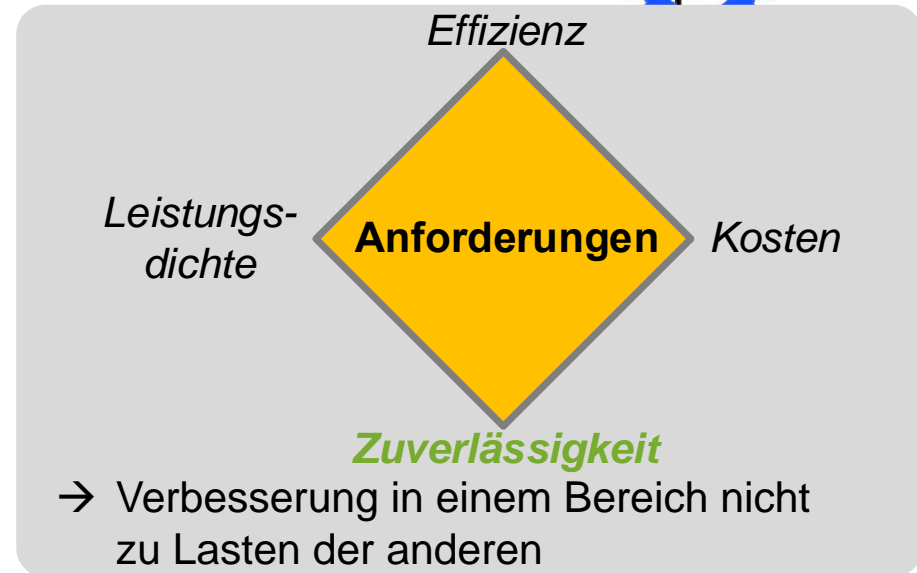


Fehlertolerante Leistungselektronik

Motivation



Zuverlässigkeit elektrischer Systeme

- Fehlertoleranz als Stellschraube
- Besonderheiten Leistungselektronik

Ausfallverhalten Halbleiterschalter

- Einfluss Aufbau
- Ideales Ausfallverhalten

Fehlertolerante Schaltungen

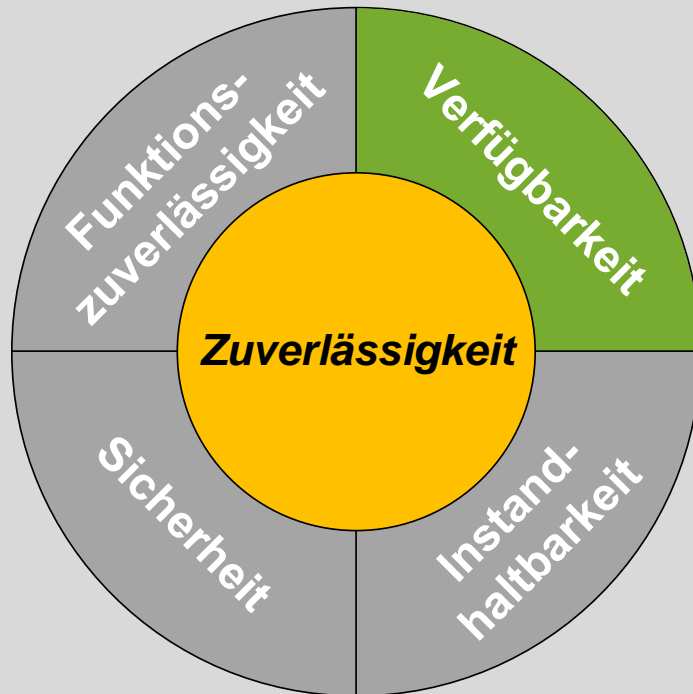
- Verfügbarkeit ↑
- zusätzliche Vorteile im Normalbetrieb

~~DC~~
DC

~~AC~~
DC

→ Identifikation innovativer Stromrichterstrukturen für Fehlertoleranz

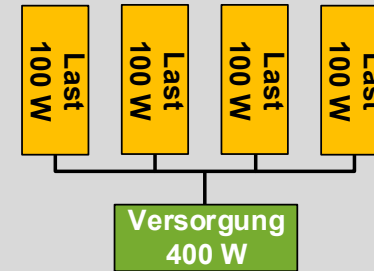
Bilderquellen: Siemens, BMW, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Photovoltaik_sadlerhof.jpg, https://de.wikipedia.org/wiki/Offshore-Windpark_alpha_ventus/media/File:Alpha_Ventus_Windmills.JPG



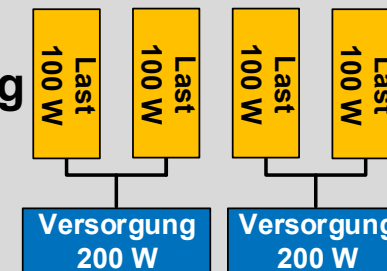
Steigerung der Verfügbarkeit durch

- Überwachung und Wartung
- Bauteile mit geringer Ausfallrate
- **Fehlertoleranz**

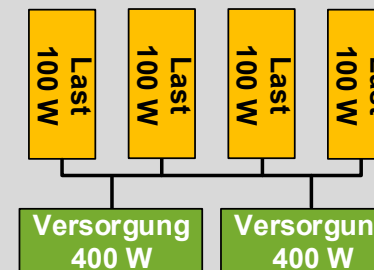
Standard



Partitionierung



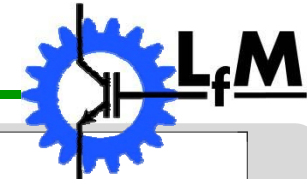
Redundanz



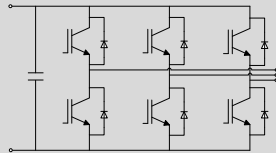
→ Fehlertoleranz durch Partitionierung und Redundanz als Stellhebel zur Erreichung zuverlässiger Systeme

Fehlertolerante Leistungselektronik

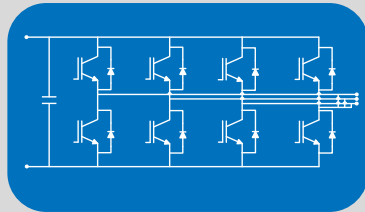
Zuverlässigkeit elektrischer Systeme



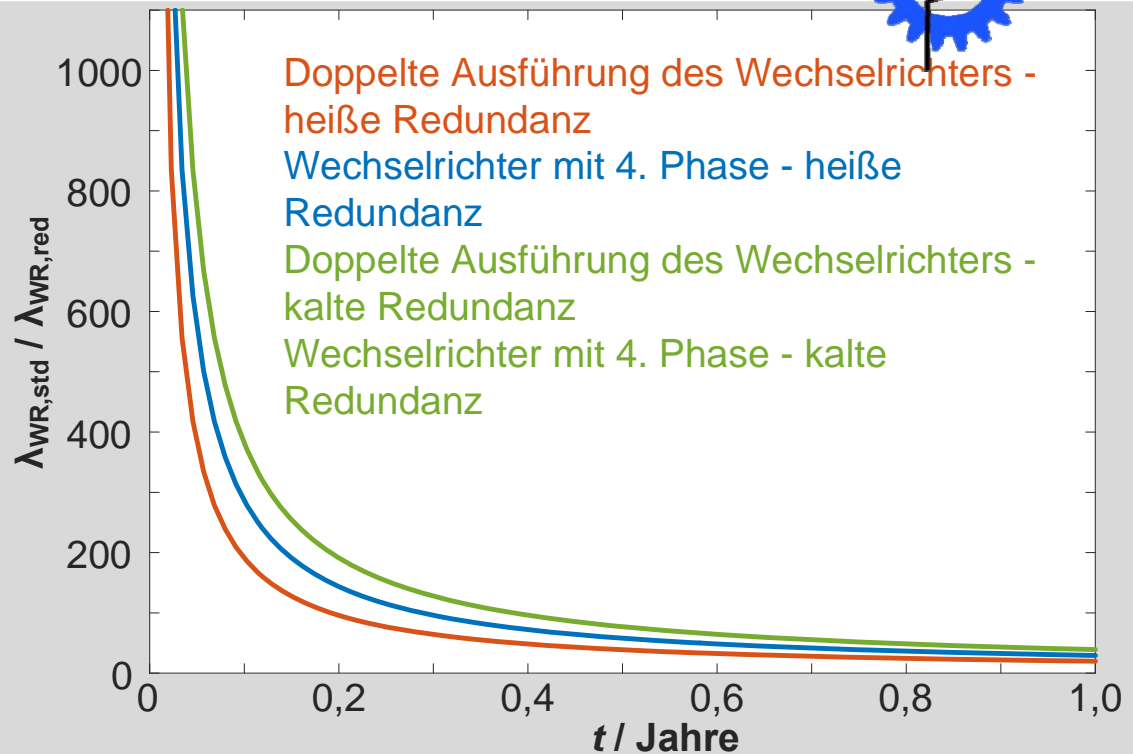
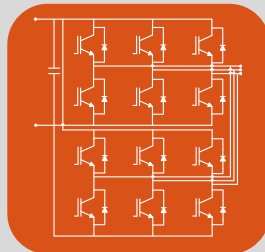
3000 FIT
Standard-
wechsel-
richter



Wechsel-
richter mit
4. Phase

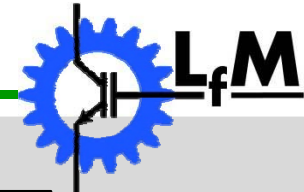


Doppelter
Wechsel-
richter

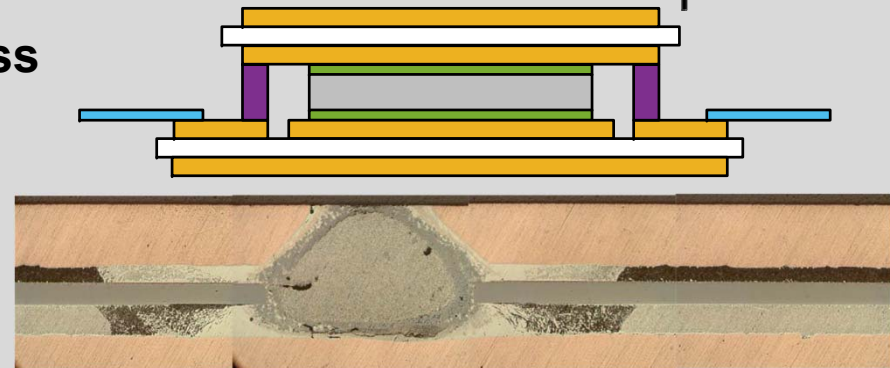
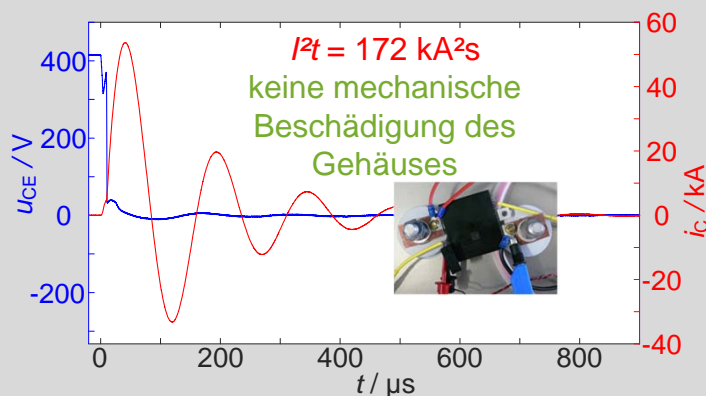
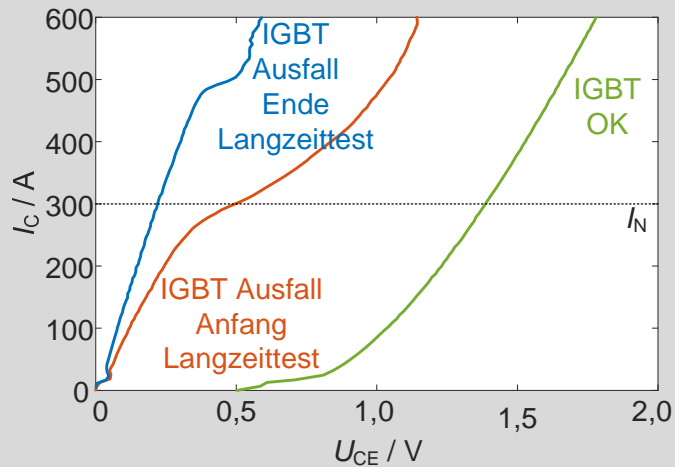


Zeitdauer	Doppelte Ausführung heiße Redundanz	4. Phase – heiße Redundanz	Kalte Redundanz
10 h	0,2 FIT	0,1 FIT	0,1 FIT
1000 h	19 FIT	12 FIT	9 FIT

→ Verbesserung der Systemausfallrate durch Redundanz und Erreichbarkeit kleiner Werte, z.B. < 10 FIT für ASIL D



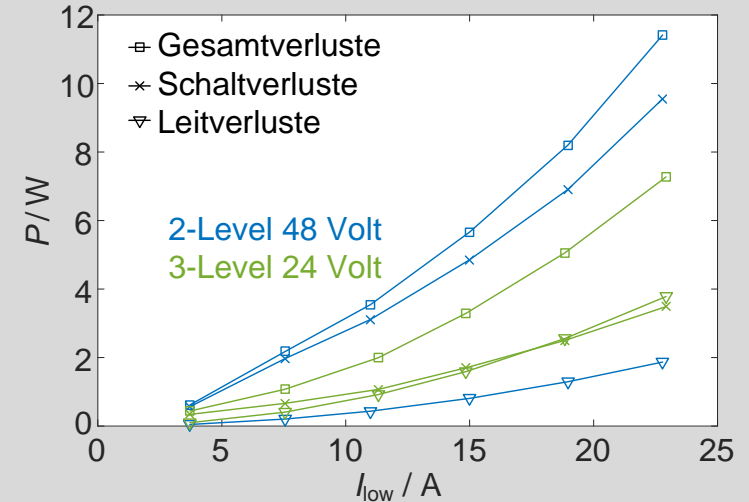
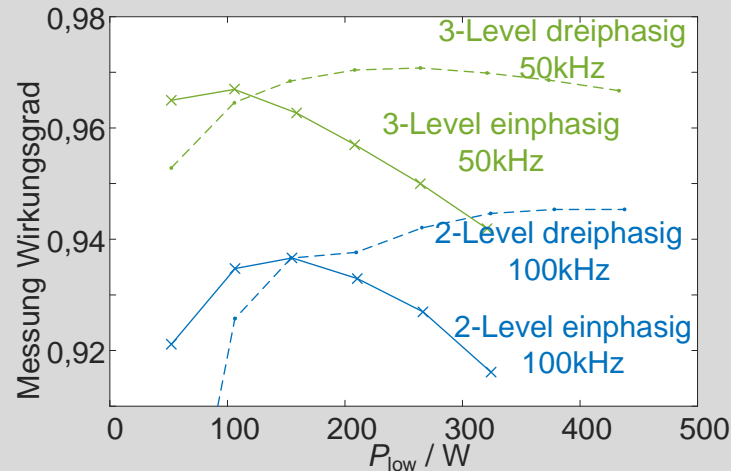
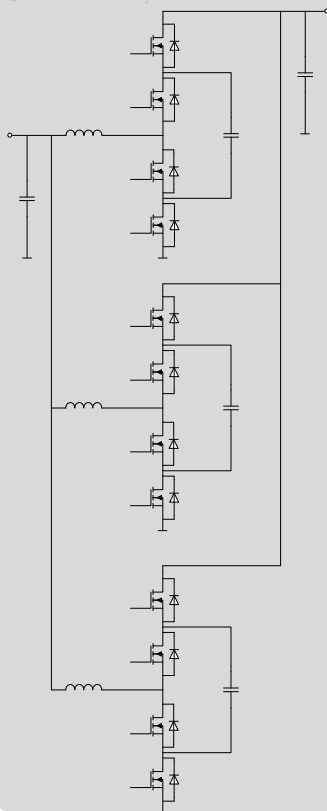
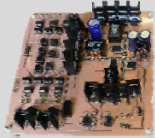
„Sandwich“-Module: Ausfallverhalten als idealer Kurzschluss



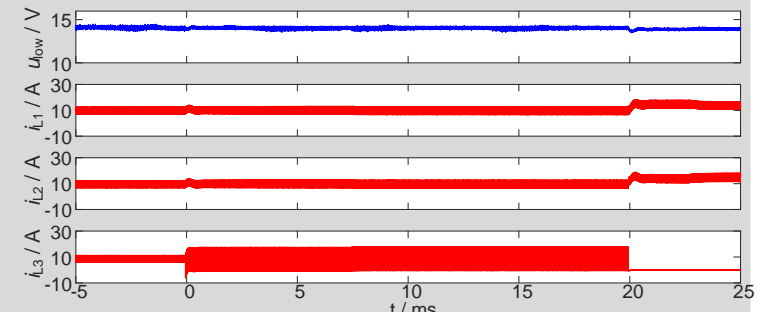
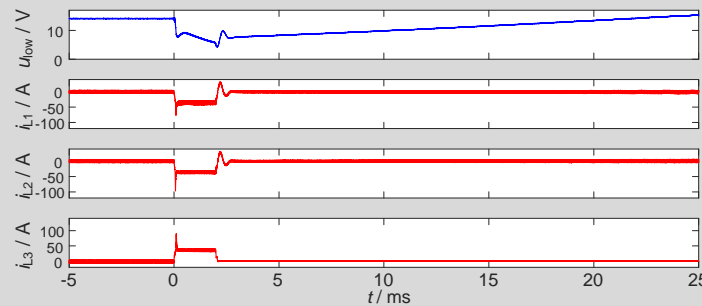
- Ausfall durch Kondensatorentladung (Kurzschluss) und Kollektor-Emitter Überspannung
- Test mit vergleichbaren Modulen von zwei Herstellern
- Geringere Verluste als bei Dauer-Ein
- Langzeittest mit Nennstrom über 100 h
- Laboranalyse: Aufgeschmolzene Fehlerstelle verbindet Kupferschichten

→ Ausfallverhalten als idealer Kurzschluss mit Nennstromtragfähigkeit
→ geeignet für serielle Stromrichterstrukturen und „Notfall“-Schalter

Beispiel 1: LV-DC-DC: Mehrphasiger Multilevelwandler

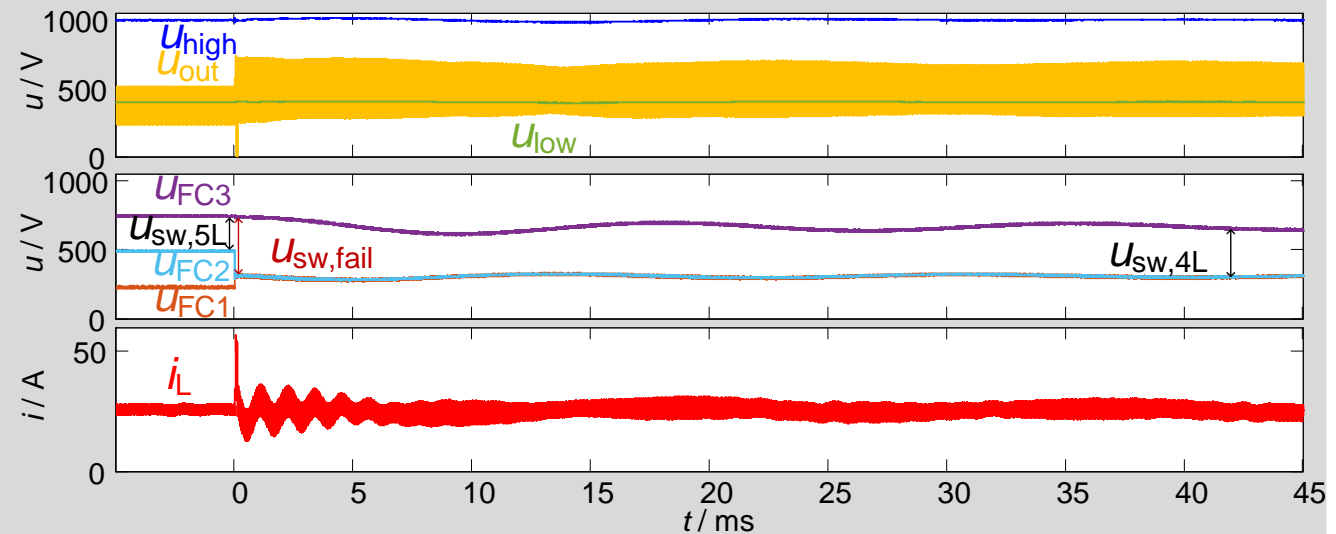
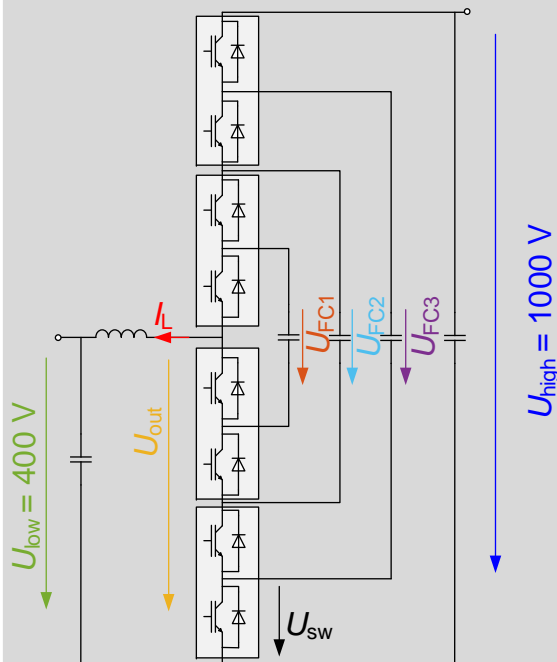
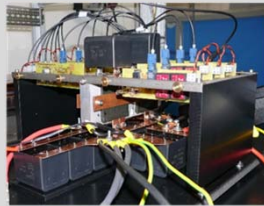


Gemessene Rekonfiguration nach Schalter Kurzschluss:



→ Bestätigung der Vorteile bezüglich Effizienz und Fehlerverhalten der 3-Level Schaltung durch Labormuster

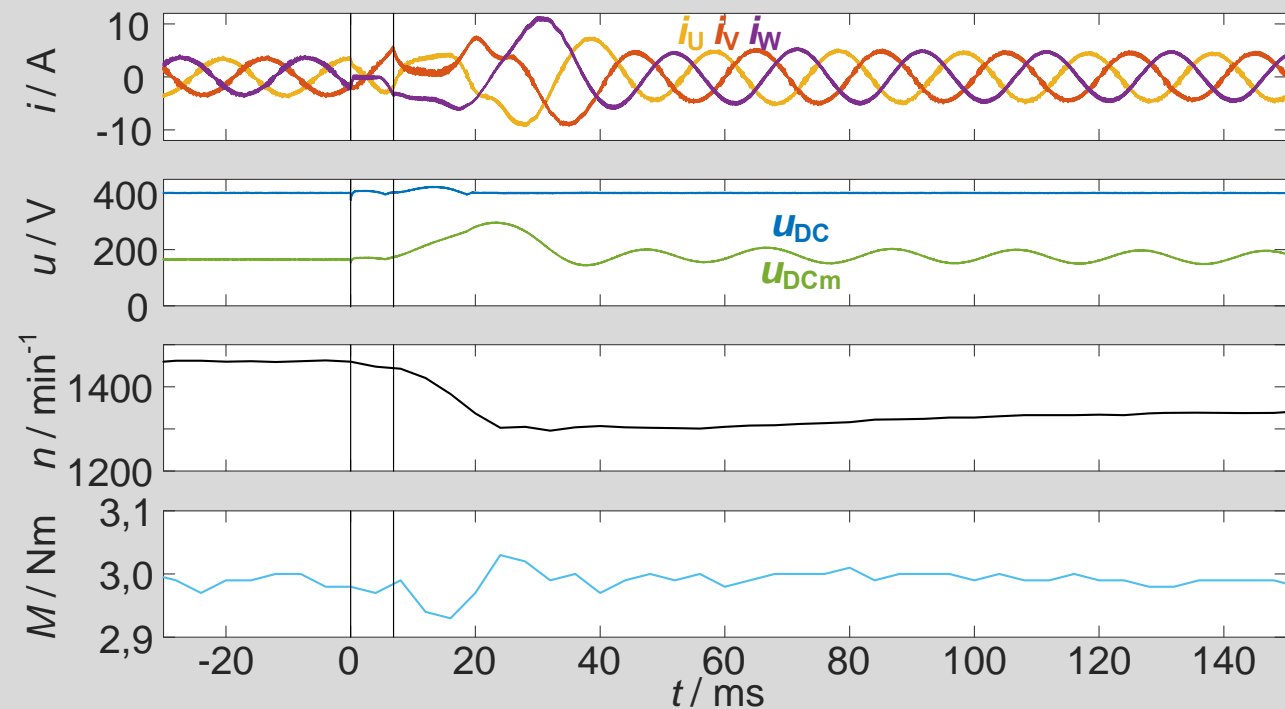
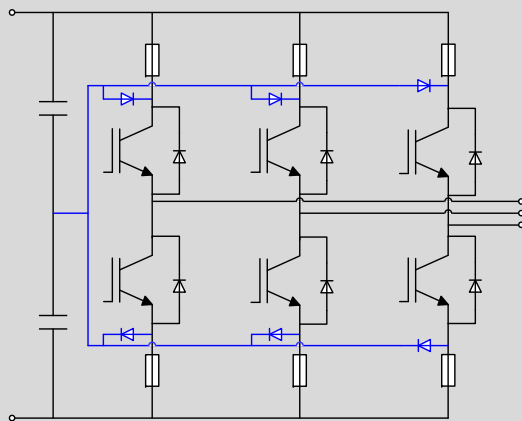
Beispiel 2: HV-DC-DC: Rekonfiguration durch Levelreduktion



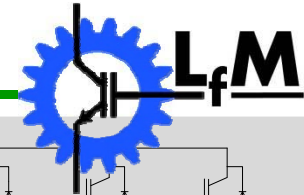
- Spannungsüberdimensionierung der Halbleiter
- Ausfallverhalten als idealer Kurzschluss
- Fehlerdetektion durch Überwachung der Flying Capacitor Spannungen

→ Erfolgreiche Rekonfiguration durch Levelreduktion im Betrieb ohne Unterbrechung des 10 kW Leistungsflusses nachgewiesen

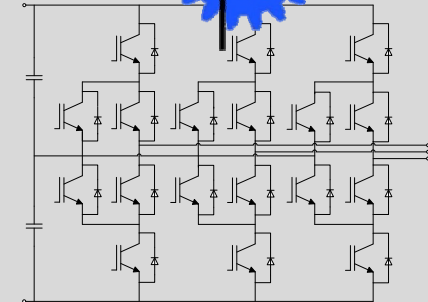
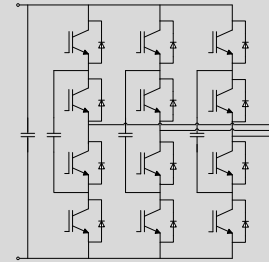
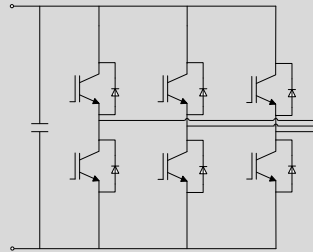
Beispiel 3: DC-AC: Wechselrichter mit Zwischenkreismittelpunkt und Rekonfigurationsdioden



- Entfall der aktiven Zuschaltelemente bei Verwendung von Halbleitern mit idealem Kurzschlussausfallverhalten
- Weiterbetrieb mit maximal halber Ausgangsspannung möglich



Beispiel 4: DC-AC: Fehlertolerante Multilevelwechselrichter



	Standard 2-Level		Flying Cap 3-Level		ANPC 3-Level
Fehlertoleranz	No		Yes		Yes
Ausgangsleistung Fehlerfall	0 %		100 %		50 %
Schalteranzahl	6		12		18
Max. IGBT Sperrspannung	650 V	1,2 kV	650 V	1,2 kV	650 V
Max. Zwischenkreisspannung	450 V	850 V	450 V	850 V	850 V
Typ. Zwischenkreisspannung	300 V	600 V	300 V	600 V	600 V
Typ. IGBT Sperrspannung	300 V	600 V	150 V	300 V	300 V

- **Vergleichskriterien: P_{\max} im Fehlerfall oder Zwischenkreisspannung**
- **Keine zusätzlichen Trennelemente im Einfachfehlerfall**