



Institut für
Antriebssysteme und
Leistungselektronik



Leibniz
Universität
Hannover

Freiheitsgrade und Forschungsaspekte in der Elektrifizierung von Flugzeugen

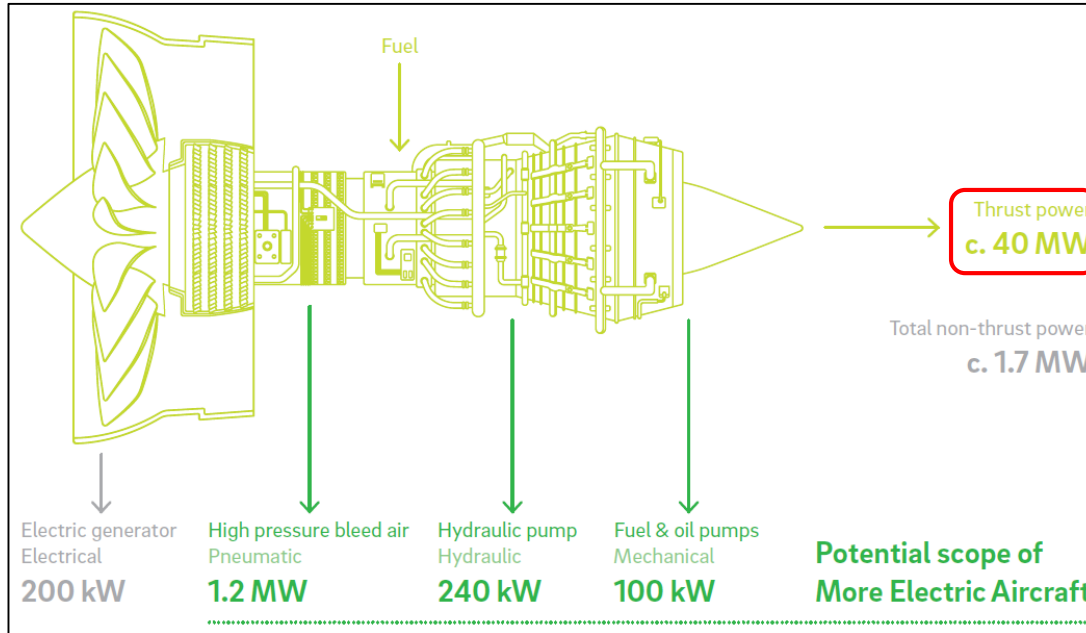
EFZN-Forschungstag – 19.02.2019



Übersicht

- Elektrifizierung - Stand der Technik - Elektrifizierungsgrad
- Arten der Elektrifizierung, Vergleich PKW
- Forschungsaspekte und Schnittstellen zu anderen Anwendungen

Elektrifizierung



All Electric Aircraft



Boeing B-29

PENETRATION OF ELECTRICAL SYSTEMS BY AIRCRAFT TYPE
Many aircraft now employ electric systems, and/or a mix of hydraulic and electric systems.

	Boeing 737	A380	Boeing 787	A350	F-35 JSF
Environmental Control System	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F
Flight Control System	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F
Landing Gear	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F
Wheels & Brakes	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F
Ice Protection	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F
Thrust Reverser	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F	E H P F

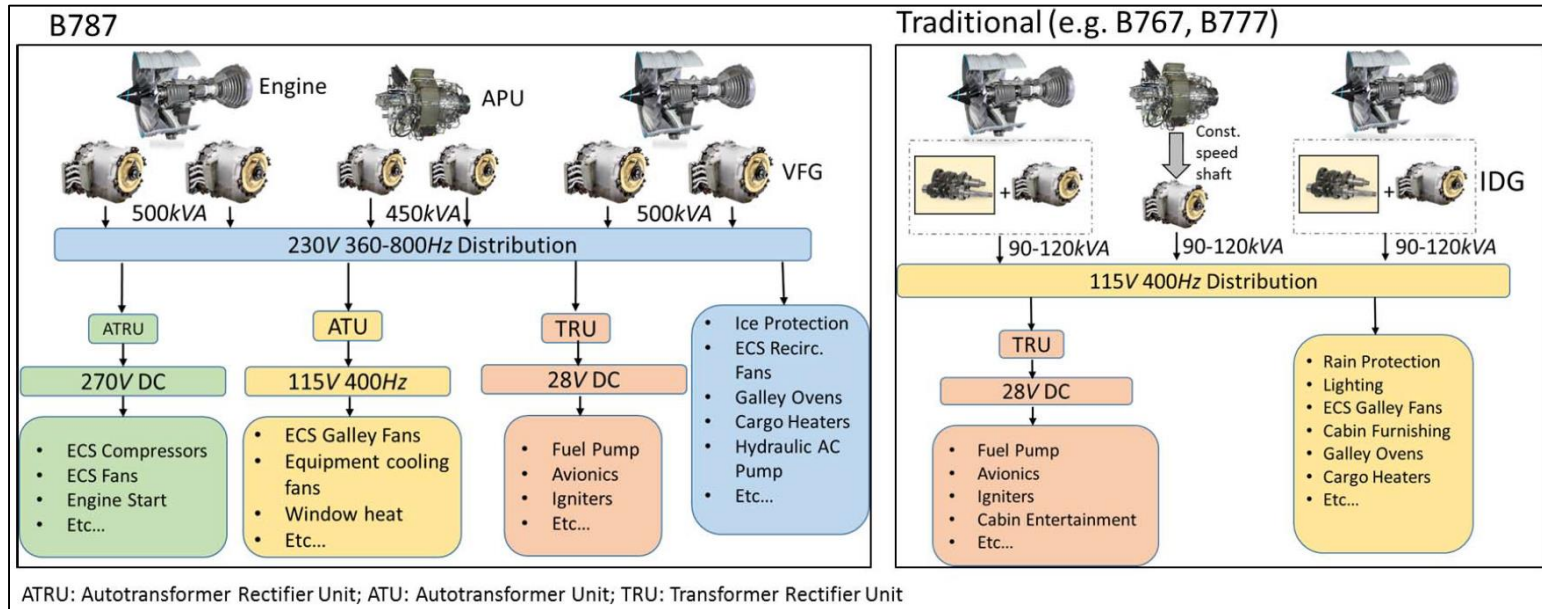
E Electric
 H Hydraulic
 P Pneumatic
 F Fuel

Thomson, R.; et al: Aircraft Electrical Propulsion – The next Chapter of Aviation? – It is not a question of if, but when, Roland Berger, 2017, <https://www.rolandberger.com/en/Publications/New-developments-in-aircraft-electrical-propulsion.html>

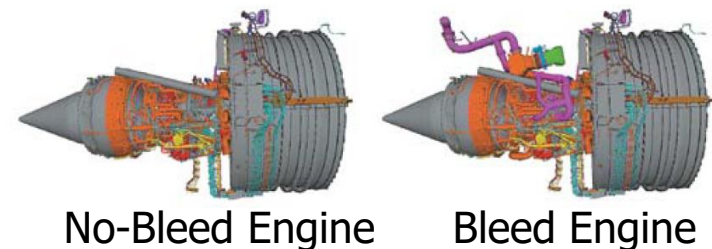
Abbildung Elona Gay, Wikipedia, Boeing B-29, [https://de.wikipedia.org/wiki/Boeing_B-29#/media/File:Enola_Gay_\(plane\).jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Boeing_B-29#/media/File:Enola_Gay_(plane).jpg)

Electric Distribution System

■ B787 vs. Traditional

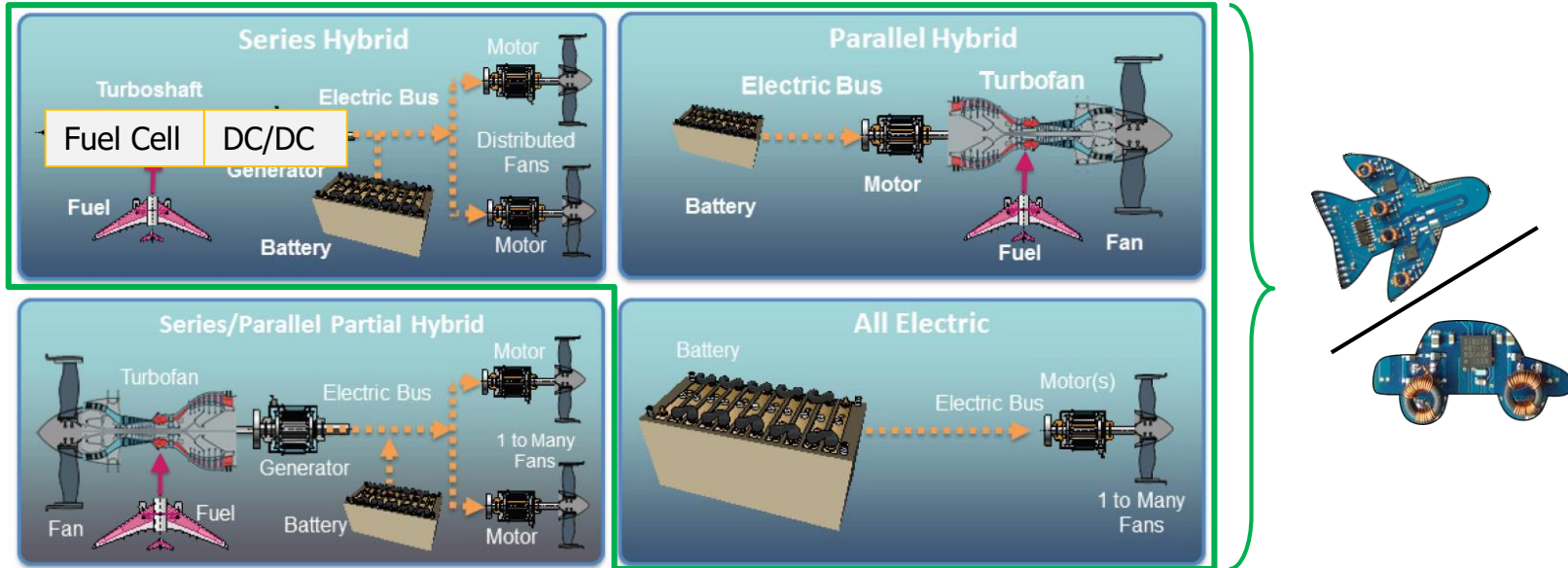


- Geringerer Wartungsaufwand
- Geringere Kosten
- Geringeres Gewicht
- Trend zu DC und höheren Spannungen



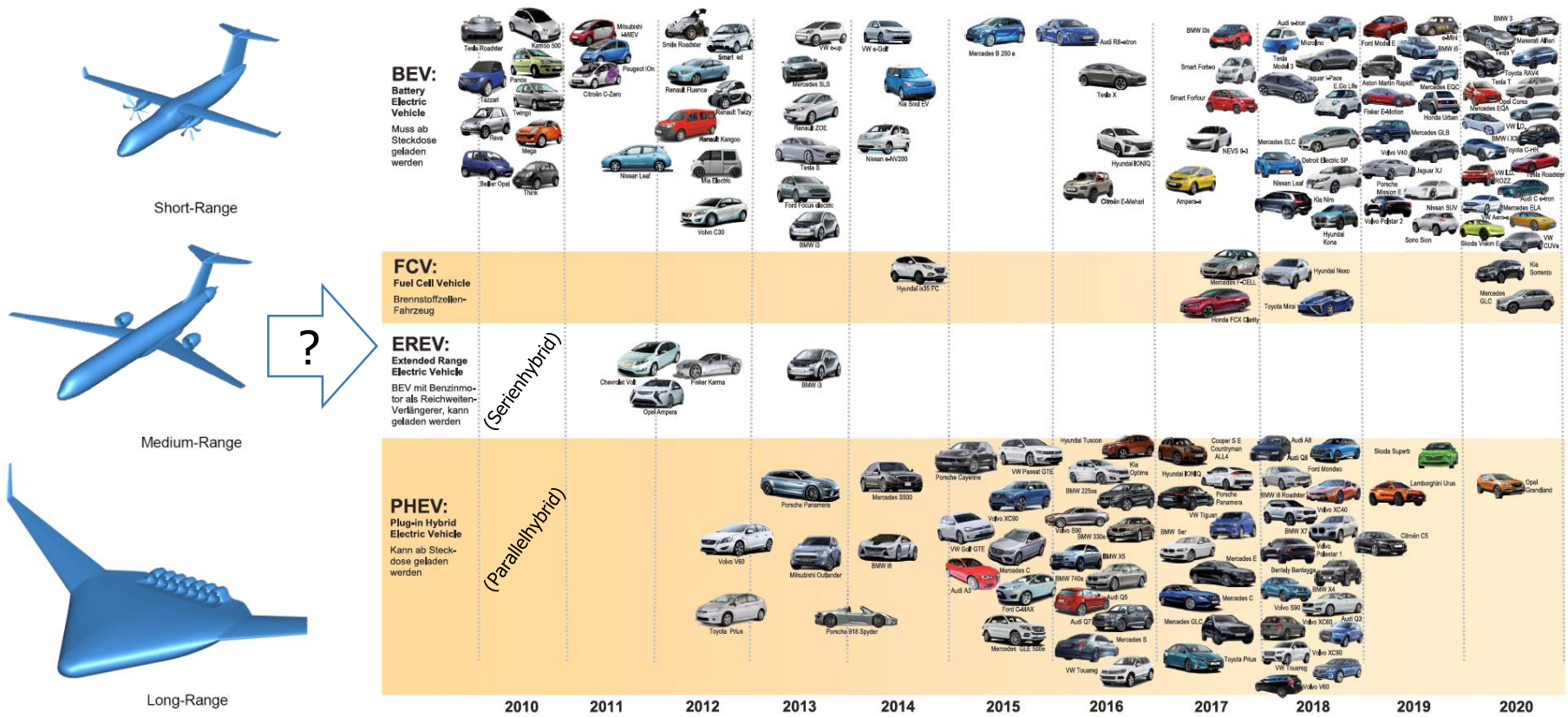
Elektrifizierung – Arten im Antrieb

- Verschiedene Konfigurationen denkbar, einige spez. für Flugzeuge



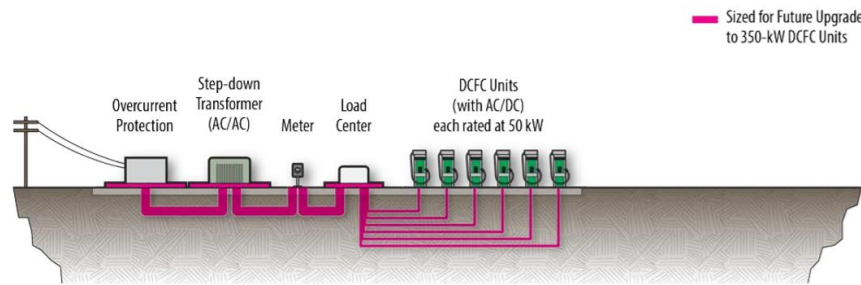
Flugzeugklassen, Vergleich PKW

- Grundsätzlich drei Klassen (BEV und FCV mit ähnlicher Elektrifizierung)

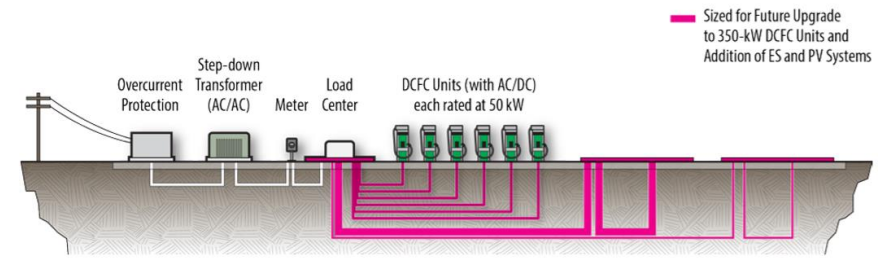


Infrastruktur – Fragestellungen ähnlich PKW?

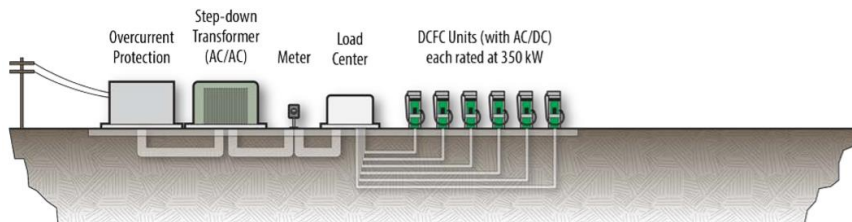
- Diverse Probleme beim Schnellladen von E-Autos, insbesondere Netzinfrastruktur



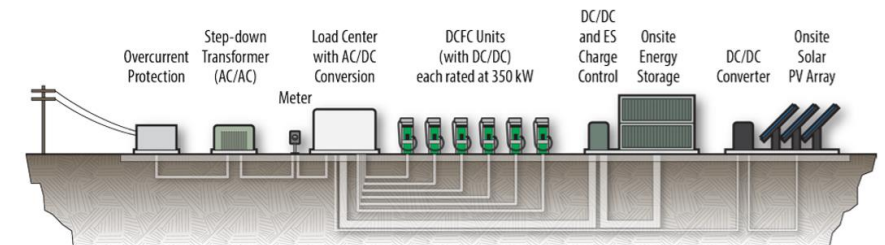
A) DCFC complex with 50-kW chargers and no ES and PV systems



A) DCFC complex with 50-kW chargers and no ES and PV systems at initial installation



B) DCFC complex with 350-kW chargers and no ES and PV systems



B) DCFC complex with 350-kW chargers and ES and PV systems

- Ähnliche Situation bei „E-Flugzeugen“?

Infrastruktur – Flächennutzung von Flughäfen

- Beispiel Flächennutzung für PV – Flughafen Neuhardenberg bei Berlin
- PV-Anlage
 - 145 MWp - 140GWh/a - 2,4 km²
 - Entspricht dem Verbrauch von ca. 48.000 Haushalten
- Batteriespeicher
 - 5 MW – 5 MWh
 - Primärregelleistung

- Nutzung nicht in Verbindung mit der Elektrifizierung von Flugzeugen



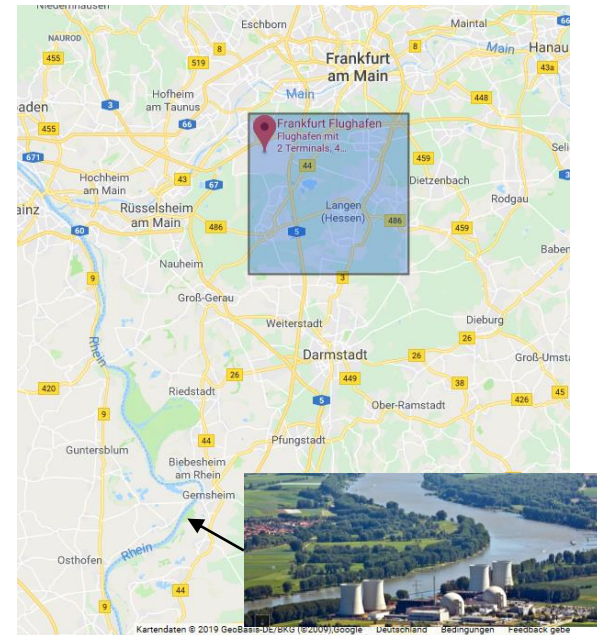
Infrastruktur – el. Erzeugung und Tanken/Laden

- Abschätzung Flughafen Frankfurt
 - Ca. 20 km² Fläche -> Annahme 50% (10km²) PV -> 600MWp / 580GWh/a
 - Kerosinbetankung pro Tag: ca. 15 Mio. L – 135GWh/Tag (bei 9kWh/L) – 50TWh/a
(*Flugverkehr Deutschland gesamt ca. 150TWh*)
 - Annahme: 30% Wirkungsgrad -> Bedarf von 15TWh/a
 - Ca. 4% des Energiebedarfs könnte durch PV auf dem Flughafengelände erzeugt werden.
 - Für 100% benötigte Fläche PV ca. 250km²
 - Alternativ Nuklear, z.B. Biblis reaktivieren?
- Elektrisches Laden:
 - Z.B. 5MWh Batteriekapazität (Short-Range)
 - 4x90kW „Ladestation“ -> 14h (vs. ca. 30min.)

Sidewinder®



Typical aircraft: Airbus A380, A340, A330, Boeing B787, B777, 747, B767, or power plants of a similar specification



Kerosinbedarf Flughafen Frankfurt über: <https://www.frapport.de/content/frapport/de/unternehmen/frapport/ueber-uns/zahlen--daten--fakten/technik/treibstoffversorgung.htm>
aufgerufen am 09.02.2019

Besamenergiebedarf Deutschland abgeschätzt über Passagieranzahl nach: <https://www.welt.de/motor/news/article154276064/Flughaefen-in-Deutschland.html>
aufgerufen am 09.02.2019

Abbildung Kraftwerk Biblis: <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/bund-strahlen-grenzwerte-luer-biblis-abbau-zu-hoch-13167021/bleibt-noch-auf-jaehre-reikt-12224236.html>
aufgerufen am 11.02.2019

Abbildung Sidewinder: Powervamp: Aviation Ground Power – Products and Services

Forschungsaspekte

Aircraft subsystem to be upgraded	Architecture and interconnect	Energy generation and storage	Electrical machines	Power electronics
Technology challenges in MEA subsystems				
Environmental control	Grey	Grey	Blue	Blue
Electric anti-icing	Blue	Blue	Blue	Blue
Starter / generator	Blue	Blue	Blue	Blue
Electro-mechanical actuation	Blue	Blue	Blue	Blue
More electric engine	Blue	Blue	Blue	Blue
Power distribution & protection	Blue	Blue	Blue	Blue
Fuel cells for non-critical power	Blue	Blue	Blue	Blue
Overall system power demands	Blue	Blue	Blue	Blue
Technology challenges in parallel hybrid propulsion subsystems (in addition to MEA)				
High-power motor / generator	Blue	Blue	Red	Red
Power sharing control	Blue	Blue	Red	Red
Battery	Blue	Red	Red	Red
Power distribution & protection	Blue	Blue	Blue	Blue
Overall system power demands	Blue	Red	Red	Red
Technology challenges in series hybrid propulsion subsystems (in addition to MEA)				
High-power generator	Blue	Blue	Blue	Blue
Power sharing control	Blue	Blue	Red	Red
Battery	Blue	Red	Red	Red
Fuel cell	Blue	Red	Red	Red
Propulsion motors (distributed)	Blue	Red	Red	Red
Power distribution & protection	Blue	Blue	Blue	Blue
Overall system power demands	Blue	Red	Red	Red
Technology challenges in electric propulsion subsystems (in addition to MEA)				
Battery	Blue	Red	Red	Red
Fuel cell	Blue	Red	Red	Red
Propulsion motors (distributed)	Blue	Red	Red	Red
Power distribution & protection	Blue	Blue	Blue	Blue
Overall system power demands	Blue	Red	Red	Red

Key: **Red** - major challenge, **Blue** - significant challenge, **Grey** - work required but risk manageable, **White** - N/A

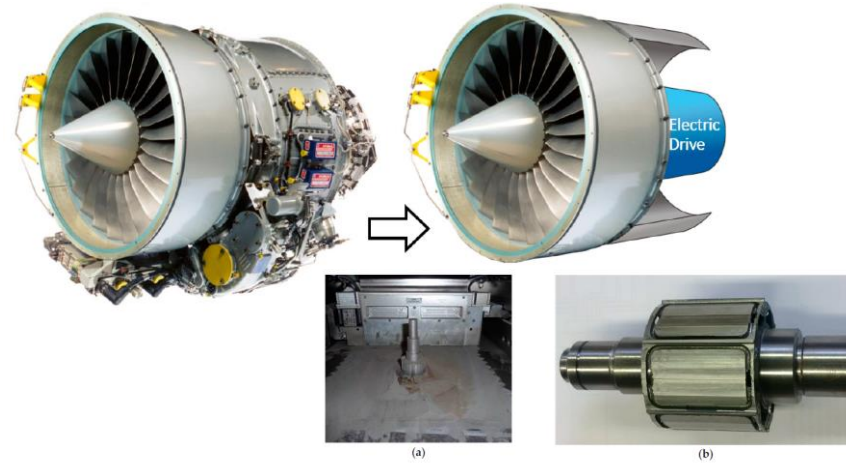
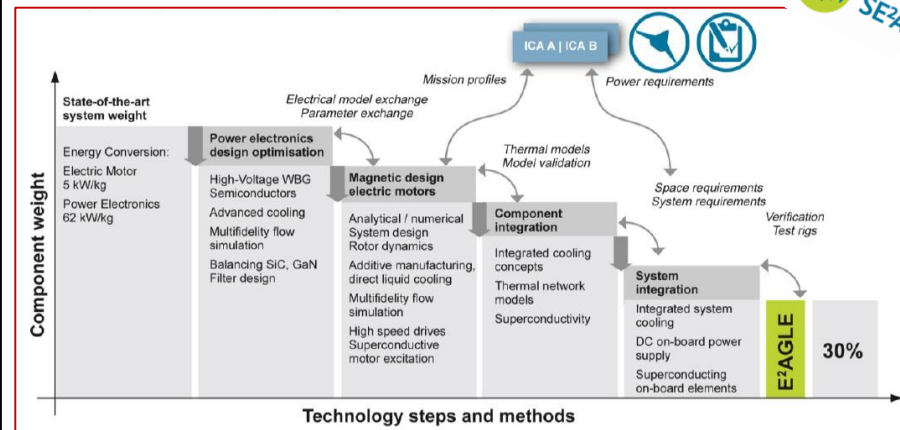
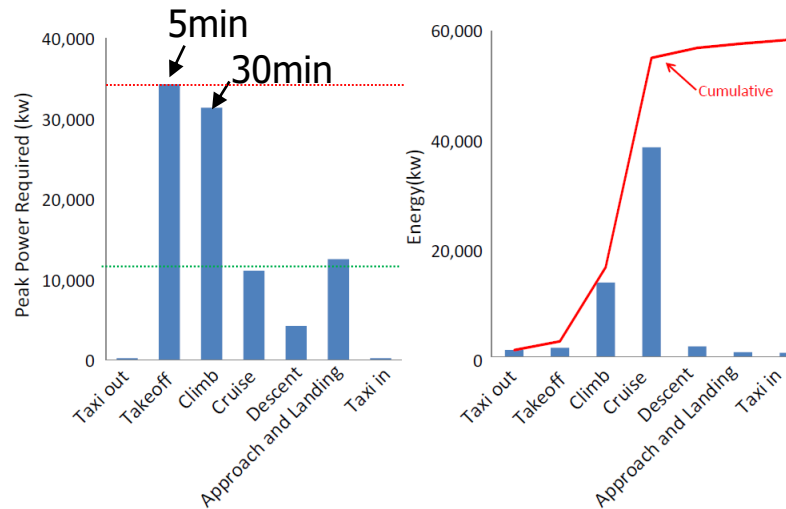


Figure 25. (a) Additive manufacturing process: rotor active part and shaft; (b) rotor active part and shaft fabricated by IAL and DMRC.



Forschungsaspekte

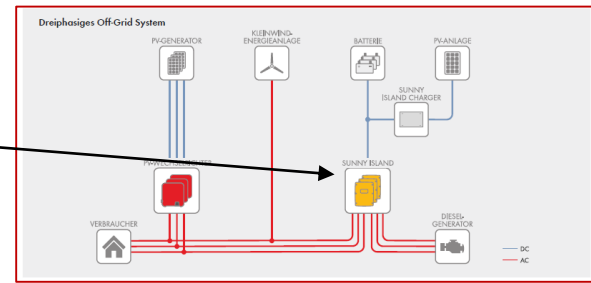
- Besonderheiten der Luftfahrt insbesondere im Leistungsprofil



Mission segment energy and power required for a representative 150-passenger single-aisle aircraft with 5556km design range flying a 1852km mission

- Auslegung der Elektrischen Maschinen und der Leistungselektronik mit hoher Überlastfähigkeit?

- LE: Inselnetzwechselrichter
- Ca. dreifache Überlast



Leistungselektronik - Auslegung

- Luftfeuchtigkeit / Kondensation
 - Ist als Schadensursache z.B. in Windkraftanlagen zu beobachten
 - Herausfordernde Fehlersuche

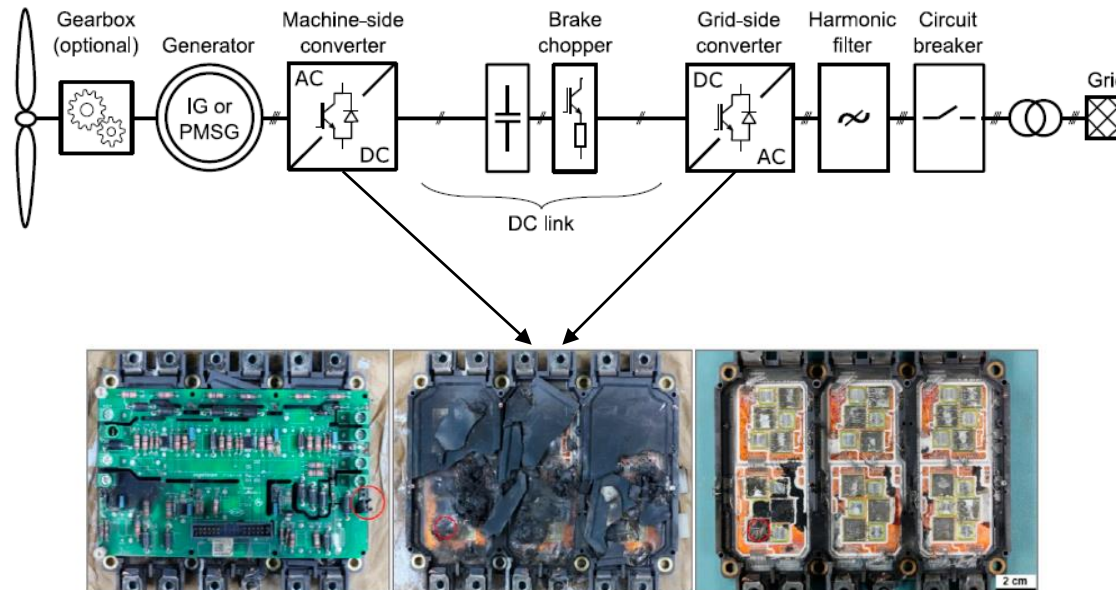


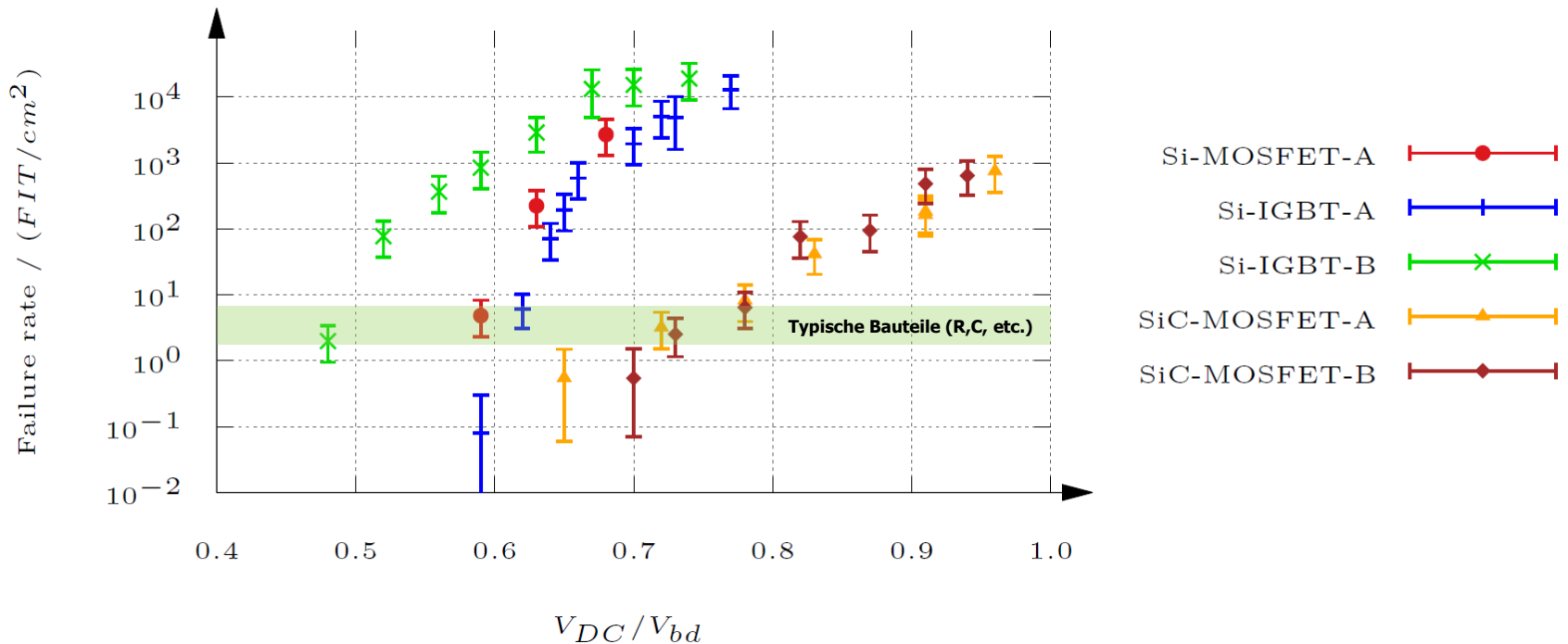
Figure 9. Destroyed IGBT module before (left) and after (center) removal of the circuit board as well as after removal of the silicone gel (right).

- Ähnliche Probleme bei Flugzeuganwendungen?

Leistungselektronik - Höhenstrahlungsfestigkeit

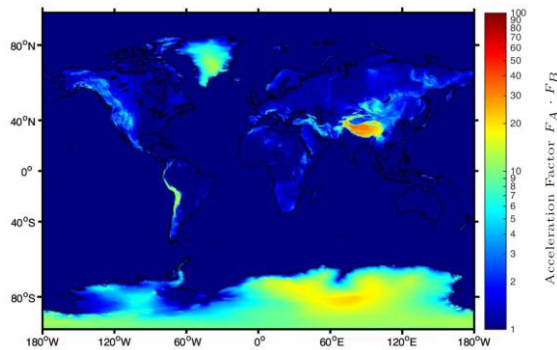
- Höhenstrahlungsfestigkeit von Leistungshalbleitern
 - Statistischer Ausfall, typischerweise in Failure in Time (FIT)
 - Ausfälle je 10^9 Stunden
 - Übliches FIT Niveau von Bauteilen zwischen 1 und 10

1. Neutron impact
2. Formation of a conductive channel
3. Self-heating in the plasma channel



Leistungselektronik - Höhenstrahlungsfestigkeit

- Höhenstrahlung ist abhängig von
 - Geomagnetischem Ort

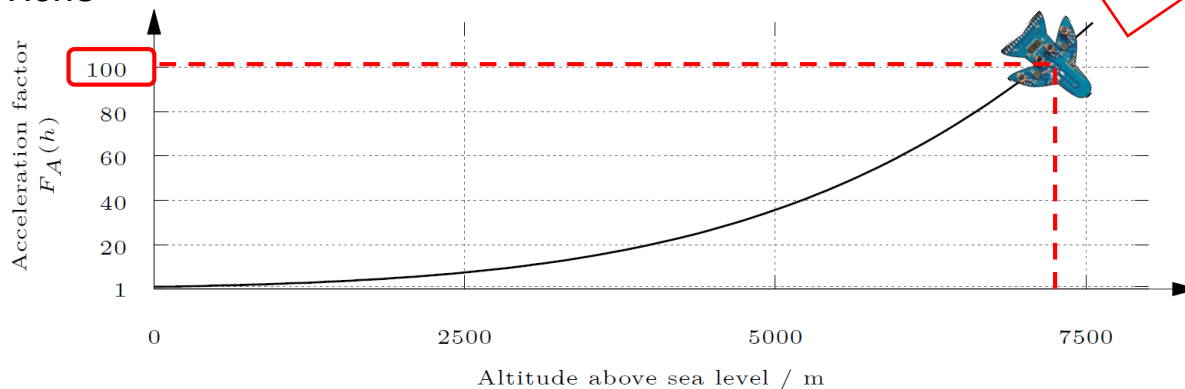


Inverter development for UAV

Inverter Data:

- Power: 14,5 kW_{cont.}
- Voltage: 200 V_{DC} – 350 V_{DC}
- 6-phase (2x3) inverter system with integrated precharge functionality for safe drivetrain reconfiguration
- Fail-operational design – part-load motor-operation with one 3-phase system possible
- Latest Silicon-Carbide Mosfets with 40% blocking voltage utilization for high robustness against cosmic radiation at high altitudes
- Passive air-cooled inverter body → no conventional cooling system

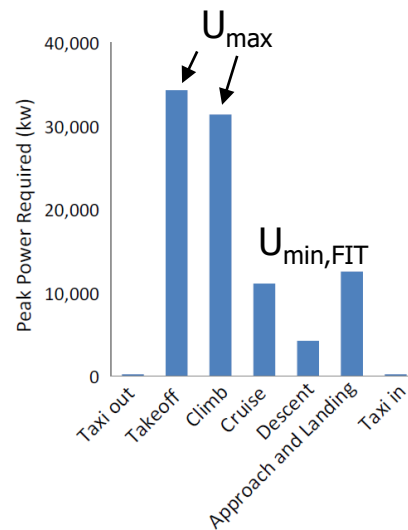
- Höhe



- Beispiel: 100cm² Leistungshalbleiter mit 10⁴ FIT/cm² -> Alle 10h ein Ausfall (1cm²)

Leistungselektronik - Höhenstrahlungsfestigkeit

- Mögliche Lösung?
 - Innerhalb Takeoff und Climb -> Anhebung der Boardnetzspannung für maximale Leistung
 - Während Cruise -> Absenkung auf ausreichend niedrige Spannung



- Fragestellungen
 - Auswirkungen auf Quellen und Senken?
 - Dynamik im Fehlerfall?
 - Auslegung der Leistungselektronik, Leistungshalbleiter?

Zusammenfassung und Ausblick

- Bereits signifikante Elektrifizierung realisiert (MEA)
- Neben Energy Generation und Storage insbesondere Untersuchungsbedarf zu
 - Elektrischen Maschinen
 - Umrichtertechnik für Boardnetz / Energieverteilung
- Systemische Ähnlichkeiten mit der Elektrifizierung von Kraftfahrzeugen
- Technologische Ähnlichkeiten mit Leistungselektronik für PV- und Windenergieanlagen



Institut für
Antriebssysteme und
Leistungselektronik



Leibniz
Universität
Hannover

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Email: Friebe@ial.uni-hannover.de
Tel: 0511-762-5346

