



Technische
Universität
Braunschweig

IMAB

Institut für Elektrische Maschinen,
Antriebe und Bahnen
TU Braunschweig
- Professur Leistungselektronik -



Modulare hocheffiziente Leistungselektronik für Erzeuger-Speicher-Systeme mit Schnellademöglichkeit

Prof. Dr. Regine Mallwitz, M.Sc. Tobias Fricke, M.Sc. Florian Lippold, M.Sc. Cengiz Uzlu

efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

Braunschweig, 19.02.2019



NIEDERSÄCHSISCHES
FORSCHUNGSZENTRUM
FAHRZEUGTECHNIK

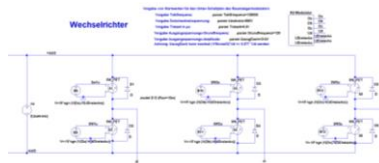
Modulare hocheffiziente Leistungselektronik für Erzeuger-Speicher-Systeme mit Schnellademöglichkeit

- Vorstellung der AG Leistungselektronik am IMAB
- Modulare hocheffiziente Leistungselektronik
 - im Verbundvorhaben NetProsum2030
 - Motivation und Aufgaben
 - Systemansatz
 - Ansatz und Umsetzung der Leistungselektronik
- Zusammenfassung und Ausblick

Die AG Leistungselektronik am Institut für elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen (IMAB) arbeitet an folgenden Themen:



Applikationsbeispiele



(1) Neue Anwendungsgebiete

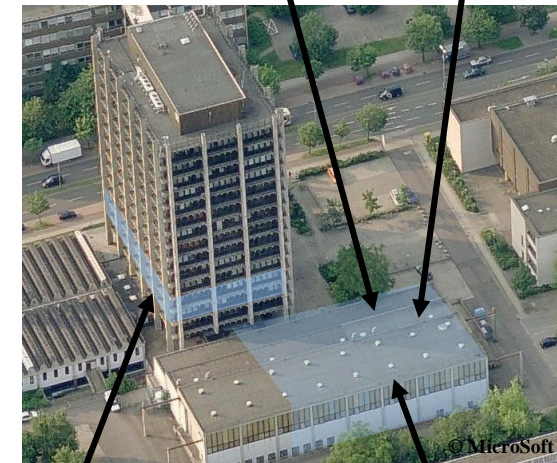
- **Antriebe und Hilfsstromversorgungen** für Industrieantriebe, Elektrofahrzeuge, Flugzeuge (BMW-Förderprojekte: Ide³AL, ARIEL; Exzellenz-Initiative: SE²A)
- **Ladung und Betrieb von Batterien** in Elektrofahrzeugen und Micro Grids (Industriekooperationen, BMW-Förderprojekt: Netprosum2030)
- **Regenerative Energiesysteme** einschließlich Speicheranbindung in Netzen (BMW-Förderprojekt: Netprosum2030)

(2) Optimierung leistungselektronischer Wandler und deren Bauelemente

- Steigerung von Effizienz, Zuverlässigkeit, Lebensdauer, Kompaktheit (Reduktion von Gewicht, Volumen, Materialeinsatz)
- Bewertung von Systemkonzepten, Topologien, Filtern, Bauelementen (aktiv, passiv) durch methodischen Vergleich
- Analytisch, numerisch, experimentell



Leistungselektronik- Werkstatt
Labore

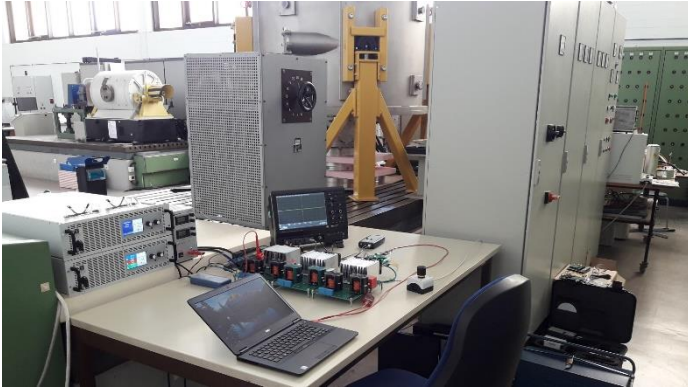


Büros

Maschinenhalle

www.imab.de

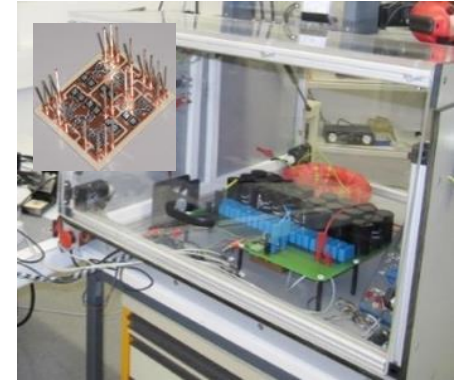
Die AG Leistungselektronik am IMAB ist umfangreich ausgestattet:



Blick in die Maschinenhalle



Eines der Leistungselektronik-Labore



Beispiele für Bauelemente-Prüfstände

- Mehr als **660 m² Laborfläche** beherbergen
 - Equipment für Aufbau, Betrieb, Test und Optimierung von
 - **leistungselektronischen Wandlern (bis 500 kW)**
 - elektrischen Maschinen (bis 300 kW)
 - sowie **Prüfstände für die elektrische und thermische Charakterisierung von leistungselektronischen Komponenten** wie
 - Leistungshalbleiter,
 - magnetische Bauelemente (HF-Übertrager, Speicher- und Filter-Drosseln).



Ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Rahmen der Forschungsförderung des BMWi im 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“:

Kompakte modulare Wandler und optimierte Systemlösungen zur Energieflusssteuerung für **NET**zdienlichen **PROSUM**er **2030** mit HV-Fahrzeugbatterien

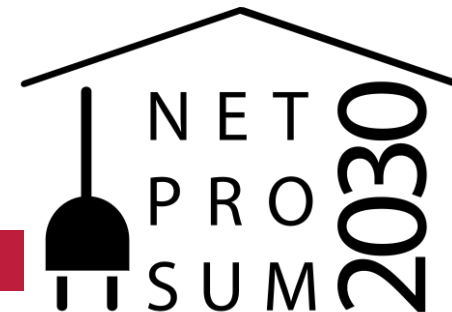
Gefördert durch:



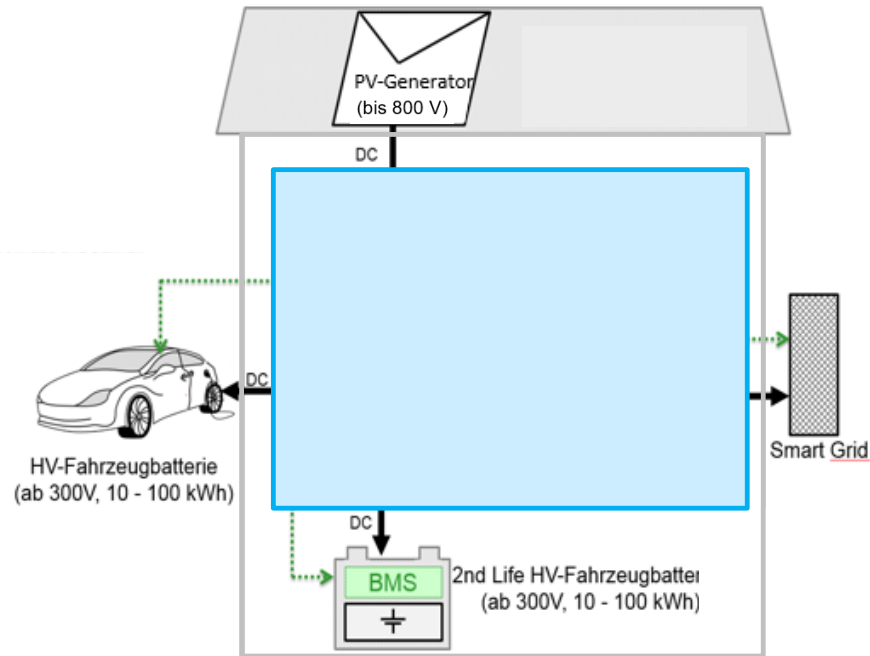
Gesamtvolumen: 5 Mio. Euro
Fördervolumen für TU BS: 2 Mio. Euro
Start: 1.9.2017, Laufzeit: 3 Jahre

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Braunschweig 19.02.2019

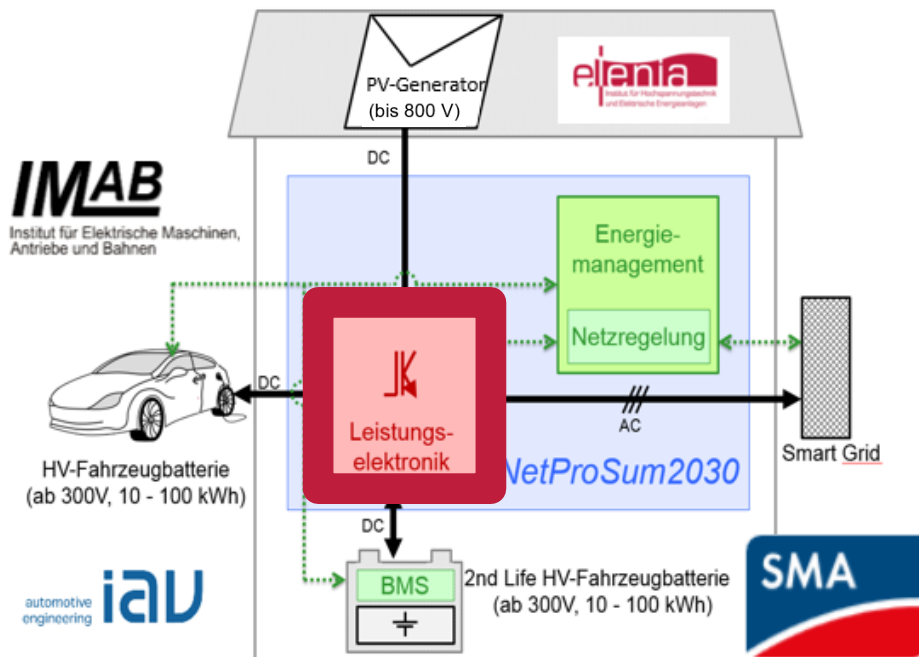


Die übergeordnete Motivation für das Verbundvorhaben Netprosum 2030 liegt in:

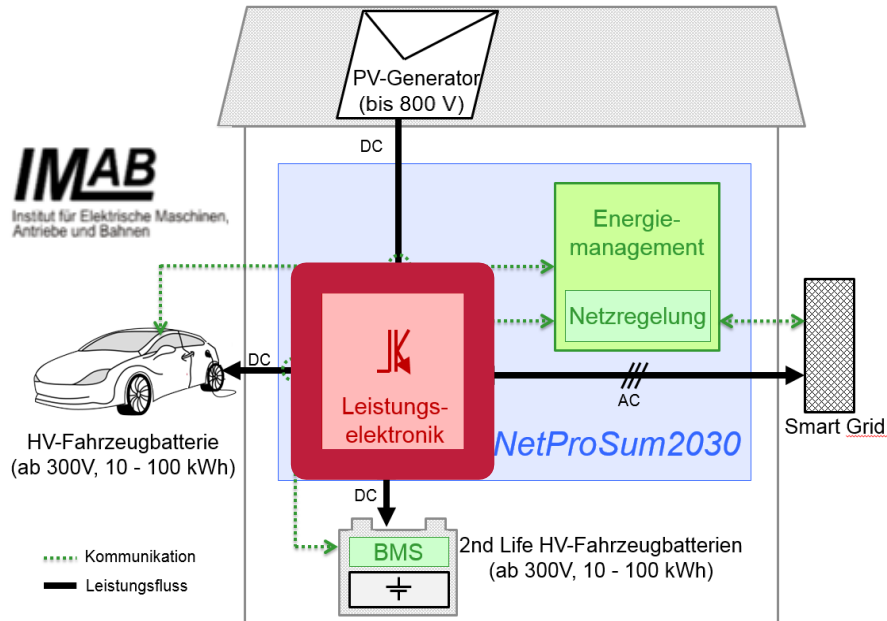


- (1) Sicherstellen der Versorgungssicherheit bei hohem Anteil von Elektromobilität
- (2) Netzdienlichen Gesamtsystem-Lösungen
- (3) Kostenreduktion für die Leistungselektronik
- (4) Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Betriebs über die gesamte Lebensdauer
- (5) Nutzung von HV-Fahrzeuga-batterien in stationären Systemen
- (6) Erhöhung der individuellen Versorgungssicherheit, des solaren Deckungsgrads und Zukunftssicherung des Systems

Gemeinsam mit starken Industriepartnern wird an vier Schwerpunkten gearbeitet:



1. „Endgültiges“ Netzsystemverhalten für Net-Prosumer kleinerer und mittlerer Leistung
(*elenia und IAV*)
2. 2nd-Life-HV-Fahrzeugbatterie als stationäre Speicherlösung
(*elenia/PTB*)
3. Bidirektionaler 2nd-Life HV-Batterie-Wechselrichter für Net-Prosumer
(*SMA*)
4. Neue, multifunktionale, hochkompakte und hocheffiziente Leistungselektronik-Einheit für Net-Prosumer
(*IMAB, IAV und SMA*)



>> „Kombi-Wechselrichter“

führt alle elektrischen Energieflüsse zwischen:

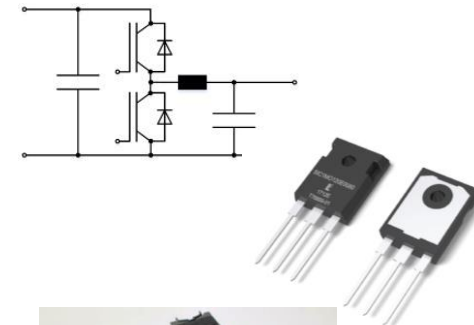
- dreiphasigem AC-Netz sowie DC-Quellen (PV-Generator, stationäre HV-Batterie)
- Lasten (HV-Fahrzeugbatterie, Haushalt)

>> NEU:

- eine kompakte, effiziente und kostengünstige Leistungselektronik-Einheit
- multifunktional
- schieflastfähig (Versorgung ein- und dreiphasiger Lasten im Haushalt)
- Inselnetzbetrieb (Versorgungssicherheit)
- netzdienlich (Blindleistungsbereitstellung)

>> DURCH:

- effiziente Topologien
- Mehrfachnutzung von Baugruppen
- neuartige, schnell schaltende Halbleiter

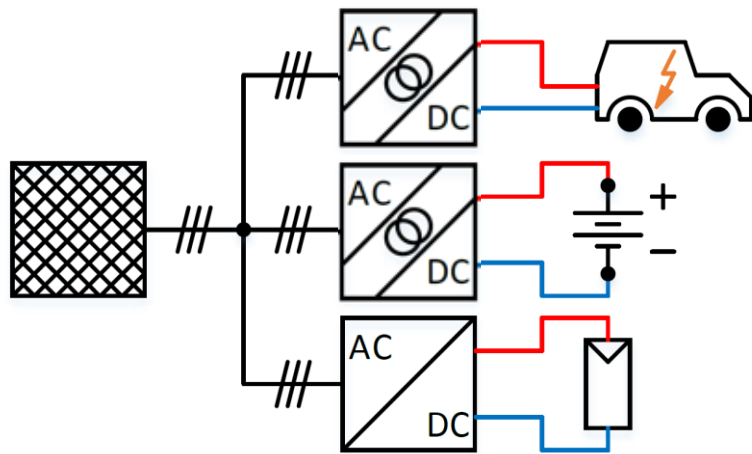


>> ZIEL:

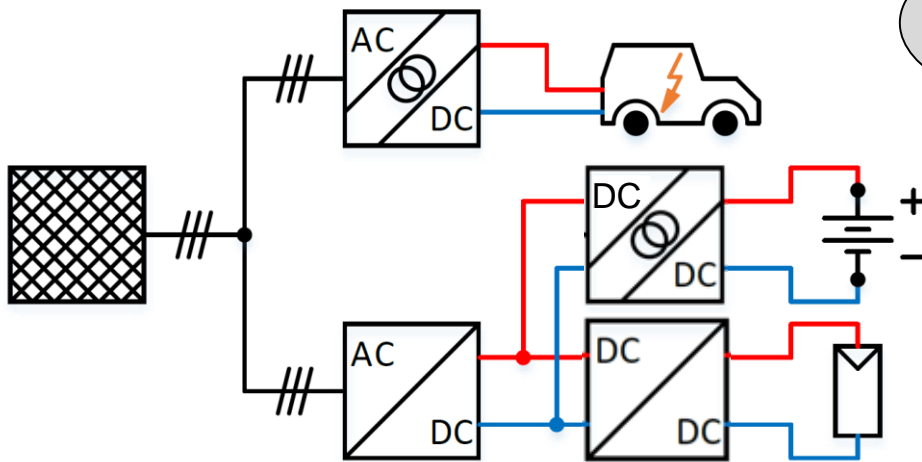
- **Funktionsfähiger Demonstrator**



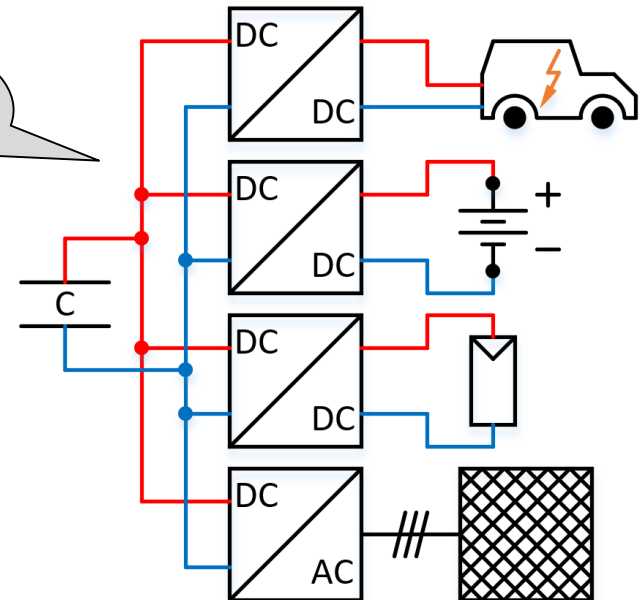
System-Konzept



- **AC-Kopplung** von diskreten Stromrichtern ist gebräuchlich:
 - + optimierte Wandler (Funktion, Leistung)
 - keine Modularität
- **DC-Kopplung** bietet Vorteile:
 - + weniger (unterschiedliche) Wandlerstufen
 - + höhere Effizienz im Teillastbereich



Potential für Modularität



Leistungselektronik-Konzept

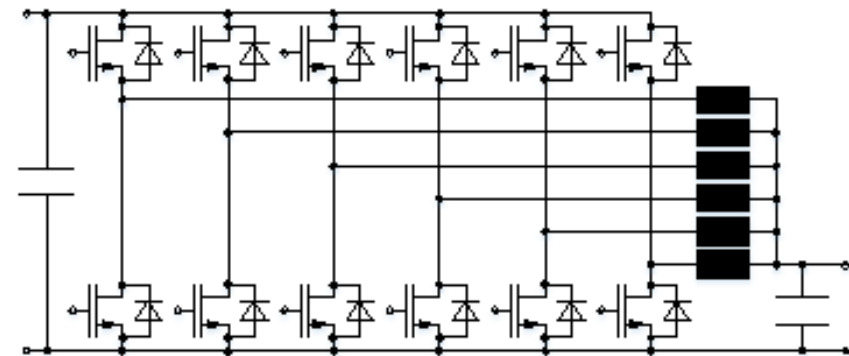
Anforderungen:

- multifunktional
- weiter Ein-/Ausgangsleistungsbereich: wenige 100 W bis 20 kW
- Bidirektionalität (aufgrund Speicher)
- Zwischenkreisspannung: 800 V
- Ein-/Ausgangsspannung: 300 V bis 800 V
- hoher Wirkungsgrad bei optimaler, hoher Schaltfrequenz
- ein- und dreiphasige Hauslastversorgung
- modularer Aufbau

Ansatz:

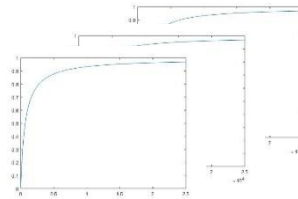
- mehrphasiger Synchronwandler
- transformatorlos
- SiC als Leistungshalbleiter
- abschaltbare Halbbrücken

<i>Converter</i>	<i>Expected Power</i>	<i>Input Voltage Range</i>
Photovoltaic	10 kW _p	300 – 800 V
Battery	20 kW	300 – 800 V
Electric Vehicle	20 kW	300 – 800 V
Grid	20 kW	300 – 800 V



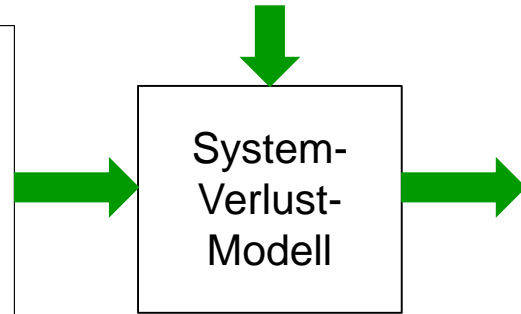
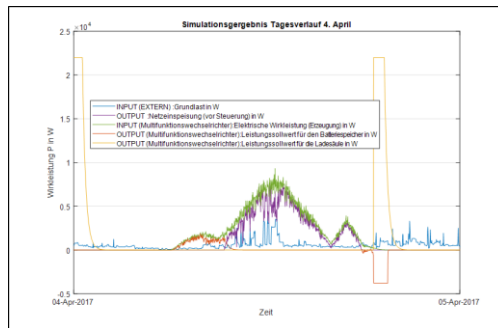
Optimale Leistungsmodulgröße in Bezug auf Wirkungsgrad und Ausnutzung der Halbleiter

- Jeder Wandler arbeitet häufig im Teillastbetrieb:



Wirkungsgrad-Kennlinien Synchronwandler (Verlustmodelle)

Lastprofil Haushalt (4P)



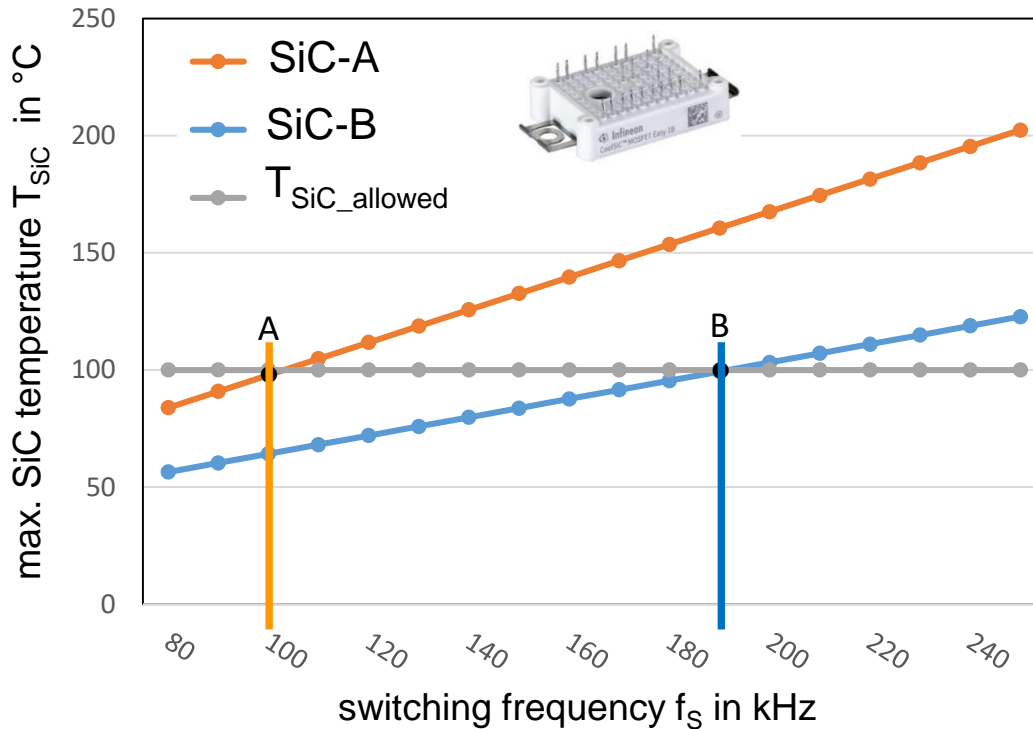
$$\bar{\eta} = \frac{1}{525600} \sum_{n=1}^{525600} \eta_n(P_{Modul})$$

Schwelle 10W, Speicher 10kWh, 4 Personen (P22)

PV	Vin=800V, Vout=600V	<10kWp	1*10	0.9839	3,5*3	0.9688	7*2	0.9536	10,5*1	0.9381	21*1	0.8990	8+2	0.9785	6+4	0.9686
EV laden	Vin=600V, Vout=400V	20kW	1*20	0.9864	3,5*6	0.9668	7*3	0.9304	10,5*2	0.8951	21*1	0.8111	18+2	0.9580	16+4	0.9368
Batt laden	Vin=600V, Vout=400V	20kW	1*20	0.9799	3,5*6	0.9601	7*3	0.9355	10,5*2	0.9141	21*1	0.8624	18+2	0.9707	16+4	0.9568
Batt entladen	Vin=600V, Vout=400V	20kW	1*20	0.9867	3,5*6	0.9723	7*3	0.9487	10,5*2	0.9263	21*1	0.8684	18+2	0.9752	16+4	0.9629
Grid einpeisen	Vin=600VDC, Vout=400VAC	20kVA	1*20	0.9496	3,5*6	0.9153	7*3	0.8844	10,5*2	0.8461	21*1	0.7545	18+2	0.8914	16+4	0.9172

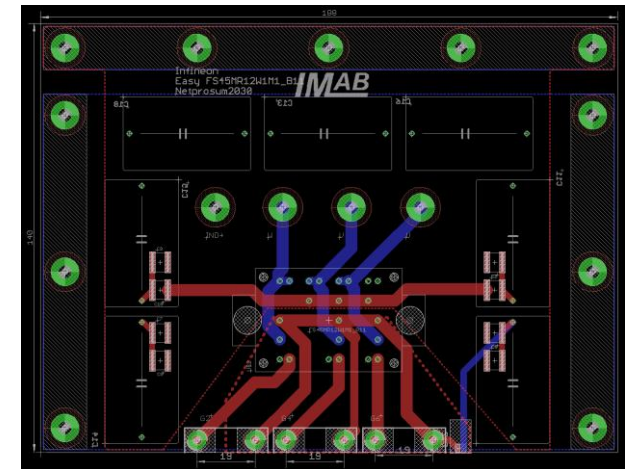
- Ermittlung der optimalen Leistungsmodulgröße für die einzelnen Wandler durch Variation der Modulgröße und Bestimmung der zugehörigen Effizienz-Jahresmittelwerte für PV, stationäre Batterie, mobile Batterie (EV) und Netz (Grid) → 3,5 kW – Grundeinheit ist optimal!

Verluste der Leistungshalbleiter und optimale Schaltfrequenz



Parameter	SiC-B	SiC-A
Pout [W]	3500	3500
Vin in [V]	800	800
Iout in [A]	11,67	11,67
Eon [mJ] @ IN=20A; UN=600V	0,37	0,5
Eoff [mJ] @ IN=20A; UN=600V	0,035	0,2
Coss in [pF]	110	80
Qg in [nC]	62	110
Vgs in [V]	20	20
Vsd in [V]	4,6	1,4
Totzeit in [ns]	100	100
Rds,on @ 100 °C in [mOhm]	0,066	0,124
Vout in [V]	300	300

- Auslegung des Kühlkonzeptes auf maximale Verlustleistung
- maximale Verluste bei 300 V Ausgangsspannung
- Verluste begrenzen die Schaltfrequenz
- Schaltfrequenz bis 185 kHz möglich!



Induktivität der Synchronwandler und optimale Schaltfrequenz

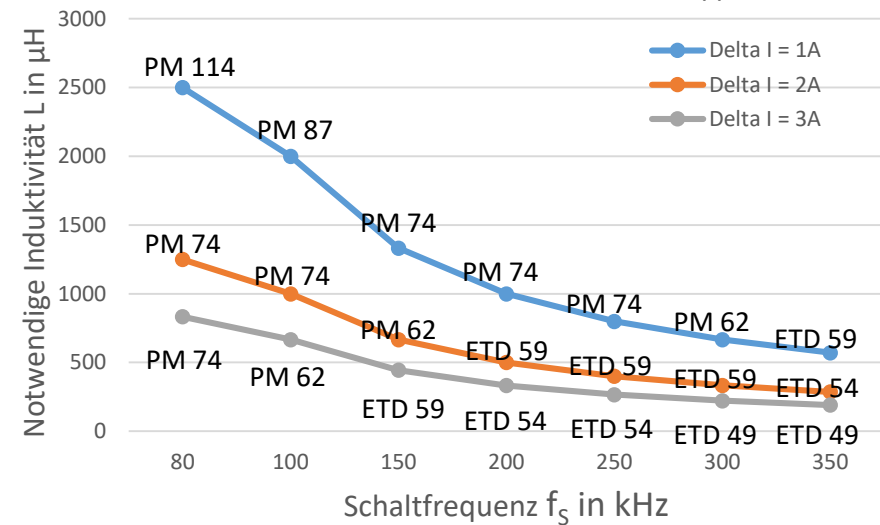
Induktivität mit Pulver-Ringkern (XFLUX) und Draht

$N=1111$, $L_{\min} = 620\mu\text{H}$, $P_{\text{Verlust}} = 21,4\text{W}@110\text{kHz}$, $\varnothing = 65,5\text{mm}$, $h=22,4$



Induktivitätswerte für Ferrit (N97 bzw. N87):

$D = 0,5$ (Tastgrad), Lückfreier Betrieb, 3,5 kW Ausgangsleistung, 15 A Drosselstrom, 35 % Füllfaktor, 1 bis 3 A Stromrippel



- Für hohe Schaltfrequenzen sind verschiedene magnetische Kerne aus unterschiedlichen Materialien (Ferrit, Pulver) und Formen (PM, ETD, Ring) geeignet
- Die Windungen können unterschiedlich ausgeführt sein (Draht, Litze, Folie)
- Forderung nach geringen Verlusten und guter Entwärmbarkeit bei kleinem Volumen
- Optimierungsproblem!

Zusammenfassung und Ausblick

■ Dimensionierung der Leistungselektronik

- ✓ Optimum Bauelemente-Verluste
- ✓ Regelungskonzept
- Konzept Ableitströme, Filter
- Systemkonzeptvergleiche

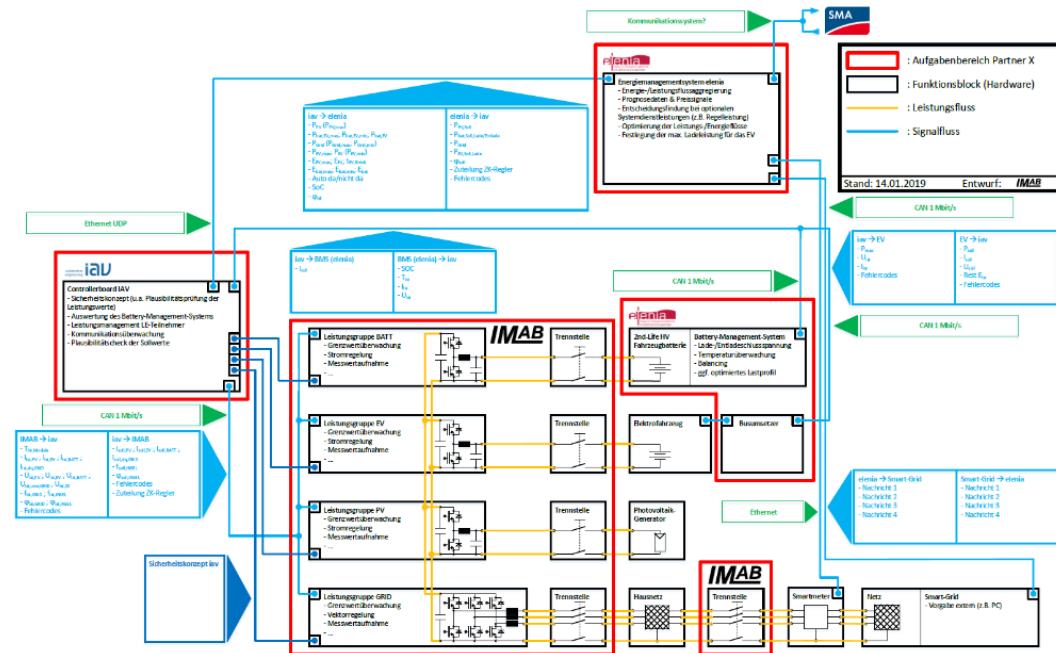
■ Umsetzung von Demonstratoren

- ✓ Passive Bauelemente
- ✓ Aufbaukonzept incl. Kühlung
- Schaltplan und Layout (Leistungselektronik, Controllerboard)
- Umsetzung Regelung in Software

■ Aufbau und Inbetriebnahme Prüfplatz

- ✓ Sicherheitskonzept
- ✓ Infrastruktur
- Funktionstests mehrphasiges Leistungsmoduls

■ Abstimmung mit den Projektpartnern



Modulare hocheffiziente Leistungselektronik für Erzeuger-Speicher-Systeme mit Schnellademöglichkeit

▪ Eingereichte Veröffentlichungen:

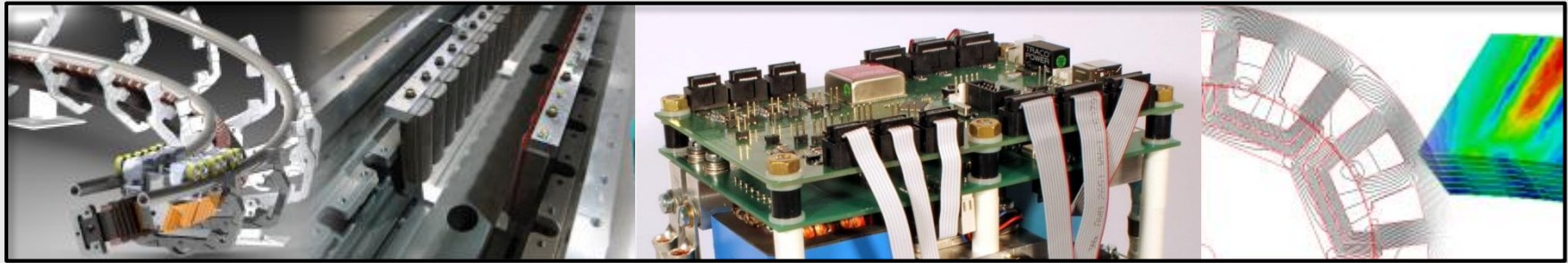
- ✓ Fricke, Tareilus, Mallwitz: Simulation der Zwischenkreisregelung eines DC-gekoppelten Erzeuger-Speicher-Systems mit Schnellademöglichkeit. ASIM-Workshop 2019, Braunschweig.
- Fricke, Lippold, Uzlu, Mallwitz: A DC coupled compact converter system connecting renewable energy sources and batteries in residential application. Conference on Compatibility, Power Electronic and Power Engineering – CPE-Powereng 2019, Sønderborg.

Herzlichen Dank an die IMAB-Mitarbeiter M. Sc. Tobias Fricke, M. Sc. Florian Lippold, M. Sc. Cengiz Uzlu für die geleistete Arbeit.



Technische
Universität
Braunschweig

IMAB Institut für Elektrische Maschinen,
Antriebe und Bahnen
TU Braunschweig



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Prof. Dr.-Ing. Regine Mallwitz (Leistungselektronik)

M: r.mallwitz@tu-braunschweig.de

T.: + 49 (0)531 3913901

www.imab.de