

Dr. Thorsten Strassel, Konzernforschungszentrum Schweiz, Automation & Power World 2013

Hybrid-Gleichstromschalter für HGÜ Innovation für das Supernetz

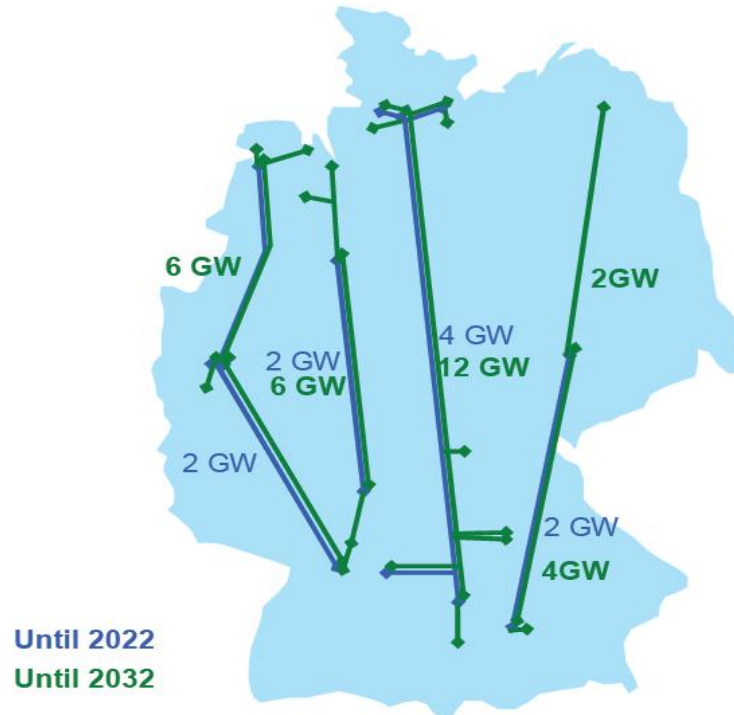
Supernetz für Europa

HGÜ zur Einbindung der Erneuerbaren Energien



- **Trend:** Ausbau der Erneuerbaren Energien
- **Herausforderungen:**
 - Stromerzeugung und Verbraucher können hunderte Kilometer voneinander getrennt sein
 - Saisonale und wetterbedingte Schwankungen in Erzeugung (und Verbrauch) verändern das Ausmass und die Richtung der Stromübertragung in einer neuen Dimension
 - Bestehende Drehstrom-Übertragungsnetze verfügen nicht über ausreichende Kapazität und sind nicht die technisch-wirtschaftlichste Lösung
- **Lösung:**
 - Aufbau eines Netzes mittels Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ)

HGÜ Ausbau Szenario Deutschland



Until 2022
Until 2032

Netzentwicklungsplan 2012 der Betreiber

Aktuell 2013: 12 GW (+2 GW) bis 2022

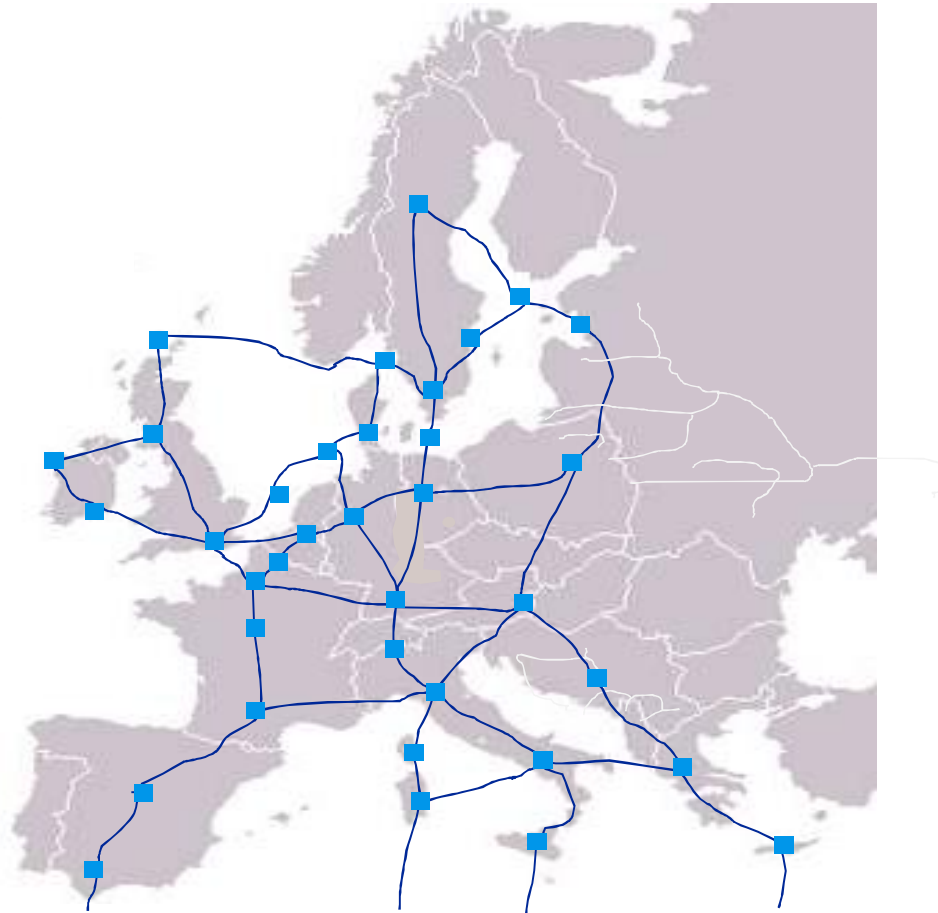
Zusätzliche HGÜ Projekte:

Kupplung D/B, Offshore-Anbindung D/DK, Verbindungsleitung D/NO

- HGÜ Netzverstärkung von AC Netzen
 - Erhöhung der Übertragungskapazität
 - Verschiedene Betriebsmodi innerhalb der verbundenen Gleichstrom/Wechselstrom Netze
- Technologielücken
 - Gleichstromschalter



«Supernetz» Europaweites HGÜ Netz

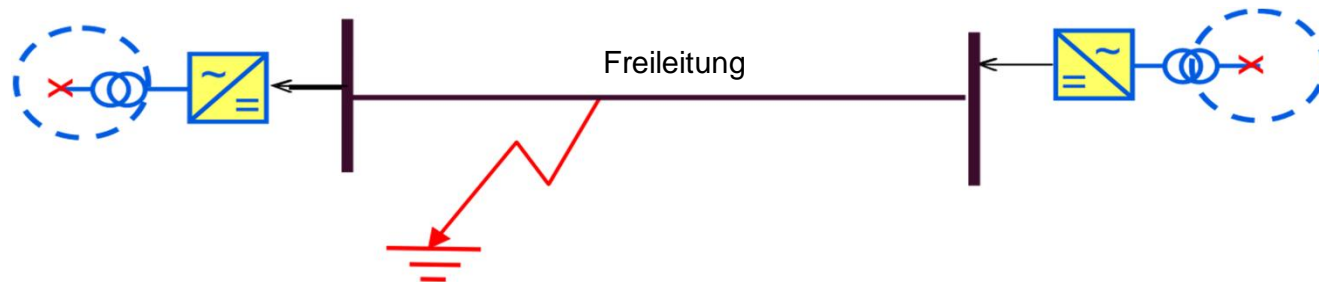


- HGÜ Netz übergeordnet dem AC Netz
 - Neue Möglichkeiten in der Bewirtschaftung der Erneuerbaren Energien
 - Zusätzliche Netzredundanz und Stabilität
- Technologielücken
 - Gleichstromschalter
 - Leistungsflusskontrolle
 - Automatische Netzwerkwiederherstellung
 - Hochspannungs-DC/DC-Wandler



Übertragung mit spannungsgeführten Umrichtern (VSC) Beseitigung von Leitungsfehlern ohne schnellen Gleichstromschalter

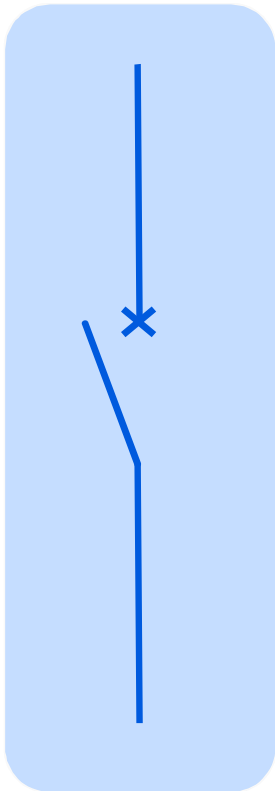
- Fall: Phase-Erde Kurzschluss auf Gleichstromseite (Freileitung)
 - Auslösen der AC Schalter (x)
 - Abwarten: Löschen des Lichtbogens und De-ionisation entlang der Strecke
 - Schliessen der AC Schalter und anschliessender Neustart der Umrichter
- Dauer:
 - SVC-Modus: ca. 500 ms nach Detektion des Fehlers
 - Rückkehr zur Leistungsübertragung: + 2000 ms



Ein-Phasen
Diagramm

Supernetz

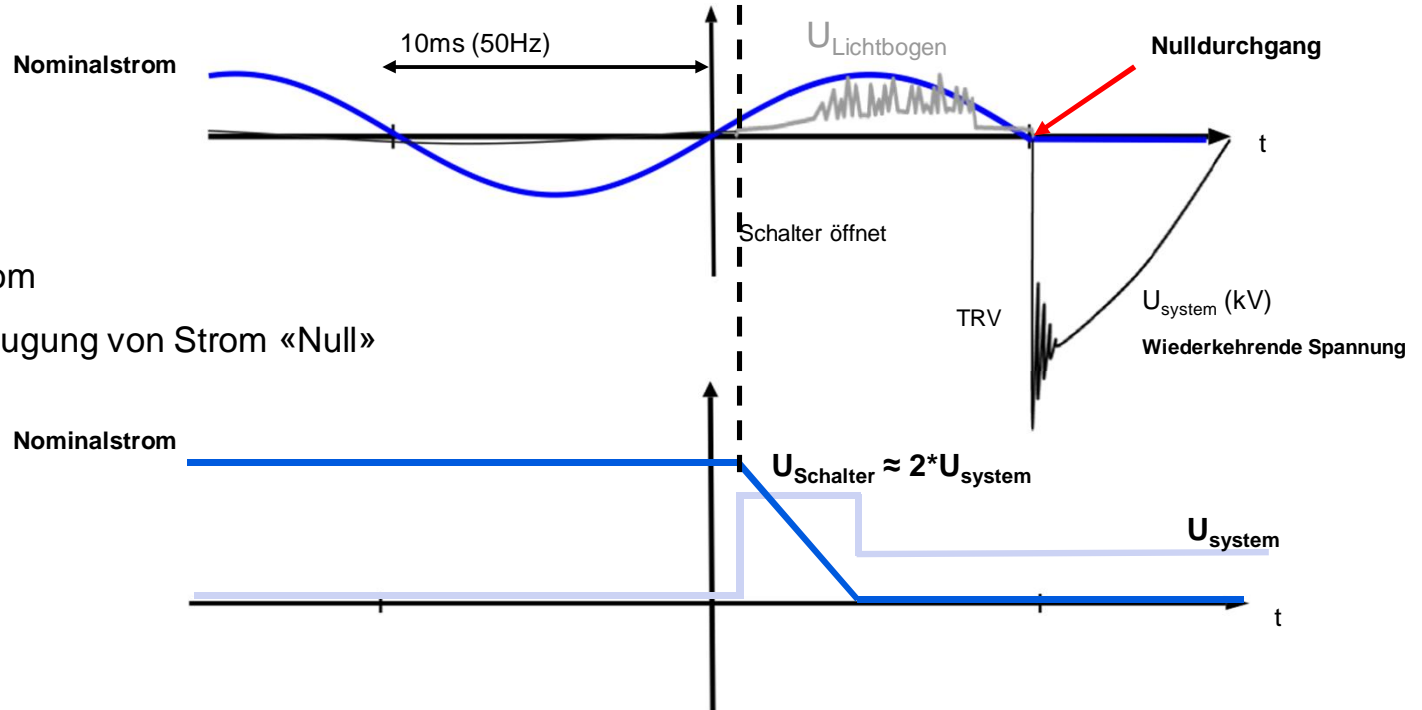
Anforderungen an den Gleichstromschalter



- Fehlerfall, d.h. Kurzschluss auf einer Leitung:
 - Kleine charakteristische Impedanz eines kabelbasierenden Gleichstromnetzes
■ schnelle und tiefgreifende Fehlerausbreitung
- Ziel:
 - Vermeidung eines Spannungszusammenbruchs im Gleichstromnetz
 - D.h. Fehlerbeseitigung in **< 5ms** erforderlich
- Nicht mögliche Optionen:
 - Schalten auf der AC Seite der Umrichterstationen
■ zu langsam, DC Netzausfall und Verlust der Blindleistungskompensation
 - Ausschalten mittels Umrichterstationen
■ DC Netzausfall

Schalten von Gleichstrom mit induktiver Last Herausforderungen in der Hochspannung

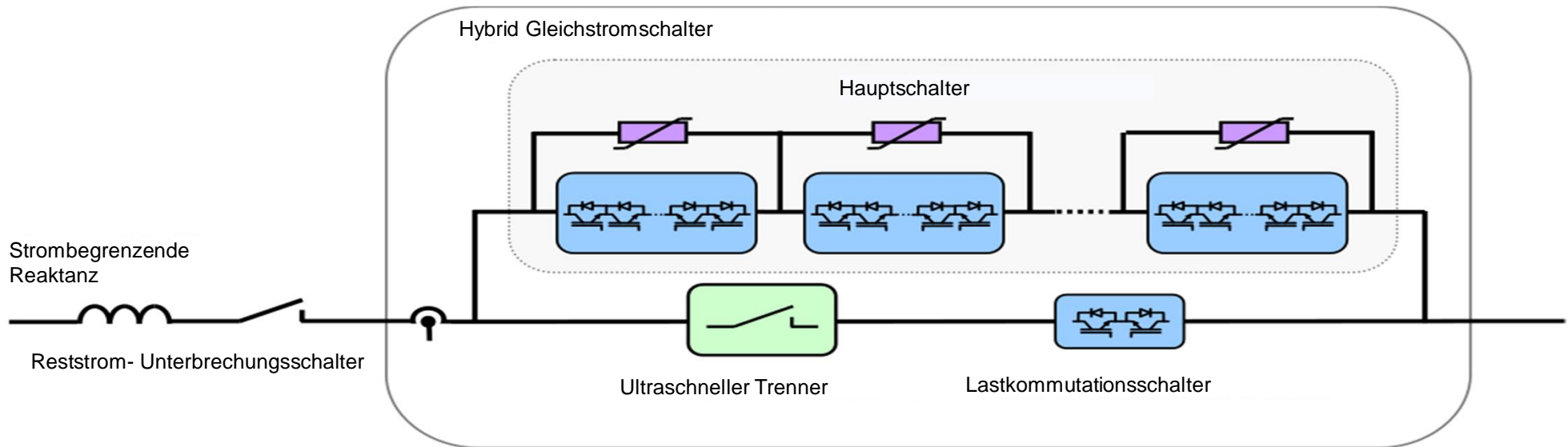
- Wechselstrom
 - Natürlicher Strom «Null»



- Gleichstrom
 - Erzeugung von Strom «Null»

Hybrid Gleichstromschalter

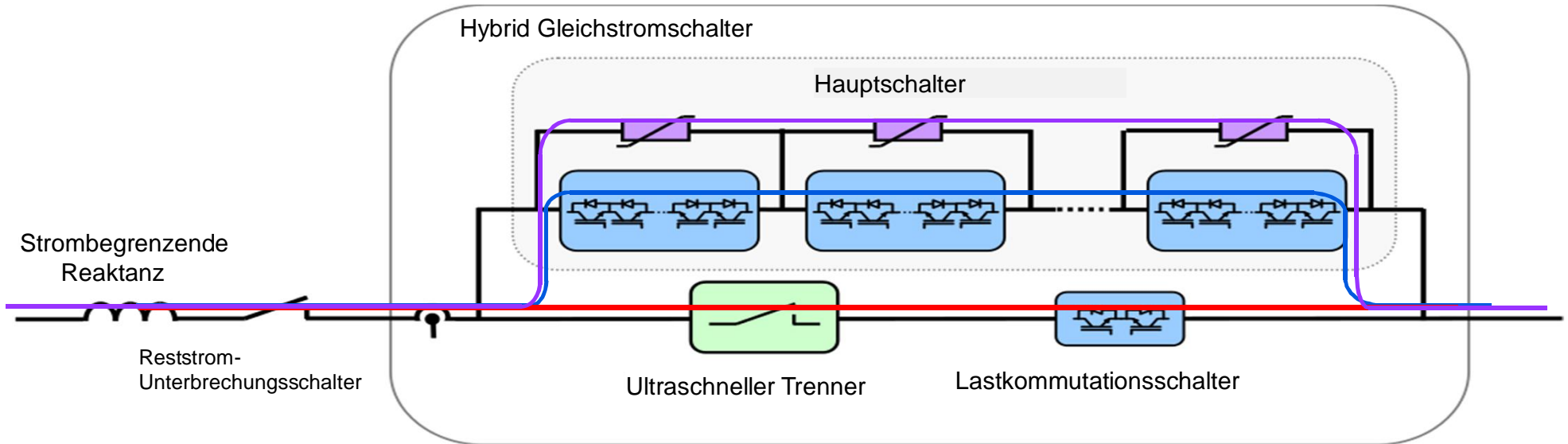
Grundlegendes Design



- Ultraschneller Trenner und Lastkommutationsschalter mit geringer Spannungsfestigkeit als Bypass zum Hauptschalter
- Modulares Design des Hauptschalters zur Strombegrenzung
- Schnelle Gleichstrommesseinheit zur internen Kontrolle und zum Schutz
- Reststromunterbrechungsschalter zur Trennung des Ableiterleckstromes nach Abschalten des Stromes

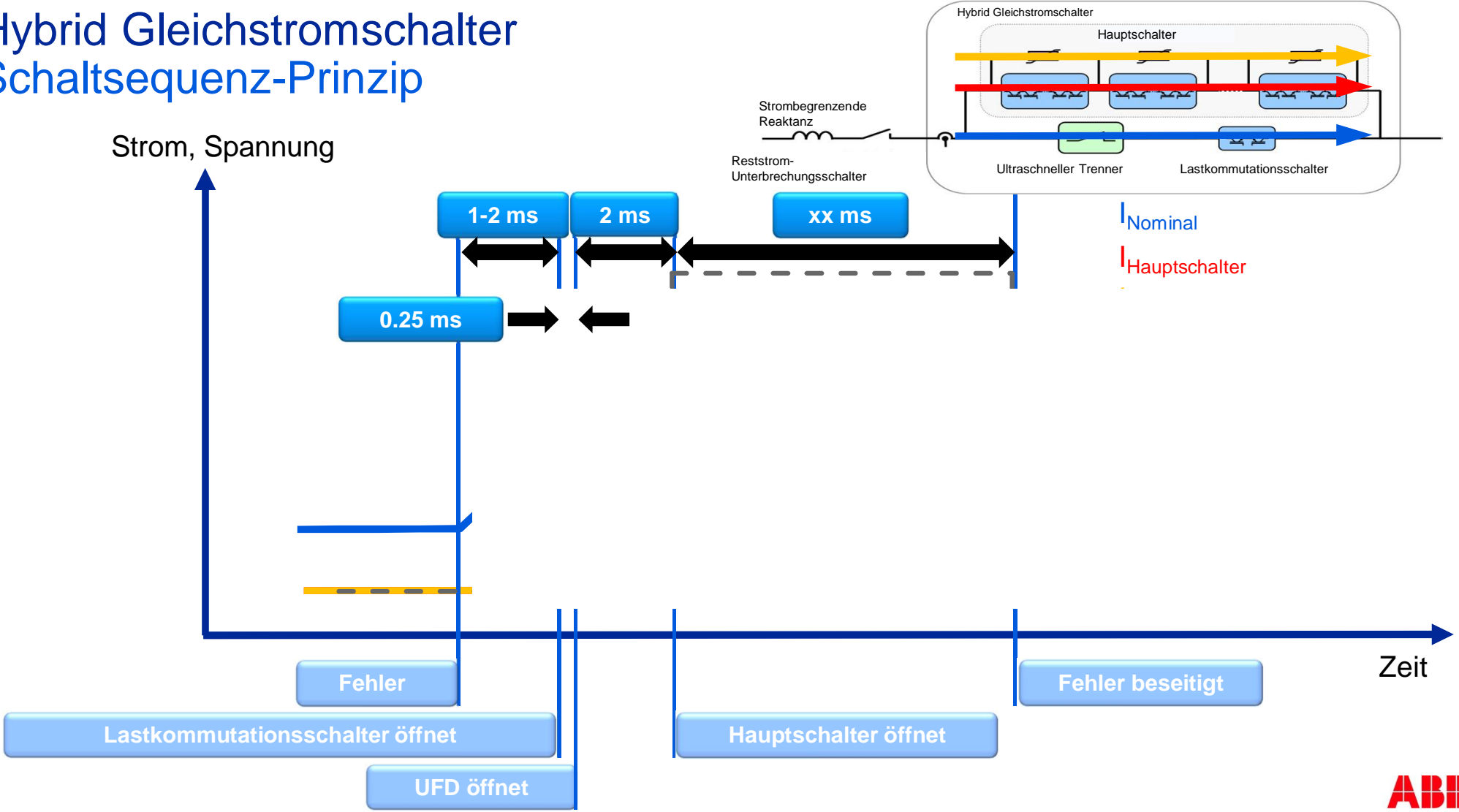
Hybrid Gleichstromschalter

Grundlegende Funktionalität



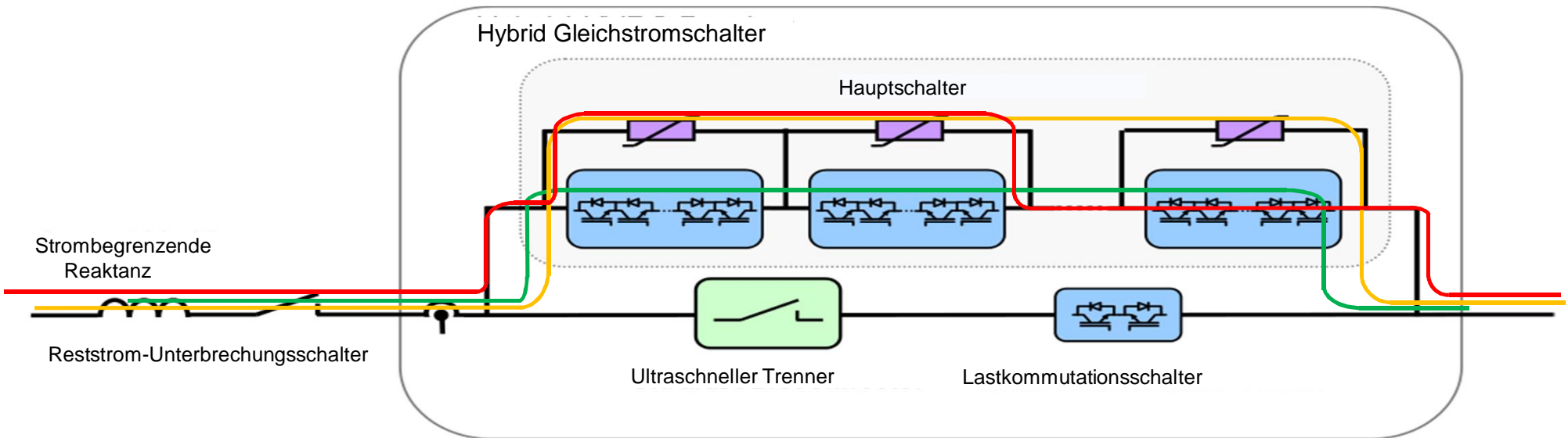
- **Normaler Betrieb:** Nominalstrom fließt im Pfad mit niedrigen Verlusten
- **Proaktive Kontrolle:** Lastkommutationsschalter öffnet und kommutiert den Strom in den Hauptschalter; Der ultraschnelle Trenner (UFD) öffnet unter geringer Belastung in Strom und Spannung
- **Fehlerbeseitigung:** Hauptschaltermodule öffnen und kommutieren den Strom in die entsprechenden Ableiterbänke

Hybrid Gleichstromschalter Schaltsequenz-Prinzip



Hybrid Gleichstromschalter für HGÜ

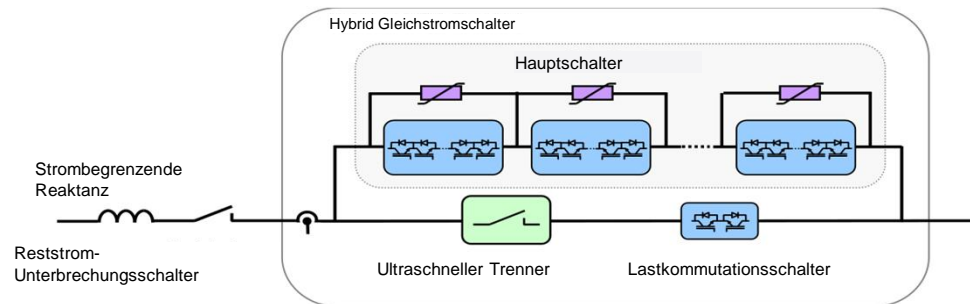
Weitergehende Funktionalität



- **Pro-aktive Kontrolle**: vorsorgliche Kommutation vom Nominalpfad in den Hauptpfad zur Verkürzung der Reaktionszeit
- **Strombegrenzungs-Modus**: Einzelne Hauptschaltermodule kommutieren den Strom in den Ableiterpfad, um den Strom zu begrenzen
- **Fehlerbeseitigung**: Alle Hauptschaltermodule kommutieren den Strom in die Ableiterbank

Hybrid Gleichstromschalter für HGÜ

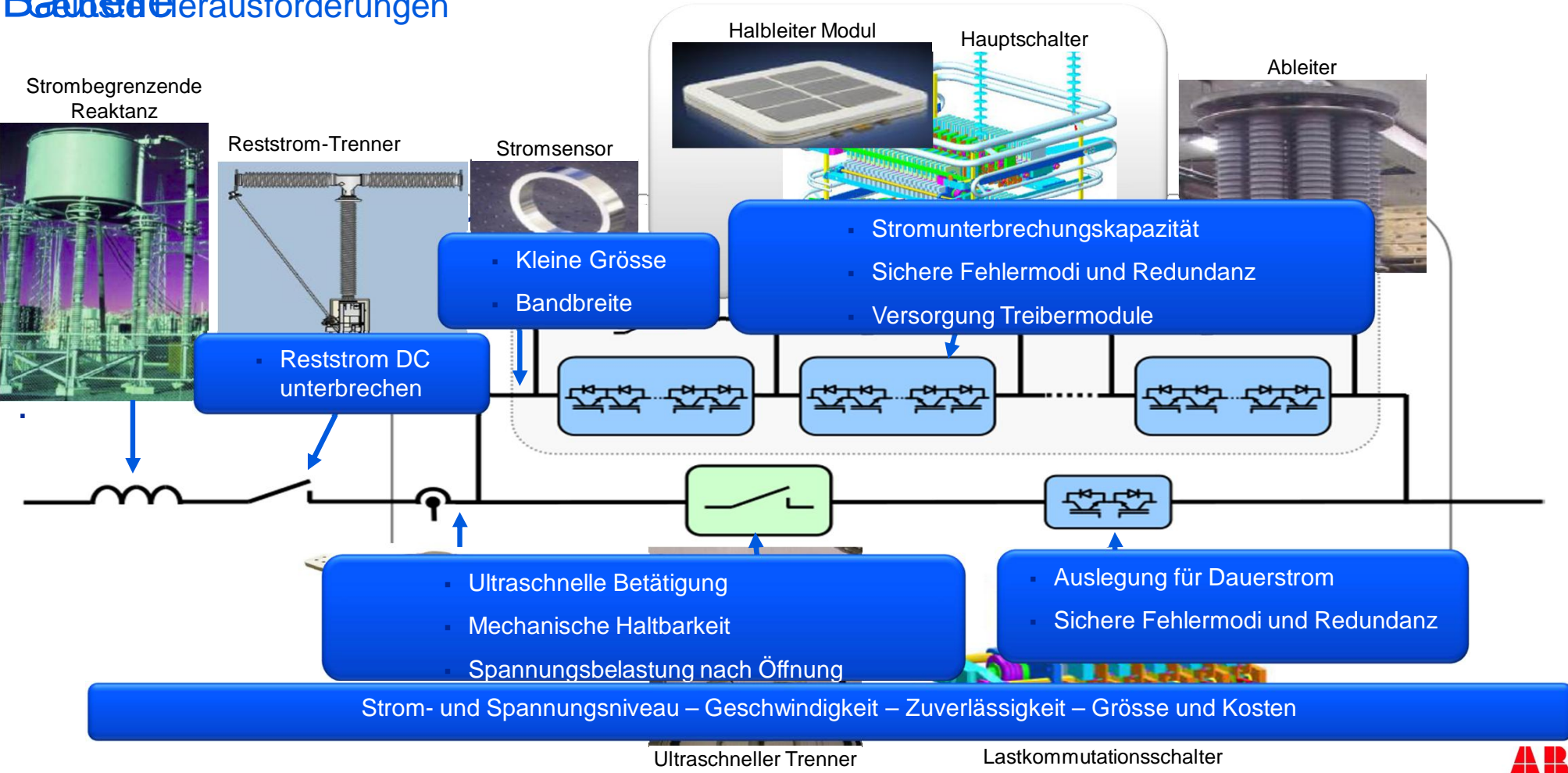
Hauptmerkmale



- Sehr niedrige Durchlassverluste im Nominalpfad
 - $<0.01\%$ der Übertragungsleistung
- Schneller Schutz ohne Zeitverzug, falls die Öffnungszeit des ultraschnellen Trenners (UFD) innerhalb der Verzögerungsfensters des selektiven Schutzes liegt (<2 ms)
- Eigenschutz durch interne Strombegrenzung
- Funktionalitätstests während des Betriebs erlauben eine Instandhaltung “on-demand”
- Mehr als “nur ein Schalter”

Hybrid Gleichstromschalter für HGÜ

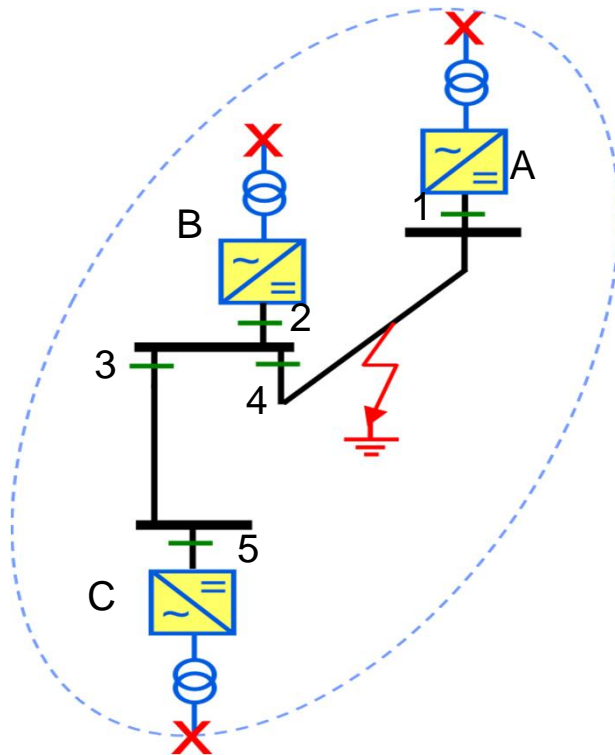
Bauteile Herausforderungen



Regionales HGÜ Netz

Beseitigung von Leitungsfehlern mit schnellem Gleichstromschalter

Ein-Phasen
Diagramm



- Fall: Phase-Erde Kurzschluss auf Gleichstromseite (Freileitung)
 - Gleichstromschalter 1,2,4 (-) detektieren Kurzschlussstrom
 - Gleichstromschalter 1+4 öffnen und isolieren Fehler
 - Fehler in $< 5\text{ms}$ beseitigt
- Gleichstromschalter ermöglicht:
 - Aufrechterhaltung Übertragungsbetrieb B und C
 - Kein allgemeiner DC-Netzausfall, da kein Umrichterneustart
 - SVC Modus für Station A

Schlussfolgerung

Die Technologie ist bereit für den Pilot-Einsatz

- Tests des Gleichstromschalters zeigen die Machbarkeit für die Anwendung
 - 320 kV DC
 - 2'600 A Gleichstrom
 - < 2 ms Öffnungszeit
 - > 2'000 Schaltzyklen
- Skalierbar zu höheren Spannungen durch weitere Serienschaltung von Modulen im Hauptschalter und des Ultraschnellen Trenners (UFD)

ABBs Hybrid-Gleichstromschalter schliesst eine jahrzehnte-alte Technologielücke
Wichtiger Fortschritt für den Aufbau von überregionalen HGÜ Netzen (Supernetz)

Referenz: M. Callavik, A. Blomberg, J. Häfner, B. Jacobson, «The Hybrid HVDC Breaker», ABB Grid Systems, Technical Paper, 2012

Power and productivity
for a better world™

