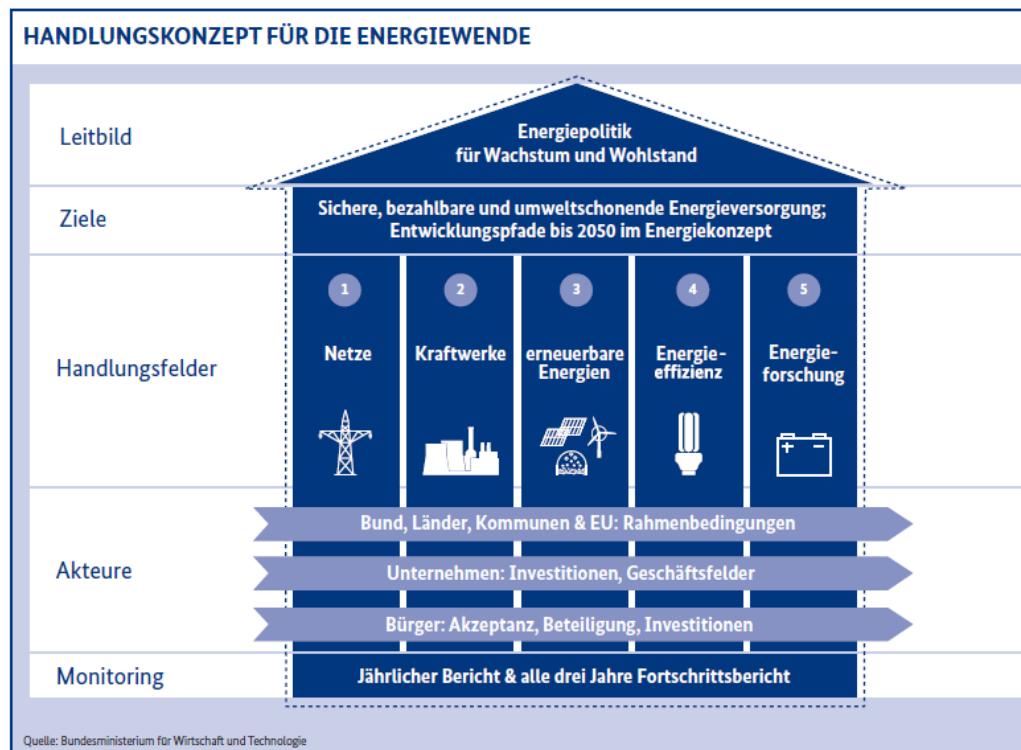


Das elektrische Energieversorgungsnetz für die Energiewende



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prof. Dr.-Ing. Jutta Hanson
12. November 2012



Das Netz für die Energiewende



- Grundbegriffe
- Die großen Änderungen im Energiesektor
 - Struktur der heutigen Energieversorgung
 - Energieerzeugungsstruktur Heute und Morgen
- AC-und DC-Übertragungstechnologien
- Netzentwicklungsplan
- Verteilnetz
- Speichertechnologien

DAS ENERGIEVERSORGUNGSNETZ FÜR DIE ENERGIEWENDE



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

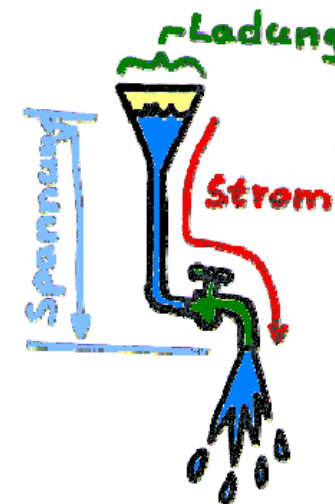
GRUNDBEGRIFFE



Grundbegriffe

"Elektrische Spannung und Strom"

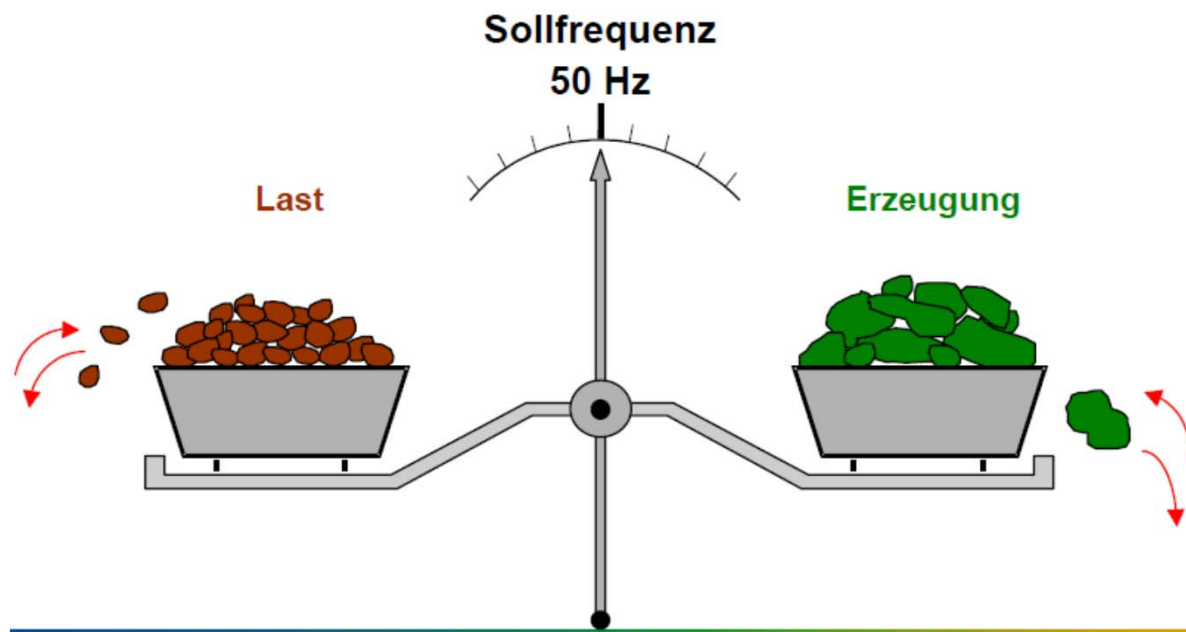
- Eine **elektrische Spannung** entsteht durch Verschiebung oder Trennen von Ladungen. Eine elektrische Spannung kann nur zwischen zwei Punkten mit unterschiedlichem Potential auftreten.
 - Einheit Volt: V, kV
- Ein **Strom** kann fließen, wenn eine Spannung ansteht und der Stromkreis geschlossen ist. Je mehr Elektronen durch einen Leiter je Zeiteinheit fließen, desto höher ist die Stromstärke.
 - Einheit Ampere: A, kA



Grundbegriffe

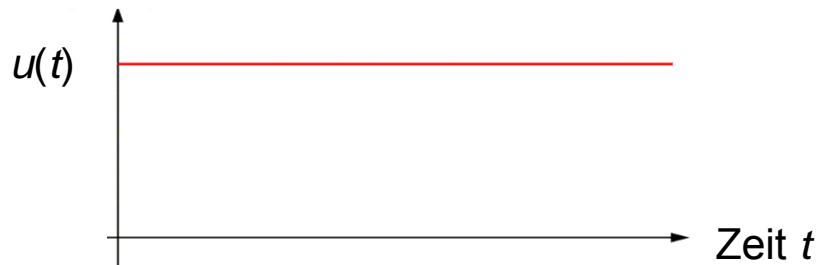
"Elektrische Leistung und Arbeit"

- Leistung = Strom x Spannung kW, kVA, MW, MVA
- Arbeit = Leistung x Zeit kWh, MWh, TWh

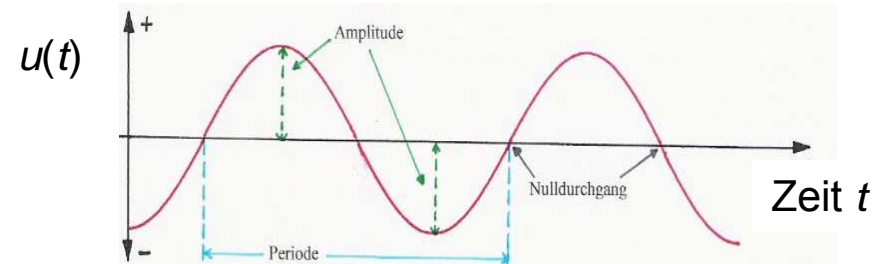


Quelle: Th. Weber, Schneider Electric

Gleichspannung, Wechselspannung, HGÜ

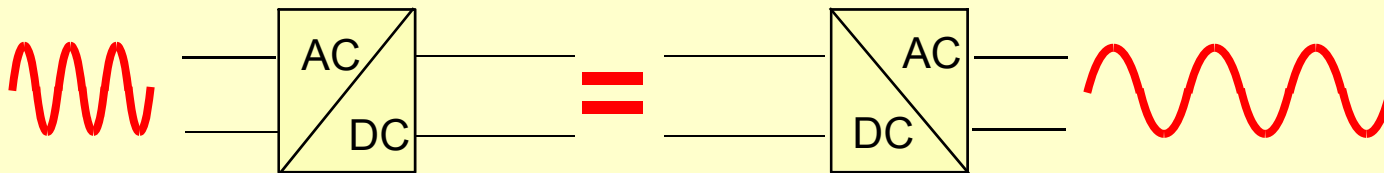


Gleichspannung
(direct current - DC)



Wechselspannung
(alternating current – AC)

Prinzip der Hochspannungsgleichstromübertragung



DAS ENERGIEVERSORGUNGSNETZ FÜR DIE ENERGIEWENDE



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

DIE GROßEN VERÄNDERUNGEN IM ENERGIESEKTOR



Globale Treiber für eine andere elektrische Energieversorgung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Bild:
<http://view.stern.de>
Download: 28.12.11



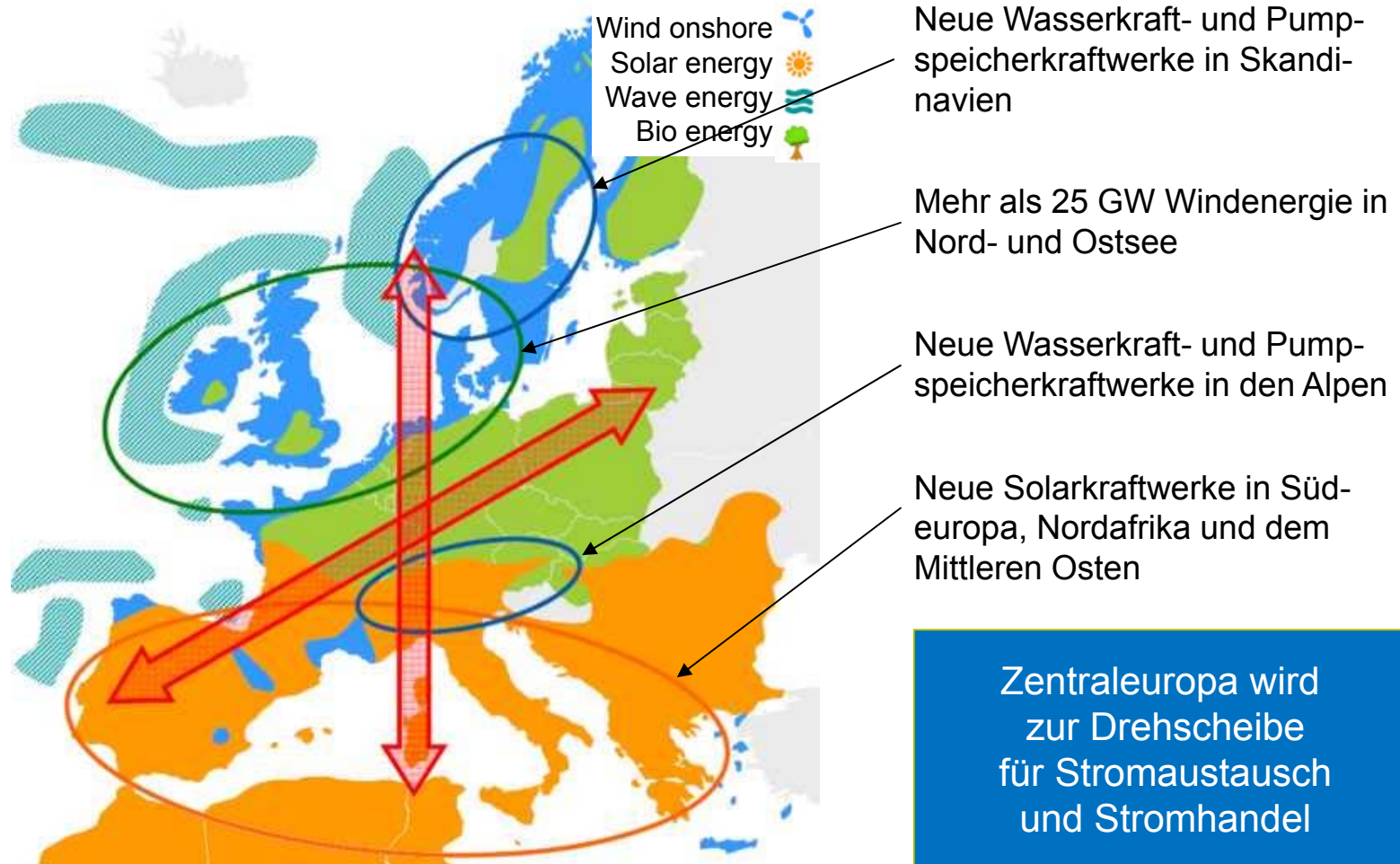
Bild:
<http://idw-online.de>
Download: 28.12.11

- **Wachstum**
 - Bevölkerung
 - Wirtschaft - vor allem in den Schwellenländern
- **Nachhaltigkeit**
 - Umweltverschmutzung – lokal
 - Klimawandel – global
 - Endlichkeit der Ressourcen
- Elektrische Energie gewinnt weiter an Bedeutung und wird zum größten Teilsektor (IEA)

Zentraler Treiber des Wandels in Europa

Umbau des Erzeugungssystems

Source: DG Energy,
European
Commission



Elektrische Energieversorgung

Die Lösung bis heute



▪ **Drehstromsystem**

- einfache Umwandlung von und in mechanische Energie
- einfache Spannungswandlung, Stromunterbrechung
- Frequenz als systemweite Führungsgröße



▪ **Verbrauchsnahe Erzeugung**

- wirtschaftlich: Primärenergietransport i.a. günstiger
- robust: kurze Leitungen, regionale Teilsysteme



▪ **Lastführung** des Versorgungssystems

- Erzeugung und Verbrauch müssen jederzeit ausgeglichen sein!
- Ausgleich fast ausschließlich auf der Erzeugungsseite
- Energiespeicherung bevorzugt auf Primärenergieseite

Die deutsche Energiewende

Grundlegende Veränderungen in der Erzeugungsstruktur



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



- **Verbrauchsferne** Erzeugung in großen Einheiten
 - Windenergie, insbesondere Offshore
 - Wasserkraft (Speicher) – Alpen, Skandinavien
 - Wegfall der Erzeugung großer Kernkraftwerksblöcke im Süden Deutschlands
 - Sonnenenergie – Südeuropa, Nordafrika



- **Dezentrale** Erzeugung in kleinen Einheiten
 - Photovoltaik
 - Kraft-Wärme-Kopplung



- **Volatile** Erzeugung
 - Windenergie
 - Sonnenenergie

Neue Erzeugungs- und Verbraucherstruktur

Treiber	Betroffener Systembereich				
	Konv. Erzeugung	Übertragung	Verteilung	Betrieb	Anwendung
Verbrauchs- ferne Erzeugung		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ferntransporte ▪ Overlaynetz AC/DC 			
Dezentrale Erzeugung			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fernüberwachbarkeit und -steuerung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kommunikation ▪ Steuerung 	
Volatile Erzeugung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teillastfähigkeit ▪ Flexibilität 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Überregionaler Ausgleich ▪ Overlaynetz AC/DC 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dezentrale Speicher 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demand/Load Side Management 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Speicher ▪ Demand/Load Side Management
Neue Verbraucher (Elektromobilität)			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ladeinfrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demand/Load Side Management 	

Quelle: Kreusel, ETG-Kongress 2011

Neue Erzeugungs- und Verbraucherstruktur → Neues Netz

Erzeugung

Übertragung und Verteilung

Verbrauch



Traditionelle
Kraftwerke



Solkraftwerke



Windparks



Verteilte
Erzeugung



Intelligente
Zähler



Haus-
automatisierung



Elektrofahrzeuge

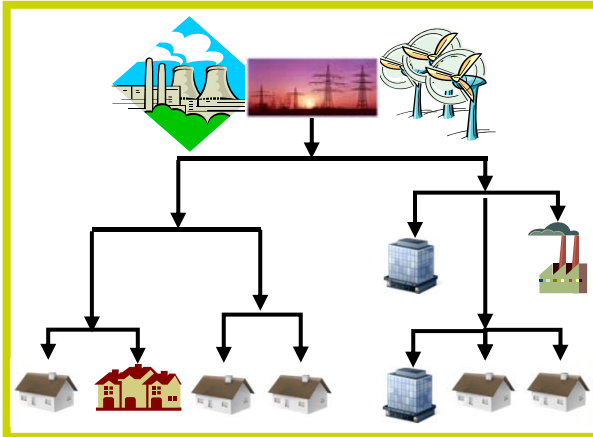


Industrie

Evolution der Netze

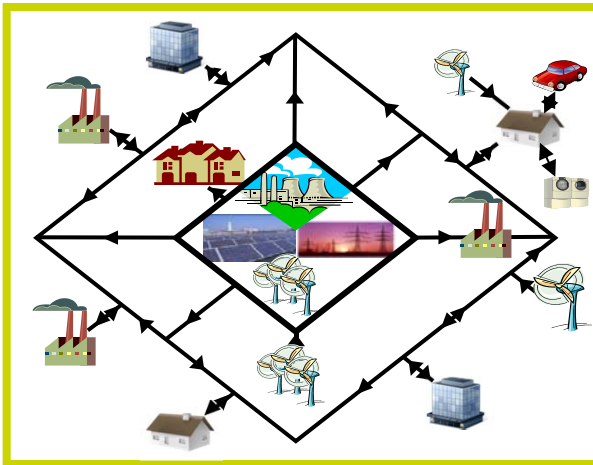
Vom traditionellen Aufbau zu zukünftigen Konzepten

Traditionelles
Netz



- Zentrale Stromerzeugung
- Gerichteter Leistungsfluss
- Lastgeführter Betrieb der Erzeugungsanlagen
- Betriebsführung basiert auf Erfahrung
- Begrenzter Netzzugang für neue Erzeuger

Zukünftiges
Netz



- Zentrale und dezentrale Erzeugung
- Volatile Erzeugung aus "Erneuerbaren"
- Verbraucher werden auch Erzeuger
- Kein gerichteter Lastfluss
- Last folgt auch Erzeugung
- Betriebsführung basiert auf Echtzeitdaten

DAS ENERGIEVERSORGUNGSNETZ FÜR DIE ENERGIEWENDE

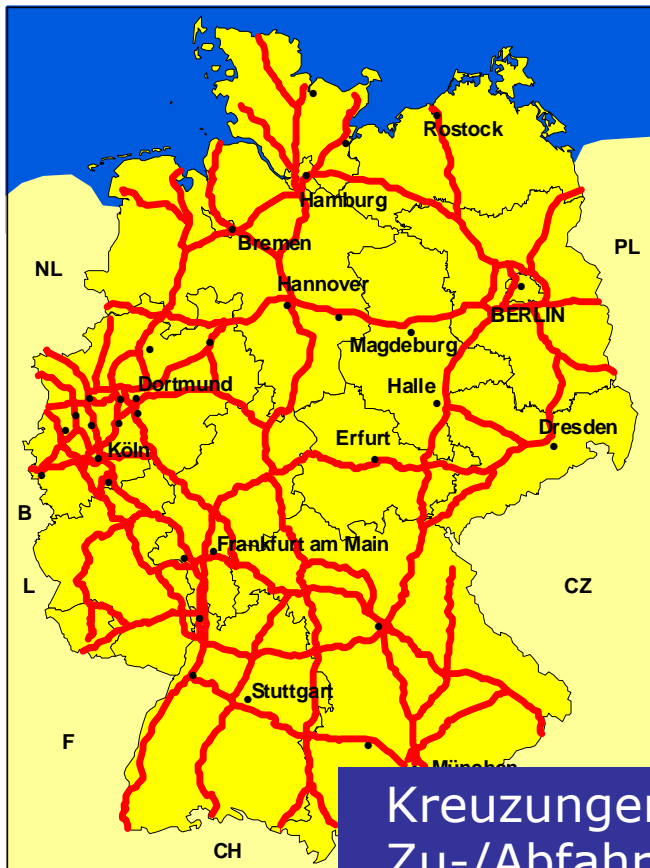


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

STRUKTUR DER HEUTIGEN ENERGIEVERSORGUNG

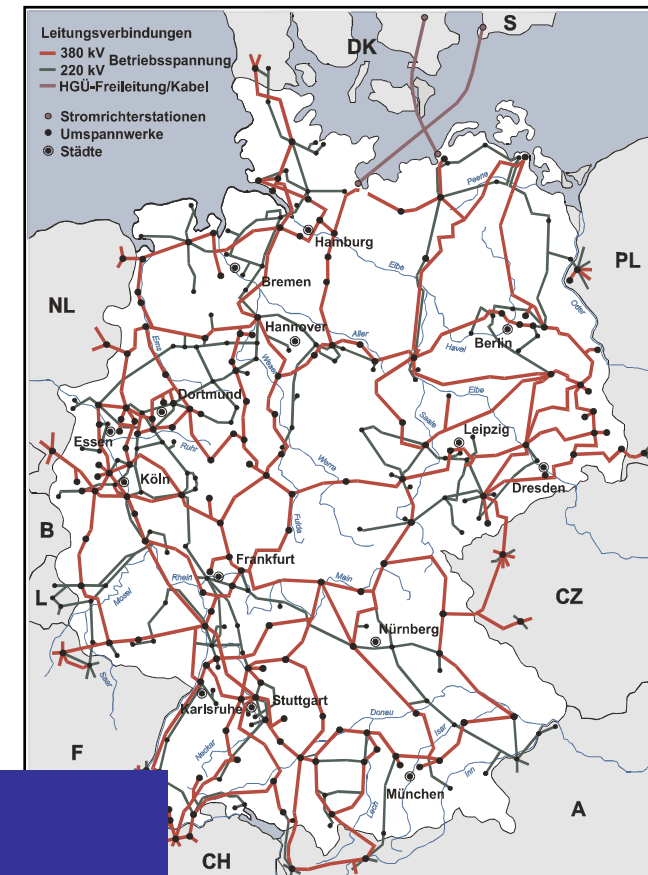


Straßennetz - Elektrisches Netz



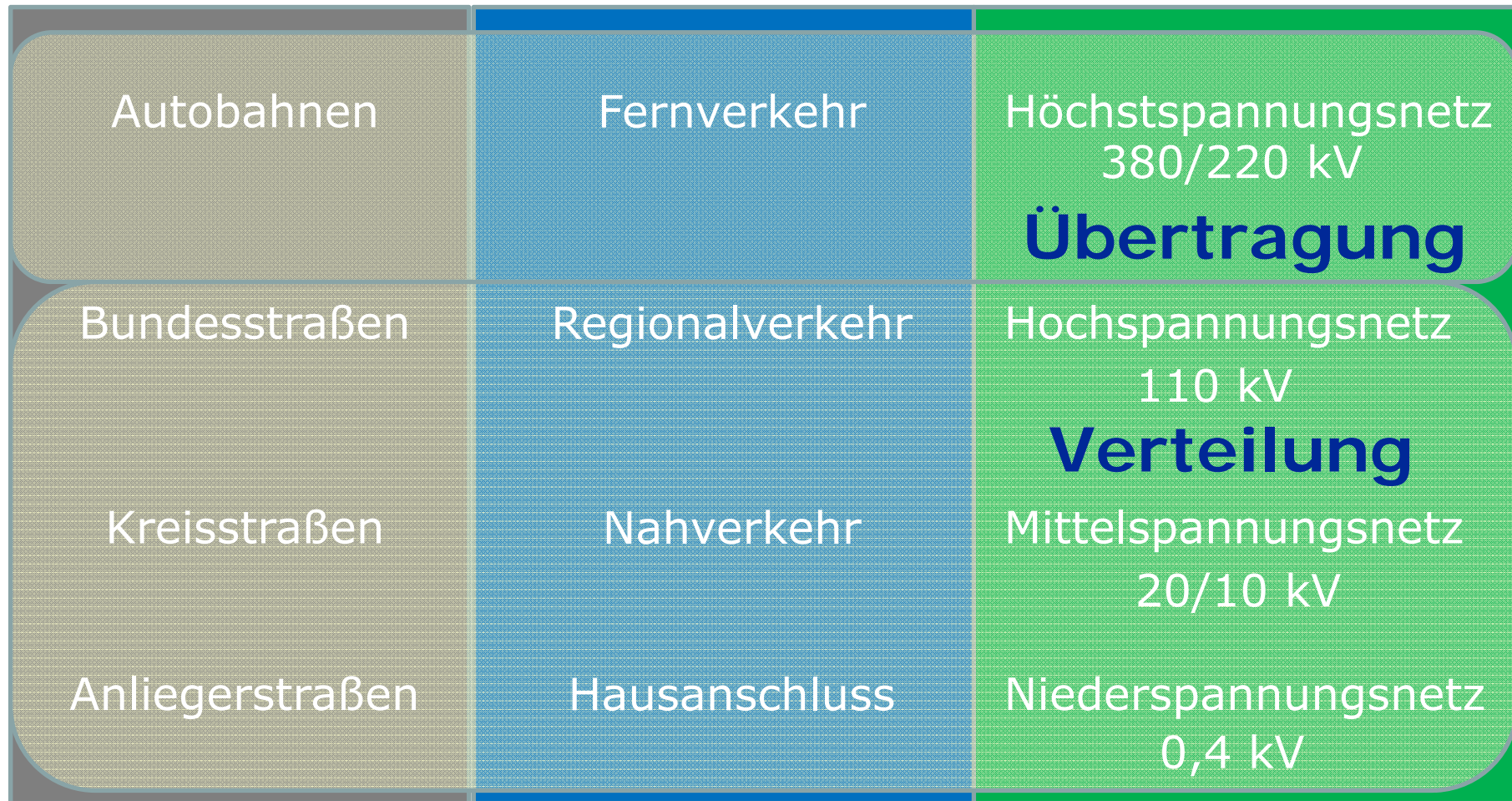
Autobahnnetz

Kreuzungen ↔ Netzknoten
Zu-/Abfahrten ↔ Kraftwerke,
Umspannstationen



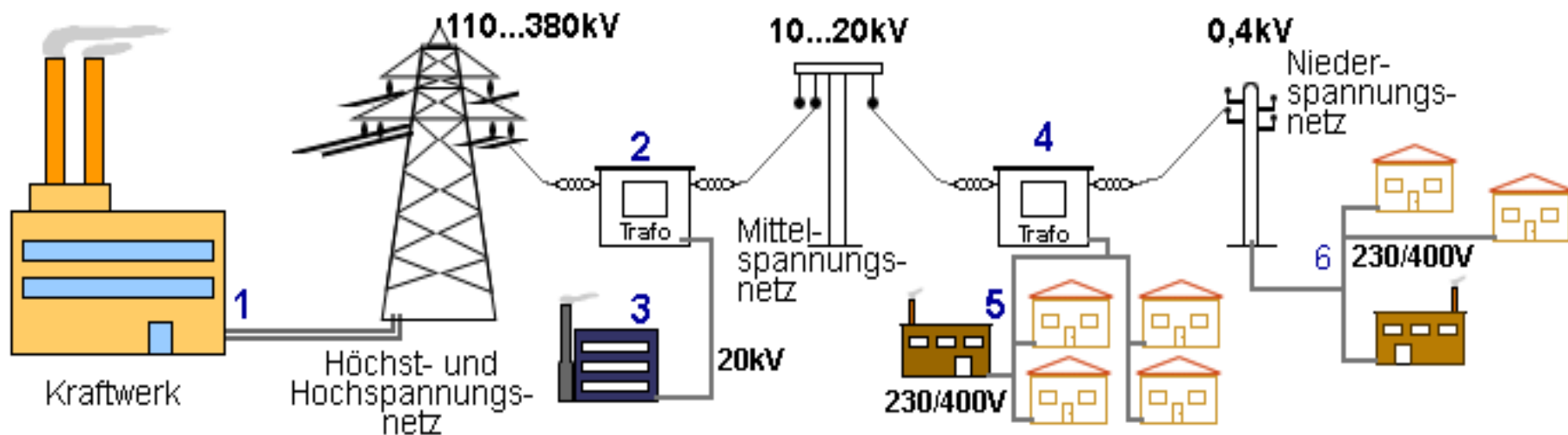
380-kV-/220-kV-Netz

Netzebenen - Spannungsebenen



Spannungsebenen in Deutschland

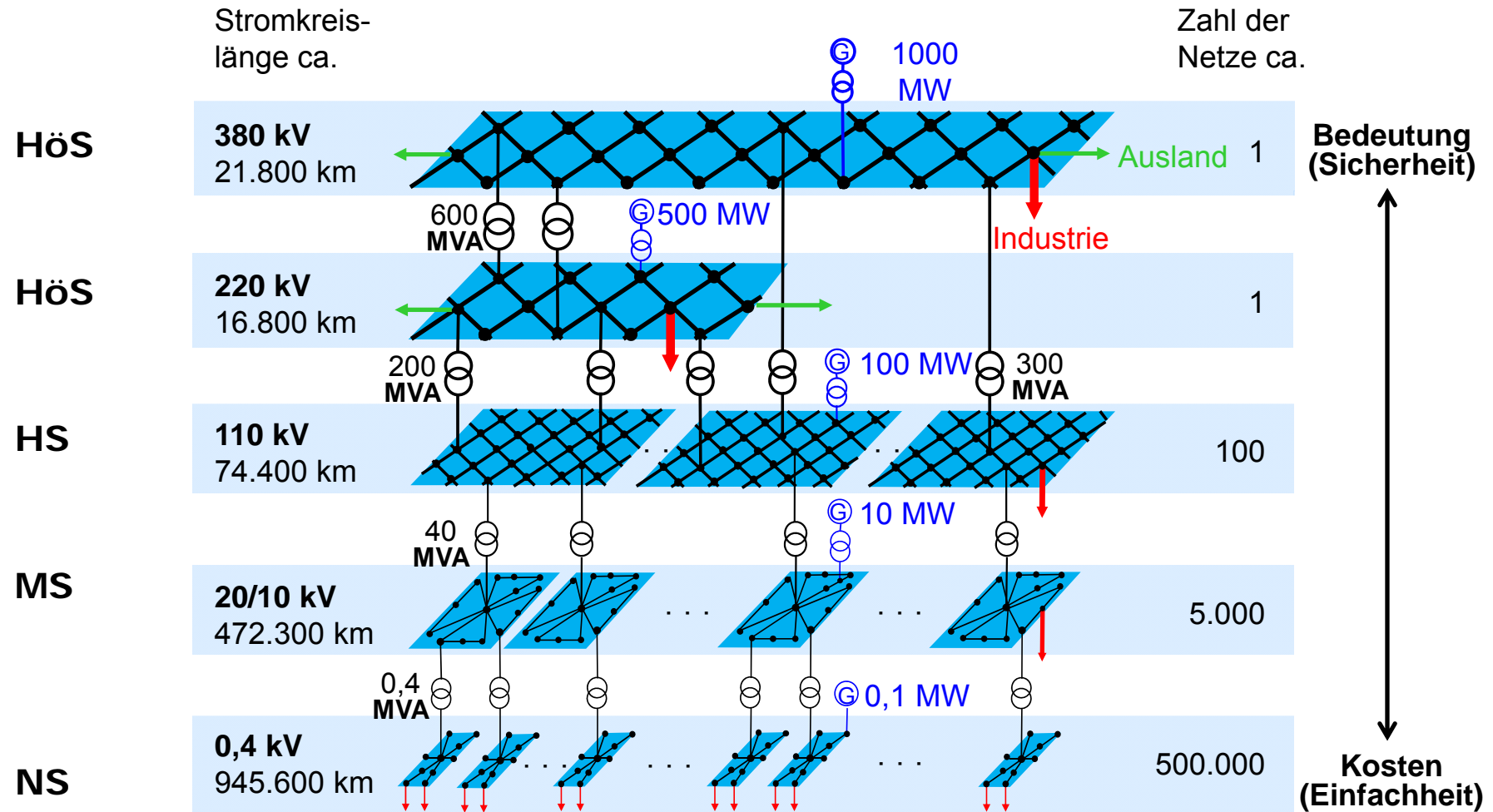
- Höchstspannung (HöS) 220 kV, 380 kV
- Hochspannung (HS) 110 kV
- Mittelspannung (MS) 6 kV, 10 kV, 20 kV, 30 kV
- Niederspannung (NS) 400 V, 500 V, 690 V



Spannungsebenen und Netzstruktur in Deutschland



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

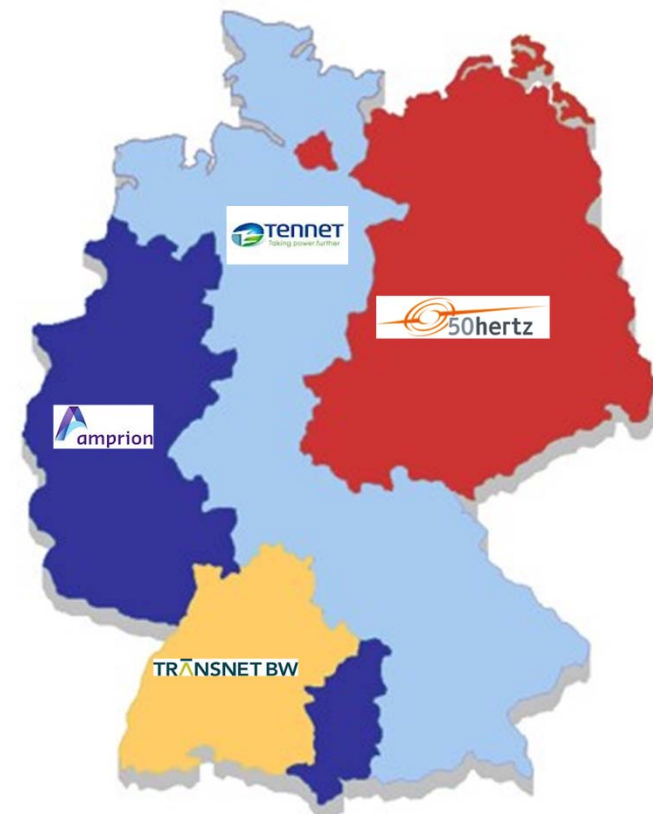


Übertragungsnetzbetreiber und Verbundnetz

Für eine Übertragung der elektrischen Energie über größere Entfernungen sind hohe Spannungen wegen der Übertragungsverluste unerlässlich.

Die Vorteile eines Verbundnetzes sind:

- **Erzeugungsausgleich** zwischen Kraftwerken unterschiedlicher Primärenergiebasis bzw. Kostenstruktur oder technischer Leistungsfähigkeit.
- Ausgleich der Unterschiede im **Lastkurvenverlauf** zwischen den elektrischen Netzen der Verbundunternehmen.
- Möglichkeit der **Unterstützung bei einem Störfall** bzw. Energieaustausch.
- **Verminderung der Investitionen** in neue Erzeugungsleistungen aufgrund der Austauschmöglichkeiten.



DAS ENERGIEVERSORGUNGSNETZ FÜR DIE ENERGIEWENDE



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

ENERGIEERZEUGUNGSSTRUKTUR HEUTE UND MORGEN

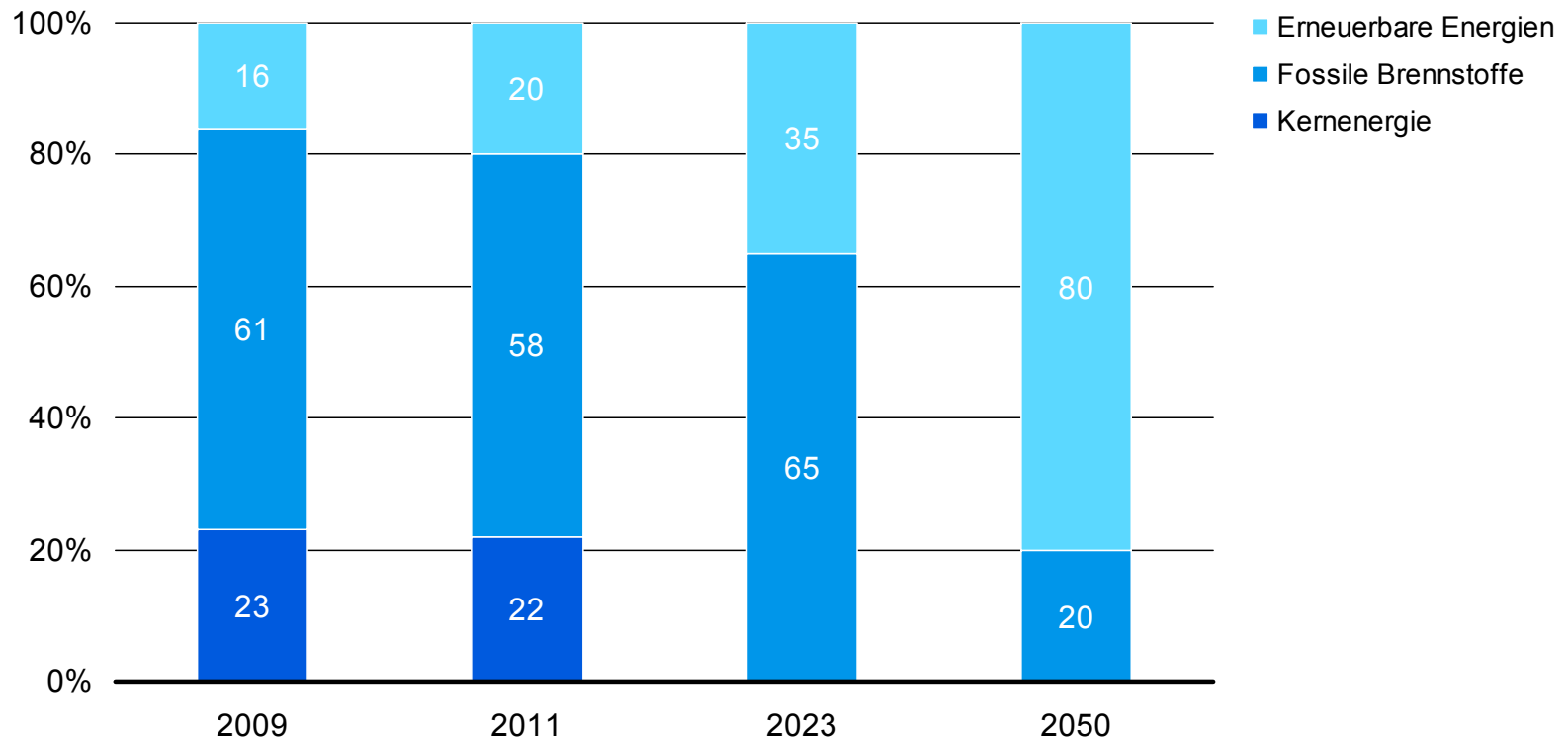


Neue Energie für Deutschland

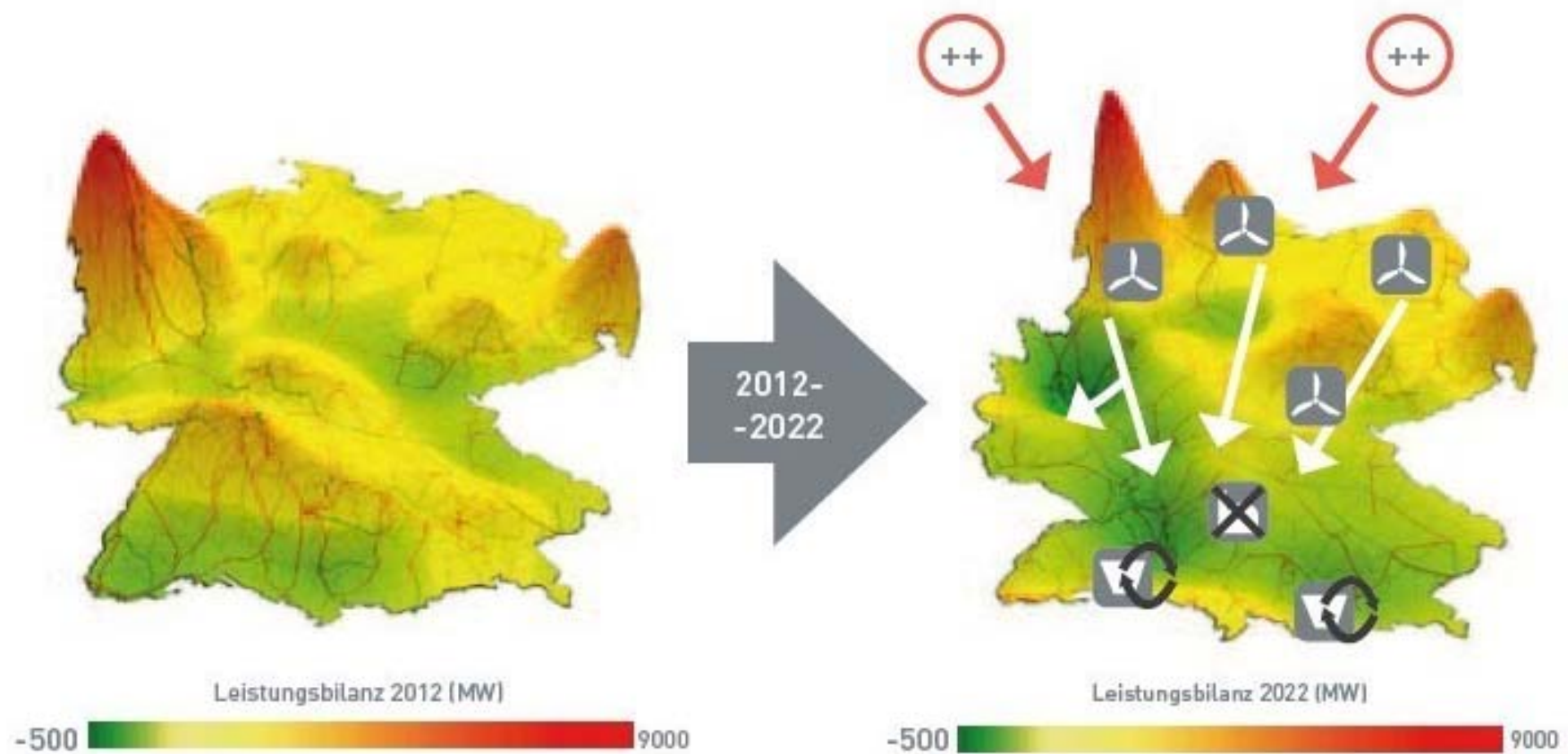
Ziele der Bundesregierung

Entwicklung des Strommix Anteil an der Stromerzeugung in Prozent

Quelle:
Fortschritte für
Deutschland.
Halbzeitbilanz der
Bundesregierung.
www.bundesregierung.de, 03.11.2011



Geänderte Erzeugungsstruktur laut Netzentwicklungsplan

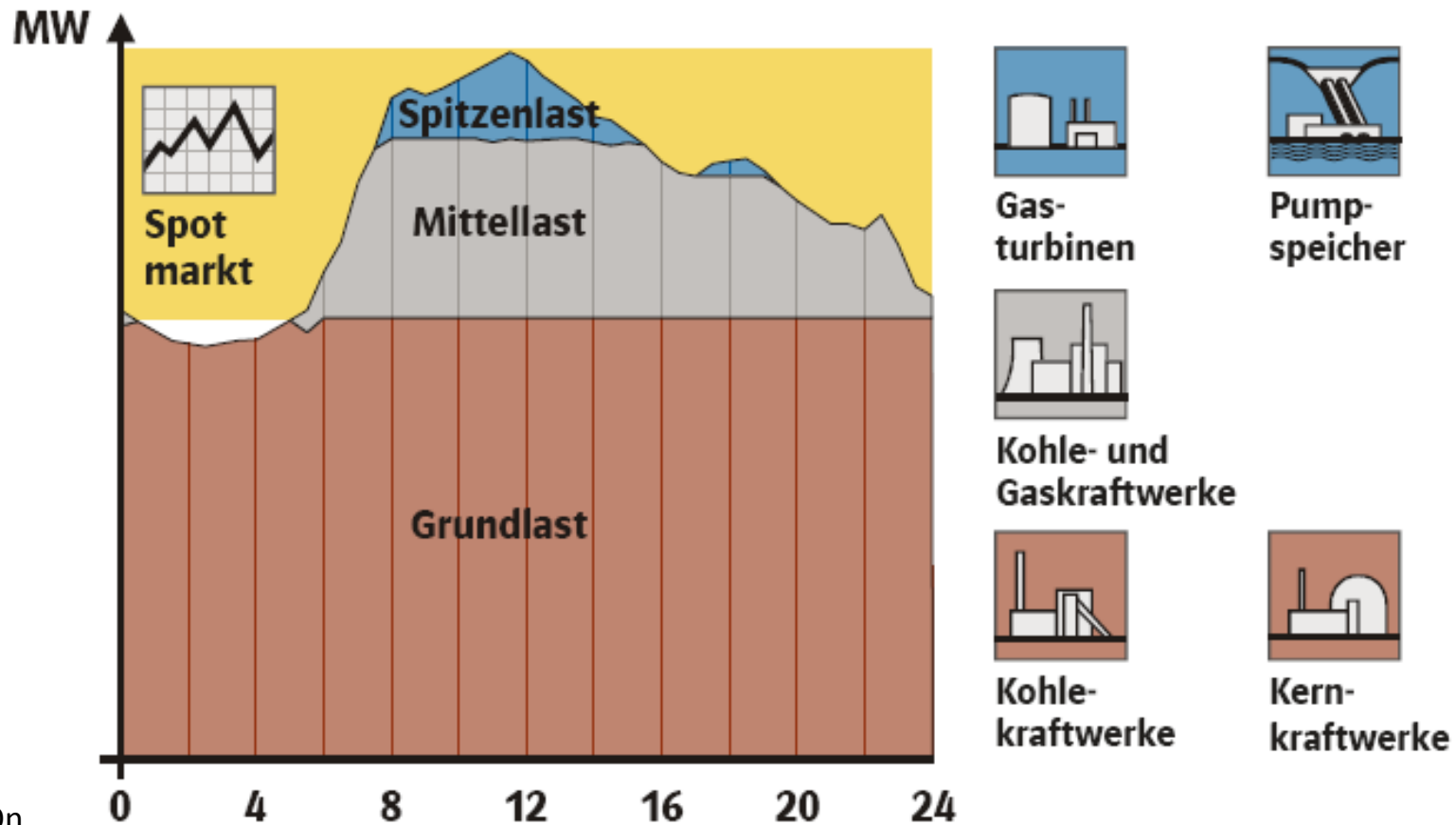


Quelle: www.netzentwicklungsplan.de

Bislang: Netzbelastung und Kraftwerkseinsatz sind prognostizierbar



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

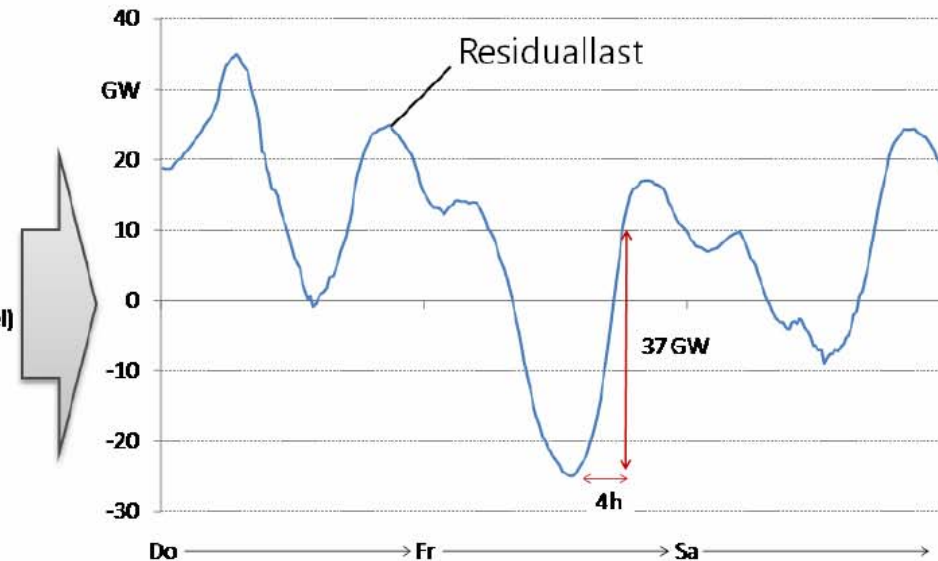
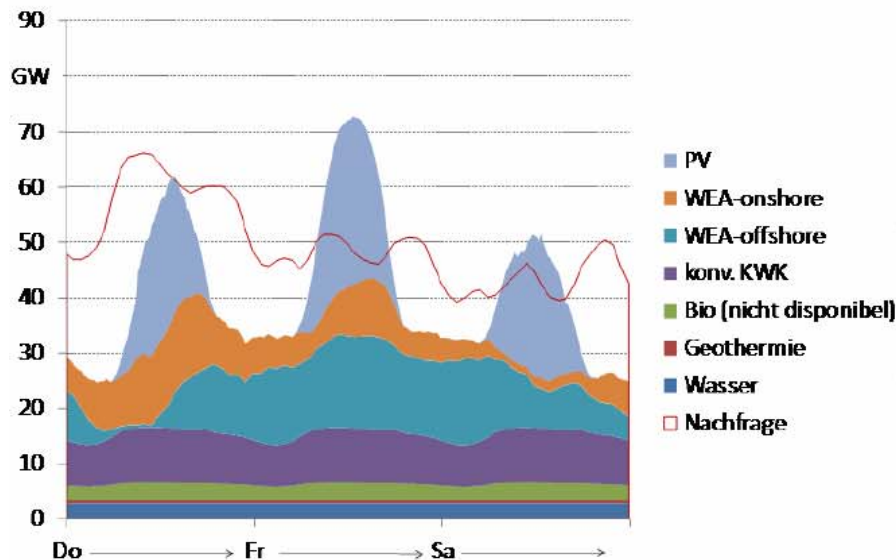
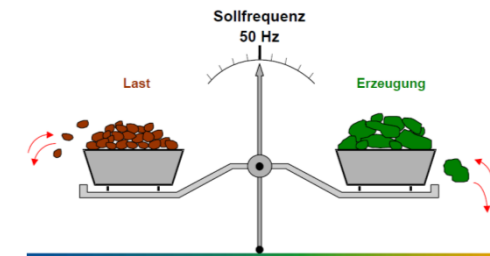


Quelle: E.On

Zukünftig: Eine erhöhte Kraftwerksdynamik wird gefordert

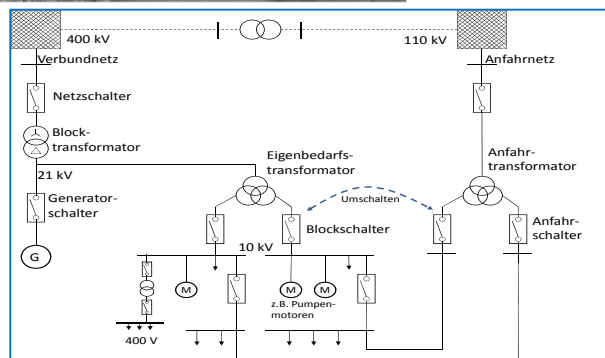
Beispielhafter Verlauf der Erzeugung aus erneuerbaren Energien und Nachfrage (links)

→ resultierende Residuallast (rechts)



Quelle: Studie Consentec, 2011

Zukünftige Anforderungen an die thermischen Kraftwerke



Quelle: Oeding/Oswald, Elektrische Kraftwerke und Netze, 7. Auflage 2011, Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg.

- Hohe Laständerungsgeschwindigkeit (Gradienten)
- Niedrige Mindestlast
- Häufiges An-und Abfahren
- Hohe Wirkungsgrade im Teillastbereich

Heute sind Kraftwerke optimiert auf

- Max. Leistung
- Max. Wirkungsgrad
- Max. Lebensdauer
- Min. Betriebskosten
- Min. Emissionen



AC-ÜBERTRAGUNGSTECHNOLOGIEN

Übertragungstechnologien

380-kV-Freileitung

380-kV-Freileitung

- 1,8 bis 2,5 GVA (je System)
- Schutzstreifen 2 * 40m
- Geringe Trassenpflege
- ca. 1 Mio. €/km (Doppelsystem)

- + Betriebserfahrungen seit 70 a
- + Hohe Verfügbarkeit (AWE)
- + Robust / Überlastbarkeit
- + Lange Nutzungsdauern 80 a

- Sichtbarkeit → Akzeptanzprobleme
- Atmosphärische Beeinflussung



Leistungsbegriffe



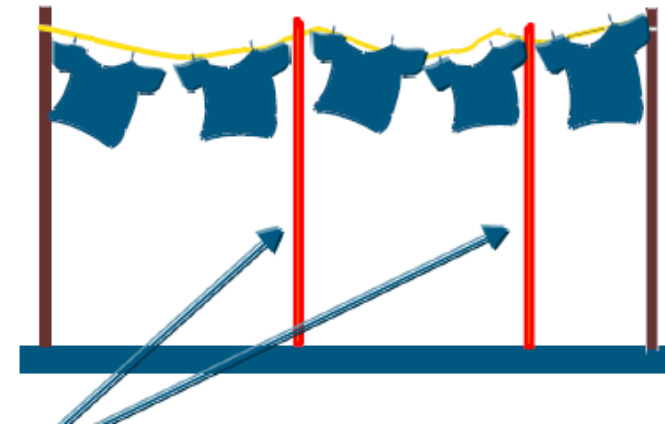
Blindleistung
Q

Wirkleistung
P

Scheinleistung
S

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Spannungsprofil einer Freileitung bei hohen Leistungsübertragungen



- **Durchhang**
- **Anzahl der Wäschestücke**
- **Pfosten (braun)**
- **Stützer (rot)**
"Systemdienstleistungen"
- **Wäsche darf den Boden nicht berühren**
- **Abstand der Wäsche zum Boden**

- = Spannungsprofil
- = Übertragungsleistung
- = Kraftwerke im Betrieb
- = zusätzliche Blindleistungskompensationseinrichtungen (Kondensatoren oder FACTS)
- = "Stabilitätskriterium"
- = Abstand zur Stabilitätsgrenze

Übertragungstechnologien

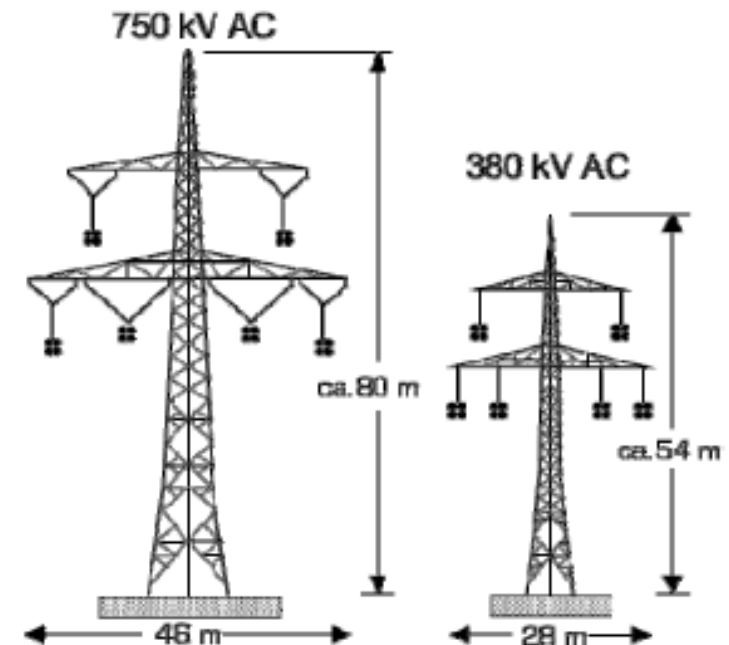
750-kV-Freileitung

750-kV-Freileitung

- 5,0 bis 7,0 GVA (je System)
- zusätzliche Transformatoren
- Schutzstreifen 2 * 45m

+ Betriebserfahrungen im Ausland
+ Hohe Verfügbarkeit (AWE)
+ Überlastbarkeit

– Sichtbarkeit →
Akzeptanzprobleme
– Systemintegration



Übertragungstechnologien

380-kV-Kabel

380-kV-Kabel

- ca. 1,0 GVA (je System)
- max. ca. 50 km möglich
- Kabelgraben ca. 15m + Muffenbauwerke
- Trassenpflege
- *Kosten 4 - 10-fach gegenüber Freileitungen*



Quelle: ABB

- + Geringe Sichtbarkeit
- + Wartungsfreiheit (quasi)
- + Atmosphärische Unabhängigkeit

- Hohe Investitionskosten
- Geringe Überlastbarkeit
→ schwieriger Systembetrieb
- Anpassung Schutzsystem
- Geringe Betriebserfahrungen
- Bodenaustrocknung, Muffen

Stichworte zu "Kabel"



Cross-Bonding und
Muffenboxen für AC-Kabel



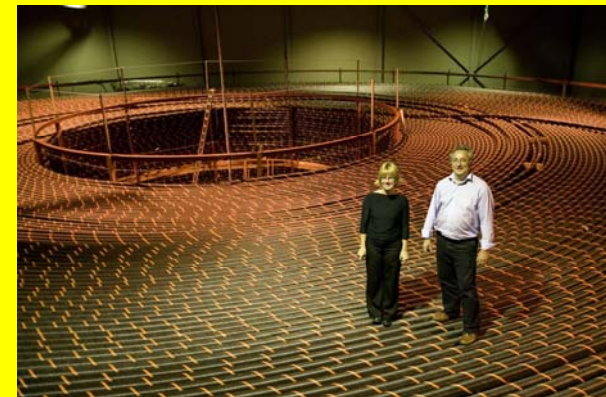
Kirchhoff'sche Regel:
"Der Strom nimmt
den Weg des geringsten
Widerstandes"



Quelle: ABB



Muffen für Land-
und Seekabel



Übertragungstechnologien

Gasisolierte Leitungen (GIL)

380-kV-Gasisolierte Leitung

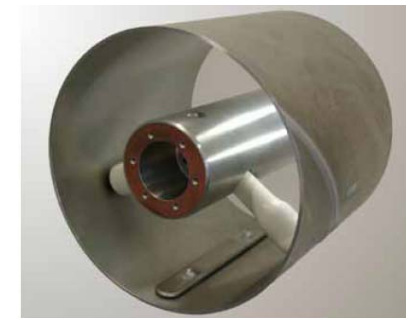
- ca. 3 GVA
- Isoliermedium Treibhausgas
- Verlegung in Erde oder Tunnel
- *Kosten 6 - 12-fach gegenüber Freileitungen*

- + Übertragungsleistung
- + Gleiches Betriebsverhalten wie eine Freileitung
- + Geringe Trassenbreite

- Hohe Investitionskosten
- Geringe Impedanz → Parallelbetrieb zur Freileitung schwierig
- Wenig Betriebserfahrungen,
- bislang nur kurze Strecken (<1km) realisiert



Quelle: Amprion



Quelle: Siemens

Bewertungskriterien für den Vergleich von Übertragungstechnologien

Technische Eigenschaften

- Bautechnik
- Bauzeit
- Verfügbarkeit – Lieferung
- Lebensdauer
- Betriebserfahrung
- Aufwand für Störungsbeseitigung
- Entwicklungspotenziale bis 2020

Systemverhalten/Systemkompatibilität

- Blindleistungsverhalten
- Verhalten im Störfall (Redundanz des Systems)
- Auswirkungen auf das Kurzschluss-Niveau
- Möglichkeit der Vernetzung mit dem vorhandenen Drehstrom-System
- Thermische Zeitkonstante
- Fähigkeit zur Lastflusssteuerung
- Beeinflussung der Systemstabilität (Regelbarkeit, Spannungsstabilität)

Wirtschaftlichkeit

- Investitions-, Betriebs- und Verlustkosten

Umwelteinwirkung

- Flächenverbrauch (mit Blick auf Flächenbedarf, Trassenbreite, Nutzungseinschränkungen für die Trasse)
- Ökologische Auswirkung (hinsichtlich Störung des Vogelflugs, Einschränkungen bei einer Bepflanzung, Gefahr der Bodenaustrocknung)
- Ökologische Auswirkungen im Fehlerfall (hinsichtlich einer Gefährdung der Umwelt durch Austritt umweltschädlicher Stoffe)
- Beeinträchtigung des Landschaftsbildes (visuelle Wirkung wie z.B. die optische Zerschneidung des Landschaftsbildes)
- Akzeptanz

Quelle: dena-Netzstudie

Freileitung, Kabel, GIL

Schlussfolgerungen

- Aus technischer Sicht bestimmen **Leistung, Übertragungslänge und Topographie** entscheidend die Ausführungsform und damit die Kosten.
- Allgemein gültige Entscheidungskriterien sind wegen der **Mannigfaltigkeit der einflussgebenden Parameter** praktisch unmöglich.
- Für den Entscheid - Freileitung oder Untergrund - ist projektbezogen eine Abwägung zwischen den **Kosten und den nicht monetisierbaren Kriterien** zu treffen.
- Die Wahl der Betriebsart - **AC oder DC** – hat im Wesentlichen technische Aspekte, sie spielt aber für die nicht monetisierbaren Kriterien eine untergeordnete Rolle.

DAS ENERGIEVERSORGUNGSNETZ FÜR DIE ENERGIEWENDE



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

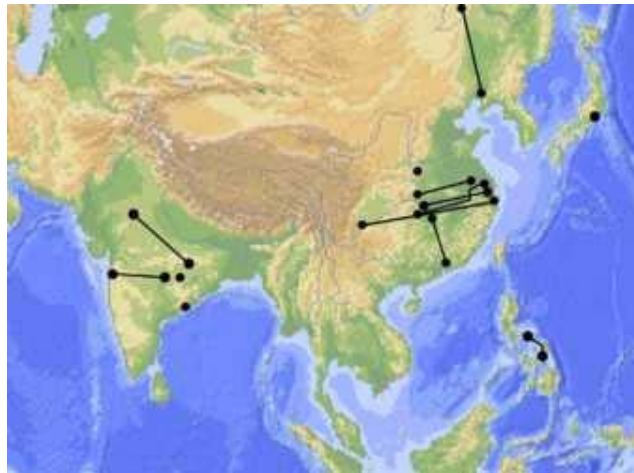
DC-ÜBERTRAGUNGSTECHNOLOGIEN



Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)

Effiziente Fernübertragung

HGÜ-Projekte von
ABB in Asien



HGÜ-Projekte von
ABB in Europa



Quelle: ABB

■ Vorteile:

- Geringe Verluste (Gleichstrom)
- Geringer Flächenbedarf
- Keine Längenbeschränkung, keine Stabilitätsprobleme
- Kabel über große Entfernung einsetzbar, da kein Blindleistungsbedarf

■ Nachteile:

- Basiskosten für Umrichterstationen
⇒ erst bei größeren Entfernungen wirtschaftlich interessant (auf See: ab ca. 80 km, an Land ab mehreren 100 km)
- Punkt-zu-Punkt-Verbindung (aber: selbst-geführte HGÜ vermaschbar)

Anwendungsbereiche HGÜ



▪ Klassische Anwendungsbereiche

- Asynchrone Verbindung verschiedener Drehstromnetze
- Weiträumiger Leistungstransport
- Elektrische Seekabelverbindungen

HGÜ Classic



▪ Neue Anwendungsbereiche

- Anbindung von Offshore-Windparks
- Verstärkung und Stabilisierung bestehender Drehstromnetze durch parallelen Betrieb von HGÜ-Systemen (hybride Netze)

VSC-HGÜ

Quelle: ABB

HGÜ-Technik

Zwei Lösungen für unterschiedliche Anforderungen



Netzgeführte HGÜ (HGÜ Classic)

- Leistungsbereich: 300 – 6.400 MW
- Thyristor-Technik
- Freileitung oder Massekabel
- Leistungsregelung
- Fernübertragung großer Leistung

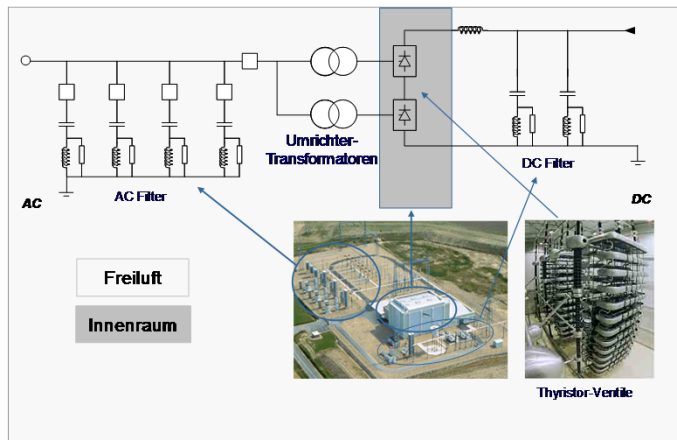


Selbstgeführte HGÜ (VSC-HGÜ)

- Leistungsbereich: 200 – 2.400 MW
- IGBT-Technik
- VPE-Kabel oder Freileitung
- Leistungsregelung
- Vielfältige Anwendungen
- "Einfache" Realisierung von DC-Netzen

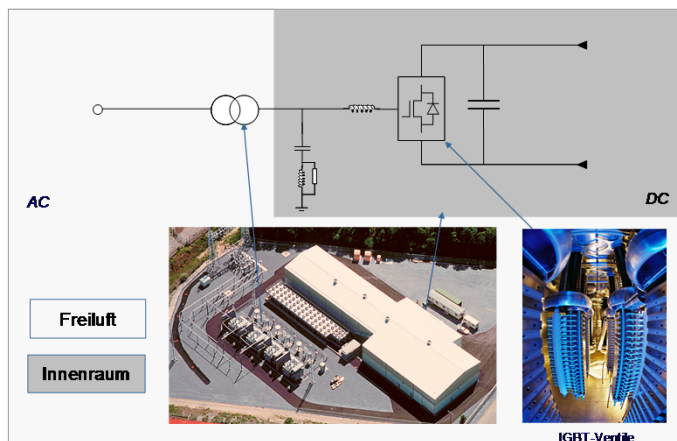
HGÜ Classic und VSC-HGÜ

Aufbau



▪ Netzgeführte HGÜ (HGÜ Classic)

- Thyristor-Technik
- Gleichstromzwischenkreis
- DC-Glättungsdrossel
- Stromrichtertransformator
- AC-Filter für Oberschwingungen (u. Blindleistung)



▪ Selbstgeführte HGÜ (VSC-HGÜ)

- IGBT-Technik
- Gleichspannungszwischenkreis
- DC-Kondensator
- AC-Glättungsdrossel
- (AC-Filter für Oberschwingungen)

Quelle: ABB

HGÜ Classic und VSC-HGÜ Systemverhalten



600 MW, 200 x 120 x 22 m

- **Netzgeführte HGÜ (HGÜ Classic)**
- Induktiver Blindleistungsbedarf
- Kurzschlussleistung / stabiles Netz wird benötigt
- Minimaler Leistungsfluss erforderlich
- Leistungsflussumkehr nur mit Verzögerung bei Kabelsystemen
- Filterschaltungen notwendig bei sich ändernder Wirkleistung

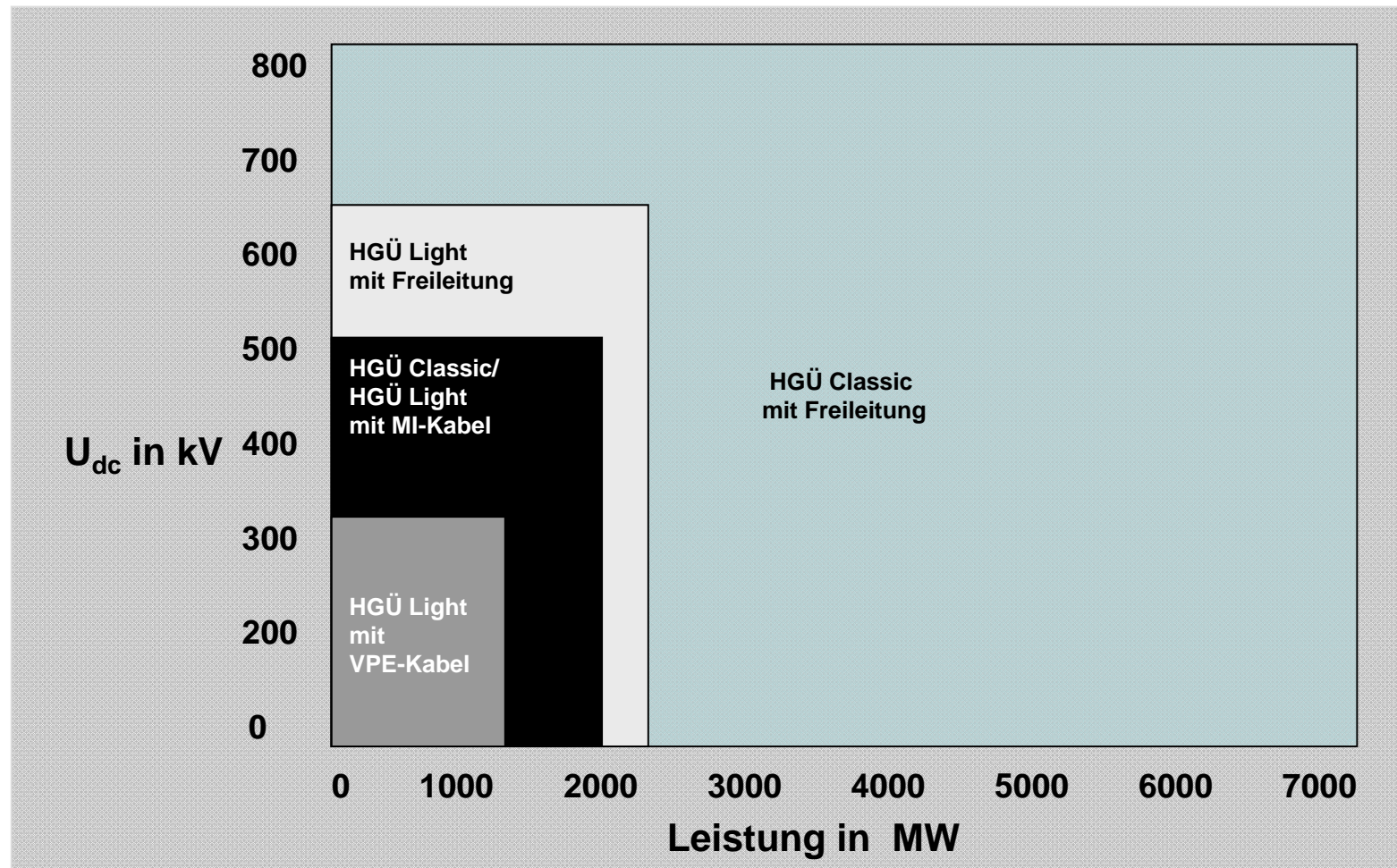


550 MW, 120 x 50 x 11 m

Quelle: ABB

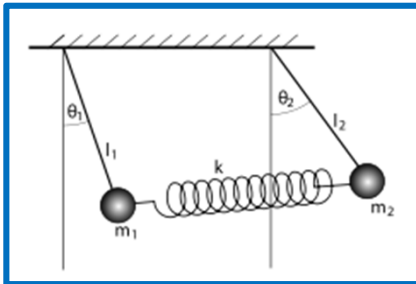
- **Selbstgeführte HGÜ (VSC-HGÜ)**
- Unabhängige Blindleistungsregelung
- Benötigt keine Kurzschlussleistung
- Jeder Wirkleistungsfluss einstellbar
- Sofortige Leistungsflussumkehr
- Keine Filterschaltungen notwendig

Einsatzbereiche HGÜ



Quelle: ABB

Gleichspannungsnetze



Kernfragen:

- Wie viel Schwungmasse braucht das Netz?
- Schutzkonzepte für die Beherrschung von Fehlern auf der Gleichstromseite
- Zusammenwirken eines Overlay-Netzes mit dem Drehstromnetz:
 - Hybrides AC-/DC-Netz
 - Überlagertes DC-Netz
- Neue Regelungsstrategien:
 - Leistungsregelung
 - Primärregelung (Definition "Führungsgröße")
 - Einfluss Massenträgheit

Quellen: Dii, Airtricity

DAS ENERGIEVERSORGUNGSNETZ FÜR DIE ENERGIEWENDE



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

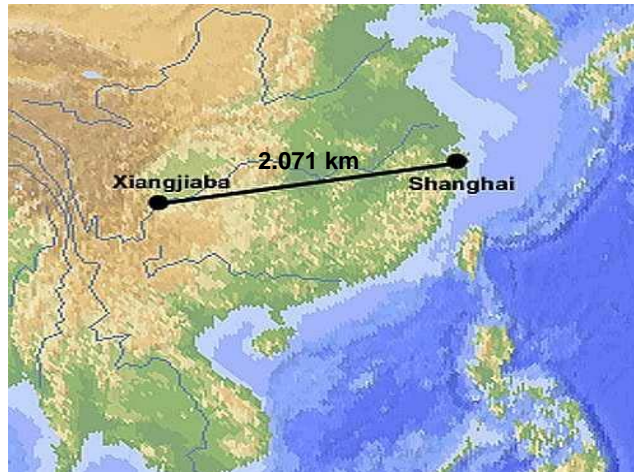
DC-ÜBERTRAGUNGSTECHNOLOGIEN PROJEKTBEISPIELE



Klassische HGÜ – Projektbeispiel

UHVDC-Verbindung Xiangjiaba – Shanghai, China

Nutzung der Wasserkraft zur Stromerzeugung in großer Entfernung von den Verbrauchszentren (Shanghai).



- Leistung: 6.400 MW
- DC-Spannung: ± 800 kV
- DC-Strom: 4.000 A
- Distanz: 2.071 km
- Verluste: < 7 % (Gesamtsystem)

1-Phasen-Umrichter-Transformator.
Nennscheinleistung:
 $S_N = 297$ MVA
Nennspannungen:
 $U_N = 515/158$ kV
Abmessungen:
10,85 x 3,5 x 4,85 m
(L x B x H)
Gewicht: 260 t
12 Stck. pro Pol



Quelle: ABB

Gründe für die Verwendung von HGÜ:

- Große Übertragungsdistanz
- Große Übertragungsleistung
- Kompaktheit: 40 % weniger Landverbrauch als bei einer Drehstromübertragung

800 kV DC Mauerdurchführung



Quelle: ABB

Xiangjiaba – Shanghai, China

Fengxian während des Baus



Quelle: ABB

Klassische HGÜ – Projektbeispiel

Seekabelverbindung NorNed

Asynchrone Verbindung der Drehstromnetze von Norwegen und den Niederlanden.



NorNed-Seekabel.
Leiter: 2 x 790 mm²
Kupfer
Isolierung: Masse-
imprägniertes Papier
Abmessungen:
217 x 136 mm
Gewicht: 84 kg/m



Quelle: ABB

- Leistung: 700 MW
- DC-Spannung: ± 450 kV
- Distanz: 580 km
(Kabel gefertigt und verlegt in Teilstücken bis 150 km Länge, Gesamtgewicht 47.000 t)
- Wassertiefe bis zu 410 m
- Verluste: < 4 %
(Gesamtsystem)

Gründe für die Verwendung von HGÜ:

- Lange Seekabelverbindung
- Kopplung asynchroner AC-Netze
- Steuerbarer Leistungsfluss
(Stromhandel)

Netzanschluss Offshore-Windpark BorWin 1



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Bemessungsleistung	400 MW
Länge Seekabel	125 km
Länge Landkabel	75 km

Einbindung in das 400-kV-Netz
zur Erfüllung des Grid Code

Erweiterbares Konzept Offshore

Einfache Betriebsweise

Vermeidung von Schalthandlungen

Blindleistungskompensation für Leerlauf

Einfache Windparkregelung, z.B.

konstanter Leistungsfaktor
der WEA

MS-Spannungsregelung



Quelle: ABB

BorWin 1: Umrichterstationen und Landkabellegung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Links: Absetzen der Plattform auf dem Sockel (Jacket) durch den „Thialf“, einem der weltweit größten Schwimmkräne.
Rechts: Blick in den HGÜ-Ventilraum auf der Plattform.



Links: Verlegung des HGÜ-Landkabels
Leiter: 2.300 mm² Al
Isolierung: Vernetztes Polyethylen (VPE)
Durchmesser: 96mm²
Gewicht: 11 kg/m
Verlegetiefe: 1-1,5 m
Fertigungslänge: 750 m pro Kabeltrommel
Rechts: Herstellung der Erdkabelmuffen in einem speziellen Container („Muffenhaus“).



Quelle: ABB

DAS ENERGIEVERSORGUNGSNETZ FÜR DIE ENERGIEWENDE



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

DER DEUTSCHE NETZENTWICKLUNGSPLAN 2012



Netzentwicklungsplan

Ein Blick zurück

- **2005: dena-Netzstudie-I**
 - Feststellung des Bedarfs von 850 km neuen Höchstspannungsleitungen bis 2015 (2011: 100 km gebaut)
- **2006: Infrastrukturplanungsbeschleunigungsgesetz** (Infra StrPlanBeschlG)
 - Beschleunigung der Planungs- und Genehmigungsverfahren
- **2009: Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen** (Energieleitungsausbaugesetz - EnLAG)
 - Festlegung des Bedarfs an vordringlichen Übertragungsleitungen in einem gesetzlichen Bedarfsplan
- **2010: dena Netzstudie II**
 - Feststellung des Bedarfs von ca. 3.600 km zusätzlichen Leitungen bis 2020

Netzentwicklungsplan

Ein Blick zurück, *Forts.*



- **28.09.2010:** Energiekonzept 2050 der Bundesregierung
- **15.03.2011:** Kernkraftmoratorium nach dem Reaktorunfall in Fukushima, Japan
- **30.05.2011:** Beschluss der Bundesregierung über den **Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022** und den systematischen Ausbau der Erneuerbaren
- **06.06.2011:** Kabinettsbeschluss zur Beschleunigung der Energiewende
- **28.07.2011:** Netzausbaubeschleunigungsgesetz **Übertragungsnetz (NABeG)**: Planfeststellung für länderübergreifende oder grenzüberschreitende Höchstspannungsleitungen durch die Bundesnetzagentur im Rahmen einer Bundesfachplanung
- **31.05.2012:** Netzentwicklungsplan 2012

Netzentwicklungsplan 2012

Beschreibung der Szenarien



Basis des Netzentwicklungsplans sind verschiedene Szenarien der zukünftigen Erzeugungsstruktur in Deutschland:

Szenario A 2022: "Classic"

- Moderater Ausbau EE, höherer Anteil konv. Kraftwerke.

Szenario B 2022: "Balanced"

- Erhöhter Ausbau EE, höherer Anteil Gas-, kleinerer Anteil Kohle-KW.

Szenario B 2032: "Balanced"

- Erhöhter Ausbau EE, höherer Anteil Gas-, kleinerer Anteil Kohle-KW.

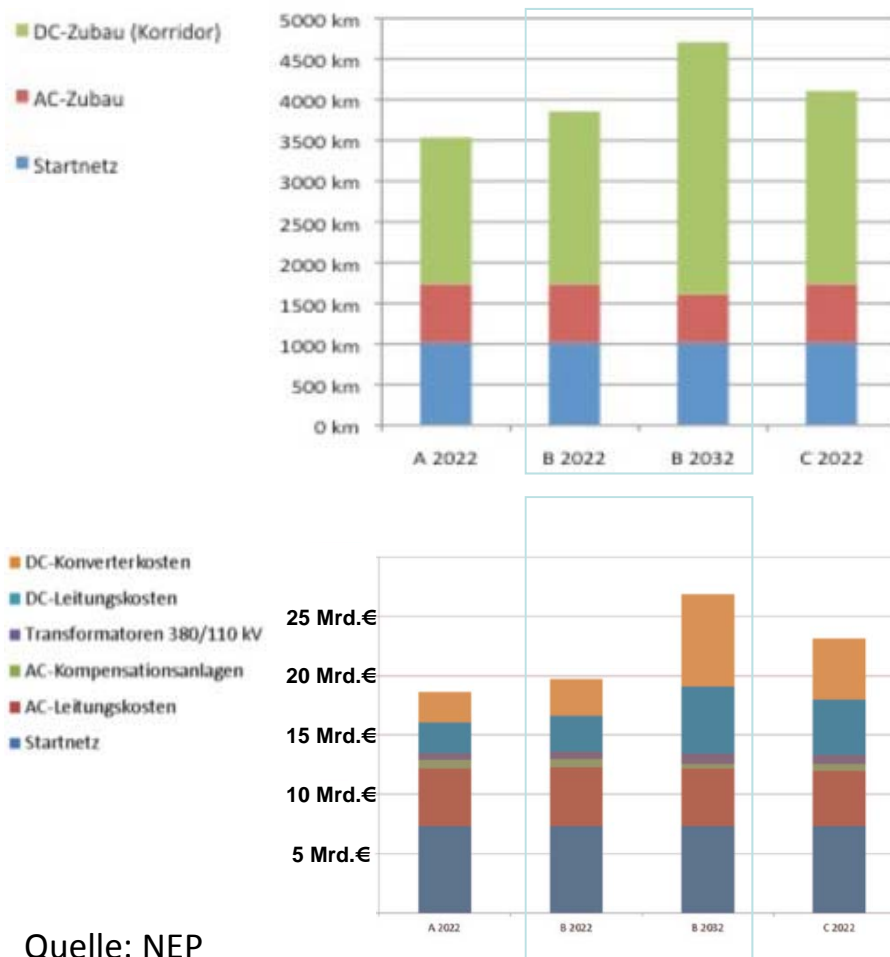
Leitszenario

Szenario C 2022: "Renewable"

- Erhöhter Ausbau EE, höherer Anteil Gas-, kleinerer Anteil Kohle-KW.

Netzentwicklungsplan 2012

Investitionssummen der Szenarien

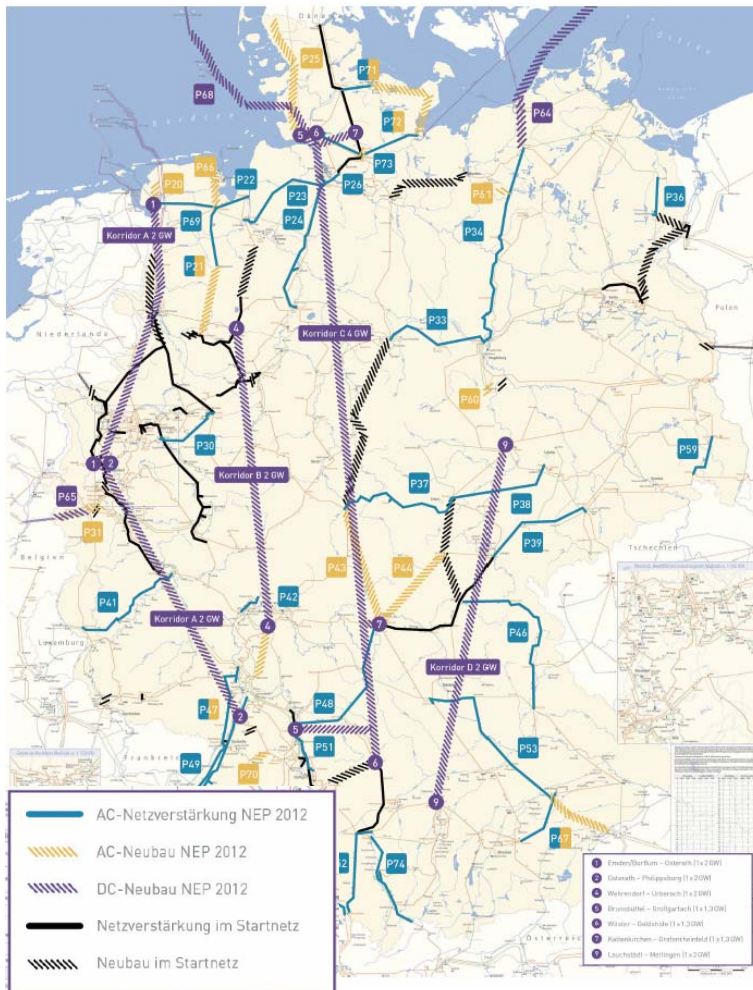


Quelle: NEP

- Erhöhter Anteil Erneuerbarer Energien führt zu einem erhöhten Bedarf an Netzausbau
- Bedarf an neuen Übertragungsstrecken liegt zwischen 3.500 und 4.000 km (vergleichbar mit dena I und II)
- Neben den EnLAG-Projekten großer Bedarf an HGÜ-Verbindungen in den nächsten 10 – 20 Jahren
- Klassische AC-Netzverstärkung ist nicht ausreichend, um das Übertragungsnetz zukünftig stabil betreiben zu können.

Netzentwicklungsplan 2012

Ausbau- und Verstärkungsbedarf bis 2022



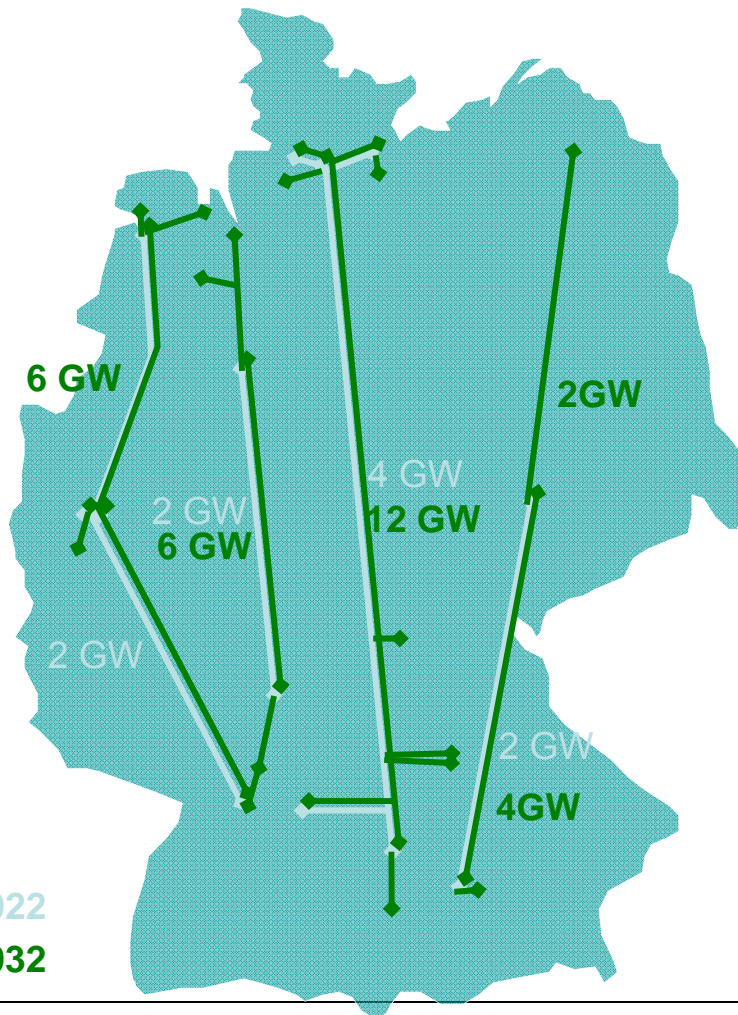
Szenario B erfordert folgende Netzausbau- und Verstärkungsmaßnahmen bis 2022:

- 1.000 km neue 400-kV-AC-Leitungen (Projekte aus EnLAG und bereits geprüfte Projekte)
- 1.700 km Trassenneubau 400 kV
- 2.800 km Leitungsneubau 400 kV
- 1.300 km Um- bzw. Zubeseilung auf bestehendem Gestänge 400 kV
- 2.100 km HGÜ-Leitungen mit 400/500 kV, davon 300 km Umbau AC zu DC

Investment: \approx 20 Milliarden EUR

Netzentwicklungsplan 2012

HGÜ-Trassen bis 2032



Bis 2022
Bis 2032

VSC-HGÜ gewählt, um AC-Netzausbau zu minimieren und Blindleistungsbedarf zu bedienen

HGÜ-Verbindungen bis 2022:

- 7 HGÜ-Systeme in vier Korridoren
- 11,9 GW –zusammengesetzt aus 2-GW- und 1,3-GW-Blöcken
- 2,120 km neue DC-Strecken inkl. 300 km Umbau AC zu DC

Zus. HGÜ-Verbindungen bis 2032:

- 8 HGÜ-Systeme in den vier existierenden Korridoren
- 17,9 GW –zusammengesetzt aus 2-GW- und 1,3-GW-Blöcken
- 980 km neue DC-Leitungen

DAS ENERGIEVERSORGUNGSNETZ FÜR DIE ENERGIEWENDE

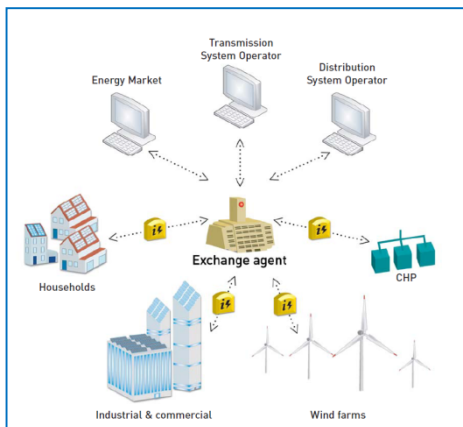
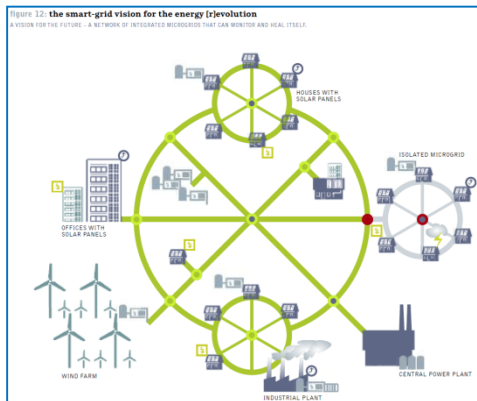


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

HERAUSFORDERUNGEN DER VERTEILNETZE



Leistungsumkehr im Verteilnetz



Quelle: Greenpeace, smartgrids.eu

Kernthema:

Integration fluktuierender dezentraler Erzeugungsanlagen

Ziel:

Definition neuer Planungskriterien für Verteilnetze:

"Wie sieht das optimale Verteilnetz der Zukunft aus?"

Technische Details:

- **Spannungsprobleme**
- **Netzschutzkonzepte**
- Netzführungskonzepte
- "Virtuelle Kraftwerke"
- Systemdienstleistungen
- Einsatz von Speicherlösungen

Anforderungen im Verteilnetz



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Netzqualität

- Spannungsregelung bei verteilten Energiequellen mit schwankender Einspeisleistung
- Bedämpfung von Oberschwingungen bei Einsatz von Leistungselektronik
- Energiespeicher

Automatisierung

- Kommunikationsinfrastruktur in Mittelspannungsnetzen für die Einbindung von Ortsnetzstationen
- Inselbildung und Resynchronisierung
- Lastmanagement
- Autarke Netzstrukturen

Schutzkonzepte

- Spannungsstabilität z.B. Blindleistungsrichtungs-Unterspannungsrelais
- Gerichteter Schutz

Betriebsmittelauslastung

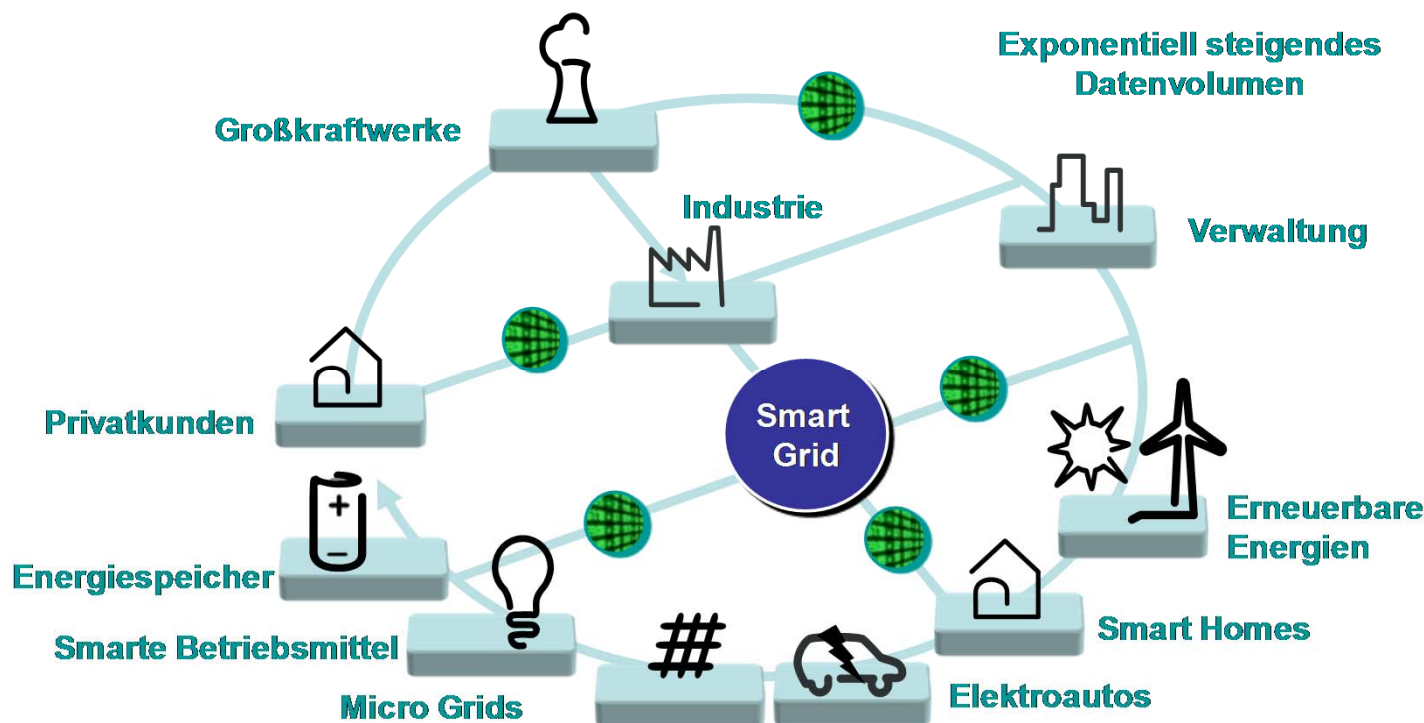
- Bessere Nutzung vorhandener Betriebsmittel



Systemführung im "Digitalen Zeitalter"



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



- Aufteilung der Erzeugung zentral / dezentral
- Aggregierte Regelung und verbesserte Koordination
- Vereinfachte Integration in das Netz und den Markt

DAS ENERGIEVERSORGUNGSNETZ FÜR DIE ENERGIEWENDE



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

SPEICHERTECHNOLOGIEN



Speichertechnologien



- Effektive Speicherung
- Geologisches & geografisches Potential beschränkt
- 0,04 TWh Speicherkapazität



- Geologisches & geografisches Potential beschränkt
- Anlagen befinden sich noch im Versuchsstadium



- Dienen nur der kurzfristigen Speicherung von Strom

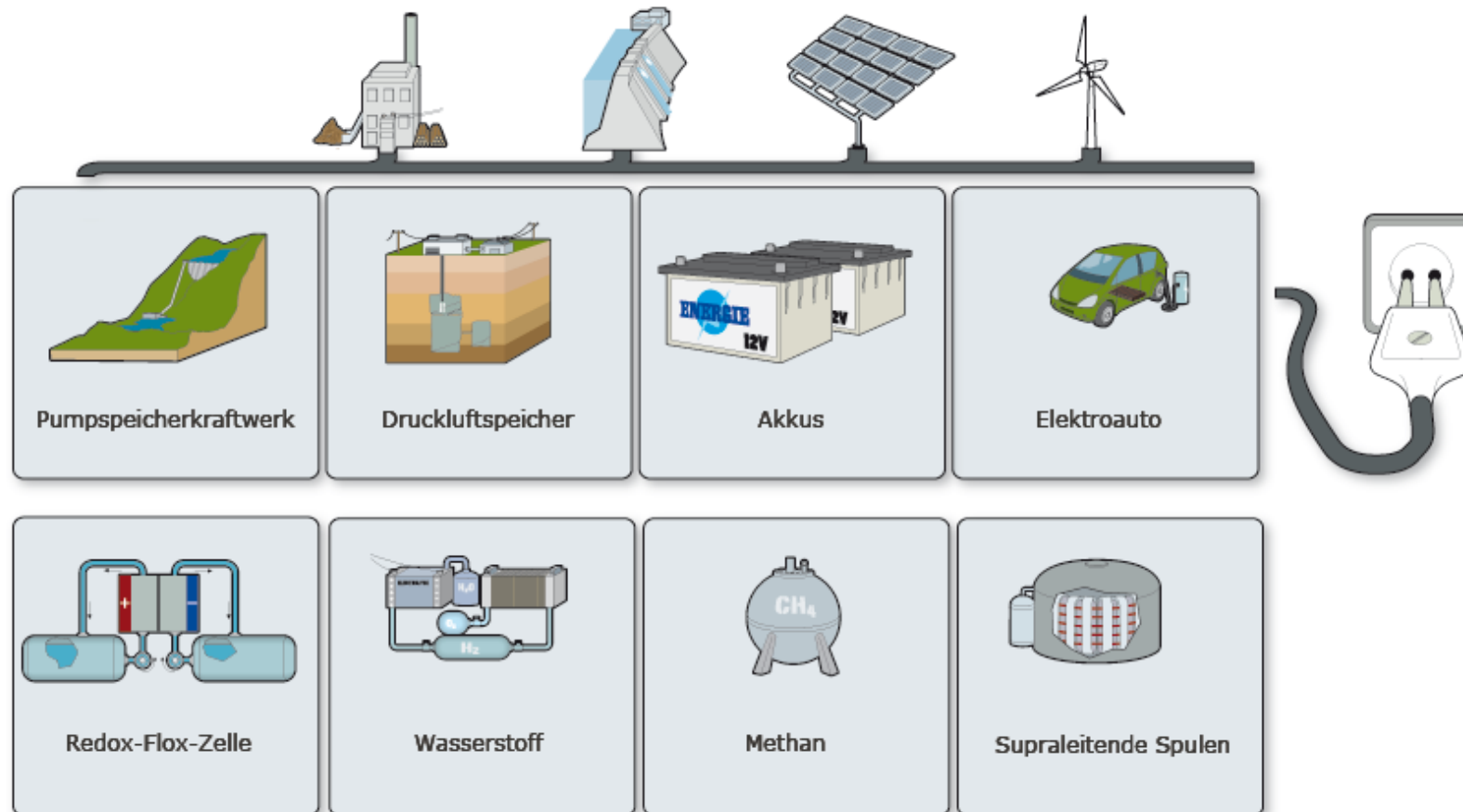


- Erdgasnetz als EE-Methanspeicher
- 210 TWh Speicherkapazität

Seminararbeit von Anni Tsoukala EEvdZ SS2012

Quelle: <http://www.wiwo.de/infografiken/infografik-stromspeicher-energie-auf-abruf/5501954.html>

Speichertechnologien



Quelle: <http://www.wiwo.de/infografiken/infografik-stromspeicher-energie-auf-abruf/5501954.html>

Zusammenfassung: Fragestellungen einer VDE-Studie



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Im Netz muss jederzeit die Leistung aller Erzeugung der Leistung der Summe aller Verbraucher entsprechen.

- Wie sieht ein sicherer und stabiler Netzbetrieb bei überwiegend fluktuierenden Einspeisungen aus Wind und PV aus ?
- Können alle thermischen Kraftwerke abgeschaltet werden und nur mit Wind und PV das Netz geregelt werden ?
- Wie viel Energie kann wie lange gespeichert werden – sind die Speicherkapazitäten nach Leistung und Energie ausreichend ?
- Welche neuen Aufgaben kommen auf die thermischen Kraftwerke zu und wie können diese erfüllt werden ?



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

