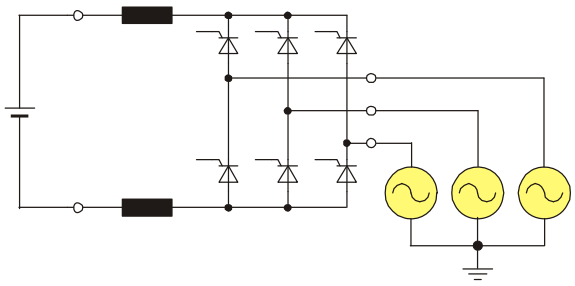
Kosten (Euro/kW)

Ladegeräte Onboard: hoch

Ladegeräte Offboard: moderat

Antriebsumrichter: gering

3.3 Schaltungstopologien
Netzgeführte Stromrichter – Thyristor-Gleichrichter



+ hoher Wirkungsgrad
+ geringer Schaltungsaufwand
+ 1-stufiges Konzept
– keine galvanische Trennung
– hoher Oberschwingungsgehalt des Stromes, eventuell durch künftige Normung nicht mehr zulässig
– nur unidirektionaler Betrieb möglich, keine Netzstützung möglich

© Fraunhofer ISE

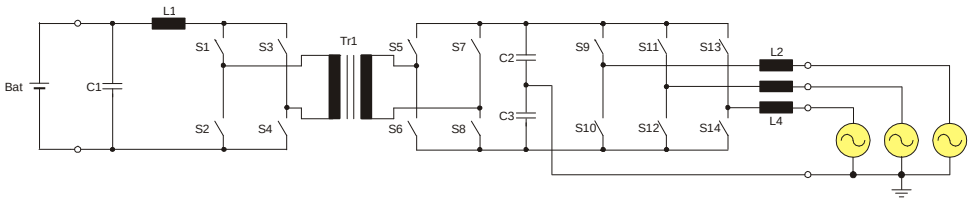
Thyristor-Gleichrichter

Einfachste Schaltung

Netzgeführter Stromrichter, d.h. die Schaltzeitpunkte werden durch Netzspannung festgelegt

3.3 Schaltungstopologien

B6 Vollbrücke und DC/DC-Wandler mit HF Trafo



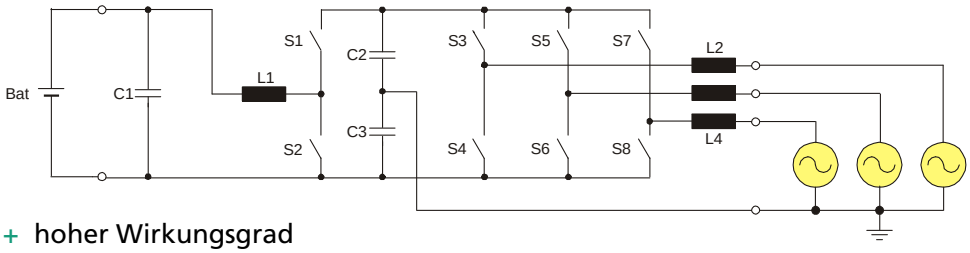
+ galvanische Trennung durch HF-Trafo
+ kein allstromsensitiver FI-Schutz notwendig

– geringer Wirkungsgrad
– viele Bauteile
– 3-stufiges Konzept

© Fraunhofer ISE
Fraunhofer ISE

3.3 Schaltungstopologien

B6 Vollbrücke und bidirektionaler DC/DC-Wandler



+ hoher Wirkungsgrad
+ wenige Bauteile
+ 2-stufiges Konzept

– keine galvanische Trennung
  – allstromsensitiver FI-Schutz notwendig
  – Isolationsüberwachung

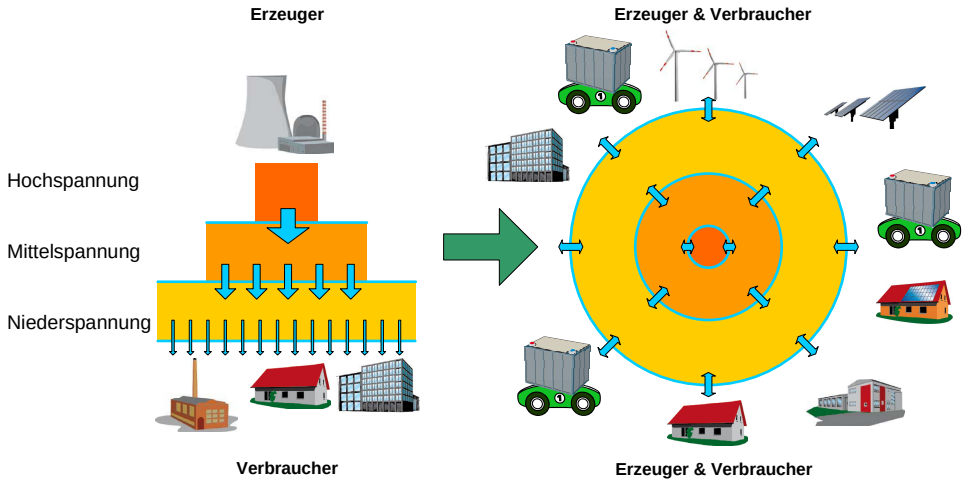
© Fraunhofer ISE

3.4 Schlussfolgerungen und Trends

- Trend zu transformatorlosen Schaltungen
  - aus dem PV-Bereich bekannte Lösungen (AFI, Isolationsüberwachung)
- Trend zu höheren Ladeleistungen
  - AC-Ladesteckernorm (11 kW / 22 kW / 43 kW)
- Trend zu höheren Leistungsdichten
  - höhere Taktfrequenzen ermöglichen kleine Filter
  - aktive Kühlung (Wasser)
- Optimum zwischen Wirkungsgrad, Leistungsdichte und Kosten

© Fraunhofer ISE

4. Power Quality und Elektromobilität



© Fraunhofer ISE

Änderung der Netzstruktur von Top-Down hin zu dezentraler Einspeisung und Verbrauch

ELektromobilität und damit die mobilen Speicher bringen zusätzliche Komponente ins Niederspannungsnetz

Möglichkeit der Speicherung von fluktuierender Erzeugung aus Erneuerbaren Energien

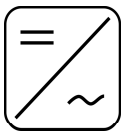
Batteriespeicher

- V2G Speicherpotential in Deutschland [1] **38 GWh**
- V2G Speicherleistung in Deutschland [1] **13 GW**
- hoher Speicherwirkungsgrad von Li-Ionen-Akkus abhängig von der Strombelastung **bis 98 %**

[1] 4,6 Mio. Fahrzeuge (10% -DE); 10 kWh Batteriespeicher; 3,5 kW Lade-/Entladeleistung; 20 h/d verfügbar

Leistungselektronik Lade- / Entladegerät

- hohe Ladeleistungen **3,5 – 22 kW**
- hohe Leistungsdichten (onboard) **> 2 kW/l**
- Power Quality - Funktionen



Stromnetz

- konventionelle Kraftwerksleistung wird durch fluktuierende erneuerbare Energien ersetzt
- zusätzliche Speicherkapazitäten sind notwendig
- Netzstützende und Netzbildende Funktionen der konventionellen Kraftwerke müssen ersetzt werden

© Fraunhofer ISE
Fraunhofer ISE

Das Potential von Elektrofahrzeuge als Speicher ist sehr hoch.

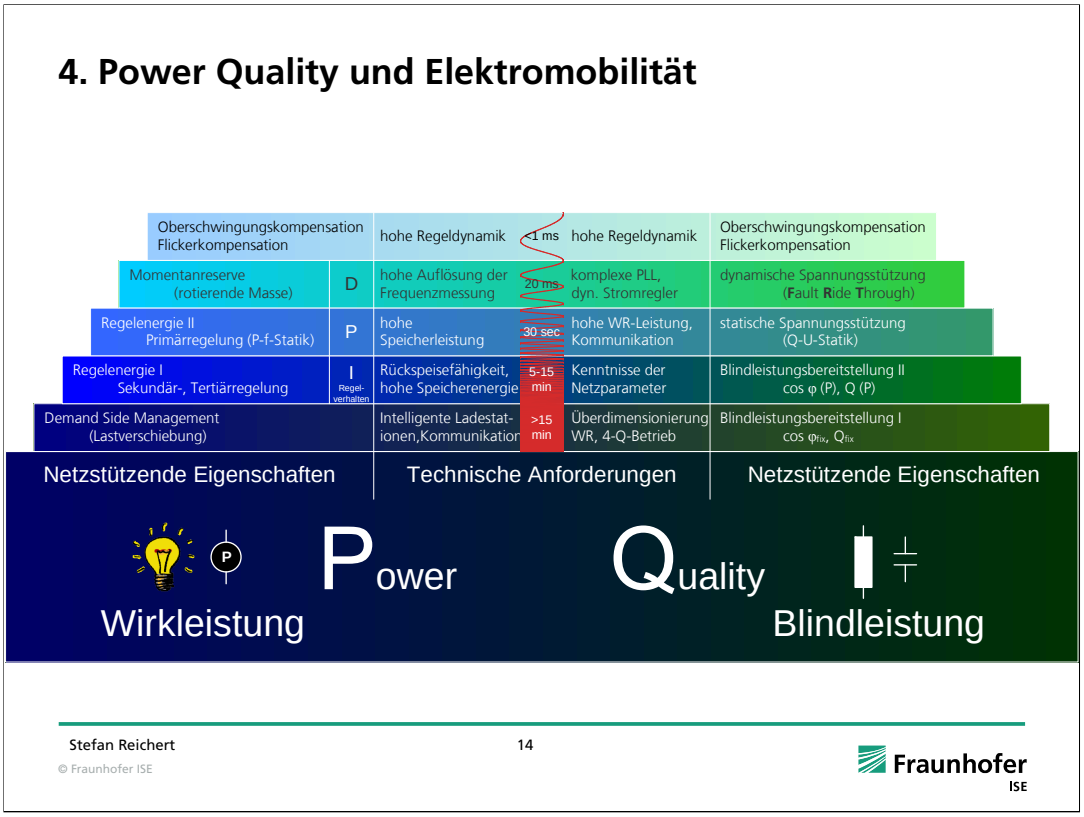
Speicherenergie:

10% Durchdringung in Deutschland entspricht der Energie der gesamten in DE installierten Punpspeicherkraftwerken

Speicherleistung:

10% Durchdringung in Deutschland entspricht 13 GW (zum Vergleich, Netzlast in DE beträgt 40-80 GW)

Hoher Speicherwirkungsgrad ermöglicht “kostengünstige” Zwischenspeicherung



Konventionelle Kraftwerksleistung (Kohle, Atomenergie, usw.) wird durch fluktuierende Erneuerbare ersetzt

Netzstützende und Netzbildende Eigenschaften dieser zentralen Kraftwerken müssen ersetzt werden

Netzstützende Eigenschaften und die dafür erforderlichen technischen Anforderungen sind in der „Power Quality Pyramide“ dargestellt

Links: Netzstützende Eigenschaften mit Hilfe von Wirkleistung

Rechts: Netzstützende Eigenschaften mit Hilfe von Blindleistung

Verschieden Level werden nach der Aktivierungszeit unterschieden (>15min, 5-15min, 30sec, 20ms, <1ms)

1. (>15min) Demand Side Management
   Blindleistungsbereitstellung I cos phi fix und Q fix
2. (5-15min) Bereitstellung von Regelenergie
   Blindleistungsbereitstellung II cos phi (P) und Q (P)
3. (30sec) Primärregelung P(f)-Statik
   statische Spannungsstützung Q(U)-Statik
4. (20ms) Momentanreserve durch rot. Massen
   dynamische Spannungsstützung FRT
5. (<1ms) Oberschwingungskompensation und Flickerkompensation

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

stefan.reichert@ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE