

# Energietechnische Gesellschaft im VDE

Dr. Thomas Benz  
Geschäftsführer ETG



Frühjahrssitzung des AK Energie in der DPG

## Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG)

### Wissensplattform und Experten-Netzwerk für die Energietechnik



# ETG

Energietechnische Gesellschaft im VDE

#### Die Ziele

- Interessenvertretung der elektrischen Energiewirtschaft
- Partner für Politik, Gesellschaft und Experten
- Katalysator zur Weiterentwicklung neuer Technologien
- Fachwissenvermittlung
- Nachwuchsförderung

#### Die Arbeitsgebiete

Elektrische Energieversorgung	Anwendung elektrischer Energie	Querschnittstechnologien
Zentrale u. dezentrale Erzeugung elektrischer Energie	Elektrische Maschinen und Antriebe, Mechatronik	Leistungselektronik
Übertragung und Verteilung elektrischer Energie	Bahnen mit elektrischen Antrieben	Werkstoffe, Isoliertechnik, Diagnostik
Energiewirtschaft		Kontaktverhalten und Schalten

#### Die Wege

- Wissenspool durch Fachleute, technisch-wissenschaftliche Studien und Reports
- Internationale und interdisziplinäre Zusammenarbeit von Industrie, Energieversorgung, Wissenschaft und Anwendung
- Tagungen, Workshops, Seminare, Round Tables, Fachvorträge
- Weiterbildung

#### Internationale Kontakte

- EUREL
- CIGRE
- CIRED
- IEEE
- EPE

#### Die Zahlen

- Gegründet 1974
- 12.500 Mitglieder
- 300 ehrenamtliche Mitarbeiter

## Wissensplattform und Experten-Netzwerk für die Energietechnik

### Unsere Studien, Analysen und Positionspapiere



- Energiebereitstellung
  - Energienetze
  - Energiespeicher
- Energieanwendung
  - Energiepolitik
  - Energiemarkt

Zahlen in Klammern:  
 Jahr der Veröffentlichung  
 Punktiert:  
 Aktive Task Force

Alle Publikationen  
 können über den Link  
[www.vde.com/etgstudien](http://www.vde.com/etgstudien)  
 bezogen werden  
 (pdf für VDE-Mitglieder  
 kostenlos).

April 2017

## Wissensplattform und Experten-Netzwerk für die Energietechnik

### Unsere Veranstaltungen 2017

25. Januar, Kassel  
Fachtagung

#### Systemdesign Stromnetze der Zukunft

- ETG Fachbereich V2  
Übertragung und Verteilung

16. – 17. Februar, Frankfurt am Main  
Workshop

#### Hochspannungsfreileitungen

Isolatoren und Armaturen:  
Materialwahl, Auslegung,  
Betriebserfahrungen

- ETG Fachbereich Q2 Werkstoffe,  
Isoliersysteme und Diagnostik

21. – 22. Februar, Aschaffenburg  
Fachtagung

#### STE 2017

Sternpunktbehandlung in Netzen  
bis 110 kV D-A-CH

- ETG Fachausschuss V2.3 Schutz- und  
Automatisierungstechnik
- Informationstechnische Gesellschaft  
im VDE (ITG)

21. – 22. März, Frankfurt am Main  
Fachtagung

#### Elektrische Fahrzeugarchitektur 2017

Intelligenter Elektrischer ÖPNV 4.0

- ETG Fachbereich A2  
Bahnen mit elektrischen Antrieben

6. – 7. April, Bad Nauheim  
Fachtagung

#### Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen 2017

- ETG Fachbereich Q1 Leistungselektronik  
und Systemintegration
- European Center for Power Electronics  
(ECPE)

24. – 28. April, Hannover  
Forum

#### Life Needs Power

- ETG Geschäftsführung
- Zentralverband Elektrotechnik- und  
Elektronikindustrie (ZVEI)
- Bundesverband der Energie- und  
Wasserwirtschaft (BDEW)
- Zukunftsforum

11. Mai, Nürnberg  
Workshop

#### ETG-FNN Workshop Schutz- und Automatisierungstechnik in aktiven Verteilnetzen

- ETG Fachausschuss V2.3 Schutz- und  
Automatisierungstechnik
- Forum Netztechnik Netzbetrieb im VDE  
(FNN)
- Informationstechnische Gesellschaft im  
VDE (ITG)

15. – 16. Mai, Berlin  
Fachtagung

#### 3. Dialogplattform Power-to-Heat Sektorkopplung von Strom, Wärme und Kälte

- ETG Geschäftsführung
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

26. – 27. September 2017, München  
Fachtagung

#### 12. ETG/GMA-Fachtagung Netz- regelung und Systemführung

- ETG/GMA Fachausschuss V2.1 /  
FA 7.16

27. – 28. September, Saarbrücken  
Fachtagung

#### IKMT 2017 Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik GMM/ETG-FT

- ETG Fachbereich A1 Elektrische Maschi-  
nen und Antriebe, Mechatronik
- VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik,  
Mikro- u. Feinwerktech. (GMM)

22. – 23. November 2017, Karlsruhe  
Fachtagung

#### Antriebssysteme 2017

- ETG Fachbereich A1 Elektrische Maschi-  
nen und Antriebe, Mechatronik
- VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozess-  
gestaltung (VDI-GPP)

28. – 29. November, Bonn  
Kongress

#### ETG Kongress 2017 – Die Energiewende

- Blaupausen für das neue  
Energiezeitalter
- ETG Vorstand

INTERNATIONALER  
ETG CONGRESS 2017  
DIE ENERGIEWENDE

SAVE THE DATE

Die Energiewende geht weiter

28. – 29. November 2017  
Bonn  
www.etg-congress.com

#ETG2017

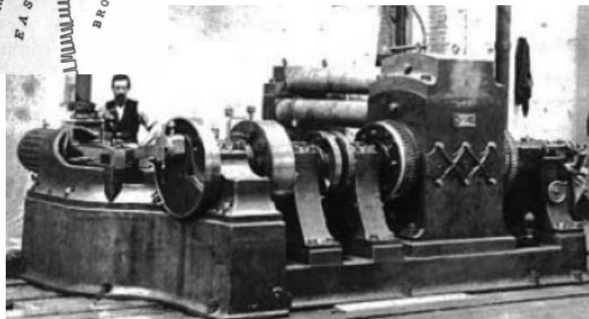
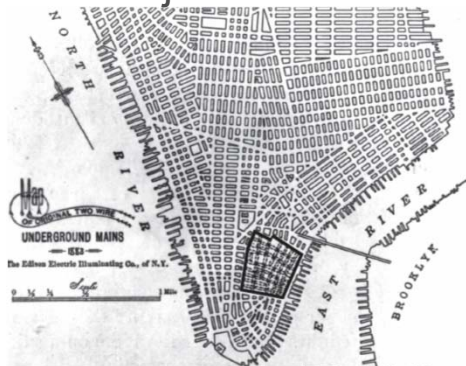
CIRED Cigré OVE OCE Energietechnik electro suisse | ETG VDE

# Gleichspannung für das Verteilnetz: Entwicklungen und Optionen

Dr. Thomas Benz  
Geschäftsführer ETG  
Bad Honnef, 07.04.2017

## Die Elektrifizierung begann mit einem Wettstreit: Gleich- vs. Wechselstrom oder Edison vs. Westinghouse

- **Edison** (1882) Pearl Street, Manhattan, New York
  - Lokale Gleichstromversorgung für die Beleuchtung
  - 6 Dynamos (Siemens) mit einer Leistung von je 100 kW



- **Tesla und Westinghouse**
  - Entwicklung eines Wechselstromsystems in den 1880-ern
  - Expo in Chicago 1893 mit 200.000 Glühbirnen



Quelle: Stieneker: Potential of DC Distribution Systems, 21.04.2016 Bilder: IEEE Power & Energy Magazine

## Drehstromübertragung und -verteilung – Bis heute das System der Wahl für Europa



Bilder: ENTSO-E (oben), ABB (unten)

### Vorteile des Drehstroms:

- Transformierbarkeit
- Einfache (und kostengünstige) elektro-mechanische Energieumwandlung
- Einfache Stromunterbrechung
- Frequenz als systemweite Führungsgröße
- Vermaschbarkeit

## Grenzen der Drehstromübertragung



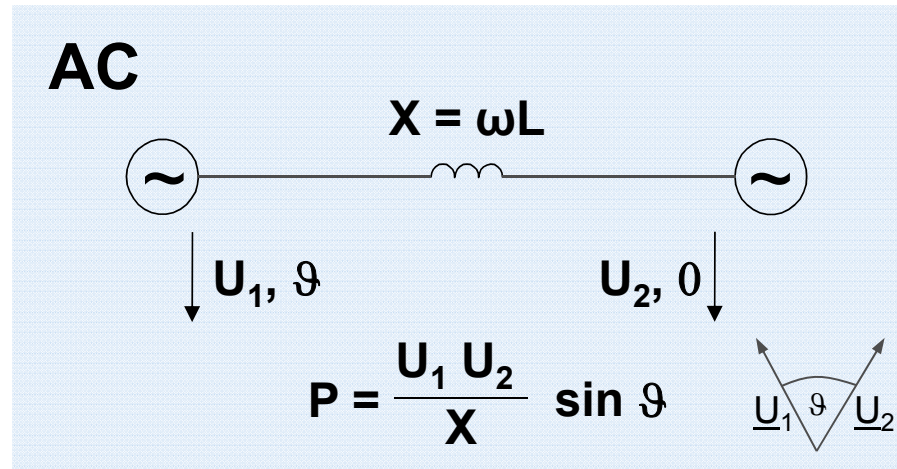
Bilder: ABB

- Stromübertragung über lange Strecken
  - Verluste (Wirtschaftlichkeit)
  - Blindleistungsbedarf (Kompensation  
⇒ Wirtschaftlichkeit)
  - Stabilität
- Drehstromkabel bereits bei Entfernungen < 100 km wegen hohem Blindleistungsbedarf technisch schwierig

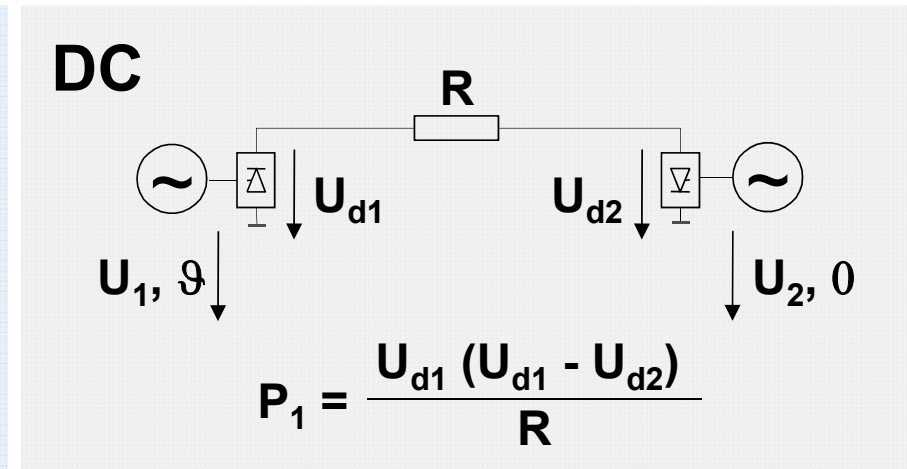


## Drehstrom- versus Gleichstromübertragung

### Die wesentlichsten Unterschiede



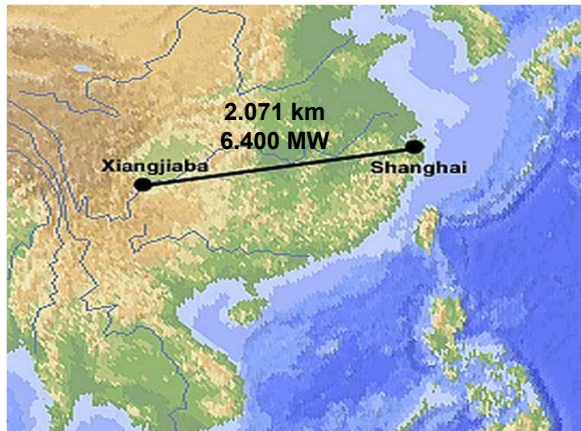
- Blindleistung
- Leistungsübertragung abhängig vom Leitungswinkel  $\vartheta$
- Stabilität der Wirkleistungsübertragung abhängig vom Leitungswinkel
- Kurzschlussstrombegrenzung durch Reaktanzen
- Massenträgheit wirksam
- Skin-Effekt



- Keine Blindleistung  $\Rightarrow$  Kabel über große Entfernungen einsetzbar
- Leistungsübertragung abhängig von Spannungsdifferenz
- Stabilität unabhängig vom Leitungswinkel (keine Stabilitätsprobleme)
- Kurzschlussstrombegrenzung durch ohmsche Widerstände
- Leistungsflussregelung
- Kein Skin-Effekt

## Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)

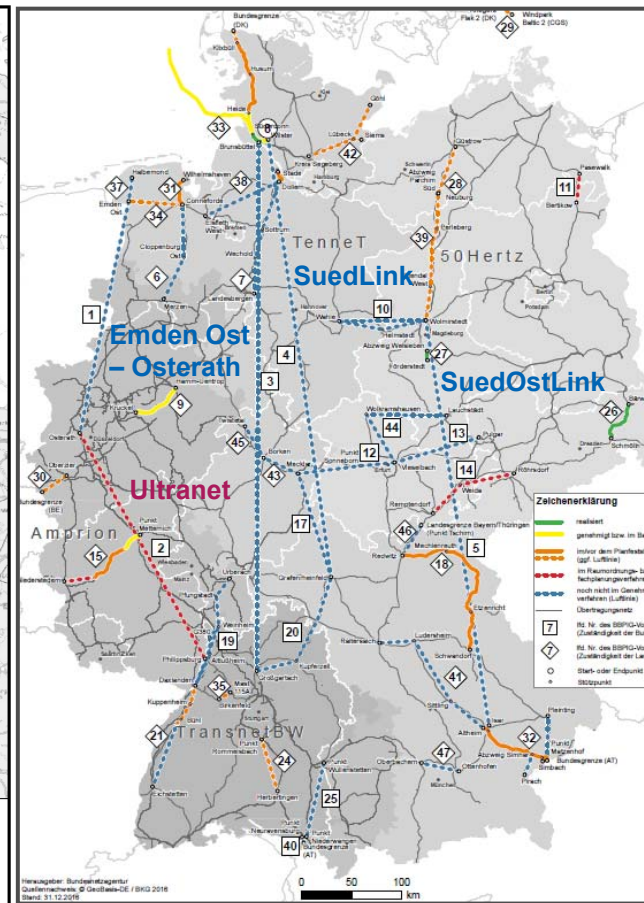
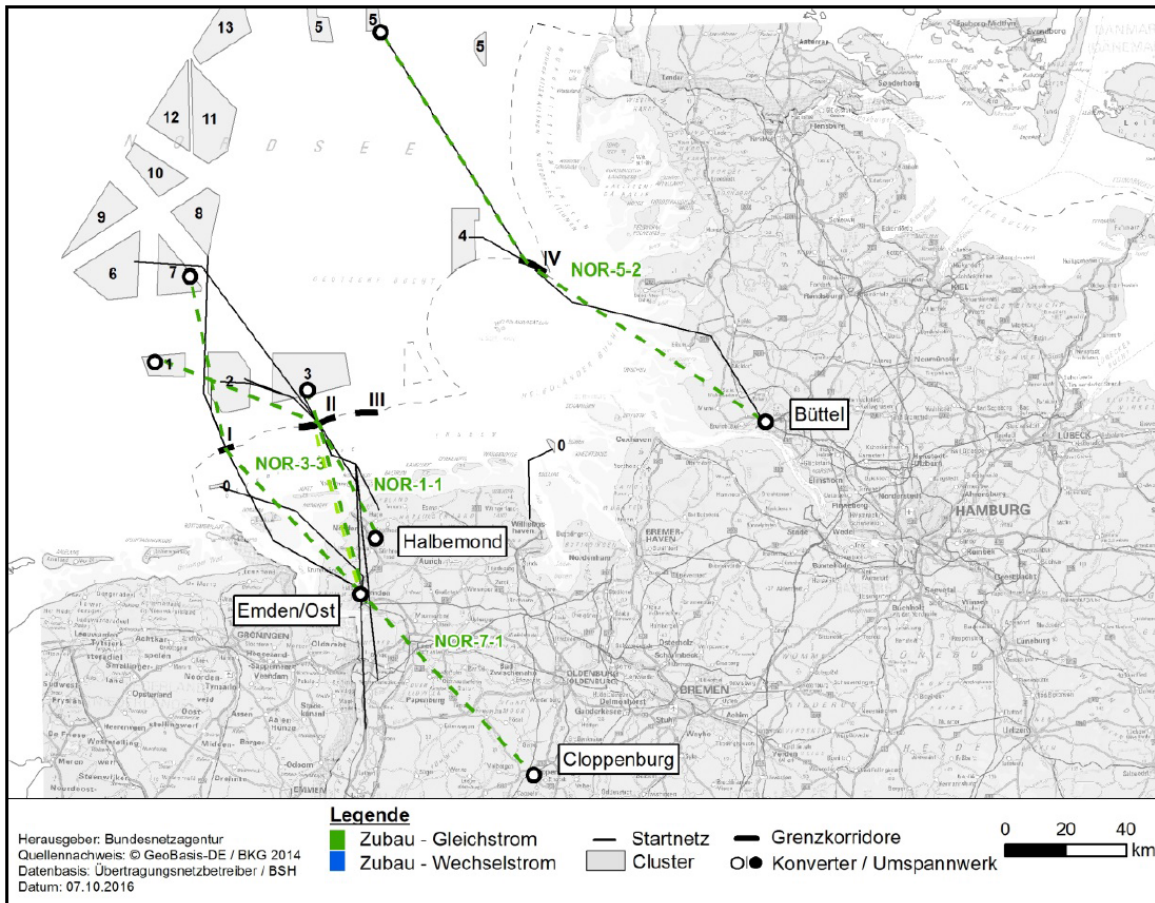
### Anwendungsgebiete



Bilder: ABB

- Klassische Anwendungsgebiete
  - Übertragung großer Leistungen über weite Strecken
  - Asynchrone Verbindung von Drehstromnetzen (auch als HGÜ-Kurzkupplung)
  - Seekabelverbindungen
- Neue Anwendungsgebiete
  - Anbindung von Offshore-Windparks (Schwarzstartfähigkeit)
  - Verstärkung und Stabilisierung bestehender Drehstromnetze durch parallelen Betrieb von HGÜ-Systemen
  - Aufbau von überlagerten HGÜ-Netzen (HGÜ-Overlay-Netze)

## HGÜ im deutschen Übertragungsnetz



Quelle: Bestätigter Offshore-Netzentwicklungsplan 2025, BNetzA, 25.11.2016 (links), Leitungsbauvorhaben gemäß Bundesbedarfsplangesetz 2016 (rechts)

## Anwendungsfelder für Gleichspannung in der Verteilung

### Etablierte Anwendungsfelder

- Industrieniederspannungsverteilungen / Industrielle DC-Netze
- Niederspannungsverteilungen für Rechenzentren
- Telekommunikationsanlagen
- Gleichspannungs-Bahnnetze
- Elektrische Bordnetze auf Schiffen
- Flugzeugbordnetze
- Automobilbordnetze

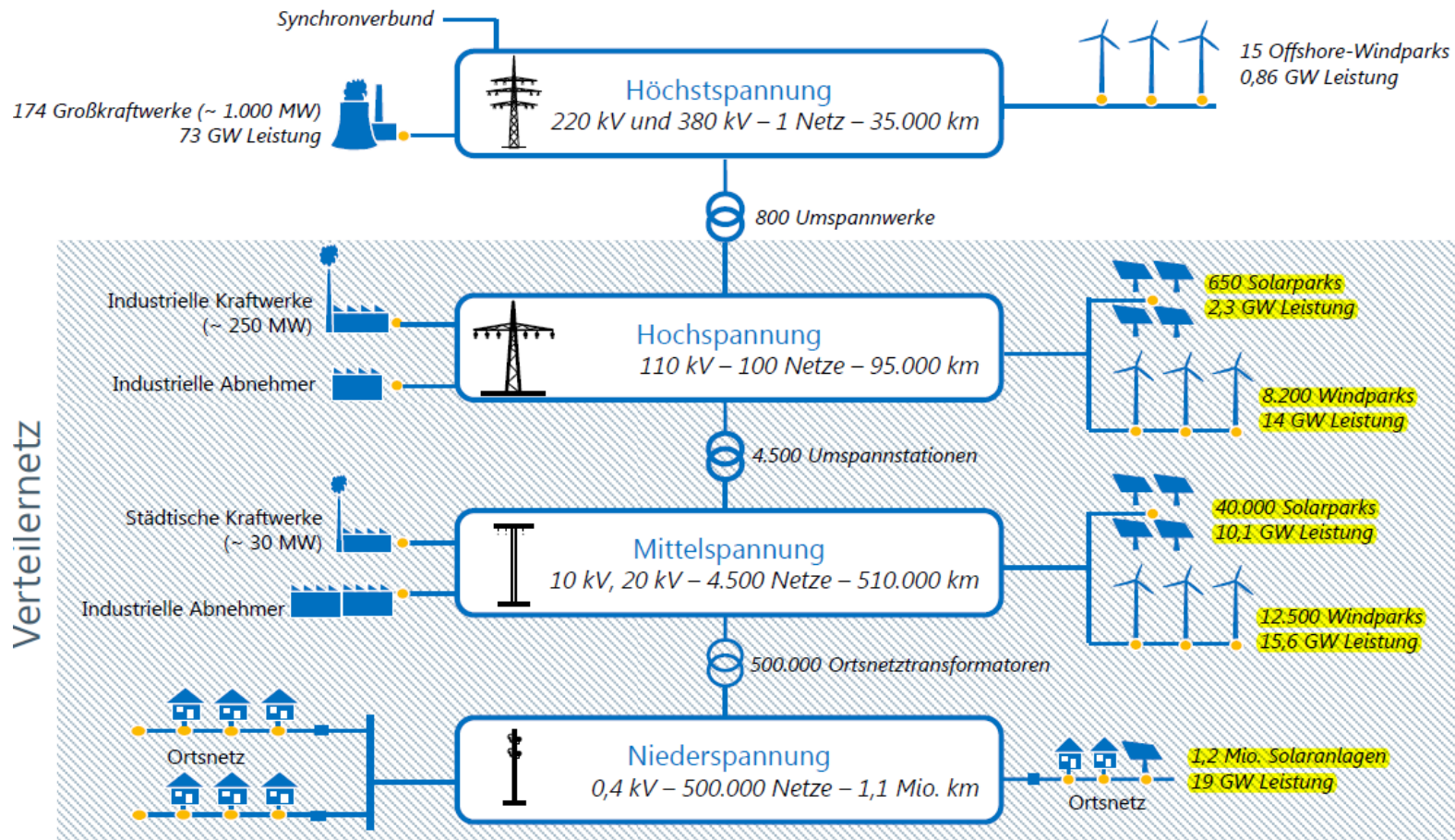
### Neu

- DC-Einspeisung aus Erneuerbaren Energiequellen (speziell Wind und Solar)
- Vermehrt DC-Anwendungen in Gebäuden
- DC-Versorgung der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität

Quelle: ETG Task Force „Gleichspannung in der elektrischen Energieverteilung“

Die Energiewende ist eine neue Herausforderung an die Verteilnetze

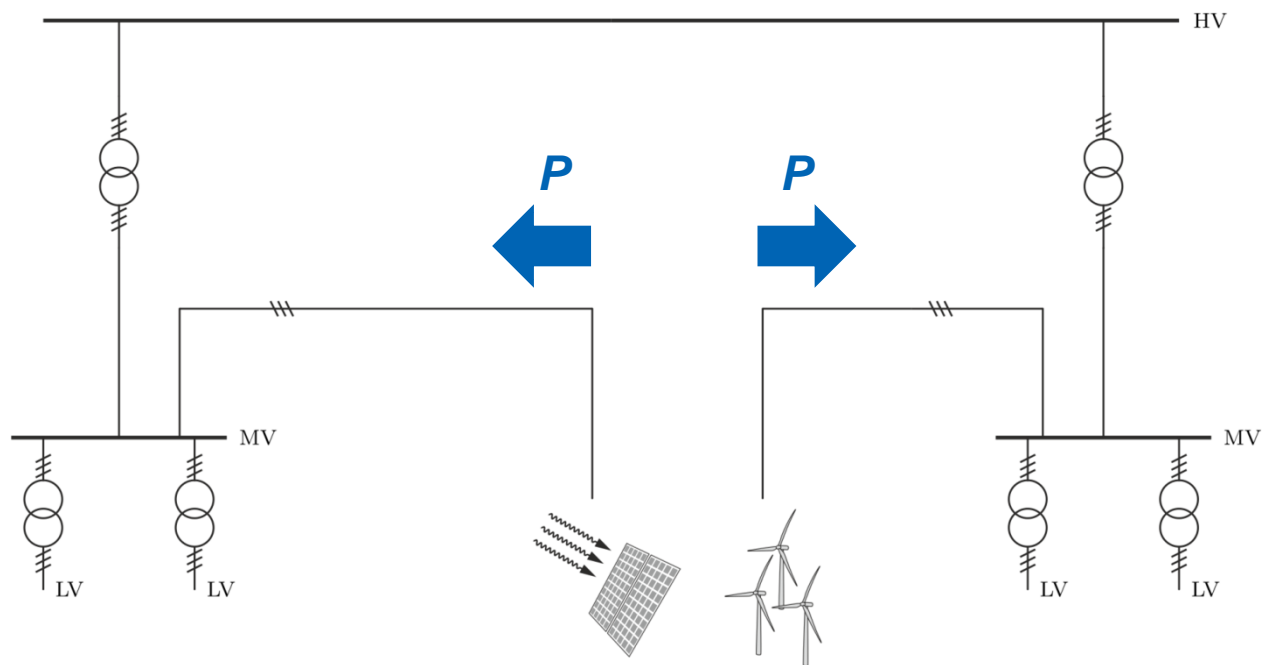
**90% aller EE-Anlagen sind an die Verteilernetze angeschlossen**



Quelle: BMWi-Verteilernetzstudie, September 2014

## Integration Erneuerbarer Energiequellen in die Verteilnetze

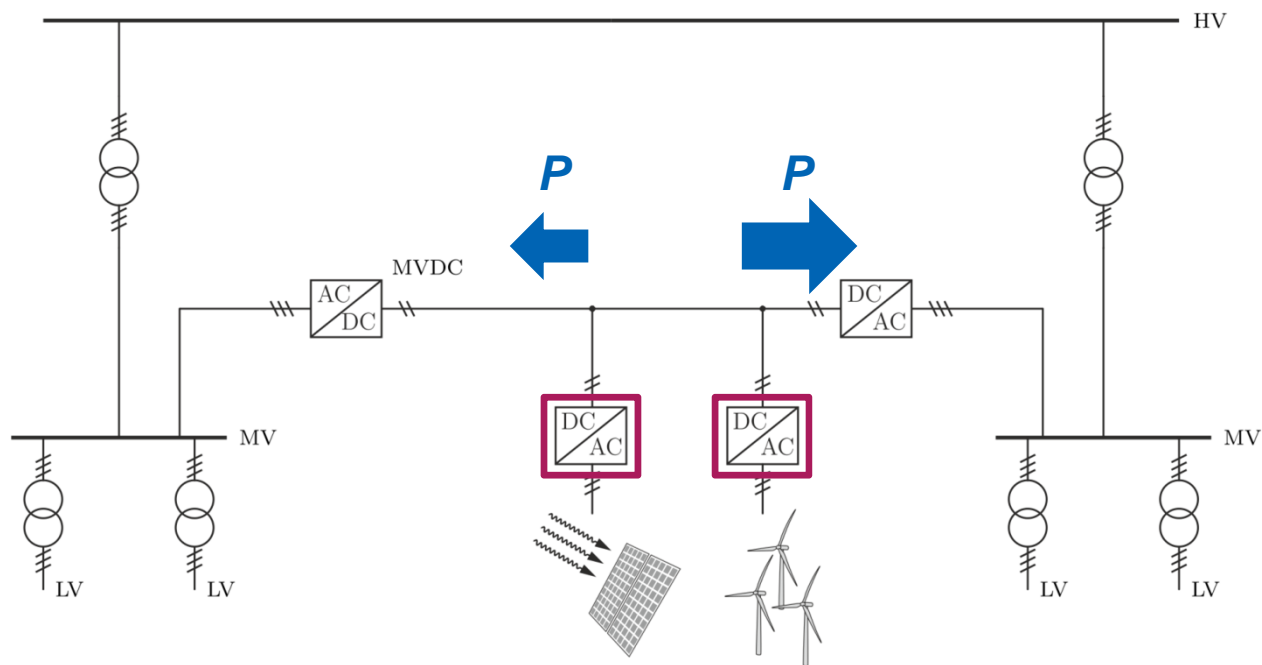
### Wirkleistungseinspeisung aus Erneuerbaren Energiequellen



Quelle: Stieneker: Potential of DC Distribution Systems, 21.04.2016

## Kombination von AC- und DC-Verteilnetzen

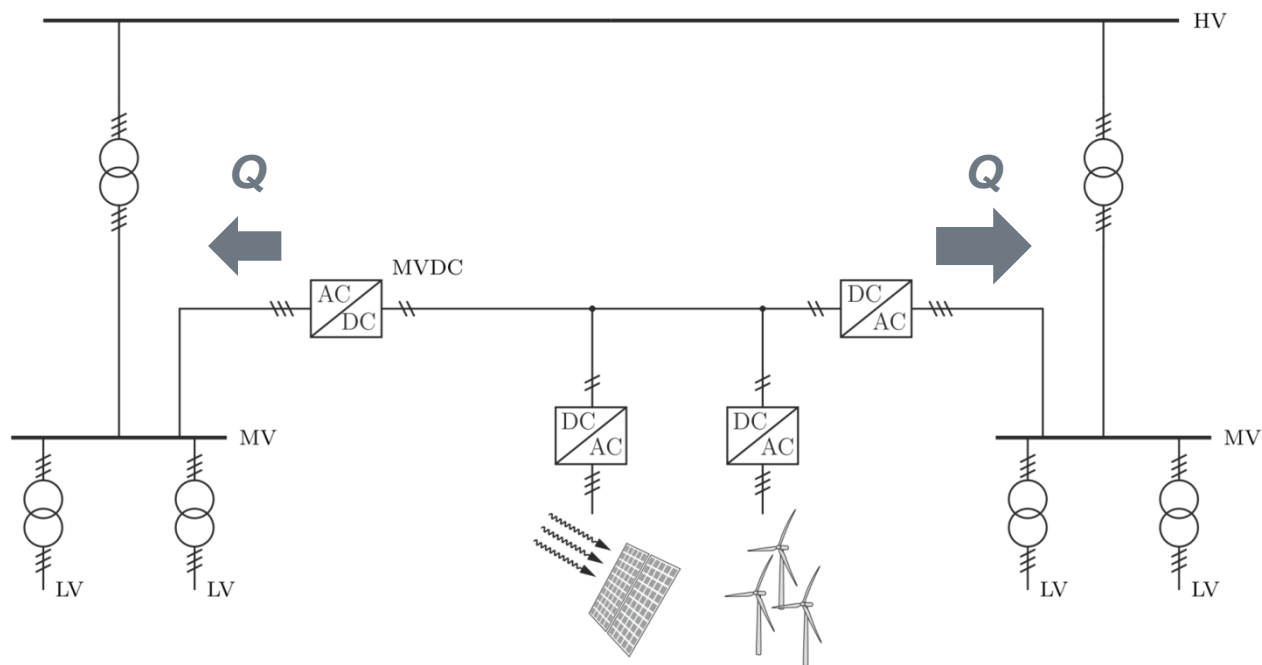
### Leistungsflusssteuerung



Quelle: Stieneker: Potential of DC Distribution Systems, 21.04.2016

## Kombination von AC- und DC-Verteilnetzen

### Blindleistungsbereitstellung für das Drehstromnetz

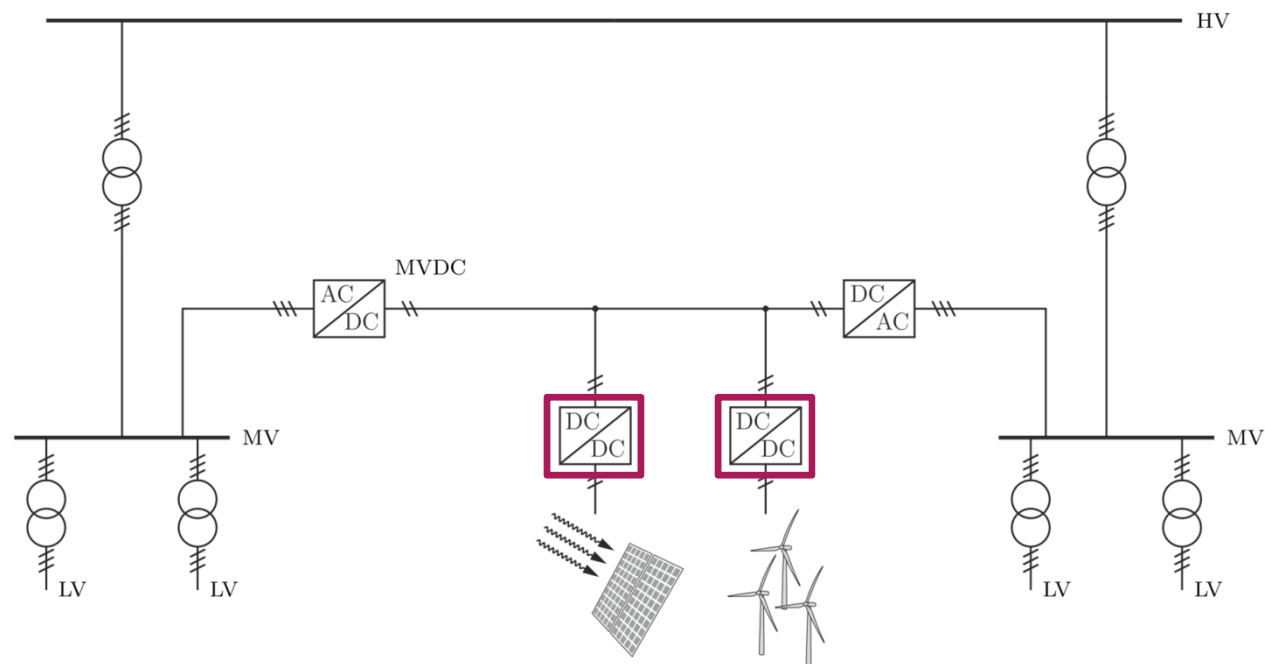


Quelle: Stieneker: Potential of DC Distribution Systems, 21.04.2016



## Kombination von AC- und DC-Verteilnetzen

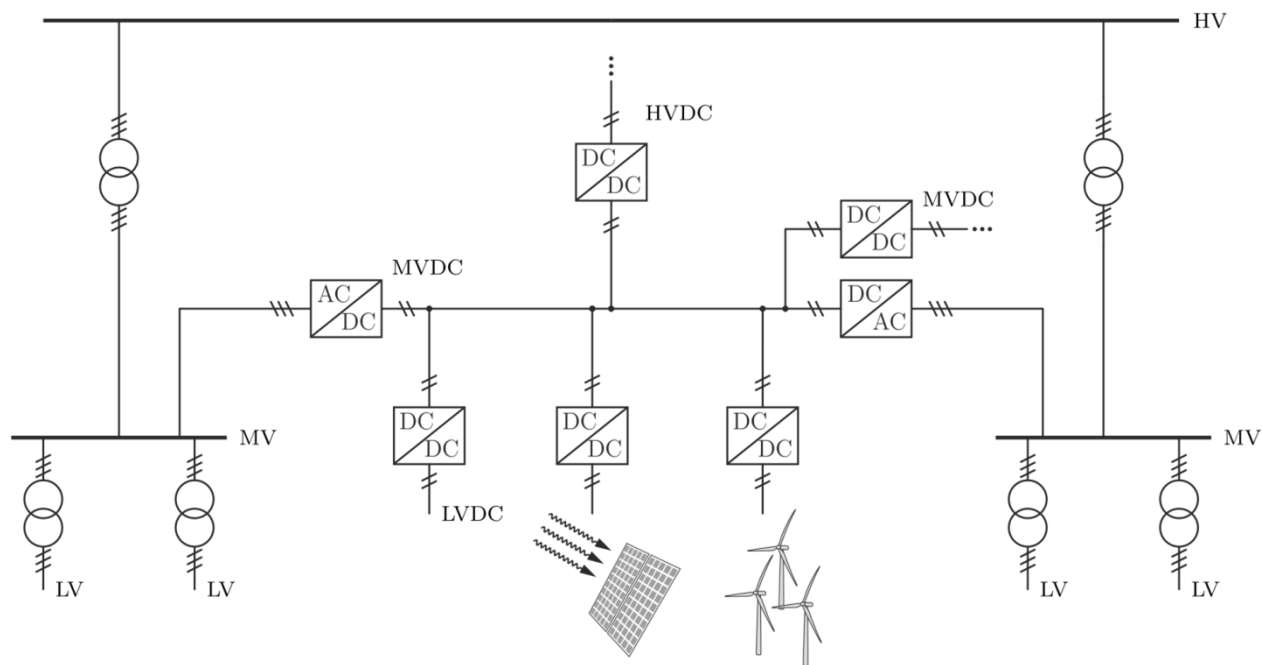
**DC/DC-Wandlung ist effizienter als AC/DC-Wandlung**



Quelle: Stieneker: Potential of DC Distribution Systems, 21.04.2016

## Kombination von AC- und DC-Verteilnetzen

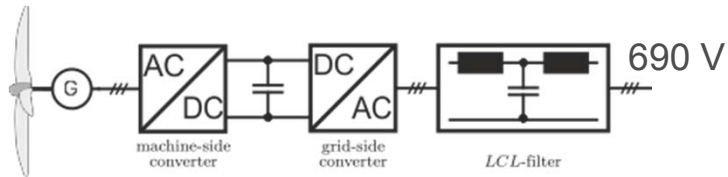
### Effiziente Kopplung von HVDC- und MVDC-Netzen



Quelle: Stieneker: Potential of DC Distribution Systems, 21.04.2016

## Offshore Windparks

### Aktuelle Ausführung: AC-Einsammelnetz



33 kV



33 kV /  
150 kV



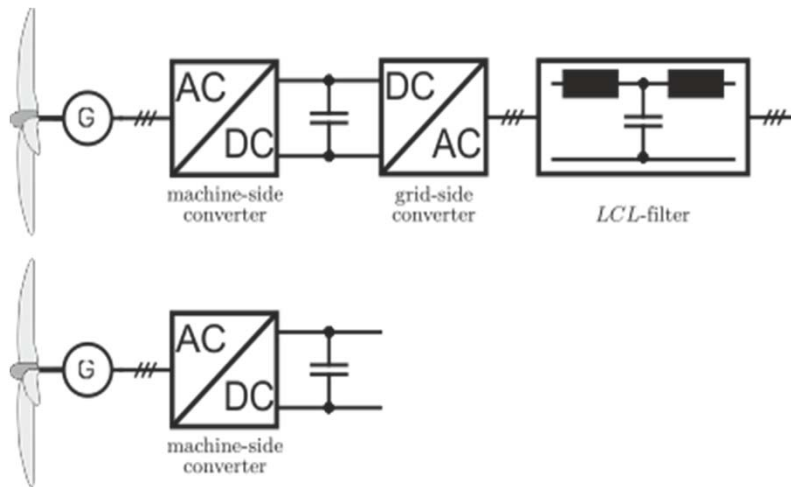
150 kV /  $\pm 320 \text{ kV}_{\text{DC}}$

- Umrichterausgangsspannung:  
z.B. 690 V
  - Interne DC-Spannung:  $\sim 1,2 \text{ kV}$
- Windturbine Hochsetz-Transformator: 690 V / 33 kV
- Windparktransformator: 33 / 150 kV
- HVDC-Übertragung:  $\pm 320 \text{ kV}$
- Wandlungsstufen: AC  $\rightarrow$  DC  $\rightarrow$  AC  
 $\rightarrow$  DC

Quelle: De Doncker; Bachmann: Interfacing HVDC Grids with MVDC Grids in the Future Electrical Systems, 16.09.2016 Bilder: Siemens

## Offshore Windparks

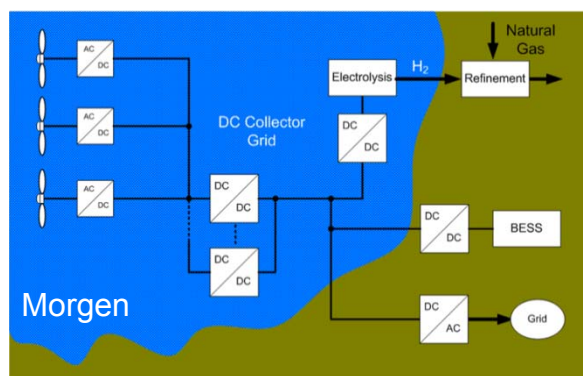
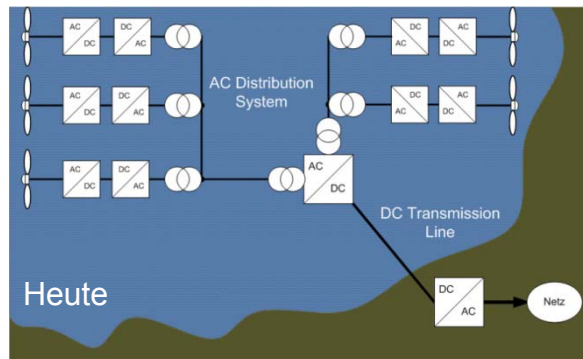
### Motivation für ein DC-Einsammelnetz



- DC-Netzanschluss
  - ~1,5 – 2 % geringere Verluste
  - Weniger Komponenten
  - Höhere Zuverlässigkeit
  - Geringere Investitionskosten
  
- Gleiche Vorteile ergeben sich auch für
  - Photovoltaikanlagen
  - Batteriespeichersysteme

Quelle: De Doncker; Bachmann: Interfacing HVDC Grids with MVDC Grids in the Future Electrical Systems, 16.09.2016

## MVDC-Einsammelnetze für Offshore-Windparks



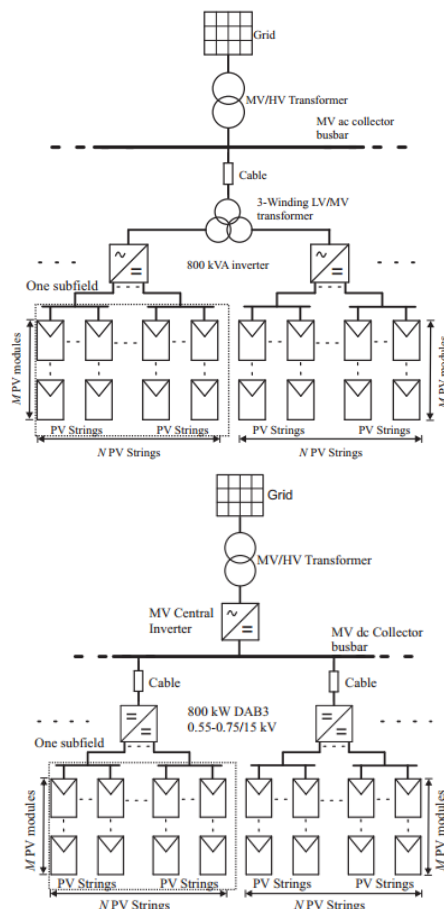
- Windturbine ist über Gleichspannungszwischenkreis an DC/DC-Wandler angeschlossen
- DC/DC-Wandler setzt Spannung hoch auf Übertragungsspannung (HVDC)
- HVDC-Konverter an Land ist als Wechselrichter ausgeführt

### Vorteile:

- Höhere Effizienz des Gesamtsystems
- Geringere Lebenszykluskosten
- Geringere Kosten durch
  - Kleinere Offshore-Plattform(en)
  - Geringere Investitionskosten
  - Verbesserte Zuverlässigkeit

Quelle: De Doncker; Bachmann: Interfacing HVDC Grids with MVDC Grids in the Future Electrical Systems, 16.09.2016

## MVDC-Einsammelnetze für große Solarparks



### Konventioneller Solarparkanschluss

- Anschluss an das HS-Netz über MS/HS-Transformator
- PV-Module sind über Wechselrichter und NS/MS-Transformator (Dreiwickler) an MS-Sammelschiene angeschlossen

### DC-Kollektornetz

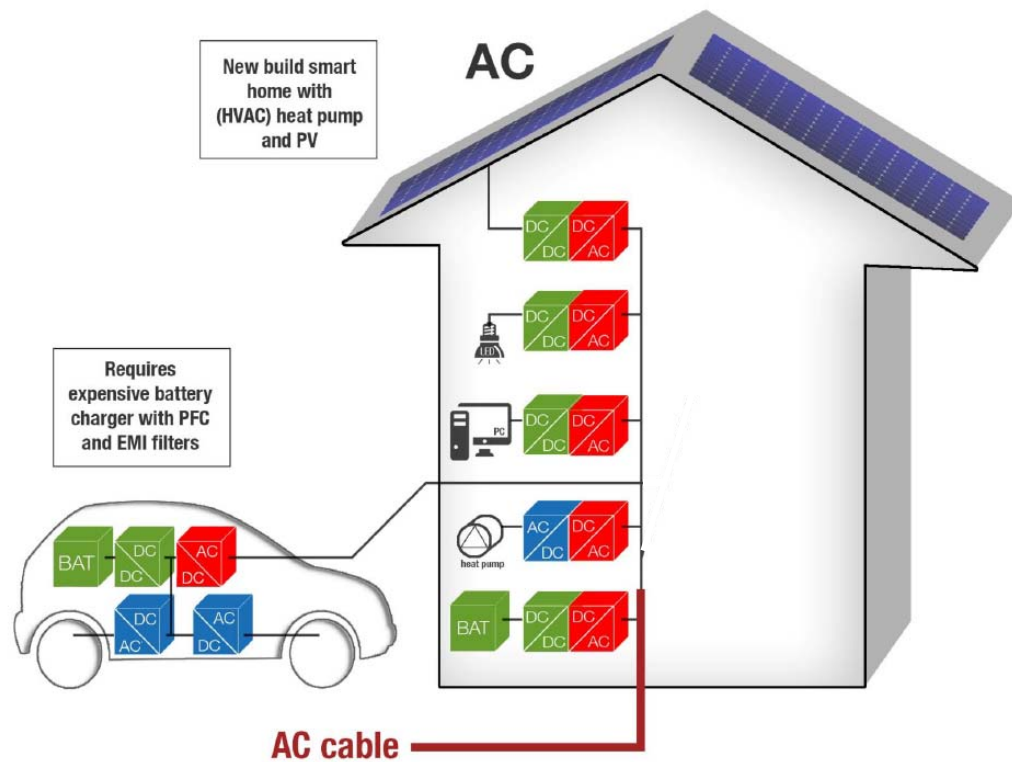
- Anschluss an das HS-Netz zentralen MS-Wechselrichter und MS/HS-Transformator
- PV-Module sind über DC/DC-Wandler an MS-Sammelschiene angeschlossen
- Vorteile: höherer Wirkungsgrad und geringere Kosten

Quelle: ETG Task Force „Gleichspannung in der elektrischen Energieverteilung“

Abkürzungen: NS: Niederspannung, MS: Mittelspannung, HS: Hochspannung

## DC-Anwendungen in Gebäuden

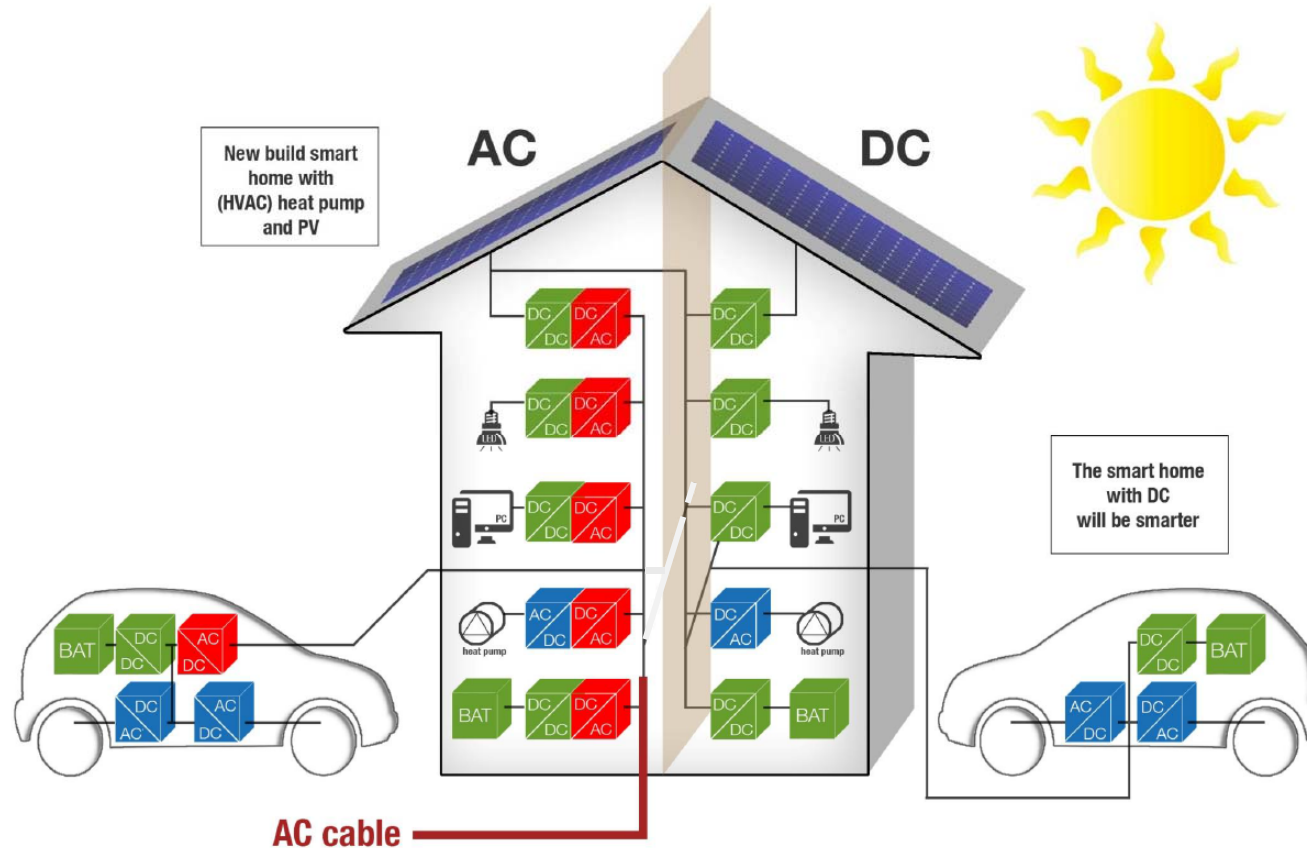
Smart Home – Heute noch klassisch an das AC-Niederspannungsnetz angeschlossen



Quelle: Stieneker: Potential of DC Distribution Systems, 21.04.2016

## DC-Anwendungen in Gebäuden

### Smart Home mit LVDC-Verteilnetz im Gebäude von morgen

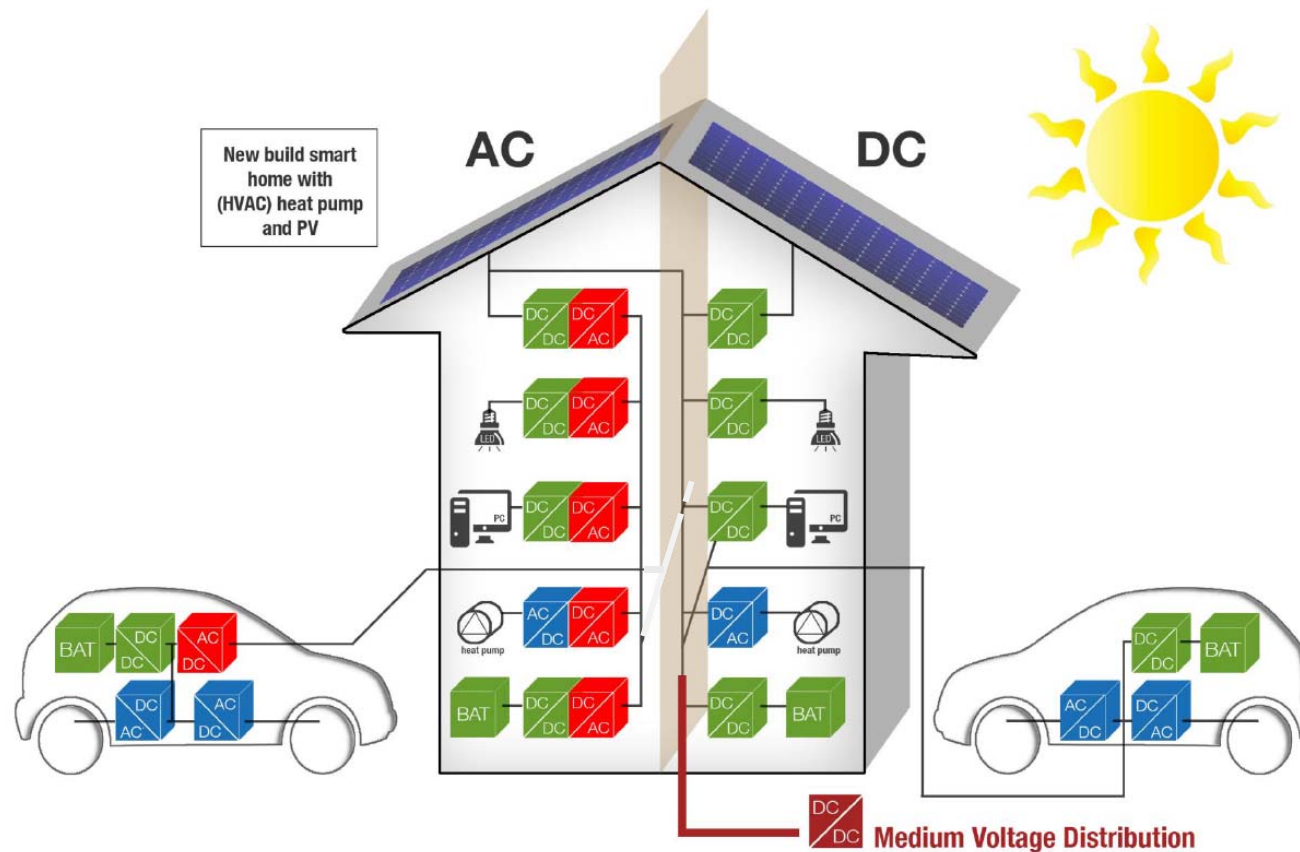


Quelle: Stieneker: Potential of DC Distribution Systems, 21.04.2016



## DC-Anwendungen in Gebäuden

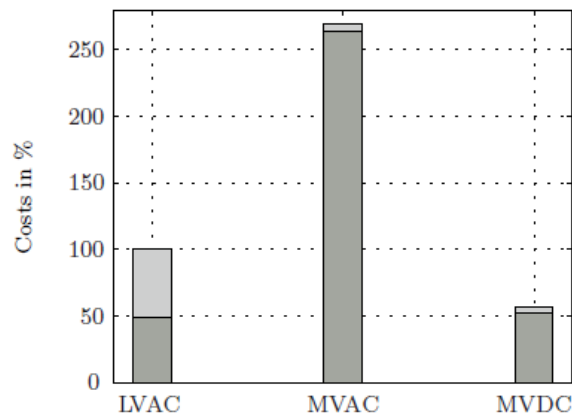
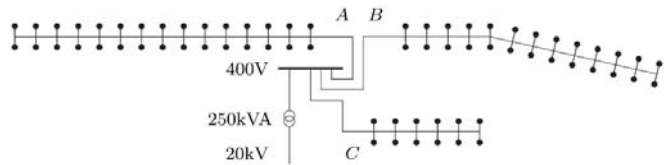
Und übermorgen? – Smart Home an ein MVDC-Verteilnetz angeschlossen



Quelle: Stieneker: Potential of DC Distribution Systems, 21.04.2016

## Gleichspannung für das Verteilnetz

### Ein Kostenvergleich



- Investitionskosten
- Betriebskosten

#### Standardszenario

- 400 V AC-Verteilnetz
- Vierleiter-Kabelnetz
- LVAC-Versorgung der Haushalte (4 Personen)
- 30 kW Anschlussleistung je Haushalt

#### MVAC-Szenario

- 6,6 kV AC-Verteilnetz
- Vierleiter-Kabelnetz
- LVAC-Versorgung der Haushalte (4 Personen)
- 30 kW Anschlussleistung je Haushalt

#### MVDC-Szenario

- $\pm 5$  kV DC-Verteilnetz
- Zweileiter-Kabelnetz
- LVDC-Versorgung der Haushalte (4 Personen)
- 5 kW Anschlussleistung je Haushalt

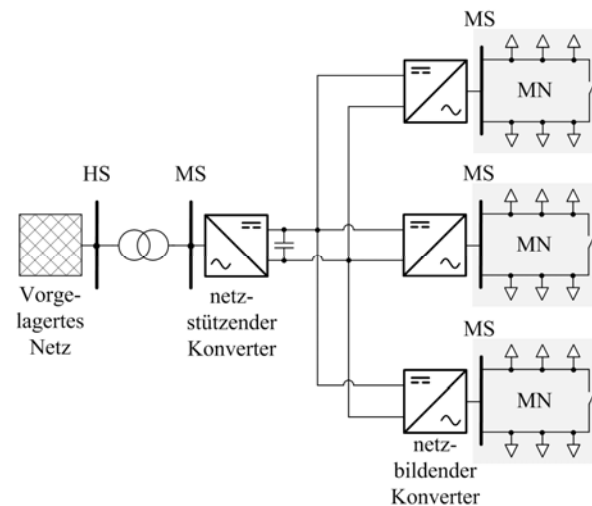
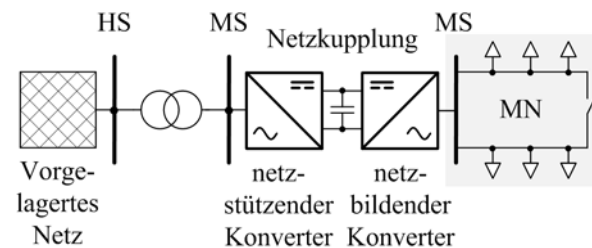
Quelle: Stieneker; De Doncker: MVDC Grid – Efficient Link for Energy Collection and Distribution, 03.11.2016

Abkürzungen: LV: Low Voltage, MV: Medium Voltage

## Mögliche neue Anwendungsfelder

### MVDC-Kurzkupplung

Beispiel



#### Vorteile

- Übertragung von Wirkleistung mit frei einstellbarem Leistungsfluss
- Entkopplung von Netzen
  - Unabhängige Regelung der Blindleistung und damit der Spannung für beide Netze
  - Unabhängige Sicherstellung der Spannungsqualität in beiden Netzen
  - Symmetrierung von Schiefasten

#### Mögliche Anwendungsfälle

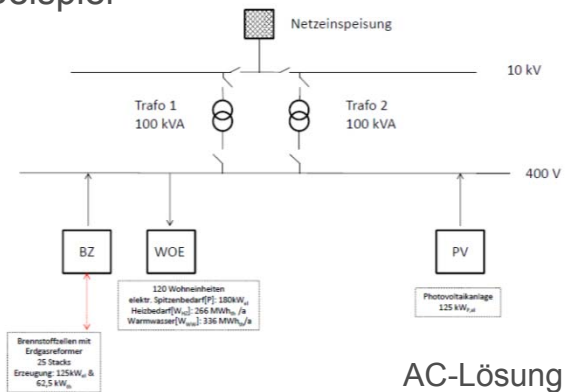
- Versorgung von Sonderkunden mit hohen Qualitätsanforderungen
- Gewollter Inselbetrieb (bei ausreichender Erzeugung im Inselnetz)
- Reduktion von Netzausbau
- ...

Quelle: Priebe; Schocke: ETG Task Force „Gleichspannung in der elektrischen Energieverteilung“

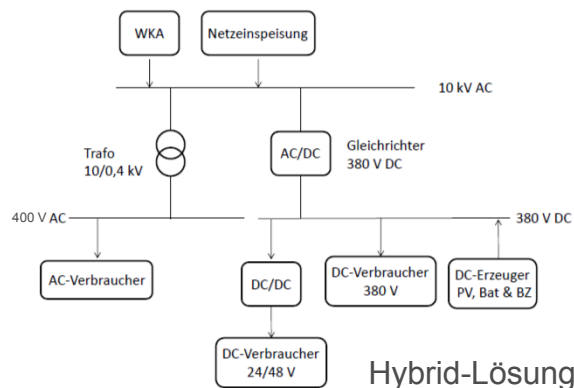
## Mögliche neue Anwendungsfelder

### Parallele AC/DC-Versorgungsstrukturen (Hybridnetze)

Beispiel



AC-Lösung



Hybrid-Lösung

#### Vorteile:

- Direktversorgung von Gleichstromverbrauchern wie LED-Beleuchtung, Elektromobile, Pedelecs, IT-Anlagen, PCs, ...
- Anschluss von PV-Anlage, Batterie-speicher und Brennstoffzelle über DC/DC-Wandler anstelle von Wechselrichtern (Effizienz)

- Geringere Verluste

#### Nachteile:

- Zusätzliches Niederspannungskabel

Quelle: Rethmeier: ETG Task Force „Gleichspannung in der elektrischen Energieverteilung“

## Mögliche neue Anwendungsfelder

### Gleichstromnetz zur Versorgung von Ladesäulen für Elektromobilität



Standard Gleichstrom-Schnellladetopologie



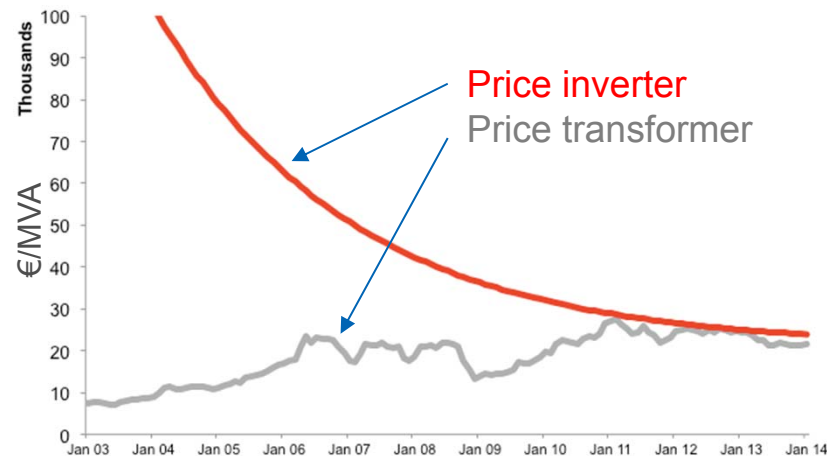
#### Vergleich Versorgung aus DC-Netz gegenüber Versorgung aus AC-Netz

- + kompakterer DC/DC-Wandler anstelle von AC/DC-Wandlern
- + Einfachere Regelung, da keine Synchronisation mit AC-Netz sowie keine Oberwellenspezifikationen
- + höherer Wirkungsgrad
- Stabilität am Gleichstromnetz wenig erforscht
- AC-Front-End könnte netzstützend eingreifen (Blindleistungsbereitstellung)
- Schutz im Fehlerfall

Quellen: Biskoping: ETG Task Force „Gleichspannung in der elektrischen Energieverteilung“

## Fallende Preise für Silizium sind Treiber für den vermehrten Einsatz von Leistungselektronik in der Energieversorgung

### Trends

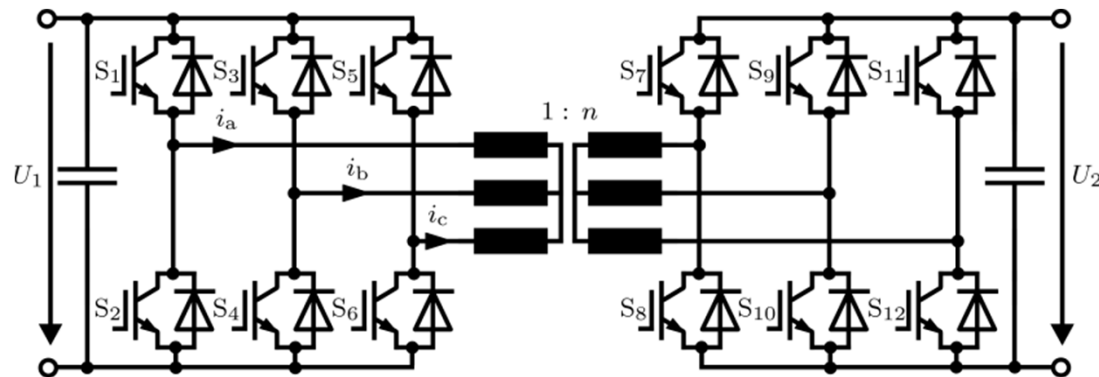


- Stetig steigende Preise für Metalle (Cu, Al, Si-Stahl)
- Fallende Preise für Silizium wegen
  - steigender Produktionsmengen
  - neuen Generationen von Leistungshalbleitern
  - neuer Materialien
  - höheren Schaltfrequenzen und Spannungsebenen
- Wechselrichterkosten von 500 €/kVA auf 25 €/kVA in letzten 25 Jahren, Prognose: 5 €/kVA im Jahr 2020
- **2013:** Wechselrichterkosten gleich auf mit 50-Hz-Transformatorkosten bei ~20 €/kVA

Quelle: De Doncker: Future Urban Electrical Energy Supply Systems, 19.01.2016

## Mittelspannungs-DC/DC-Wandler

### Elektronischer Transformator – „Edison’s Missing Link“



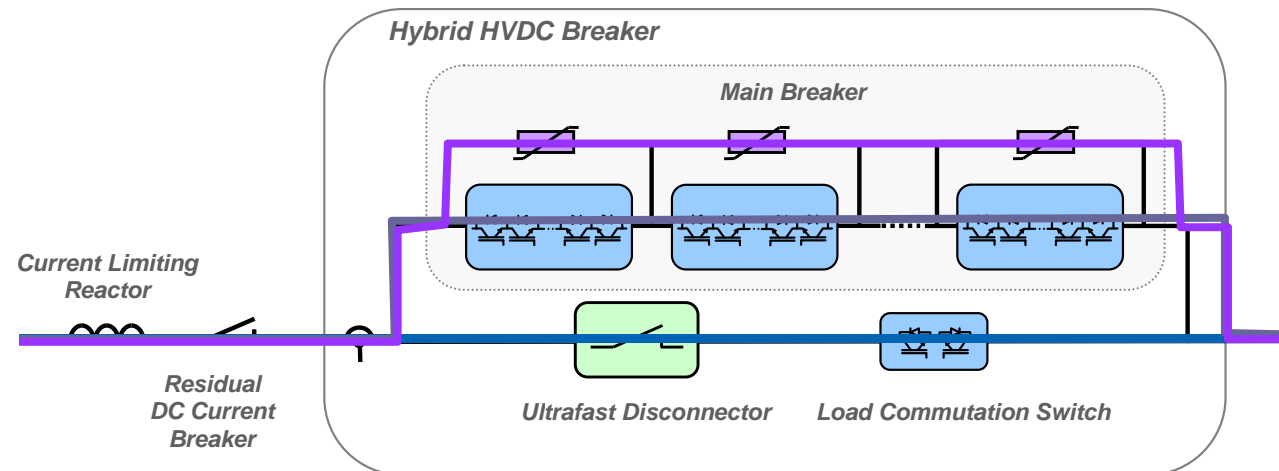
- 5 – 20 MW Leistung pro Einheit, skalierbar bis zu einigen GW
- Hohe Effizienz (bis zu 99,2 %)
- Mittelfrequenztransformator (500-2.000 Hz)
  - Gewichtsersparnis
  - Mit SiC-Bauelementen > 10 kHz

Quelle: De Doncker; Bachmann: Interfacing HVDC Grids with MVDC Grids in the Future Electrical Systems, 16.09.2016

# Hybrider DC-Leistungsschalter

## Schnelles Schalten im Millisekundenbereich

Betriebsstrom bis  
2 kA  
 Betriebsspannung  
bis 320 kV<sub>DC</sub>  
 Abschaltzeit < 5 ms  
 Abschaltstrom bis  
9 kA  
 Verluste < 0,01 %  
 Einfach anpassbar  
an Spannung und  
Strom  
 Strombegrenzung,  
Funktionsprüfung im  
Betrieb  
 Ultra fast discon-  
nector in SF<sub>6</sub>-Tech-  
nologie schützt den  
Lastkommutierungs-  
schalter



- **Normalbetrieb:** Strom fließt durch verlustarmen Laststrompfad (Low Loss Bypass)
- **Proaktives Schalten:** Lastkommutierungsschalter (Load Commutation Switch) sorgt für Übergang des Kurzschlussstroms in den Hauptschalter (Main Breaker), ultraschneller Trennschalter (Ultra Fast Disconnecter) öffnet unter sehr kleiner Spannungs- und Strombelastung
- **Fehlerklärung:** Hauptschalter kommutiert Fehlerstrom in die Überspannungsableiter, nachdem UFD geöffnet hat

Quelle: ABB



## Gleichspannung für das Verteilnetz

### Was gibt es noch zu tun?

- Normung und Standardisierung
  - Für MVDC-Netze existieren derzeit noch keine genormten Spannungsniveaus
  - Kriterien der Spannungsqualität am Kundenanschluss sind zu definieren
  - Regeln (Grid Codes) für den Anschluss von DC-Verbrauchern, DC-Erzeugern und Speichern (allg. Kundenanlagen) an ein öffentliches DC-Netz sind zu definieren
  - Betriebsmittelnormen Kabel und Freileitungen, Umrichter, Isolatoren, Mastkonstruktionen, Anschlussgarnituren, etc. sind zu definieren
- Netzbetriebsführung
  - HVDC-Konzepte lassen sich prinzipiell auch auf ein MVDC-Netz anwenden, für ausgedehnte DC-Verteilnetze mit einer Vielzahl von Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen müssen diese Netzregelungskonzepte jedoch noch näher untersucht werden.
- Systemintegration
  - Systemintegration von aktiven Betriebsmitteln (aktive Gleichrichter, Wechselrichter, DC/DC Wandler etc.) erfordert eine sorgfältige Systemanalyse (Stabilität, Resonanzen, Oberschwingungen)

Quelle: Schnelle; Frey; Maibach: ETG Task Force „Gleichspannung in der elektrischen Energieverteilung“

## Gleichspannung für das Verteilnetz

### Was gibt es noch zu tun?

- Schutzkonzepte
  - Schutzkonzepte aus AC-Netzen (z.B. basierend auf Übertsrömen) sind nicht direkt auf den Einsatz in DC-Netzen übertragbar oder sind zu teuer
    - Distanzschutz: Distanz zum Fehlerort wird mittels Messung der Impedanz bestimmt, die es im DC-Betrieb aber nicht gibt
    - Differentialschutz: Lieste sich anwenden, benötigt aber einen zusätzlichen Kommunikationskanal sowie zwei Leistungsschalter je zu schützendem Betriebsmittel (zu teuer)
  - Hinsichtlich Fehlererkennung (Schnelligkeit, um Überdimensionierung der Freilaufdiode zu reduzieren) und Fehlerlokalisierung in DC-Netzen gibt es noch Forschungsbedarf
  - Freischaltung von Fehlerströmen mittels DC-Leistungsschaltern wurden bzw. werden im Rahmen der HGÜ erforscht, Erkenntnisse können übertragen werden
  - Umrichter mit Vollbrückenmodulen können den Stromfluss von der AC-Seite auf den DC-Kurzschluss regeln

Quelle: Priebe: ETG Task Force „Gleichspannung in der elektrischen Energieverteilung“

## Gleichspannung für das Verteilnetz: Entwicklungen und Optionen

### Fazit

- Die Integration von Erneuerbaren Energiequellen (Wind, Solar) und Batteriespeichersystemen in die Verteilnetze,
  - immer mehr (massive) DC-Verbraucher (z.B. Elektromobilität),
  - die höhere Effizienz einer HVDC-MVDC-Verbindung im Vergleich zu einer HVDC-MVAC-Verbindung,
  - ein steuerbarer Leistungsfluss anstelle von "Ohm" und "Kirchhoff",
  - eine bessere Ausnutzung von Kabeln (kein Skin-Effekt, kein Blindleistungsbedarf),
  - die höhere Systemeffizienz ( $\Rightarrow$  geringerer (Leiter-)Materialaufwand) sowie
  - geringere Life-Cycle-Kosten aufgrund geringerer Wartungskosten,
  - legen einen Anschluss an DC-Netze bzw. eine Versorgung aus DC-Netzen nahe.
- Gründe genug für eine intensive technisch-wissenschaftliche Auseinandersetzung.

# Wissensplattform und Experten-Netzwerk für die Energietechnik

VDE – Netzwerk Zukunft

**Ihr Ansprechpartner :**

Dr. Thomas Benz  
Geschäftsführer ETG

Phone: +49 69 6308-346  
etg@vde.com

Der Beitrag entstand mit freundlicher Unterstützung durch das E.ON Energy Research Center der RWTH Aachen (Leitung: Prof. Dr. ir. Dr. h. c. Rik W. De Doncker) und der ETG Task Force „Gleichspannung in der elektrischen Energieverteilung“