

Anforderungen und Innovationen zur Energieübertragung an zukünftige europäische Stromnetze

Dipl.-Ing. **Jürgen Fabian**, Dipl.-Ing. **Martin Kircher**,
Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Herwig Renner**,
O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. **Michael Muhr**

Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement
Institut für Elektrische Anlagen
VERBUND-Austrian Power Grid AG (APG)

Inhalt

- Allgemeines – Rahmenbedingungen
- Notwendigkeiten für einen Netzausbau
- Innovationen gegen Netzengepässe
- Steuerung von Wirkleistungsflüssen
(im Drehstromnetz)
- Netzregelung mit PSTs
- Netzregelung mit FACTS
- Netzregelung mit HGÜ
- Zusammenfassung



Allgemeines – Rahmenbedingungen

Allgemeine Rahmenbedingungen (u.a.)

- Energiewirtschaftliche Notwendigkeit
- Übertragungsleistung
- Einhaltung des (n-1)-Kriteriums
- Versorgungszuverlässigkeit

Veränderung der Rahmenbedingungen

- Liberalisierung der Energiemärkte
- Erhöhung der Stromtransporte
- Gestiegener Anteil erneuerbarer Energien
- Instandhaltung und Erneuerung

Notwendigkeiten für einen Netzausbau



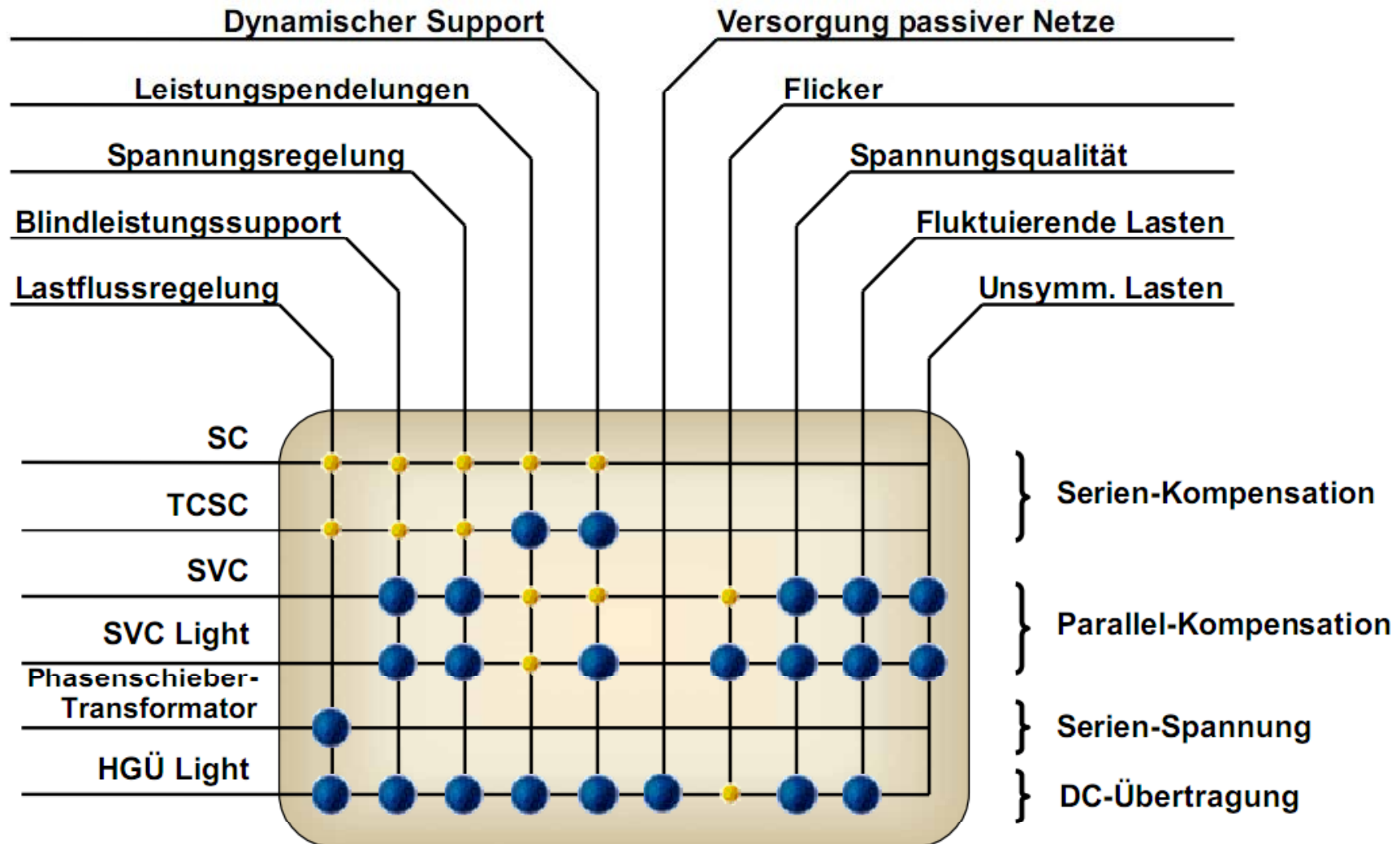
- das bestehende europäische Übertragungsnetz ist für Leistungstransite im GW-Bereich über weite Entfernungen nicht konzipiert
- steigender Energiebedarf erfordert Transport großer Leistungen über weite Entfernungen zu den Lastzentren (→ Offshore Wind, Desertec)
- Vermeidung von Netzengepässen (Leitungsüberlastungen)
- plötzlicher Ausfall von z.B. Windenergie (Regelenergie?)

Innovationen gegen Netzengpässe



- **Verteilte koordinierte Lastflussregelung**
 - Verschieben des Lastflusses auf nicht überlastete Leitungen mittels
 - Phasenschieber-Transformatoren
 - FACTS
- **Unterirdische Stromversorgung mittels HGÜ-Kabel**
 - Landkabel
 - Seekabel
- **Stabilitätsüberwachung und thermisches Leitungsmonitoring**

Übertragungskapazitäten innovativ steigern



[J. Hanson, ABB 2007]

Steuerung von Wirkleistungsflüssen (im Drehstromnetz)

Zur Steuerung von Wirkleistungsflüssen können entweder

Phasenschieber-Transformatoren

oder

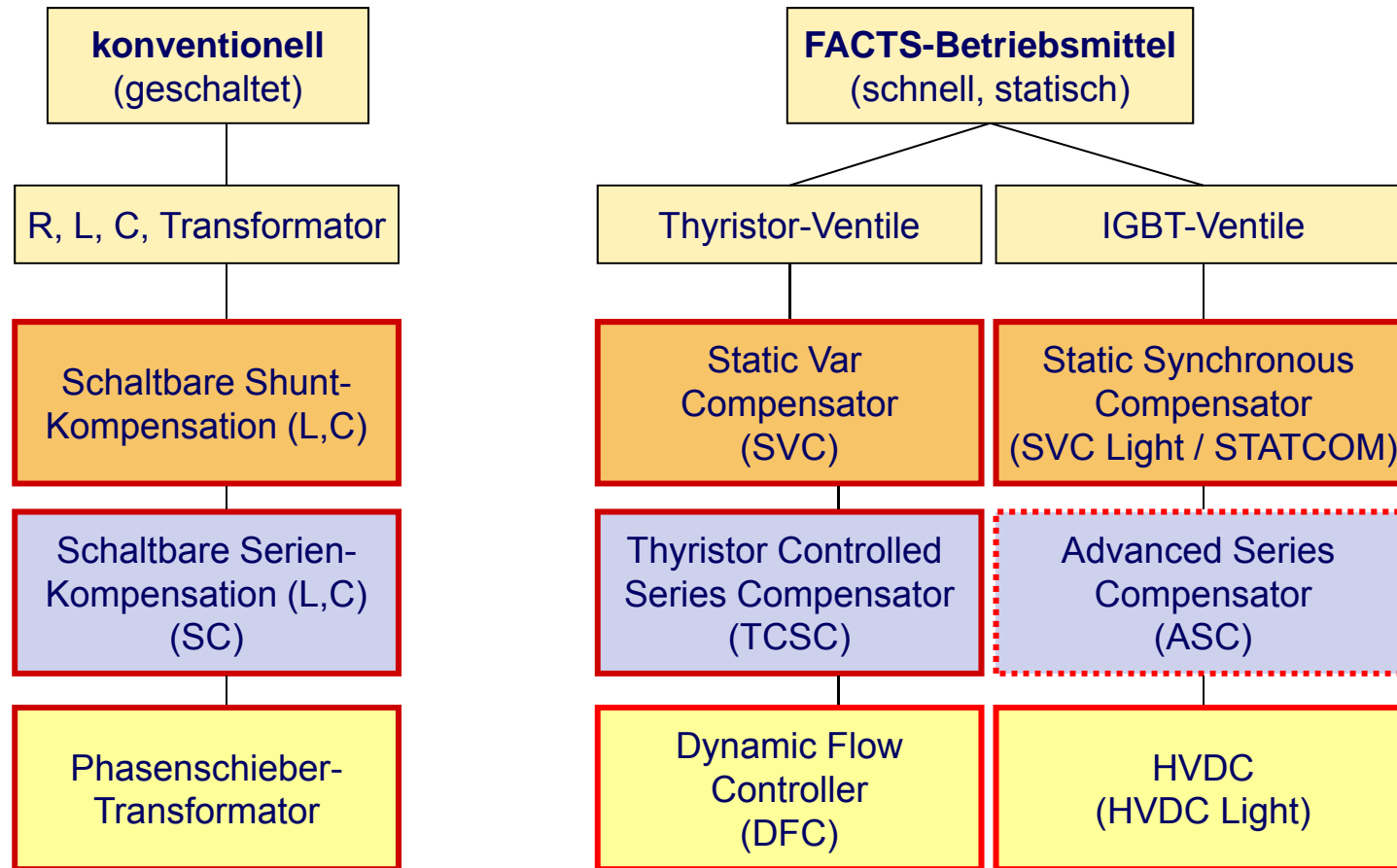
FACTS-Elemente

(Flexible AC Transmission Systems)

eingesetzt werden.



Konventionelle Betriebsmittel und neue Technologien



- Shunt-Betriebsmittel: Q-Kompensation, Spannungsregelung, Stabilität, Spannungsqualität
- Serien-Betriebsmittel: Q-Kompensation, Stabilität, Spannungsstabilität
- Shunt+Serie: Leistungsregelung

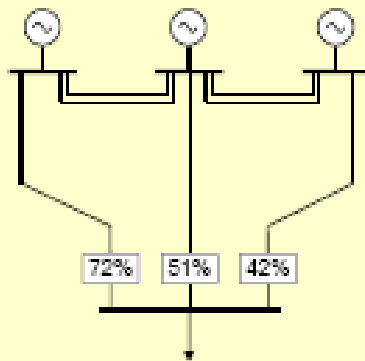
[J. Hanson, ABB 2005]

Netzregelung mit Phasenschiebertransformatoren

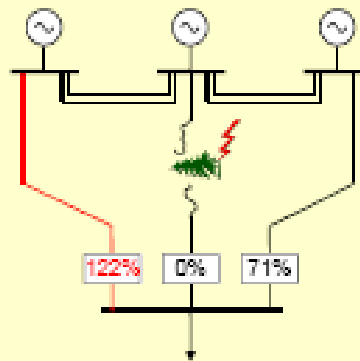
- PSTs speisen über eine Serienwicklung eine variable Zusatzspannung mit 90° Phasenverschiebung ein
- die erforderliche Nennleistung des Transformators ist kleiner als die Durchgangsleistung
- Regelung erfolgt im Sekunden- bis Minutenbereich

Erhöhung von Übertragungskapazität durch Leistungsflussregler:

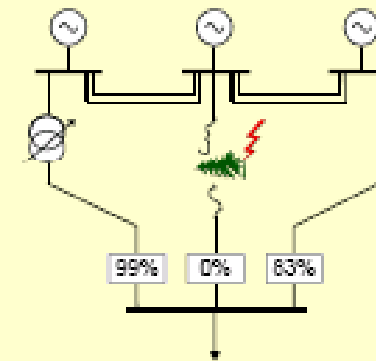
1. Leitungsbelastungen im normalen Betriebszustand



2. Überlastung im gestörten Betriebszustand



3. Ausregelung durch Leistungsflussregler



Netzregelung mit Phasenschiebertransformatoren

Situation im Bereich BENELUX:

Viele Leistungsflussregler sind in unmittelbarer Nähe zueinander installiert.



Benachbarte Leistungsflussregler beeinflussen sich gegenseitig.

Koordinierung der Leistungsflussregler ist notwendig.

Folgende Probleme sind zu beachten:

- Koordinierung muss regelzonenübergreifend erfolgen
- Robustheit der Koordinierung bei Großstörungen ist erforderlich

Netzregelung mit FACTS-Elementen



FACTS-Elemente sind:

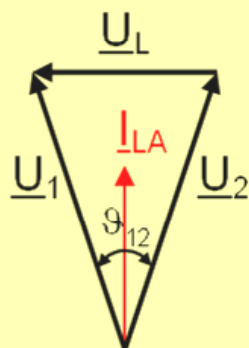
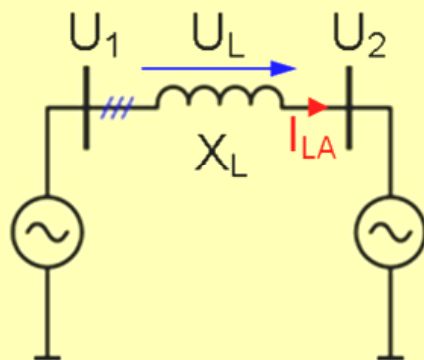
- Leistungselektronisch regelbare Elemente

FACTS-Elemente ermöglichen:

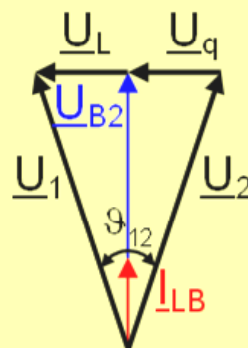
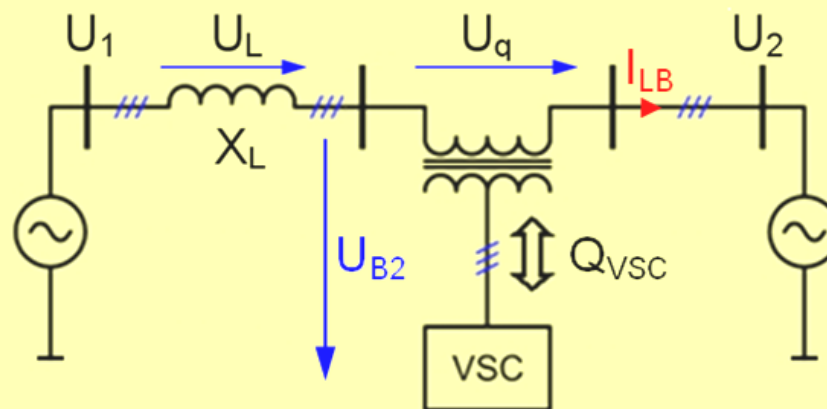
- eine Steuerung der Leistungsflüsse im stationären Betrieb
- Spannungsregelung
- einen stabilen Betrieb langer Kuppelleitungen zwischen Netzen durch die Dämpfung von niederfrequenten Leistungspendelungen
- die Beherrschung subsynchroner Resonanzen (SSR)
- in industriellen Mittelspannungsnetzen eine Verbesserung der Spannungsqualität durch unterbrechungsfreien Betrieb mit stabilisierter Spannung

Static Synchronous Series Compensator (SSSC)

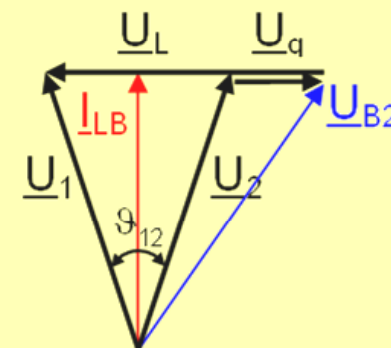
Ungeregelte Leitung A



Geregelte Leitung B



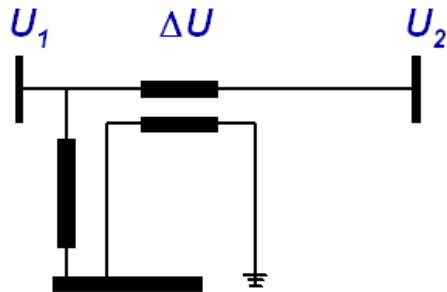
Lastflussreduktion



Lastflusssteigerung

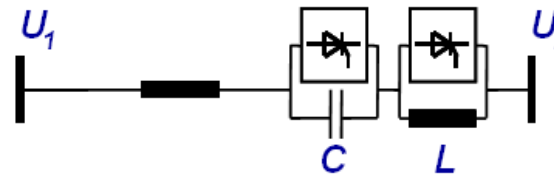
Gegenüberstellung PST vs. Serien-Kompensation

Phasenschieber- Transformator



- + Einfacher, robuster Aufbau
- + Erprobte Technologie
- Langsam
- Verschleiß, Wartung
- Schalten hoher Ströme
- Transport

Serien-Kompensation



- + Schnelligkeit
- + Modularer Aufbau, erweiterbar
- + Keine mechanischen Teile
- Nicht wirksam bei kleinen Lastströmen
- Blindleistungsbedarf
- Resonanzen

[J. Hanson, ABB 2005]

Netzregelung mit Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)

- Leistungsregelung innerhalb synchroner Netze
- Leistungsaustausch und Kurzkupplung asynchroner Netze
- Schwarzstartfähigkeit (nur bei VSC)
- keine Stabilitätsprobleme, auch über weite Distanzen nicht
- keine dielektrischen Verluste, geringerer Isolationsaufwand

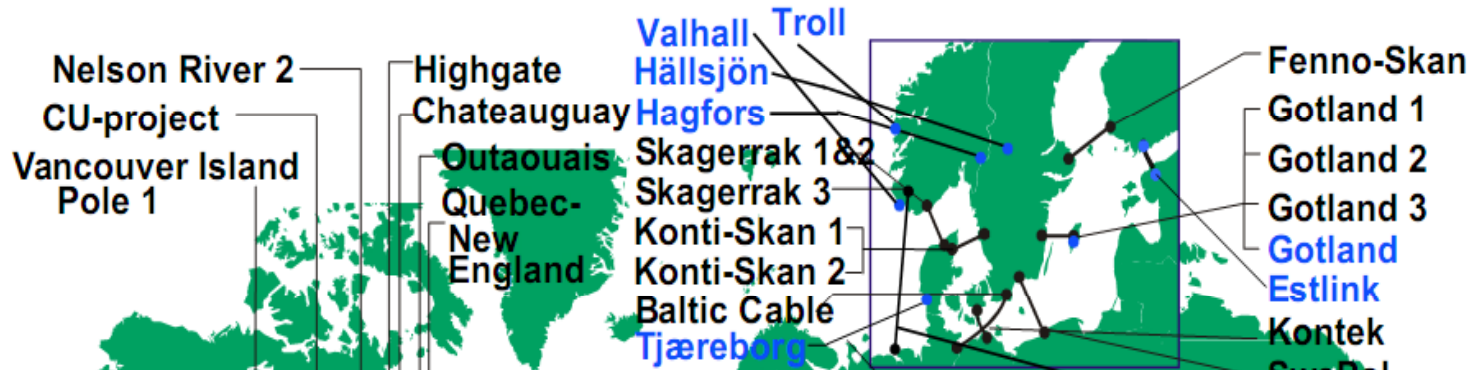


HGÜ-Anwendungsgebiete



[J. Hanson, ABB 2007]

HGÜ- Projekte: „Classic“ (Thyristor-Technik) und „Light®“ (IGBT-Technik)



52 HVDC Classic Projekte	seit 1954
12 HVDC Light® Projekte	seit 1997



[G. Stark, ABB 2009]

HGÜ-Praxisbeispiel: weltweit längste Offshore-Anbindung

Netzanschluss von Offshore Windparks – BorWin1:

- Übertragungsleistung: 400 MW
- Übertragungsspannung: ± 150 kV DC, 380 kV AC (Diele)
- Kabellänge: 200 km (davon 125 km Seekabel und 75 km Landkabel)



[ABB, Grid Systems - HVDC]

Supergrid – „smartes Gesamtsystem“



[<http://www.desertec.org>]

Zusammenfassung

- PSTs, FACTS und HGÜ können zur Lastflusssteuerung eingesetzt werden
- PSTs und FACTS als alternative Möglichkeit zur Drehstrom-Netzverstärkung (kurz- bis mittelfristig)
- Langfristig ist ein Netzausbau unabdingbar

**Danke für Ihr Interesse
und Ihre Aufmerksamkeit!**

