

# Einführung in die regenerativen Energien (EE) – WS22

## Vorlesung 1: Einleitung

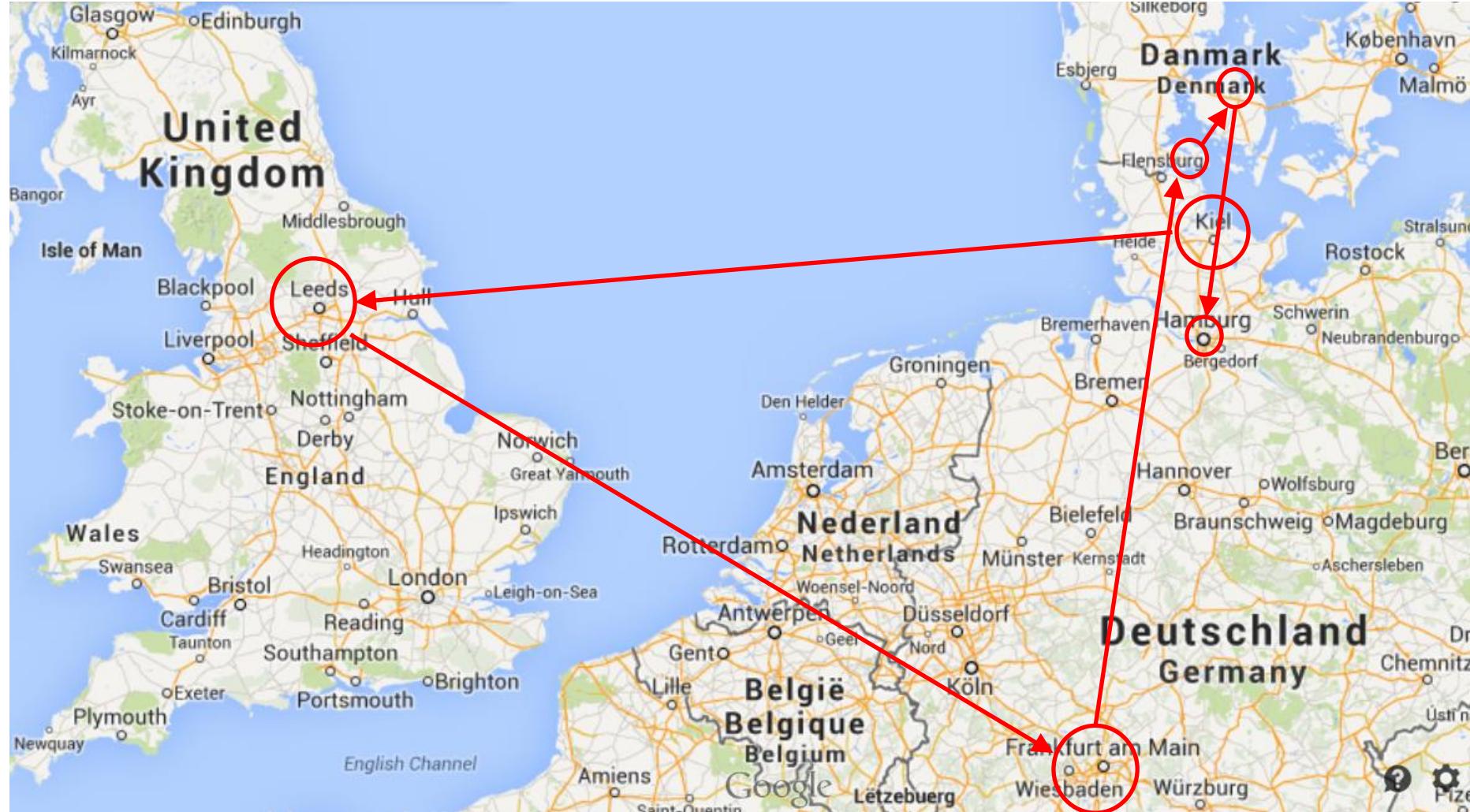
Prof. Dr. Frerk Haase

Fakultät: Technik und Informatik

Email: [frerk.haase@haw-hamburg.de](mailto:frerk.haase@haw-hamburg.de)

Büro: Berliner Tor - Raum 03.85)

# Persönliche Vorstellung



## 1. Email

[frerk.haase@haw-hamburg.de](mailto:frerk.haase@haw-hamburg.de)

## 2. Persönlich

Freitags nach der Vorlesung 15.30 – 16.00 Uhr  
oder nach Absprache

## 3. Aktueller Anlass: Corona Virus

Vorlesung: In Präsenz

Praktikum: In Präsenz

# Stellen Sie sich bitte kurz vor ...

- Kommen Sie aus Hamburg?
- Sind Sie für das Studium nach Hamburg gezogen?
- Was haben Sie vor dem Studium gemacht?
- Warum haben Sie sich für das Studium „Regenerative Energiesysteme und Energiemanagement“ entschieden?

- Sie kennen die vielfältigen Möglichkeiten regenerativer Energiequellen und deren technische Realisierung
- Sie können regenerative Energiequellen unter vereinfachenden Annahmen analysieren und unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten vergleichen
- Sie kennen grundlegende Zusammenhänge in der Photovoltaik und können diese im Praktikum selbst überprüfen

## Wirtschaftlichkeit und Ökologie

(Energiegestehungskosten, das EEG in Deutschland, ökologische Betrachtungen)

## Photovoltaik

### Solarzelle

Aufbau und Funktionsprinzip, Arten,  
elektr. Beschreibung, PV-Module)

### PV-Generatoren

(Aufbau, Belastung, Gleichstromsteller,  
Wechselrichter/Netzeinspeisung, Anlagenkonzepte, -güte)

## Grundlagen der Solarstrahlung

(Fusionsreaktor Sonne, Solarstrahlung auf der Erde(Neigung, Nachführung, Abschattung)

## Bereitstellung elektrischer Energie

(Elektr. Energieversorgungssystem in Deutschland, Energiewandlung/Kraftwerke(konventionell, regenerativ))

## Einführung

(Grundaufgaben, Begriffsbestimmungen, Energiebedarf und dessen Deckung, Energieträger und deren Bewertung)

# Inhalte der Vorlesung

1. Einführung
2. Bereitstellung elektrischer Energie
3. Grundlagen der Solarstrahlung
4. Photovoltaik
5. Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit und Ökologie

# Vorlesungsmaterial

- Skript - Handout
  - Handout
  - Aufgabensammlung
- Aufzeichnungen der Vorlesung
  - Präsentationen mit Vorlesungsnotizen zum Download
- JeLearning-Portal Emil
  - <http://www.elearning.haw-hamburg.de>

Anmeldung über HAW Account und HAW Passwort  
Kursanmeldung für EE über Kennwort „EE\_PV\_WS22“

- Download von Skript, Vorlesung, Aufgaben
- Foren für Fragen oder Sonstiges
- Bitte einmal die Woche auf Neuigkeiten (Termine) prüfen.

# Literatur, Software

- V. Quaschning: „Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation“, Hanser Verlag, München, 2015
  - K. Mertens: „Photovoltaik“, Hanser Verlag, München, 2011
- 
- T. Schabbach: „Energie – Die Zukunft wird erneuerbar“, Springer Vieweg Verlag, Berlin, 2012
  - R. Zahoransky: „Energietechnik“, Springer Vieweg Verlag, Berlin, 2013
  - V. Quaschning: „Erneuerbare Energien und Klimaschutz“, Hanser Verlag, München, 2008

# Praktikum

- Ziel des Praktikums:
  - Vertiefung des Wissens durch praktische Versuche
- Allgemeines:
  - Zu Beginn gibt es allgemeine Ansagen → Bitte pünktlich erscheinen
  - Die erfolgreiche Teilnahme inkl. anerkannter Protokolle ist Zulassungsvoraussetzung zur Klausur!
  - Bei Nicht-Erscheinen Wiederholung nur mit Attest möglich
- Vorbereitung:
  - Aufgabenbeschreibung lesen & inhaltliche Auseinandersetzung (wird stichpunktartig überprüft)
  - Vorausberechnungen, wo möglich und sinnvoll
- Praktikumsbericht:
  - 4 Praktikumsberichte sind zu erstellen (jeder aus Gruppe mind. 1 Bericht)
  - Abgabe spätestens 2 Woche nach dem Praktikumstermin (gelbe Postkästen)
  - Bericht nur mit Original-Deckblatt (Labortermin, Versuchs-Nr., Protokollführer, Assistenten)
  - Bericht muss Aufgabenbeschreibung, Messschaltung, Messgeräte, Versuchsdurchführung, Messergebnis (ggf. Grafik und/oder vgl. mit Theorie) und Fazit enthalten
  - Ein unvollständiges oder fehlerhaftes Protokoll wird nicht anerkannt! Es kann innerhalb einer Woche vervollständigt und korrigiert werden

- 4 Versuche:
  1. EEP1: Solarkoffer – Bestrahlungsstärke, Abschattung etc. in der Photovoltaik
  2. EEP2: Spice Simulation einer Solarzelle
  3. EEP3: PVsyst – Auslegung von Photovoltaik-Anlagen
  4. EEP4: Oszilloskop, Leistungsbegriffe, Energie
- Laborbetreuung: Frau Sczesny
- Jeder Teilnehmer fertigt für einen Versuch ein Protokoll an
- Zum letzten Versuch gemeinsames Sofortprotokoll
- Abgabe des Protokolls als „Hardcopy“ (Frist 14 Tage)
- Laboreinweisung (Voraussetzung für die Laborteilnahme)

# Klausur/Rahmenbedingungen

Dauer:

- 90 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel:

- Schreibmaterial (Stifte, Lineal usw.)
- Handgeschriebene Formelsammlung, 3 DIN A4 Seiten (einseitig beschrieben)
- Taschenrechner

Explizit nicht zugelassen sind:

- Vorlesungsmanuskript
- Aufgaben
- Musterlösungen
- Textbücher und gedruckte Formelsammlungen

# Fragen ?



# 1 Einführung

- 1 Einführung
  - 1.1 Grundaufgaben der elektrischen Energietechnik
  - 1.2 Elektrischer Energiefluss als Informations- und Arbeitsmedium
  - 1.3 Begriffsbestimmungen
  - 1.4 Energiebedarf und dessen Deckung
  - 1.5 Konventionelle Energieträger und deren Bewertung
  - 1.6 Regenerative Energieträger und deren Bewertung

# 1 Einführung

## Bereitstellung elektrischer Energie, Energiewandlung



**Photovoltaik**

- Elektrische Energie ist vorteilhaft, kommt jedoch in der Natur nicht unmittelbar vor.
  - Sie wird aus den sog. Roh- oder Primärenergien mittels geeigneter Umwandlungsprozesse erzeugt
- Die Verbraucher erwarten Energie freizügig einzusetzen.  
Sie sollte
  - an jedem gewünschten Ort
  - zu jeder gewünschten Zeit
  - in jedem gewünschten Umfang zur Verfügung stehen
- Für die Verwertung sind Umwandlungsprozesse nötig. Die Grundaufgaben der elektrischen Energietechnik sind daher:
  - Bereitstellung (Energiewandlung / „Erzeugung“)
  - Transport und Verteilung sowie
  - Aufbereitung und Verwertung („Verbrauch“) der elektrischen Energie

# 1 Einführung

## 1.1 Grundaufgaben der elektrischen Energietechnik

Die elektrische Energie stellt eine in vieler Hinsicht vorteilhafte und deswegen weit verbreitete Energieform dar. Da sie in der Natur nicht unmittelbar vorkommt, muss sie erst aus den sog. Roh- oder **Primärenergien** (z.B. Kohle, Naturgas, Rohöl, Uran, Solarstrahlung, Wind, Wasser, Biomasse) mittels geeigneter Umwandlungsprozesse „erzeugt“ werden.

Die Verbraucher elektrischer Energie erwarten im Allgemeinen, diese weitgehend freizügig einsetzen zu können. Sie sollte daher

- an jedem gewünschten Ort
- zu jeder gewünschten Zeit und
- in jedem gewünschten Umfang

zur Verfügung stehen.

Bei der Verwertung der elektrischen Energie („Verbrauch“) sind weitere Umwandlungsprozesse erforderlich, da in den Anwendungen Energie stets nur in Form der sogenannten **Nutzenergien** (z.B. Lichtenergie zur Beleuchtung, Wärmeenergie zur Heizung, mechanische Energie für Maschinen und Fahrzeuge) benötigt wird.

- Bereitstellung (Energiewandlung / „Erzeugung“),
- Transport und Verteilung sowie
- Aufbereitung und Verwertung (“Verbrauch”)

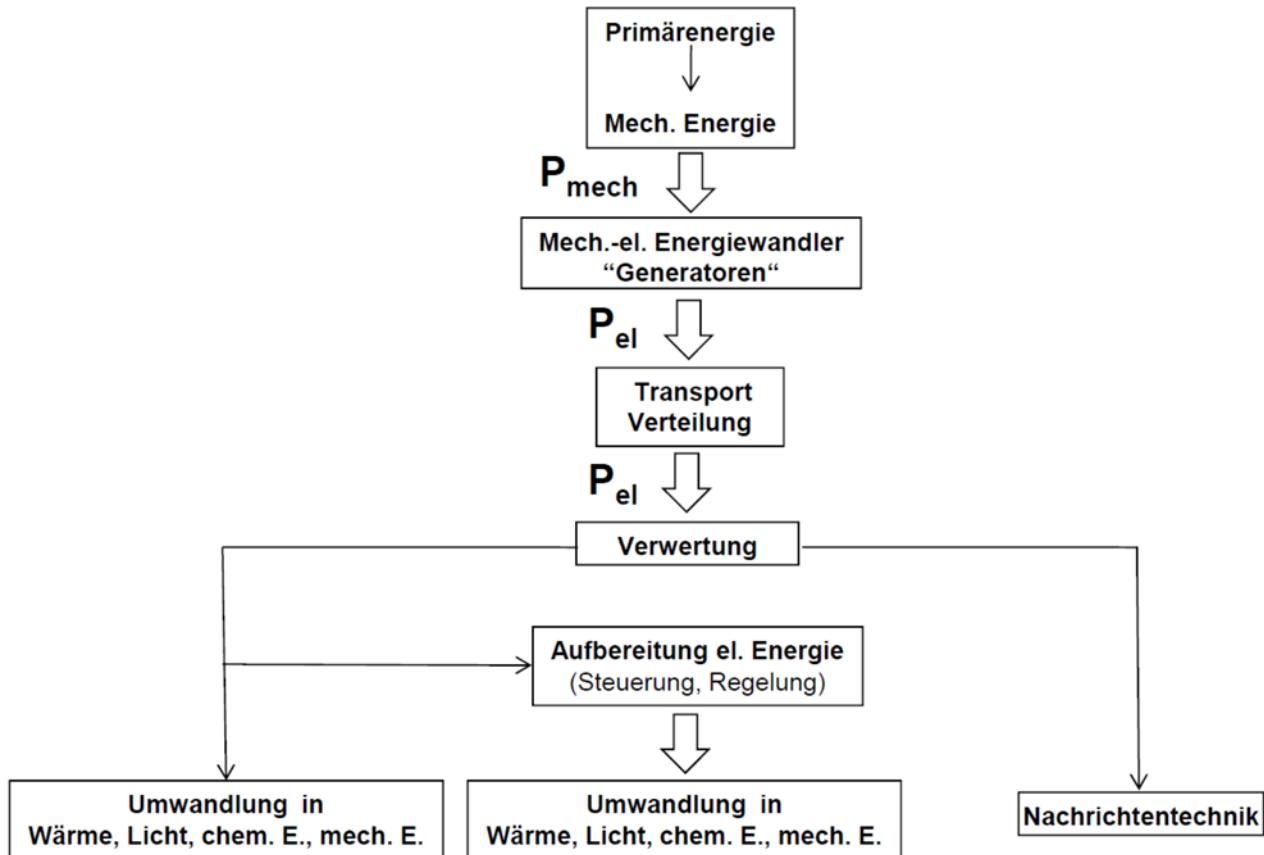
der elektrischen Energie sind die wesentlichen Grundaufgaben der elektrischen Energietechnik, welche unter Beachtung größtmöglicher Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit zu erfüllen sind.

# 1 Einführung

## ■ 1 Einführung

- 1.1 Grundaufgaben der elektrischen Energietechnik
- 1.2 **Elektrischer Energiefluss als Informations- und Arbeitsmedium**
- 1.3 Begriffsbestimmungen
- 1.4 Energiebedarf und dessen Deckung
- 1.5 Konventionelle Energieträger und deren Bewertung
- 1.6 Regenerative Energieträger und deren Bewertung

## Wirkungsplan

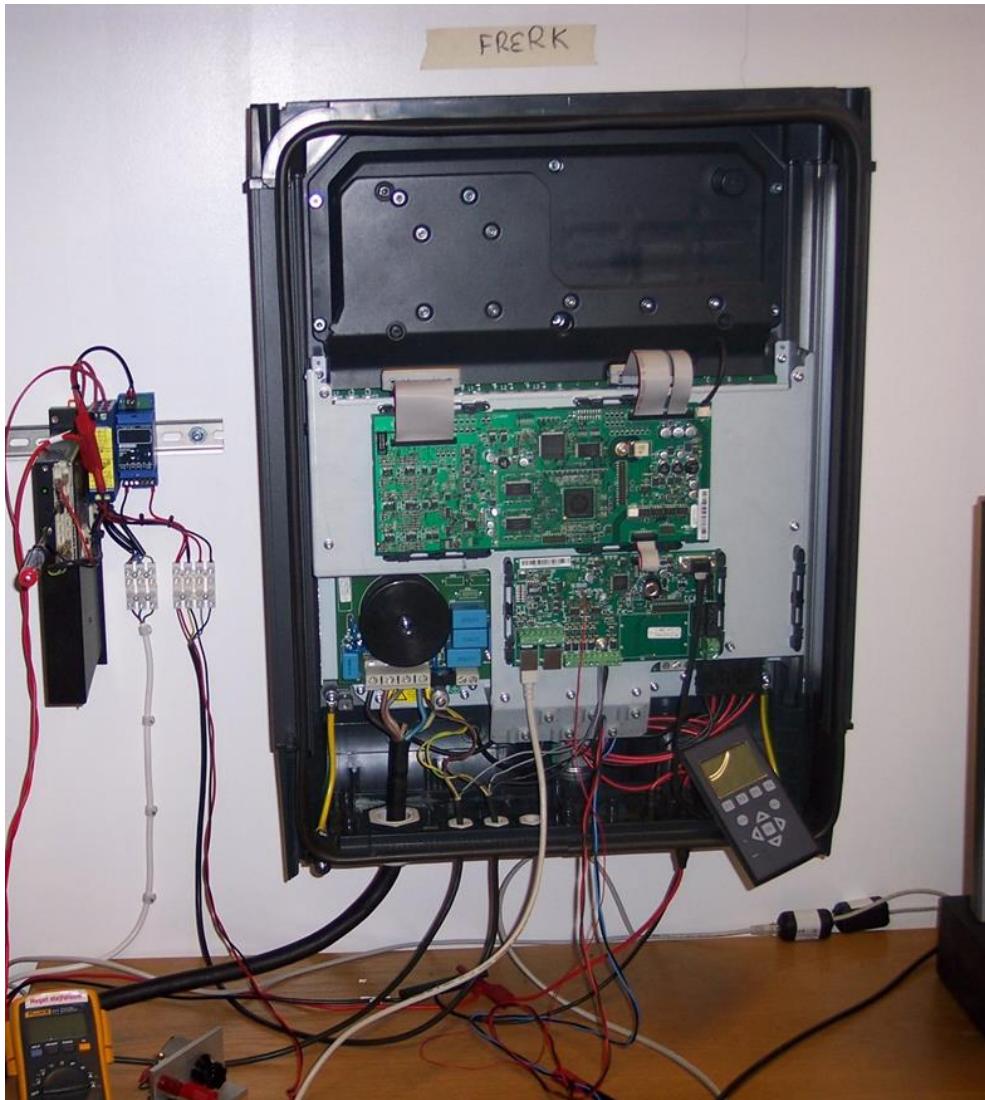


## 1.2 Elektrischer Energiefluss als Informations- und Arbeitsmedium

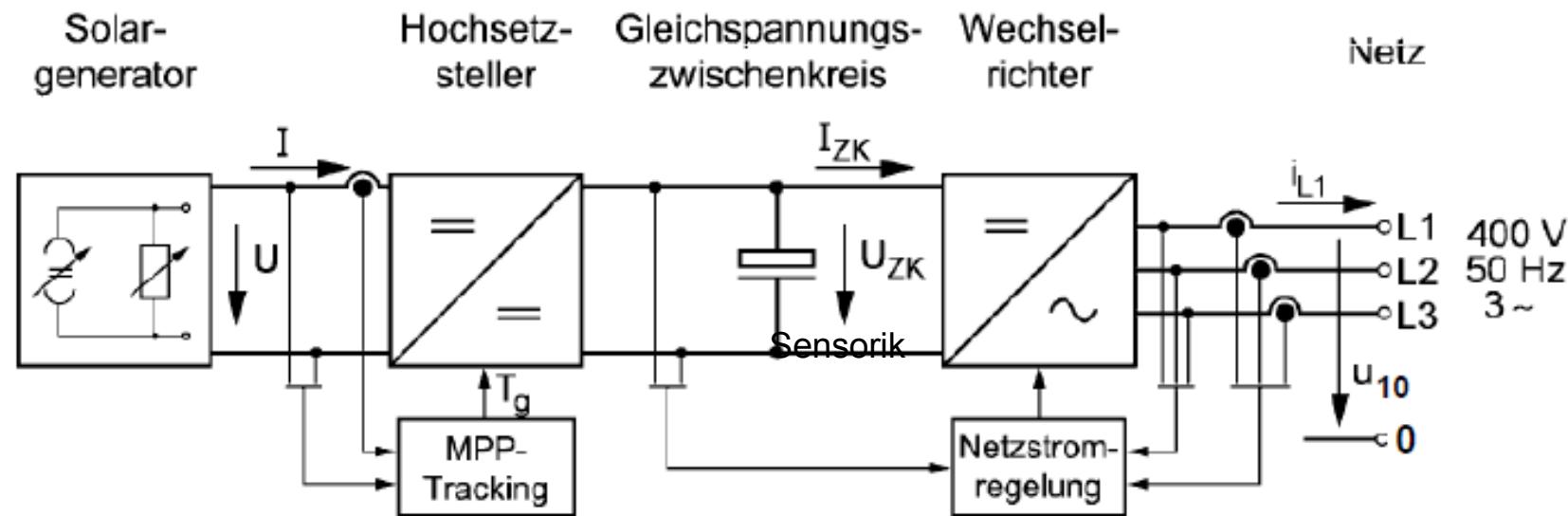
Nachrichtentechnik	Energietechnik
	<p>Elektrischer Strom dient der Erzeugung physikalischer, mechanischer und chemischer Effekte.</p>
Qualität	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wichtiger Unterschied: Wesentlich ist die des Effekts</li></ul>
unerlässlich (sonst keine Informationsübertragung möglich)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Variation des Energieflusses daher</li></ul>
niedrig	<ul style="list-style-type: none"><li>• Leistungspegel</li></ul>
einfach	<ul style="list-style-type: none"><li>• Variation des Energieflusses daher</li></ul>
Mobilfunk	<ul style="list-style-type: none"><li>• Beispiele:</li></ul>
Informationsmedium	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elektrischer Energiefluss dient als</li></ul>
Signalelektronik (Informationselektronik)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elektronische Hilfsmittel entstammen der</li></ul>
	<p>erwünscht (für Zwecke der Steuerung und Regelung)</p>
	<p>hoch</p>
	<p>schwierig</p>
	<p>Walzwerksantrieb</p>
	<p>Arbeitsmedium</p>
	<p>Leistungselektronik und Signalelektronik</p>

Grenzziehung bei heutigen komplexen Systemen nicht möglich und auch nicht sinnvoll. Hierzu ein Beispiel:





- Zuordnung der Hauptkomponenten zu den Gebieten „Energietechnik“ und „Nachrichtentechnik“:



# Kurzer geschichtlicher Überblick über die elektrische Energieversorgung

- 1827: Ohm'sches Gesetz zur Berechnung des elektrischen Widerstandes
- 1831: M. Faraday, Entdeckung der elektromagnetischen Induktion
- Mitte des 19. Jh.:
  - Anwendung der Elektrizität für Nachrichtenübertragung (elektrische Telegrafie), Beleuchtung (Bogenlampen), Galvanotechnik
- 1858/1866: Verlegung des ersten transatlantischen Telegrafenkabels
- 1866: W. v. Siemens, Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips
- 1882: Internationale Elektrizitätsausstellung in München
  - Erste elektrische Energieübertragung über eine größere Entfernung mit Gleichstrom
  - Miesbach – München, 57 km, UN = 1500...2000 V, 1 kW,  $\eta \approx 22\%$
- 1891: Internationale elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt
  - Erste elektrische Energieübertragung über eine größere Entfernung mit Drehstrom
  - Lauffen am Neckar – Frankfurt, 175 km, UN = 15 kV, 70 kW,  $\eta \approx 75\%$
- Beispiel Sachsen:
  - 1913            5 Mill. Einwohner        nur 130 000 (2,6%) ohne elektrischen Anschluss
  - 1926    nur 50 000 ohne elektrischen Anschluss

# Kurzer geschichtlicher Überblick über die elektrische Energieversorgung

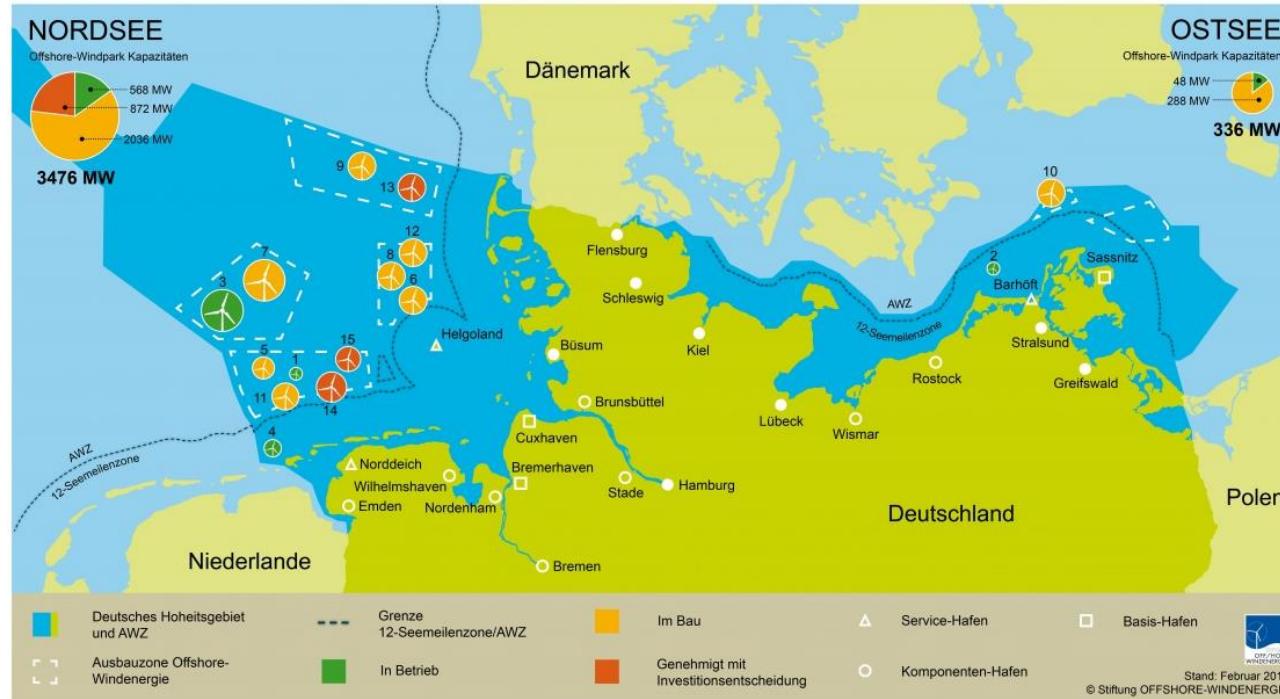
## ■ Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ):

- 1907 50 kV, Stadtwerke München
- 1912 100 kV, Rauchhammer – Riesa
- 1923 220kV, Amerika, 120 MW, 434 km
- 1952 380 kV, Schweden
- 1959 525 kV, Russland
- 1966 735 kV, Kanada
- 1985-1990 1000...1500 kV, Italien, USA, Russland, Südafrika

## ■ Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ):

- 1906 125 kV, Moutiers - Lyon
- 1950  $\pm$  200 kV, Kaschira – Moskau
- 1954 100 kV, Schweden – Gotland
- 1963  $\pm$  400 kV, Volgograd – Donbass
- 1976  $\pm$  500 kV, Inga – Shaba (Zaire)
- 1978  $\pm$  533 kV, Cahora Bassa / Mosambik – Südafrika
- 1983  $\pm$  600 kV, Itaipu – Sao Paulo
- 07/2010:  $\pm$  800 kV, China / Provinzen Guandong – Yunnan, 5000 MW, 1400 km
- 2010 Offshore-Windpark Cluster BORWIN: Erste HGÜ-Netzanbindung eines Offshore-Windparks Bard Offshore 1 / Nordsee – Diele / Emsland (Nähe Papenburg),  $\pm$  150 kV, 400 MW, Distanz 200 km

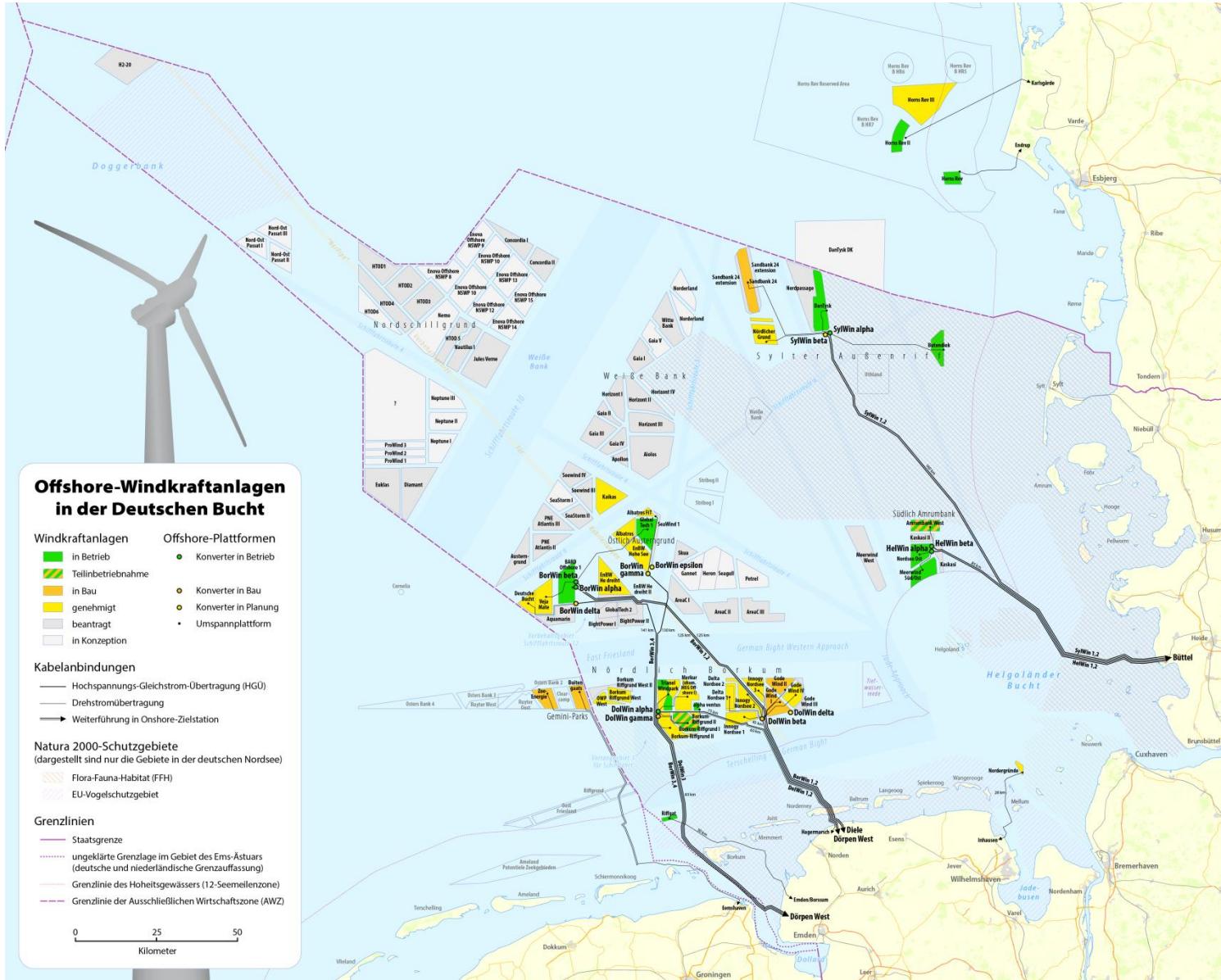
# Offshore-Windparks mit mehr als 600 MW im Betrieb



Nr.	Offshore-Windpark	Inhaber Genehmigung	Installierte Leistung	Baubeginn	Inbetriebnahme
<b>In Betrieb</b>					
1	alpha Ventus	Stiftung OFFSHORE-WINDENERGIE	60 MW	08/2007	04/2010
2	EnBW Windpark Baltic 1	EnBW Erneuerbare Energien GmbH	48 MW	07/2009	04/2011
3	BARD Offshore 1	BARD Holding GmbH	400 MW	03/2010	09/2013
4	Riffgat	Offshore-Windpark Riffgat GmbH & Co. KG	108 MW	06/2012	02/2014
				<b>Total in Betrieb</b>	<b>616 MW</b>
<b>Im Bau</b>					
5	Trianel Windpark Borkum	Trianel Windpark Borkum GmbH & Co. KG	200 MW *1	09/2011	2014
6	Meerwind Süd/Ost	WindMW GmbH	288 MW	09/2012	2014
7	Global Tech 1	Global Tech I Offshore Wind GmbH	400 MW	09/2012	2014
8	Nordsee Ost	RWE Innogy GmbH	295 MW	12/2012	2014
9	DanTysk	Vattenfall Europe Windkraft GmbH	288 MW	02/2013	2014
10	EnBW Windpark Baltic 2	EnBW Baltic 2 GmbH	288 MW	08/2013	2014
11	Borkum Riffgrund 1	Borkum Riffgrund I Offshore Windpark A/S GmbH & Co. oHG	277 MW	08/2013	2015
12	Amrumbank West	E.ON Kraftwerke GmbH	288 MW	01/2014	2015
				<b>Total im Bau</b>	<b>2324 MW</b>
<b>Genehmigt mit Investitionsentscheidung</b>					
13	Butendiek	OWP Butendiek GmbH & Co. KG	288 MW	2014	2015
14	Gode Wind 1	Gode Wind I GmbH	332 MW	2015	2016
15	Gode Wind 2	Gode Wind II GmbH	252 MW	2015	2016
				<b>Total Genehmigt mit Investitionsentscheidung</b>	<b>872 MW</b>
*1 erste Ausbaustufe					
				<b>Total</b>	<b>3812 MW</b>
Stand: Februar 2014					
Weitere genehmigte Projekte					
© Stiftung OFFSHORE-WINDENERGIE					

Quelle: [www.offshore-stiftung.de](http://www.offshore-stiftung.de), Feb. 2014

# Offshore-Windparks werden zumeist über HGÜ angebunden



Quelle: [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

# 1 Einführung

## ■ 1 Einführung

- 1.1 Grundaufgaben der elektrischen Energietechnik
- 1.2 Elektrischer Energiefluss als Informations- und Arbeitsmedium
- 1.3 **Begriffsbestimmungen**
- 1.4 Energiebedarf und dessen Deckung
- 1.5 Konventionelle Energieträger und deren Bewertung
- 1.6 Regenerative Energieträger und deren Bewertung

# Elektrische Energie und Leistung

## ■ Energie:

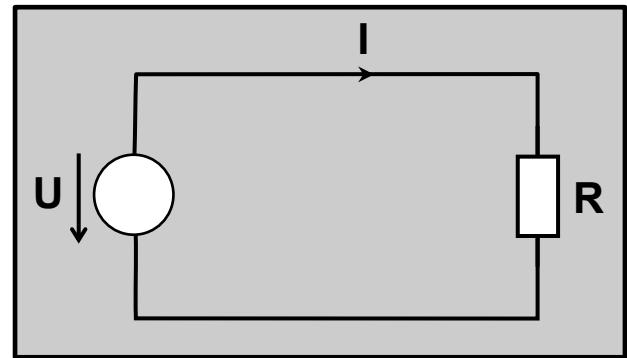
- Ist die Fähigkeit eines Systems, äußere Wirkungen hervorzubringen und damit Arbeit zu verrichten
- Durch Zufuhr oder Abgabe von Arbeit kann die Energie eines Körpers verändert werden
- Welche unterschiedliche Energieformen gibt es?

Mechanische Energie (Feder)  
Lageenergie (potenzielle E.)  
Bewegungsenergie (kinetische E.)  
Thermische Energie („Wärme“)  
Magnetische Energie  
Elektrische Energie  
Strahlungsenergie  
Chemische Energie (z.B. Benzin)

## ■ Elektrische Energie:

- Dem Widerstand R wird von der Spannungsquelle die Energie (oder Arbeit)  $W=U \cdot Q$  zugeführt:

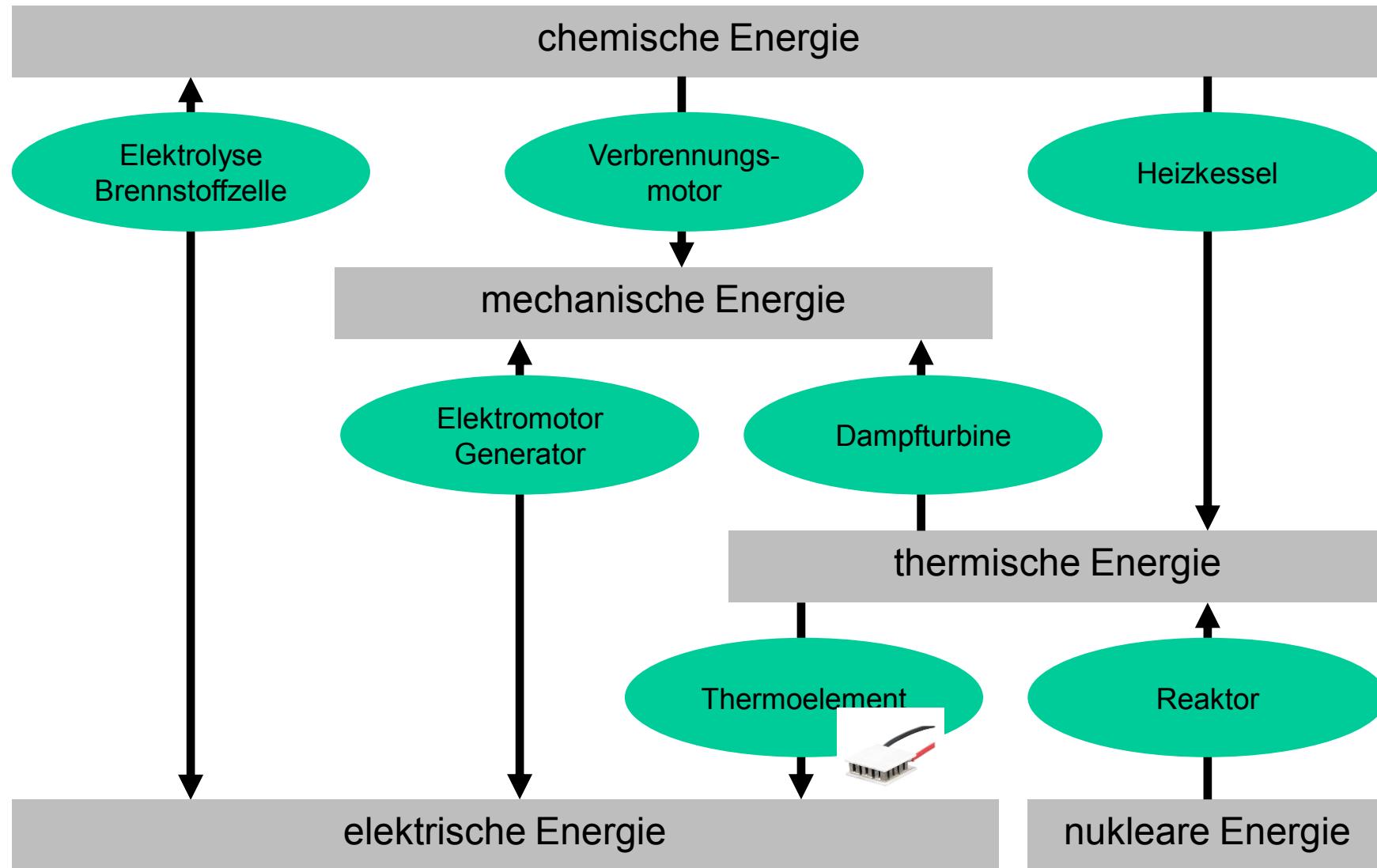
$$W = U \cdot I \cdot \Delta t \quad \text{mit } [W] = 1 \text{ VAs} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$$



## ■ Elektrische Leistung:

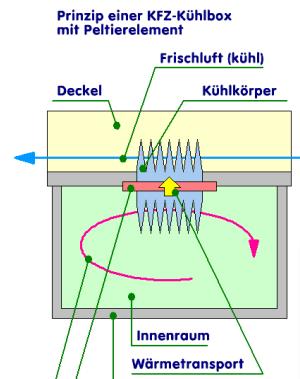
- Die pro Zeiteinheit übertragene Energie bezeichnet man als Leistung
- Sie gibt also an, in welcher Zeitspanne Arbeit verrichtet wird:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = U \cdot I \quad \text{mit } [P] = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ VA} = 1 \text{ Watt} = 1 \text{ W}$$



Quelle: T. Schabbach: „Energie“, Springer Vieweg, 2012

EE – Einführung in die regenerativen Energien – WS22 – Vo1



	Mechanische Energie	Thermische Energie	Lichtenergie	Elektrische Energie	Chemische Energie
Mechanische Energie	Turbine	Stirling-Motor	Triboluminiszenz-Kristalle	Generator (90)	chem. Reaktion unter Druck
Thermische Energie	Stirling-Motor (20) Dampfmaschine	Wärmepumpe	Glühende Körper	Thermo-element	endotherme chem. Reaktion
Lichtenergie	Radiometer (Lichtmühle)	Sonnenkollektor	Luminiszenz-Kristalle	Solarzelle (15)	Photosynthese (2)
Elektrische Energie	Elektromotor (90)	Tauchsieder (98)	Glühlampe (5)	Akkumulator	Eletrolyse (80)
Chemische Energie	Ottomotor (30)	exotherme chem. Reaktion	Kerzenflamme Leuchtkäfer	Batterie Brennstoffzelle (50)	chem. Reaktion

Die Zahlen in Klammern geben typische Wirkungsgrade in % an.

# Energieformen und ihre Berechnung

## ■ Überblick:

Energieform	Natürliche Form	Berechnung
Elektrische Energie	Elektrischer Stromfluss	$W_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t$
Kinetische Energie	Bewegung von Körpern und Fluiden	$W_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ bzw. $W_{rot} = M \cdot \Delta \varphi$
Potentielle Energie	Lageenergie	$W_{pot} = m \cdot g \cdot \Delta h$
Thermische Energie	Innere Energie	$W_{Th} = m \cdot c \cdot \Delta T$
Chemische Energie	Brennwert von Brennstoffen	$W_{chem} = m \cdot H_0$ ( $H_0$ : Brennwert)
Strahlungsenergie, Energie elektromagnetischer Wellen	Energie von Mikrowellen, Radiowellen, Wärmestrahlung	$W_q = h \cdot f$
Mechanische Energie		$W_{mech} = F \cdot s$

Quelle: R. Zahoransky: „Energietechnik“, Springer Vieweg, 2013

EE – Einführung in die regenerativen Energien – WS22 – Vo1

# Beispiele für Energiewandlungsprozesse

- Beispiel 1: Auto
  - Benzin = gespeicherte chemische Energie
  - (durch Verbrennung entsteht) thermische Energie
  - diese wird (vom Motor) in Bewegungsenergie gewandelt
  - diese wird (vom Motor und durch Reibung) in thermische Energie (Abwärme) gewandelt
- Beispiel 2: Photovoltaik-Anlage:
  - Ein Teil der solaren Strahlungsenergie wird
  - (durch Solarzellen direkt) in elektrische Energie gewandelt
- Hier wird also eine von uns Menschen schlecht nutzbare Energieform in eine für uns „höherwertige“ Energieform überführt.

# 1 Einführung

## ■ 1 Einführung

- 1.1 Grundaufgaben der elektrischen Energietechnik
- 1.2 Elektrischer Energiefluss als Informations- und Arbeitsmedium
- 1.3 Begriffsbestimmungen
- 1.4 **Energiebedarf und dessen Deckung**
- 1.5 Konventionelle Energieträger und deren Bewertung
- 1.6 Regenerative Energieträger und deren Bewertung

# Energiemengen - Was ist 1 kWh?

- Ermitteln Sie Beispiele für die folgenden Energien:
- Elektrische Energie:
  - Beleuchtung: Halogenstrahler („Deckenfluter“) 200 W, 5 h
- Thermische Energie:
  - Duschen: 30 l, Kalt-/Warmwassertemperatur = 10°C / 40°C
- Mechanische Energie (potenziell, kinetisch):
  - Bergsteigen: 2000 m Höhendifferenz, 60 kg schwere Person, Muskulatur-Wirkungsgrad ca. 30%
  - Laufen: 9 km/h, 60 kg schwere Person → 600 W Leistungsinput des Körpers (über Sauerstoffaufnahme gemessen, d.h. Wirkungsgrade im Organismus berücksichtigt), 1,5 h lang
- Anmerkungen:
  - 1 kWh Energie kostet aktuell nur ca. 8 ct (Heizöl, Erdgas) ... 27 ct (Strom)!
  - Der Energieinhalt von 1 l Heizöl bzw. 1 m<sup>3</sup> Erdgas = ca. 10 kWh!

# Energieerhaltungssatz

- Energieerhaltungssatz (1. Hauptsatz der Thermodynamik):
  - Die Gesamtenergie in einem abgeschlossenen System bleibt konstant
  - Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden; sie kann sich in verschiedene Formen umwandeln oder zwischen verschiedenen Teilen des Systems ausgetauscht werden

# Vorsätze und Vorsatzzeichen

- Da viele physikalische Größen oftmals sehr kleine oder sehr große Werte aufweisen und die Exponentialschreibweise unhandlich ist, wurden Vorsätze und Vorsatzzeichen eingeführt:

Vorsatz	Abkürzung	Wert	Vorsatz	Abkürzung	Wert
<b>Kilo</b>	<b>k</b>	<b><math>10^3</math> (Tausend)</b>	Milli	m	$10^{-3}$ (Tausendstel)
Mega	M	$10^6$ (Million)	Mikro	$\mu$	$10^{-6}$ (Millionstel)
Giga	G	$10^9$ (Milliarde)	Nano	n	$10^{-9}$ (Milliardstel)
Tera	T	$10^{12}$ (Billion)	Piko	p	$10^{-12}$ (Billionstel)
<b>Peta</b>	<b>P</b>	<b><math>10^{15}</math> (Billiarde)</b>	Femto	f	$10^{-15}$ (Billiardstel)
Exa	E	$10^{18}$ (Trillion)	Atto	a	$10^{-18}$ (Trillionstel)

- Umrechnungsfaktoren:

Gebräuchliche Energieeinheiten	kJ	kWh	kcal	1 kg SKE	1 kg RÖE	$m^3$ Erdgas
<b>1 Kilojoule (1 kJ = 1000 Ws)</b>	1	0,000278	0,2388	0,000034	0,000024	0,000032
<b>1 Kilowattstunde (kWh)</b>	3600	1	860	0,1224	0,0857	0,113
<b>1 Kilocalorie (kcal)</b>	4,1868	0,001163	1	0,000143	0,0001	0,00013
<b>1 kg Steinkohleeinheit (SKE)</b>	29308	8,14	7000	1	0,7	0,923
<b>1 kg Rohöleinheit (RÖE)</b>	41868	11,63	10000	1,4286	1	1,319

# Erntefaktor und Wirkungsgrad

## ■ Erntefaktor e:

- Verhältnis der zur Nutzung einer Energiequelle geernteten Energiemenge zur investierten Energiemenge:

$$e = \frac{\text{geerntete Energie}}{\text{investierte Energie}}$$

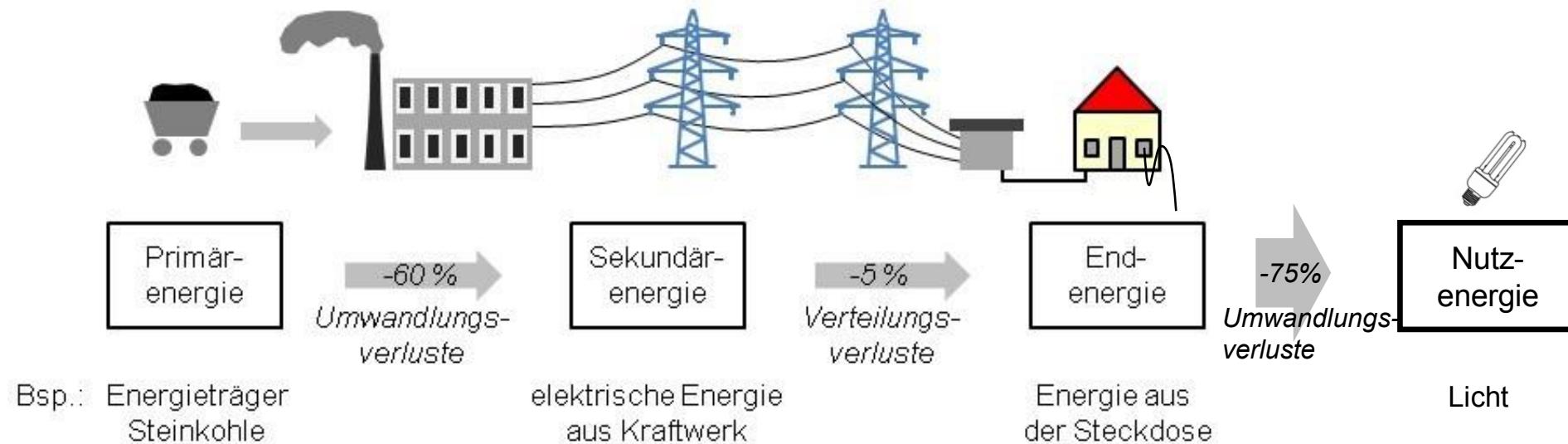
## ■ Wirkungsgrad $\eta$ :

- Verhältnis der Nutzenergie zur eingesetzten, konsumierten Energie:

$$\eta = \frac{\text{Nutzenergie}}{\text{konsumierte Energie}}$$

# Primär-, Sekundär- und Endenergie

## ■ Beispiel Steinkohleverstromung:



## ■ Begriffe der Energiewirtschaft:

Primärenergie	Energie in ursprünglicher, noch nicht technisch aufbereiteter Form	z.B. Kohle, Naturgas, Natur-Uran, Rohöl, Solarstrahlung, Wind, Biomasse
Sekundärenergie	Aus der Primärenergie gewandelte Energie zum besseren Transport bzw. Speicherung	$^{235}\text{U}$ (angereichertes Uran für Kernspaltung), elektrische/ thermische Energie (am Kraftwerk)
Endenergie	Energie in der Form, wie sie dem Endverbraucher zugeführt wird	z.B. Erdgas, Heizöl, Kraftstoffe, elektrische Energie, Fernwärme, Holzpellets
Nutzenergie	Energie in der vom Endverbraucher genutzten Form	z.B. Licht zur Beleuchtung, Wärme zur Heizung, Antriebsenergie für Maschinen und Fahrzeuge

Quelle: Konrad Mertens, Photovoltaik, Carl Hanser Verlag 2011, S. 22, Bild 1.2

EE – Einführung in die regenerativen Energien – WS22 – Vo1

# Energiebedarf und Sankey-Diagramm

## ■ Aufgabe:

- Ein Liter Wasser (spez. Wärmekapazität  $c_{H_2O} = 4,187 \text{ kJ/(kgK)}$ ) soll von der Temperatur  $T_1 = 15^\circ\text{C}$  auf die Temperatur  $T_2 = 98^\circ\text{C}$  erwärmt werden, und zwar unter Verwendung eines Elektroherdes, dessen elektrische Energie von einem Wärmekraftwerk (Steinkohle) bereitgestellt wird.
- Folgende typische Wirkungsgrade sind zugrunde zu legen:  
Wärmekraftwerk:  $\eta_1 = 38\%$  // Elektroherd:  $\eta_2 = 55\%$
- Berechnen Sie den jeweils erforderlichen Primärenergiebedarf und stellen Sie die Verhältnisse jeweils grafisch in einer Energiewandlungskette (Sankey-Diagramm) dar

## ■ Lösung:

- Erforderliche Wärmeenergie zur Erwärmung eines Liters Wasser (Nutzenergie):
- Die dem Elektroherd zuzuführende Energie (Endenergiebedarf):
- Die dem Wärmekraftwerk zuzuführende (chemische) Energie (Primärenergiebedarf):

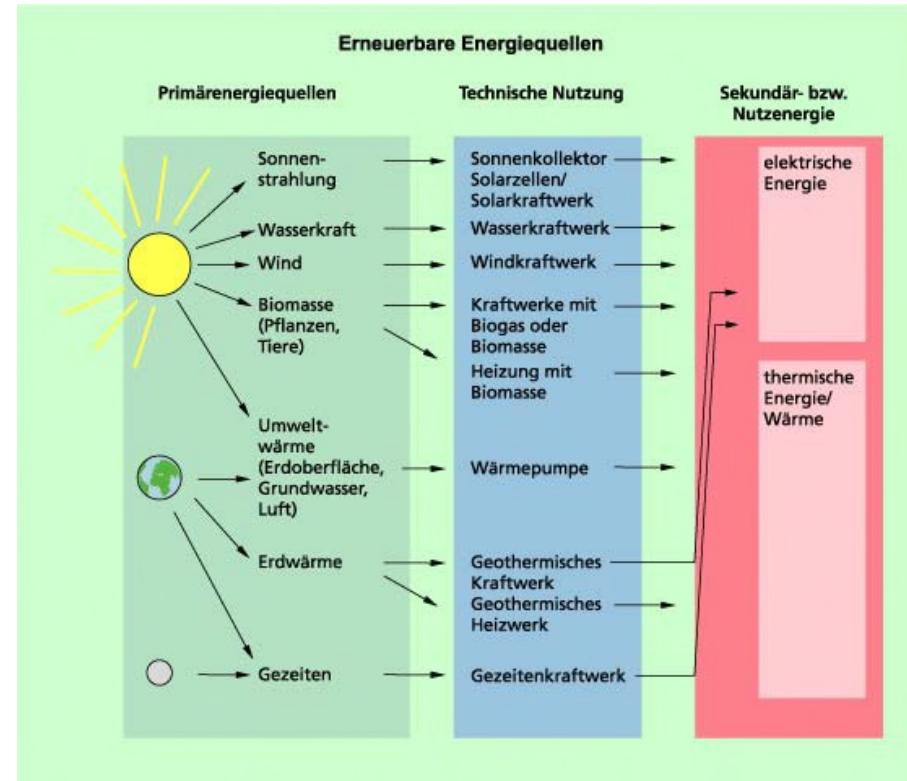
# Sankey-Diagramm

- Sankey-Diagramm:

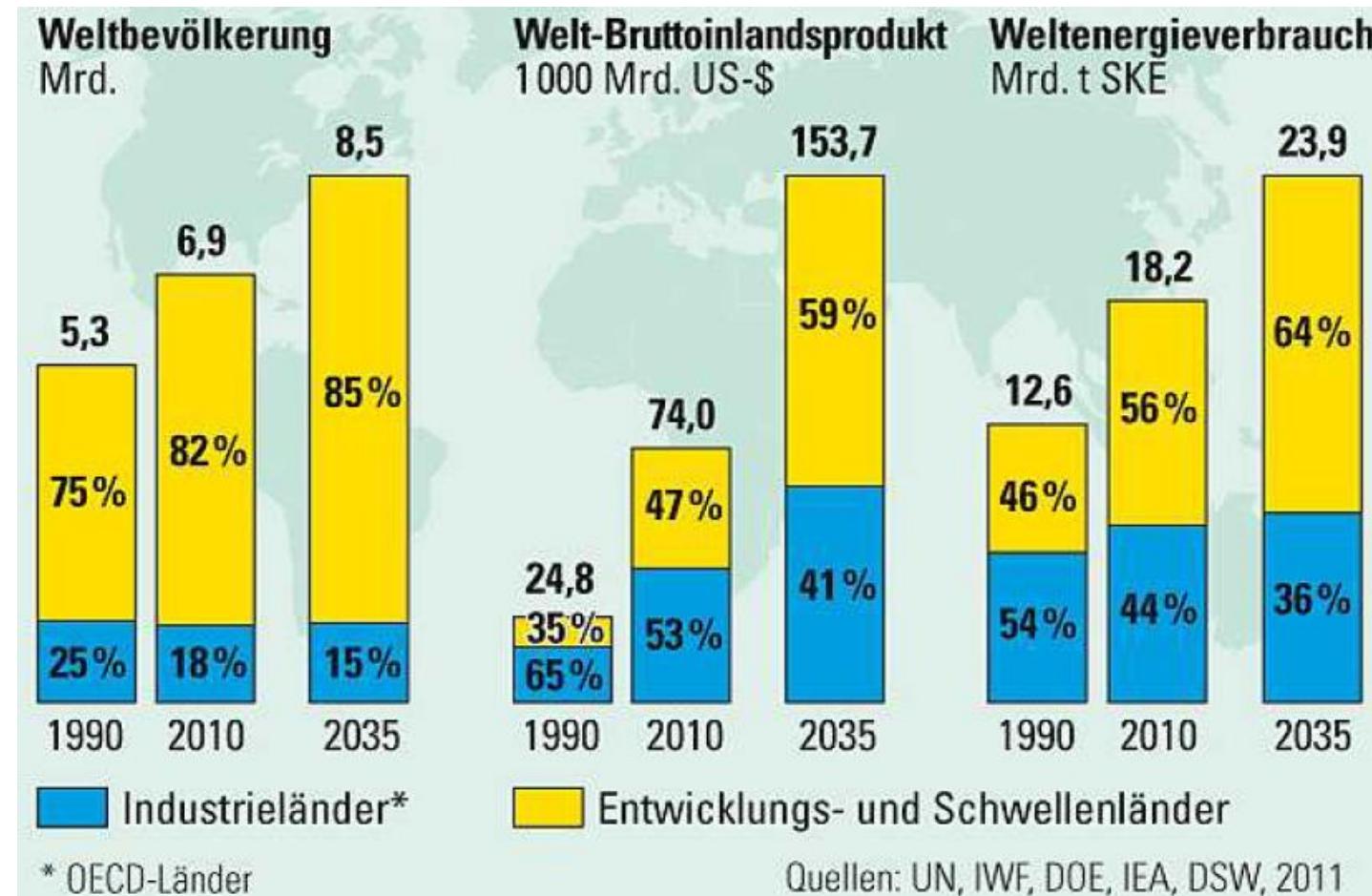
# Sankey-Diagramm

- Sankey-Diagramm:

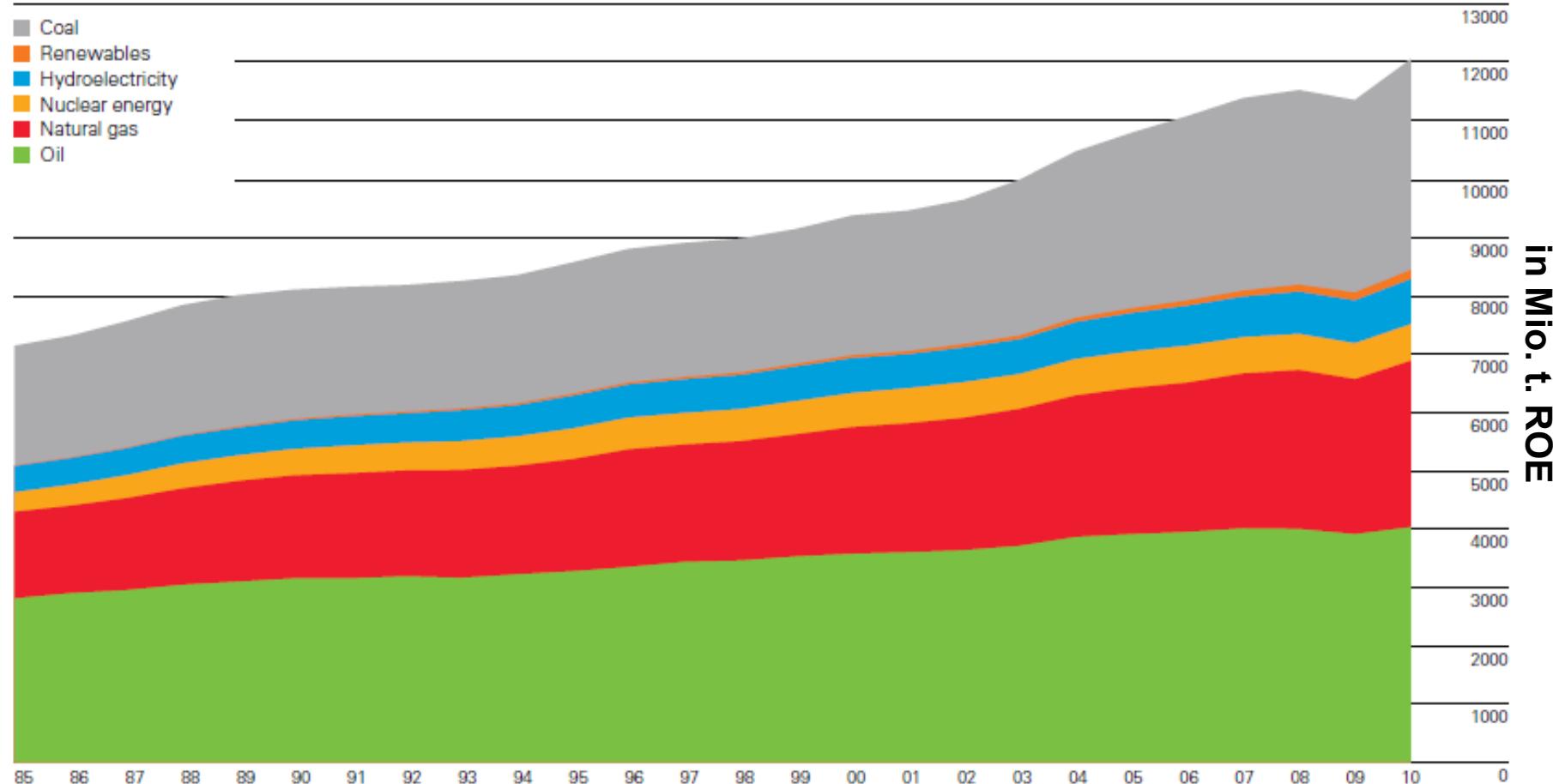
# Eigenschaften von Energieträgern



# Entwicklung der Weltbevölkerung und des Weltenergiebedarfs

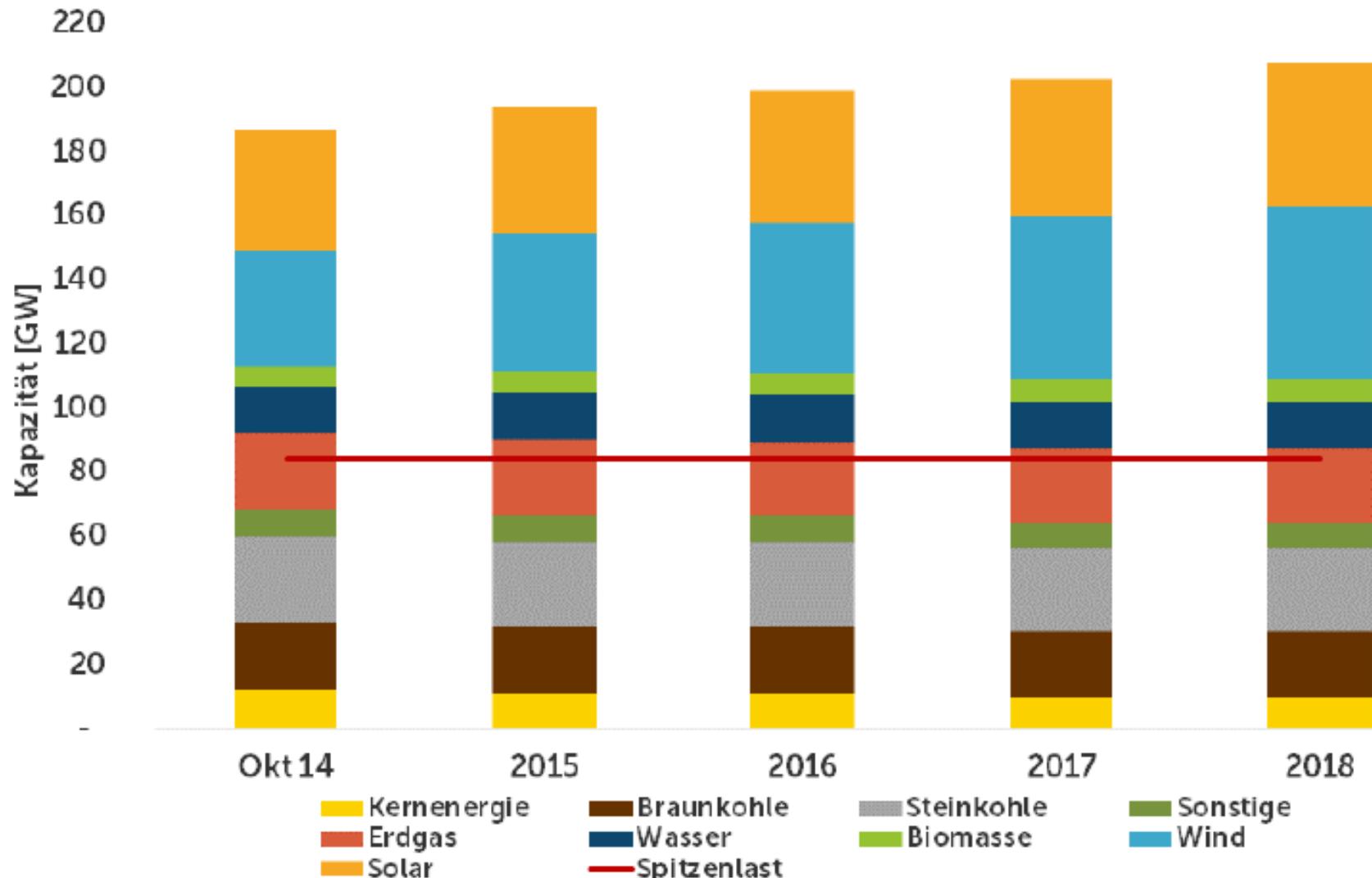


# Deckung des Welt-Primärenergiebedarfs



Quelle: BP Statistical Review of World Energy, June 2011, Seite 42; Angaben in Mio. tonnes oil equivalent

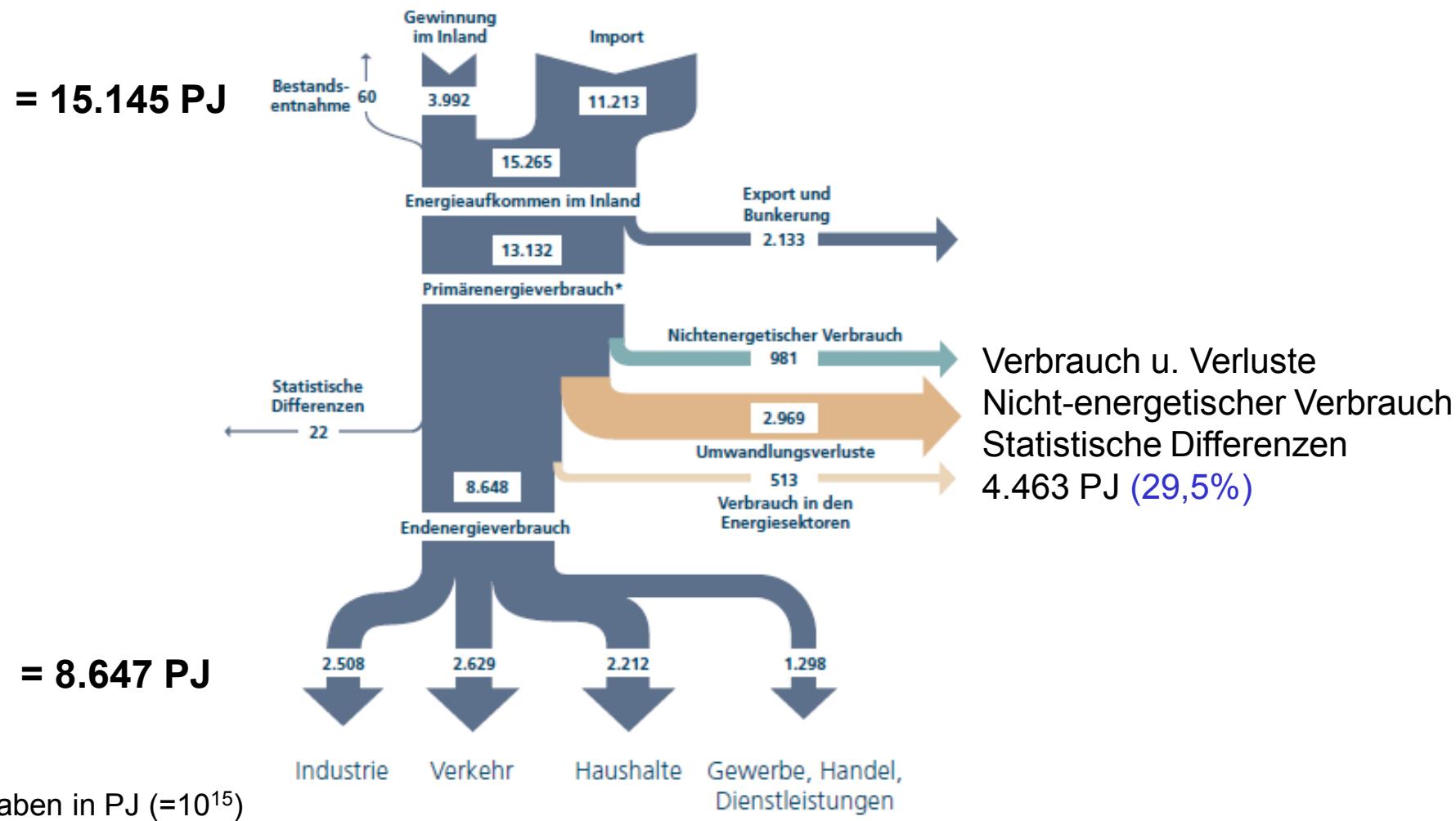
# Erzeugungskapazitäten und Spitzenlast in Deutschland



Quelle: LEITSTUDIE STROMMARKT 2015, Connect Energy Economics GmbH, 2015

EE – Einführung in die regenerativen Energien – WS22 – Vo1

# Energieflussbild Deutschland, 2014 in Petajoule



Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt bei 11,3 %.

ABWEICHUNGEN IN DEN SUMMEN SIND NIEDERLÄNDIG

\* Alle Zahlen vorläufig geschätzt.

29.308 Petajoule (PJ)  $\Delta$  1 Mio. t SKE

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 08/2015

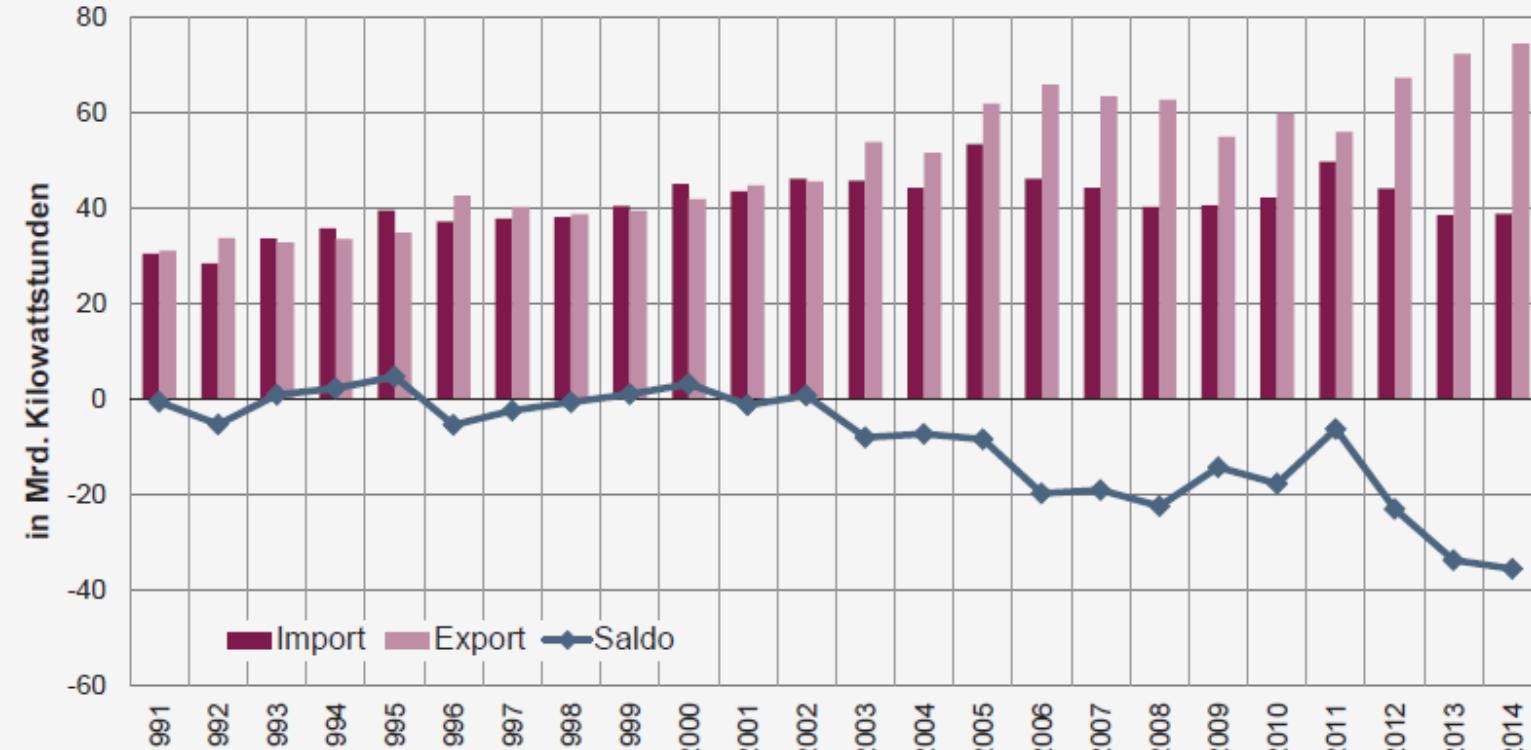
Quelle: AG Energiebilanzen e.V., [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de)

# Der Stromexport nimmt stetig zu Deutschland, 1. Hj. 2015

## Langfristige Entwicklung der grenzüberschreitenden Stromflüsse

  
**bdew**  
Energie. Wasser. Leben.

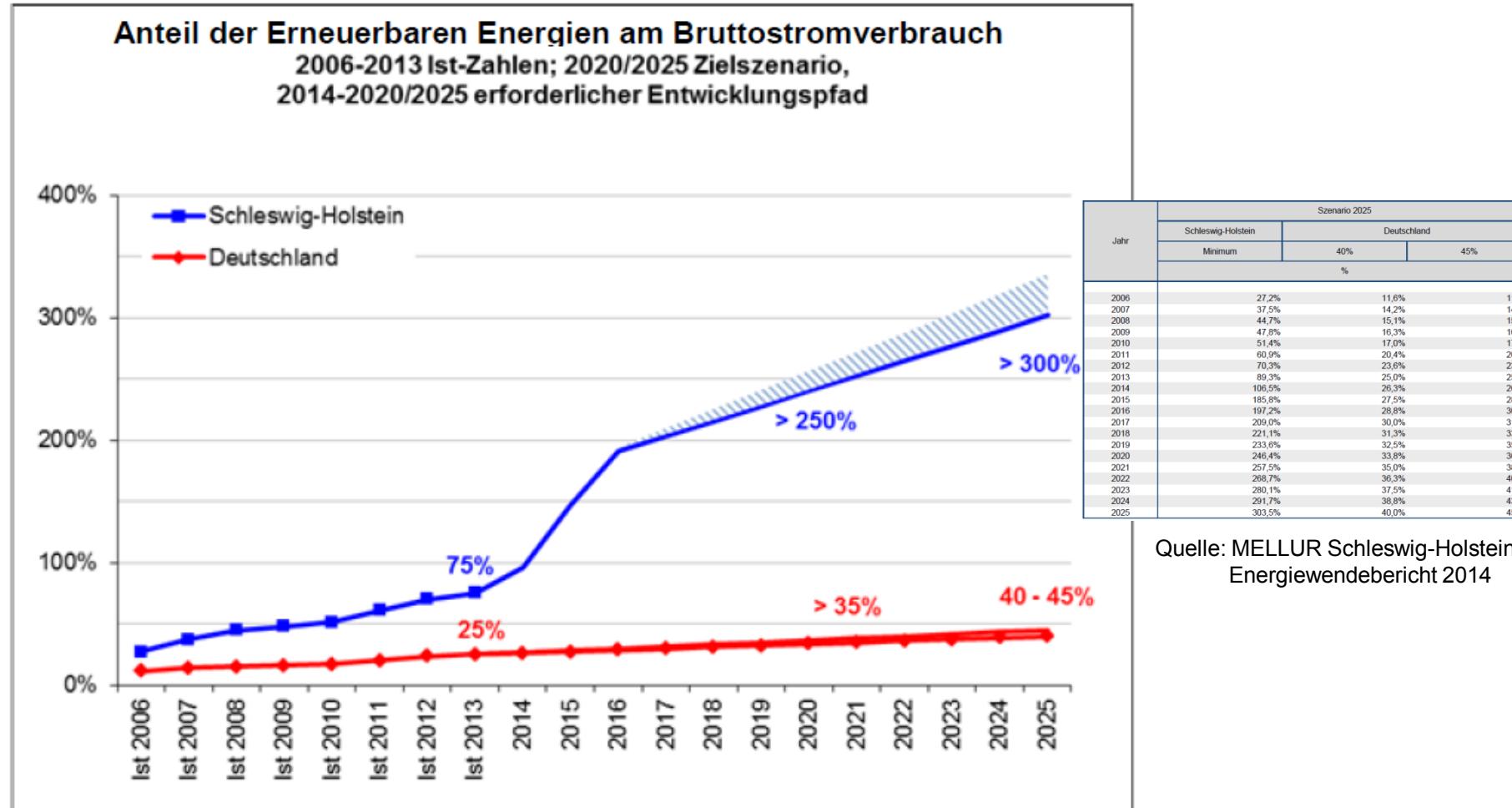
Jährlicher Stromtausch Deutschlands mit seinen Nachbarländern



Quelle: BDEW, Stand: 05/2015

# Ausbauszenarien Erneuerbare Energien 2025

Deutschland und Schleswig-Holstein

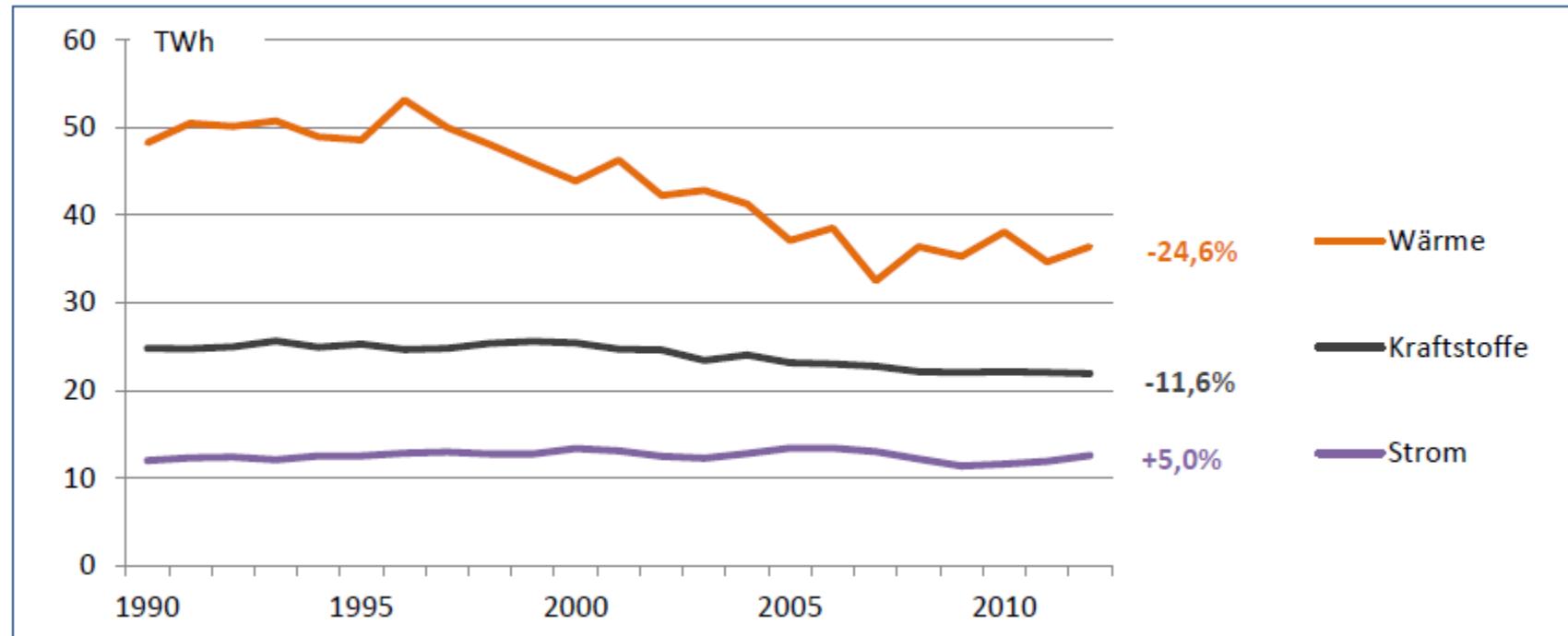


Quellen: Ist-Werte für Deutschland aus „Erneuerbare Energien im Jahr 2013“ des BMWi (Ausgabe August 2014), Szenario 2025 gemäß EEG 2014.

Für Schleswig-Holstein: Bis 2013 Ist-Zahlen aus der Energiebilanzierung des Statistikamts Nord; ab 2014 Ausbauerwartung und Zielszenario (siehe Energiewende- und Klimaschutzbericht 2014)

# Endenergieverbrauchs auf den drei Teilmärkten Wärme, Strom und Kraftstoff (Schleswig-Holstein)

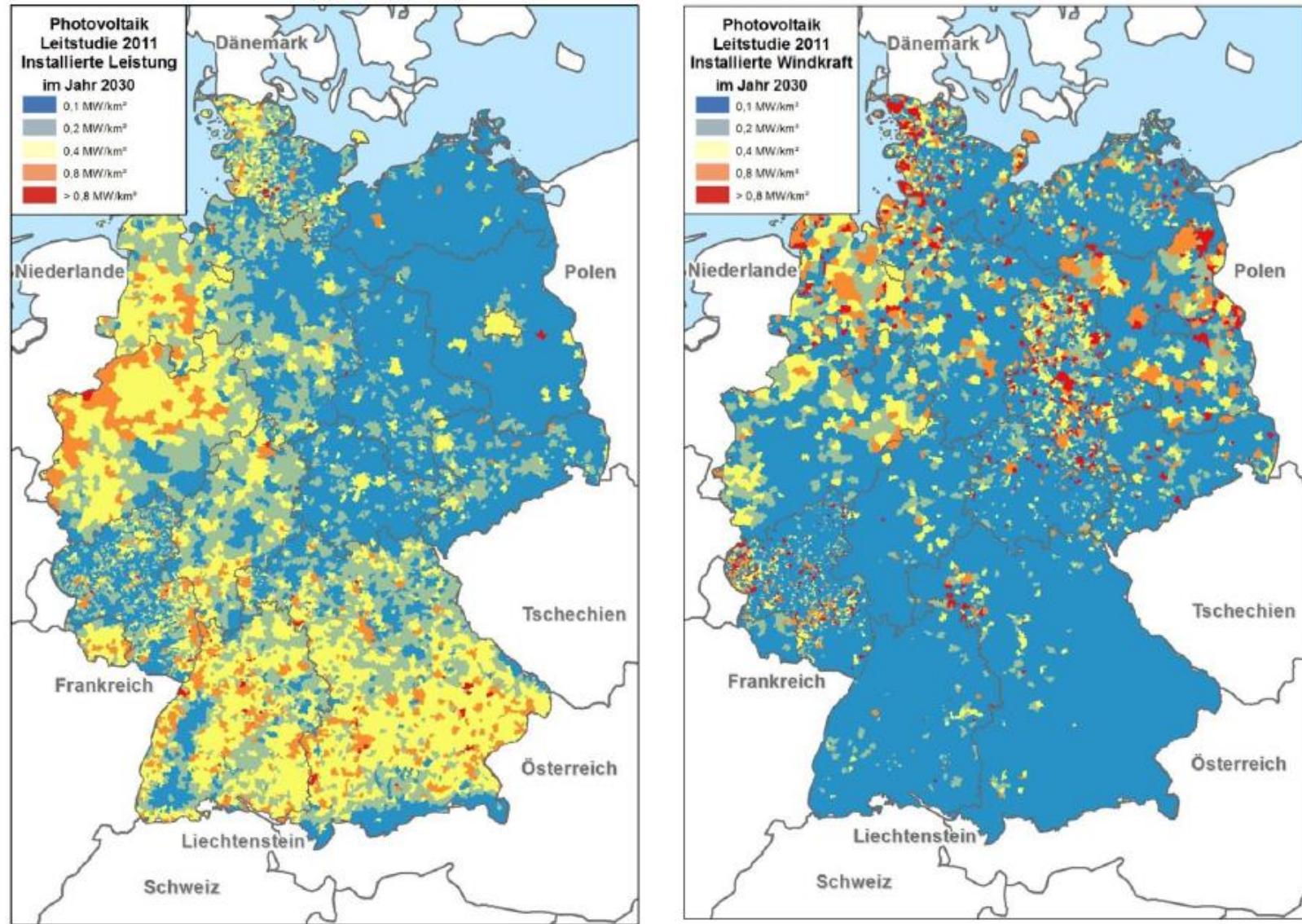
- Die Sektorenkopplung ist die große Herausforderung der erneuerbaren Energien:



Quelle: MELLUR Schleswig-Holstein, Energiewendebericht 2014

# Ausbauszenarien Erneuerbare Energien

## Deutschland – Leitszenario 2011 der FfE



Quelle: FfE – Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2012

# Netzausbau Schleswig-Holstein



Quelle: TenneT TSO GmbH [2014]

Quelle: MELLUR Schleswig-Holstein, Energiewendebericht 2014

# Netzausbau Deutschland



Quelle: VDE | FNN/Übertragungsnetzbetreiber<sup>6</sup>

# 1 Einführung

## ■ 1 Einführung

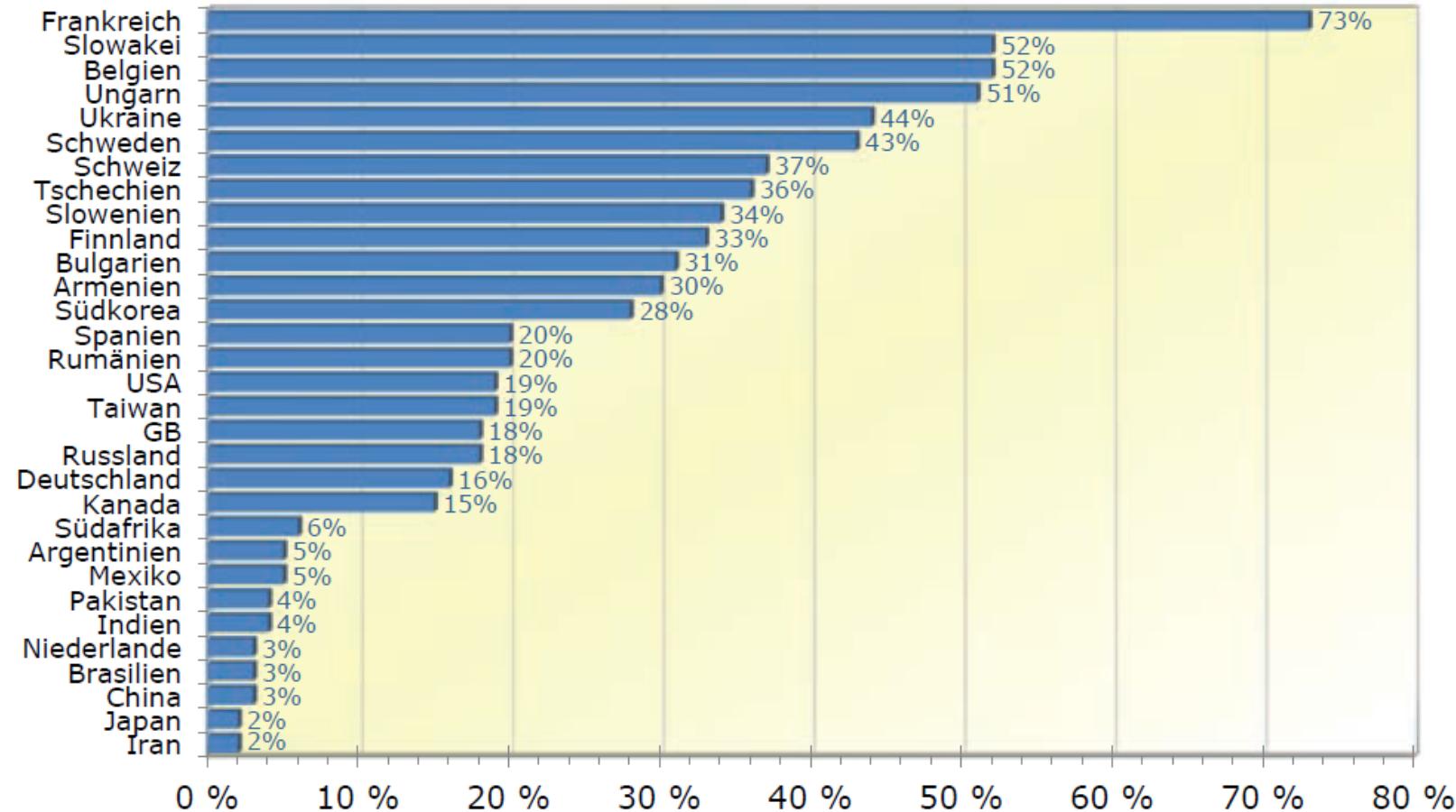
- 1.1 Grundaufgaben der elektrischen Energietechnik
- 1.2 Elektrischer Energiefluss als Informations- und Arbeitsmedium
- 1.3 Begriffsbestimmungen
- 1.4 Energiebedarf und dessen Deckung
- 1.5 **Konventionelle Energieträger und deren Bewertung**
- 1.6 Regenerative Energieträger und deren Bewertung

# Konventionelle Energieträger

- Fossile Energieträger:
  - Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle
  - Chemisch basierend auf organischen Kohlenstoffverbindungen
  - Bei Verbrennung mit Sauerstoff Energie in Form von Wärme und immer auch Kohlendioxid CO<sub>2</sub> (Treibhausgas) und weitere Verbrennungsprodukte
  
- Nukleare Energieträger:
  - Uran-Isotop <sup>235</sup>U zur Kernspaltung
  - Kettenreaktionsgleichung:
$$^{235}_{92}U + ^1_0n \rightarrow ^{90}_{36}Kr + ^{143}_{56}Ba + 3^1_0n + \Delta W$$
  - 1kg <sup>235</sup>U hat einen nutzbaren Energiegehalt von 2,7 Mio. kg SKE
  - Gewinnung von <sup>235</sup>U:
  - Abbau von Uranerz mit Uranoxid-Anteil  $\geq 0,1\%$
  - Uranoxid: 0,7% <sup>235</sup>U, 99,3% <sup>238</sup>U
  - Anreicherung des Anteils von <sup>235</sup>U gegenüber <sup>238</sup>U auf 2-4%
  - Anreicherungsaufwand ca. 300 kWh pro kg auf 3% <sup>235</sup>U angereichertes Uran unter Einsatz von Gaszentrifugen

# Konventionelle Energieträger

- Anteil der Atomkraft an der Stromerzeugung 2013:
  - Anteil der Kernkraft an der Stromerzeugung Weltweit bei 17%, in Europa bei 31%



Quelle: V. Quaschning, Regenerative Energiesysteme, Hansa Verlag, 2013

# Energiegehalt verschiedener Energieträger

Primär- (P) / Sekundär- (S) End- (E) Energieträger	kJ	kWh	kcal	1 kg SKE	1 kg RÖE
<b>1 kg Brennholz (gefällter Baum: P; zersägter Baum: S; Holzscheite, Holzpellets: E)</b>	14654	4,071	3500	0,500	0,350
<b>1 kg Braunkohle (P)</b>	8499	2,361	2030	0,290	0,203
<b>1 kg Steinkohle (P)</b>	29777	8,271	7112	1,016	0,711
<b>1 dm<sup>3</sup> Rohöl (P)</b>	35873	9,965	8568	1,224	0,857
<b>1 kg Natur-Uran (Kernspaltung) (P)</b>	439614000	122115	105000000	15000	10500
<b>1 kg Uran 235U (Kernspaltung) (S)</b>	79130520000	21980700	18900000000	2700000	1890000
<b>1 kg Braunkohlebriketts (E)</b>	19255	5,349	4599	0,657	0,460
<b>1 kg Benzin (E)</b>	43551	12,098	10402	1,486	1,040
<b>1 m<sup>3</sup> Erdgas (E)</b>	31740	8,817	7581	1,083	0,758
<b>1 kg Flüssiggas (E)</b>	46892	13,026	11200	1,600	1,120

# Reichweite konventioneller Energieträger

	Erdöl	Erdgas	Braunkohle	Steinkohle	Uran
Reserven	163,5 Mrd. t	182,8 Bill. m <sup>3</sup>	279,3 Mrd. t	710,6 Mrd. t	1,77 Mio. t <sup>1)</sup>
Ressourcen	82,1 Mrd. t	206,8 Bill. m <sup>3</sup>	4.181,9 Mrd. t	14.800 Mrd. t	5,47 Mio. t <sup>2)</sup> 10,54 Mio. t <sup>3)</sup>
Förderung	3.882 Mrd. t	3.013 Bill. m <sup>3</sup>	0,978 Mrd. t	5,5 Mrd. t	0,0413 Mio. t
Statistische Reichweite	42 Jahre	61 Jahre	286 Jahre	129 Jahre	43 Jahre
Kumulierte Förderung	150,9 Mrd. t	86,8 Bill. m <sup>3</sup>			2,15 Mio. t

- Reserven:
  - Aktuell bekannte, zu gegenwärtigen Preisen und mit heutigen Fördertechnologien gewinnbare Menge an Rohstoffen
- Ressourcen:
  - Nachgewiesene Menge der Rohstoffe, die derzeit technisch und/ oder wirtschaftlich nicht gewonnen werden kann sowie die nicht nachgewiesene, aber geologisch mögliche, zukünftig gewinnbare Menge von Rohstoff-Lagerstätten
- Förderung:
  - Jahresförderung 2007
- Statistische Reichweite:
  - Zeitspanne, für die die aktuellen Reserven bei weiter aktuellem Verbrauch reichen würden, Momentaufnahme!
- Quellen:
  - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, <http://www.bgr.bund.de>, Studie Energierohstoffe 2009
  - Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2007
  - 1) Gewinnungskosten bis 40 US\$/kg
  - 2) Gewinnungskosten 40...130 US\$/kg
  - 3) Rein Spekulativ

# Treibhauseffekt

## ■ Treibhausgase:

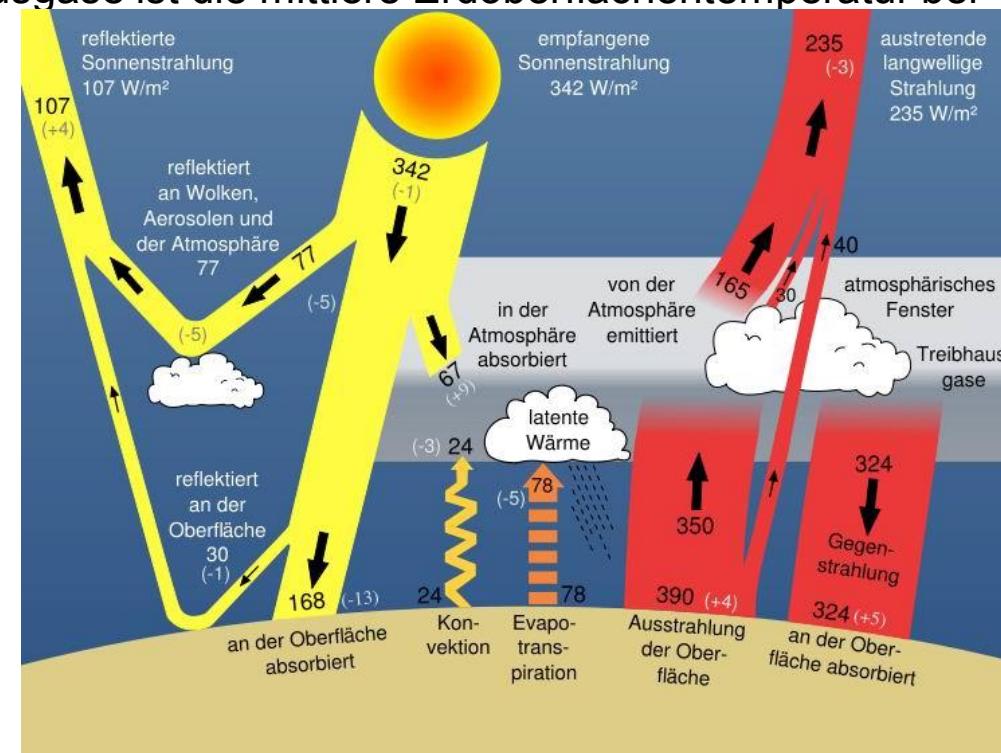
- Die Erdatmosphäre besteht nur zu 0,04% aus „Treibhausgasen“ (Kohlendioxid, Helium, Methan, Ozon u.a.)
- 

## ■ Natürlicher Treibhauseffekt:

- Durch das natürliche Gleichgewicht der Treibhausgase ist die mittlere Erdoberflächentemperatur bei +15°C anstatt - 18°C

## ■ Anthropogener Treibhauseffekt:

- Vom Mensch verursachte, zusätzliche Emission von Treibhausgasen in die Atmosphäre
- Problem: Die erwärmten Gegenstände strahlen mit Wellenlängen im Bereich bei 10.000 nm (Infrarot). Für diese "Rückstrahlung" ist aber die Atmosphäre undurchlässig. Die Strahlung wird teilweise absorbiert und von den Treibhausgasen wieder zur Erde abgegeben.



# Erdatmosphäre und Treibhausgase

## ■ Zusammensetzung der Erdatmosphäre:

Erd-atmosphäre	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Argon u.a. Edelgase	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	He	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>
[Vol%]	78,084%	20,946%	0,930%	0...4%	0,038% (380ppm)	0,000524% (5,24ppmv)	0,0002% (2ppmv)	0,00005% (0,5ppmv)

## ■ Charakteristika der Treibhausgase:

Treibhausgase	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	FCKW11	FKW, H-FKW	SF <sub>6</sub>	O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
(Im Kyoto-Protokoll 1997 reglementiert)	Kohlenstoff-dioxid	Methan	Distickstoffoxid (Lachgas)	Fluorchlor-kohlenwasserstoffe	Fluorkohlenwasserstoffe	Schwefel-hexaflourid	Ozon (erdnah)	Wasserdampf
Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt	56%	16%	5%		11%	gering	12%	+/-0
Konzentration [ppmv] (Jahr)	386 (2008)	1,774 (2005)	0,319 (2005)	0,000268	0,000014	0,000005	0,03	
Konzentration [ppmv] (Jahr)	280 (1850)	0,715 (1850)	0,27 (1850)					
Konz.anstieg [%/a]	0,5	0,4	0,25	-0,5	3,9		0,5	
Verweilzeit in Atmosphäre [a]	5 - 200	12	114	45	260	3.200	0,1	
Spezifisches Treibhaus-potenzial	1	25	298	Bis zu 14.400	Bis zu 14.800	22.800	2.000	

# Verursacher der Treibhausgase

## ■ Verursacher der Treibhausgase:

Treibhausgase	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	FCKW11	FKW, H-FKW	SF <sub>6</sub>	O <sub>3</sub>
Verursacher:							
50%: Nutzung fossiler Energieträger	Verbrennu ng fossiler Energieträ ger (74%)	Kohlebergbau (Grubengas), Erdgasge winnung (50%)					Bildung durch Schadstoffe, z.B. motorisierter Straßenverkehr
20%: Industrie	Zement- produktion	Kläranlagen, Mülldeponien		Kältemittel in Kühlschränken, Treibmittel in Spraydosen (Rückläufige Verwendung)	Ersatzstoffe für FCKW: Kälte- und Treibmittel (Teihalogenier te Flurkohlen- wasserstoffe)	Isulationsgas in Hochsp.schalt- anlagen, Ätzgas in der Halbleiter- industrie	
15%: Trop. Regenwälder (Verbrennung, Verrottung)	Nicht CO <sub>2</sub> - neutrale Biomasse- nutzung		Brandrodung tropischer Regenwälder				
15%: Landwirtschaft		Reisanbau, Viehzucht (37%)	Einsatz mineralischer Stickstoff-dünger, Biomasse-anbau (65%)				

# Umweltverträglichkeit fossiler Energieträger

## ■ Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren:

- Beim Verbrennen (Oxidation) von Erdöl, Erdgas oder Kohle entsteht neben der Wärme aus dem gebundenen Kohlenstoff und Sauerstoff der Luft CO<sub>2</sub>

Energieträger	kg CO <sub>2</sub> /kWh	kg CO <sub>2</sub> /GJ	Energieträger	kg CO <sub>2</sub> /kWh	kg CO <sub>2</sub> /GJ
Holz	0,39	109,6	Rohöl	0,26	73,3
Torf	0,38	106,0	Kerosin	0,26	71,5
Braunkohle	0,36	101,2	Benzin	0,25	69,3
Steinkohle	0,34	94,6	Raffineriegas	0,24	66,7
Heizöl	0,28	77,4	Flüssiggas	0,23	63,1
Diesel	0,27	74,1	Naturgas	0,20	56,1

## ■ Aufgabe:

- Schätzen Sie für die Erwärmung von 1 Liter Wasser aus der vorigen Aufgabe (Elektroherd und Wärmekraftwerk mit Steinkohle) die entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen ab
- CO<sub>2</sub>-Emission = Primärenergiebedarf \* spez. Emissionsfaktor

# 1 Einführung

## ■ 1 Einführung

- 1.1 Grundaufgaben der elektrischen Energietechnik
- 1.2 Elektrischer Energiefluss als Informations- und Arbeitsmedium
- 1.3 Begriffsbestimmungen
- 1.4 Energiebedarf und dessen Deckung
- 1.5 Konventionelle Energieträger und deren Bewertung
- 1.6 **Regenerative Energieträger und deren Bewertung**

# Regenerative Energieträger

- Man unterscheidet 3 Arten regenerativer Energiequellen:

Regenerative Energiequelle	Genutzte Energieform	Technische Energiewandlung	Endenergie Chem. / El. / Therm.
<b>Sonne</b>			
Direkt:	Solarstrahlung	Photovoltaik-Anlagen Solarthermische Kraftwerke	El. El.
		Aufwind-Kraftwerke	
		Dish-Stirling-Anlagen	
		Parabolrinnen-Kraftwerke	
		Solarturm-Kraftwerke	
		Solarkollektoren, -kocher, -öfen	Therm.
		Photolyseeinrichtungen	Chem.
Indirekt:	Biomasseproduktion	Biogasanlagen Biomasseheizwerke Biomassekraftwerke	El. Therm. El., Chem.
	Erwärmung der Erdoberfläche und der Atmosphäre		
	Niedertemperaturwärme (Boden, Luft)	Wärmepumpen (s.u.)	Therm.
	Windenergie	Windenergieanlagen	El.
	<b>Wasserkraft</b>		El.
	Verdunstung, Niederschlag, Schmelzen von Schnee, Wasserströme	Laufwasserkraftwerke Speicherwasserkraftwerke	
	Wellenbewegung	Wellenkraftwerke	
	Meeresströmung	Meeresströmungskraftwerke	
<b>Erde</b>	Geothermische Energie (Erdwärme)	Geothermieheizwerke Geothermiekraftwerke	Therm. El.
		Wärmepumpen (s.o.)	Therm.
<b>Planeten</b>	Planetenergie (Gezeiten)	Gezeitenkraftwerke	El.

# Regenerative Energieträger

## ■ Sonnen- oder Solarenergie:

- Von der Sonne durch Kernfusion erzeugte Energie, die in Teilen als elektromagnetische Strahlung (Strahlungsenergie) zur Erde gelangt
- Die Sonnenenergie kann direkt als Solarstrahlung oder indirekt in anderen Energieformen genutzt werden

## ■ Direkte Nutzung – Photovoltaikanlagen:

- Direkte Umwandlung der Solarstrahlung in elektrische Energie
- PV-Solarparks heute bis zu 60 MW in Betrieb, in Zukunft bis 600 MW
- In Deutschland Förderung der Photovoltaik über das Erneuerbare-Energien-Gesetz

## ■ Indirekte Nutzung – Biomasse:

- Nutzung von Stoffen organischer Herkunft wie Pflanzen od. abgestorbene Organismen
- Photosynthese ist nach der Erwärmung der Erdoberfläche die am zweitmeisten verbreitete Nutzung der Sonnenenergie
- Traditionelle Biomasse-Energieträger: Feuerholz, getrockneter Tier-Dung
- Moderne Biomasse Energieträger: Fest, flüssig, gasförmig
- Biomassekraftwerke / -heizkraftwerke ( $W_{el}$  /  $W_{el+therm}$ ) heute mit Ausgangsleistungen 5...30 MW in Betrieb, in Zukunft bis 350 MW (GB)
- In Deutschland Förderung der elektr. Stromerzeugung bis 20 MW über das EEG

# Regenerative Energieträger

## ■ Indirekte Nutzung – Windenergieanlagen/Windkraftanlagen:

- Wind entsteht durch unterschiedliche Erwärmung der Luftmassen und der Erdoberfläche => Ausgleichsströmungen
- Wandlung der kinetischen Energie des Windes in elektrische Energie
- Nennleistung einer WEA derzeit bis 7 MW (Fa. Enercon), 10 MW in Entwicklung

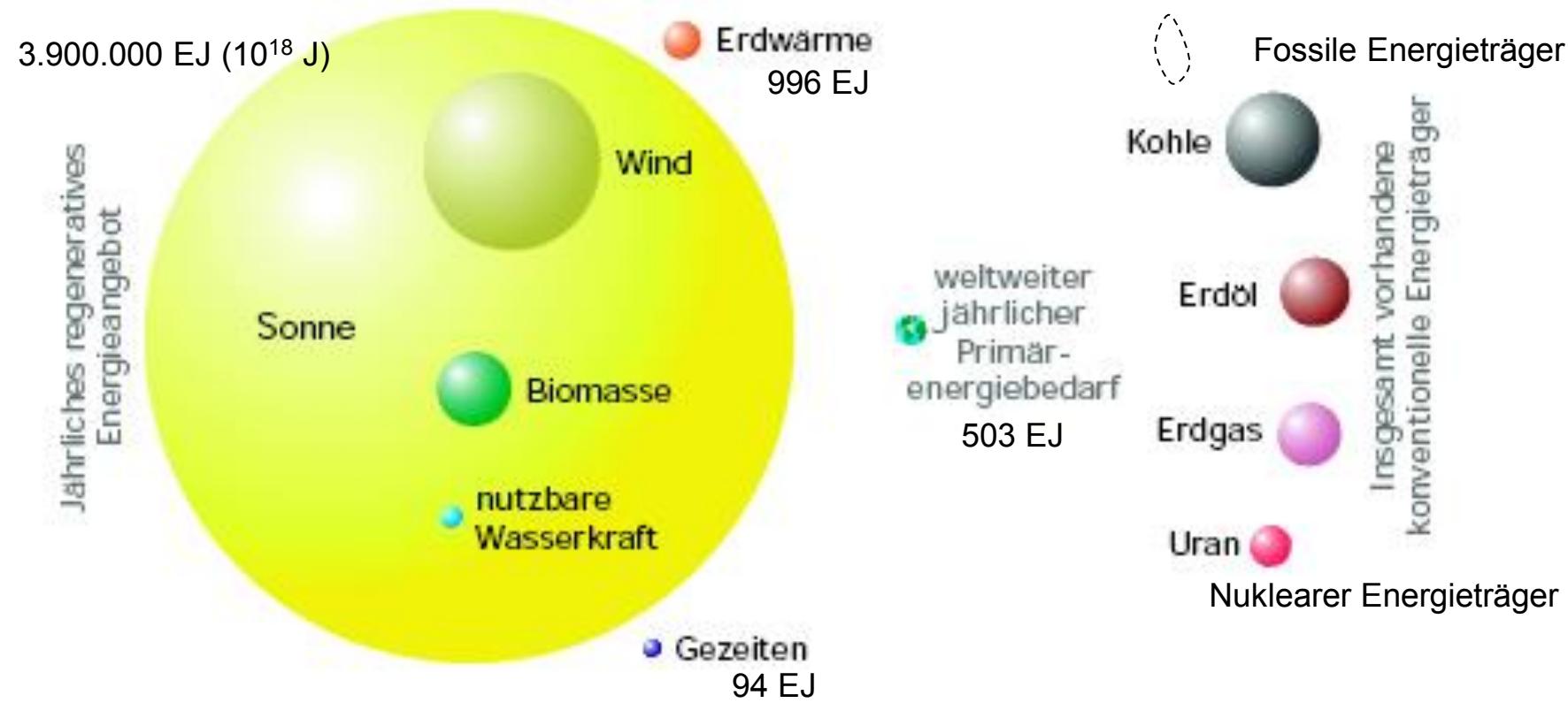
## ■ Geothermie:

- Bezeichnung für die Wärme im Erdinnern (Erdkern ist bis zu 4600°C heiß)
- Geringe Tiefen für technisch nutzbare Temperaturen in Philippinen, Italien, Mexiko, Japan, Island, Neuseeland und USA

## ■ Planetenenergie:

- Wechselwirkung zwischen Planeten wie Mond zur Erde führt zur Bewegung gewaltiger Wassermassen der Ozeane: Ebbe und Flut

- Vergleich regeneratives Angebot/Jahr in 2010 und des weltweiten Primärenergiebedarfs/Jahr und den Vorräten konventioneller Energieträger:

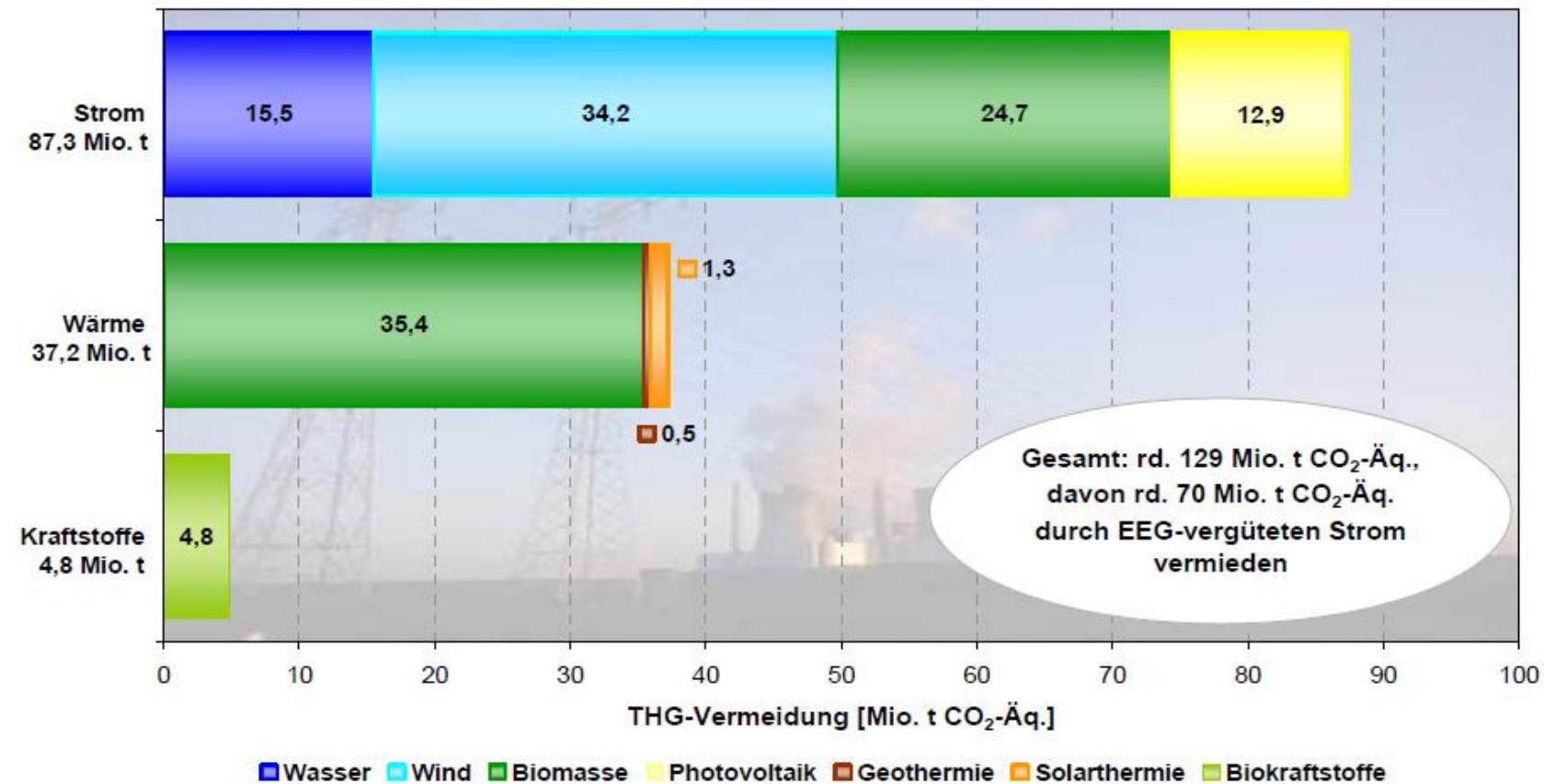


Quelle: V. Quaschning, Regenerative Energiesysteme, Hanser Verlag, 2011

EE – Einführung in die regenerativen Energien – WS22 – Vo1

# Umweltverträglichkeit

- Vermiedene Treibhausgas-Emissionen durch die Nutzung regenerativer Energien in Deutschland (2011):

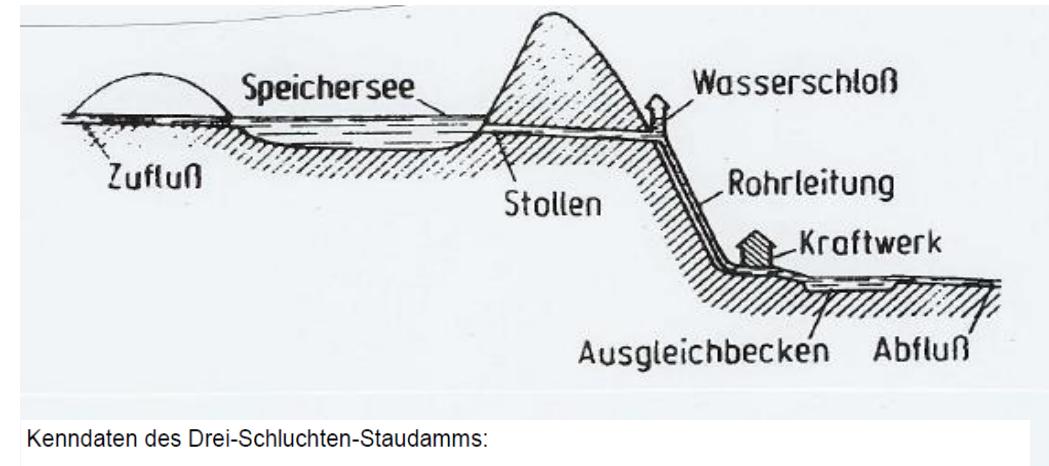


EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz; THG: Treibhausgas; Abweichungen in den Summen durch Rundungen; aufgrund geringer Strommengen ist die Tiefengeothermie nicht dargestellt;  
Quelle: Umweltbundesamt (UBA) nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Hintergrundbild: H. G. Oed; Stand: März 2012; Angaben vorläufig

Quelle: BMU, Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011, Grafiken und Tabellen Stand: März 2012

# Umweltverträglichkeit

- Auch Nutzung regenerativer Energiequellen verursacht Eingriffe in die Natur, z.B.:
  - Wasserkraft (Veränderung der Wasserläufe, z.B. Drei-Schluchten-Staudamm in China)
  - Windenergie (Vögel, Meerestiere)
  - Biomasse (Anpflanzung von Monokulturen)
  - Lediglich gebäudeintegrierte PV-Anlagen sind ohne Eingriffe
- Speicherwasserkraftwerke:



Kenndaten des Drei-Schluchten-Staudamms:

• Reservoir:	Volumen: Fläche des Wasserbeckens: Nenn-Pegelstand:	$39,3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ davon $22,15 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ zur Pegelregelung $1.084 \text{ km}^2$ $175 \text{ m}$
• Staudamm:	Max. Höhe: Länge:	$181 \text{ m}$ $2.039 \text{ m}$
• Generatorhaus:	Anzahl: Nennleistung / Generator: Installierte Leistung: Elektrische Energie ( $\varnothing$ ):	26 Generatoren (erweiterbar um 6 Stk.) 700 MW $18,2 \text{ GW} (+ 4,2 \text{ GW})$ $84,68 \text{ TWh} / \text{Jahr}$

# Die Herausforderung

- Den Vorteilen der Energiewandlung aus regenerativen Energieträgern:
  - Unbegrenzte Verfügbarkeit
  - Keine Freisetzung von Treibhausgasen oder Feinstaub
  - Dezentrale Verfügbarkeit
- ... stehen auch Nachteile gegenüber:
  - Viele regenerative Energieträger sind nicht kontinuierlich verfügbar
    - dadurch wird eine kontinuierliche Verfügbarkeit erschwert
  - (Derzeit) höhere Kosten:
    - Braunkohlekraftwerk: 2,4...3,5 €ct/kWh
    - Kernkraftwerk: 2,6...10 €ct/kWh
    - Gaskraftwerk: 4,2...4,9 €ct/kWh
    - Windkraftanlage (onshore): 4...7 €ct/kWh
    - Windkraftanlage (offshore): 8...16 €ct/kWh
    - Solarthermisches Kraftwerk: 9...22 €ct/kWh
    - Photovoltaik: 7...10 €ct/kWh

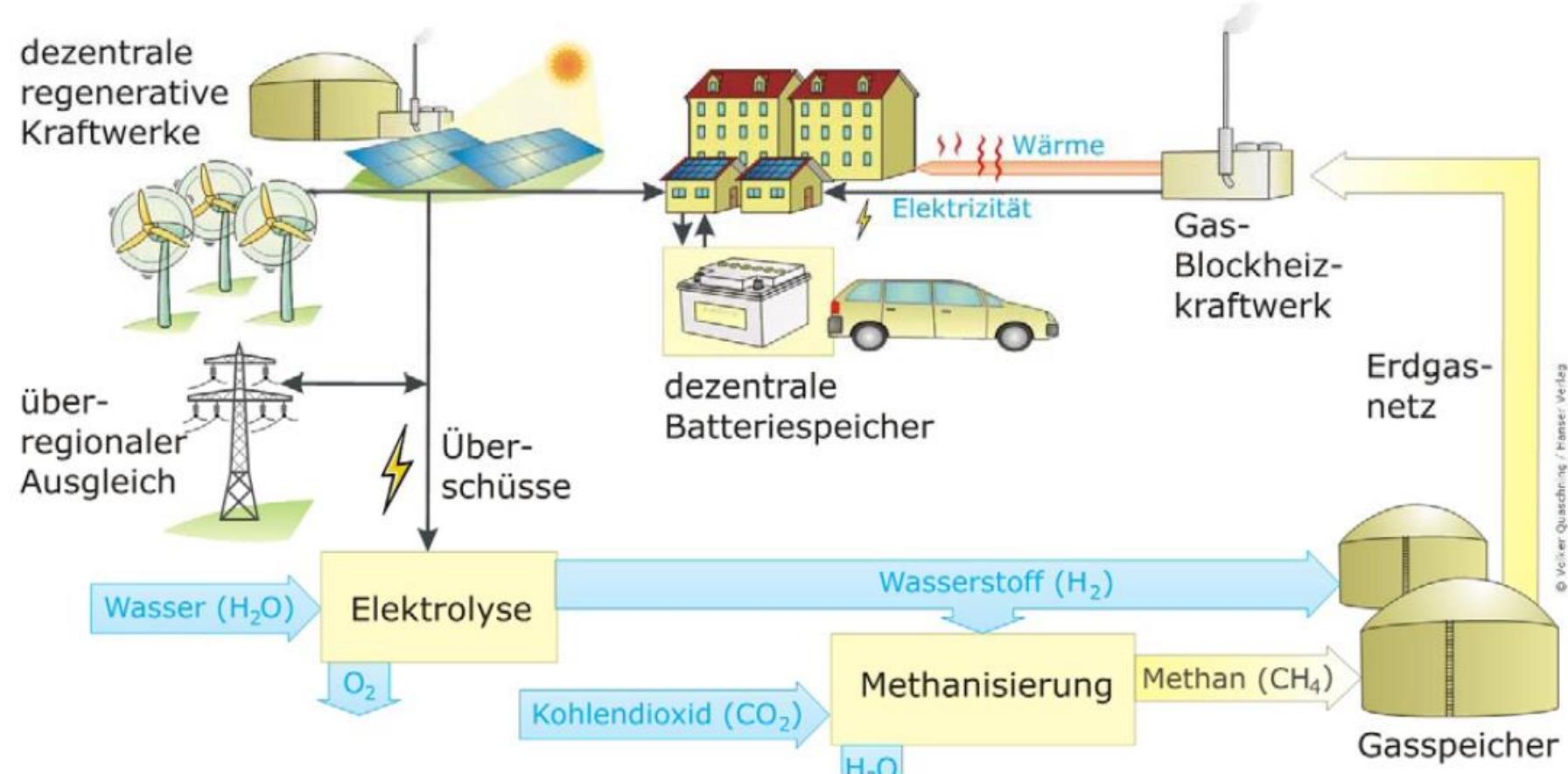
# Aufgaben einer regenerativen Energiewirtschaft

1. Energiewandlung in gewünschte Energieform unter Berücksichtigung der Kosten
  2. Sicherstellen der kontinuierlichen Verfügbarkeit der Energie
    - lösbar durch Energiespeicherung
    - lösbar durch Energietransport
    - lösbar durch Anpassung des Energiebedarfs an das Energieangebot
- 
- Energiespeicherung z.B. realisierbar durch:
    - Pumpspeicherkraftwerke (Speicherwirkungsgrad  $\eta \approx 80\%$ )
      - In Deutschland kaum Standorte für Neubau vorhanden
    - Batteriespeicherung (Gesamtwirkungsgrad  $\eta \approx 75\%$ )
      - Zentral z.B. JP 245 MWh-Pilotprojekt; Dezentral z.B. Bosch Power tec od. E-Car
    - Druckluftspeicherkraftwerke (Gesamtwirkungsgrad  $\eta \approx 55\%$ )
      - Druckluft in unterirdischen Kavernen gepresst;  $\eta \approx 70\%$  mit Wärmespeicher mögl.
    - Wasserstoff als Speicher (Gesamtwirkungsgrad  $\eta \approx 44\%$ )
      - Elektrolyse, aber keine H<sub>2</sub>-Infrastruktur vorhanden
    - Methanisierung (Gesamtwirkungsgrad  $\eta \approx 40\%$ )  
 $H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$ , CH<sub>4</sub> im Gasnetz speichern, bzw. Verstromung (Gasturbinen)

# Aufgaben einer regenerativen Energiewirtschaft

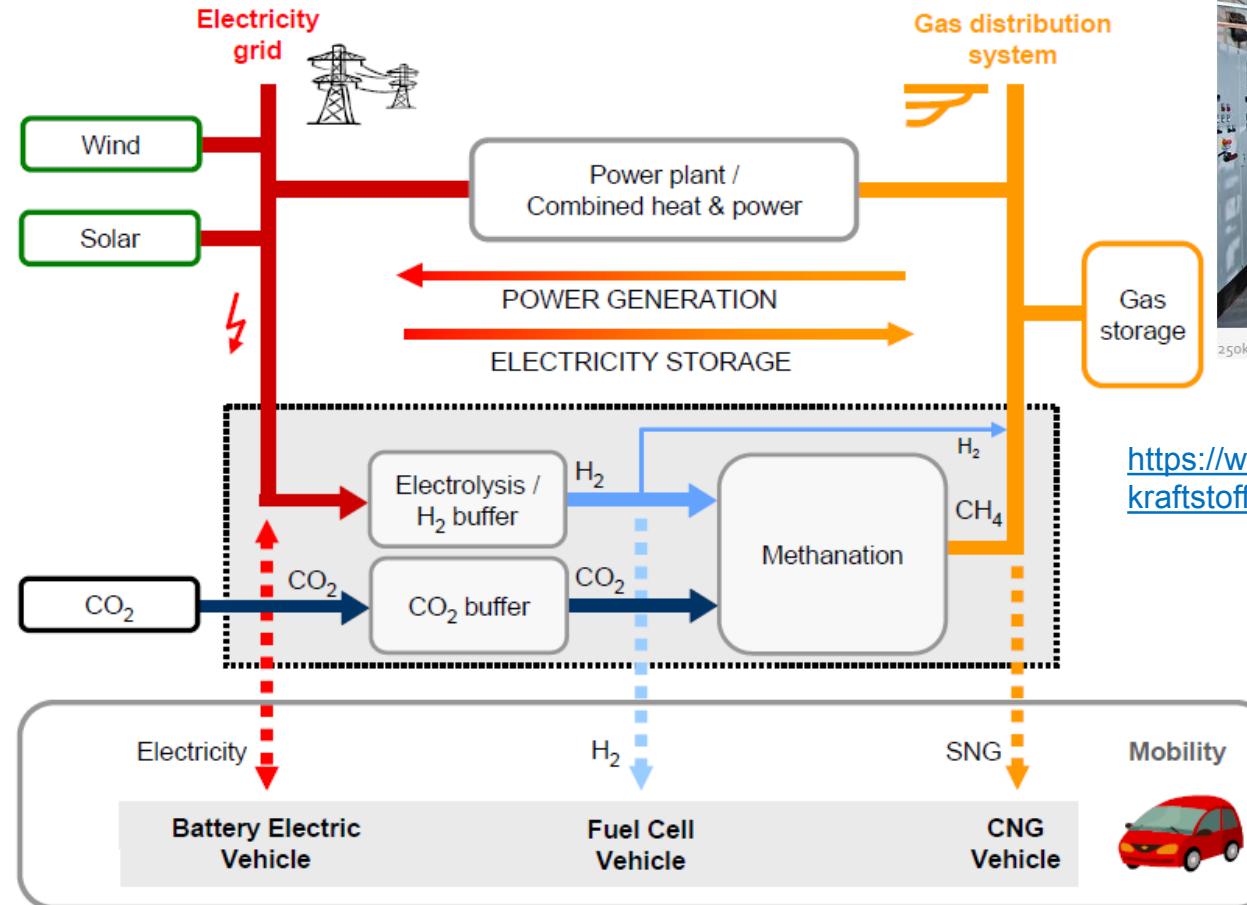
- Energietransport z.B. realisierbar durch:
  - Ausbau der Transportnetze, HGÜ
- Anpassung des Energiebedarfs an das Energieangebot z.B. realisierbar durch:
  - Zeitweilige Abschaltung von Verbrauchern (Kühlanlagen, Wärmepumpen, etc.)
  - Zeitweilige Zuschaltung von Verbrauchern (Wasch- u. Spülmaschinen, aber auch große Industrieverbraucher zur Bereitstellung negativer Regelenergie)
  - Smart Grid: Hoch automatisiertes Netz, in dem Erzeuger, Verbraucher und Speicher miteinander kommunizieren und sich aneinander anpassen können.

# Speicherkonzepte für eine regen. E-Versorgung

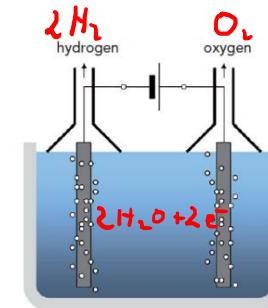


# Speicherkonzepte für eine regen. E-Versorgung

- Power2Gas Konzept:



<https://www.zsw-bw.de/forschung/regenerative-kraftstoffe/themen/power-to-gas.html>

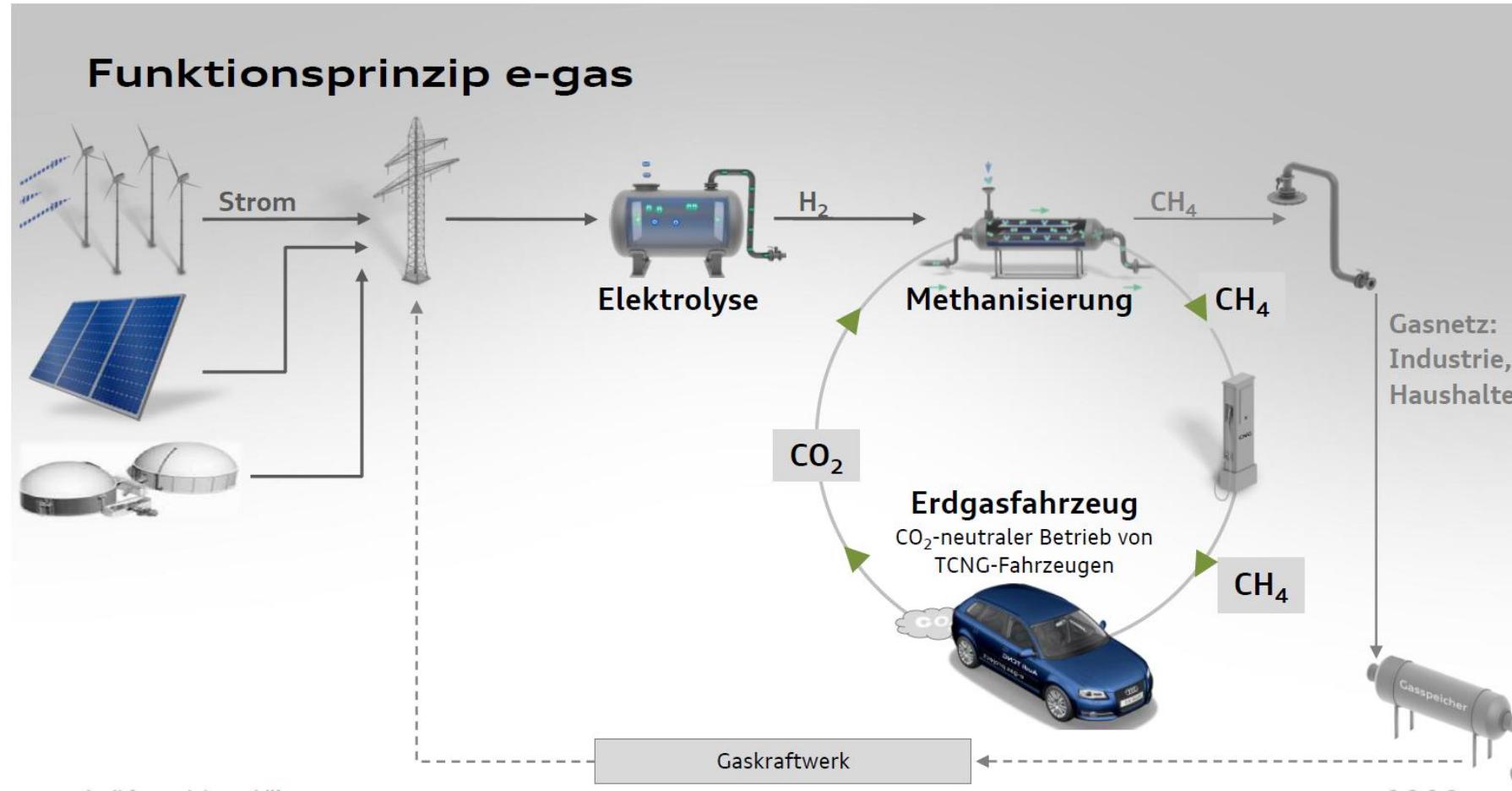


Quelle: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ZSW

# Speicherkonzepte für eine regen. E-Versorgung

# Speicherkonzepte für eine regen. E-Versorgung

- Power2Gas Konzept:

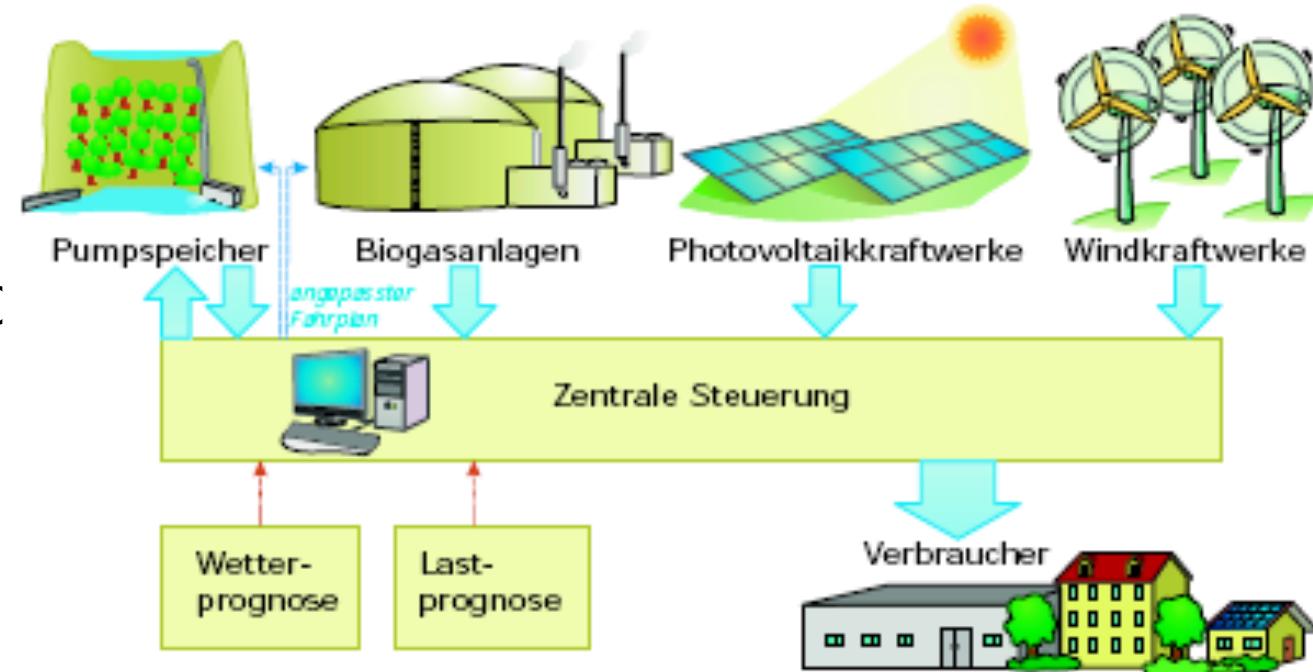


Quelle: Audi

## Das regenerative Kombikraftwerk

Das regenerative Kombikraftwerk verknüpft und steuert seit Ende Mai 2007 36 über ganz Deutschland verstreute Wind-, Solar-, Biomasse- und Wasserkraftanlagen und ist ausgelegt zur Deckung eines 1/10.000 des tatsächlichen deutschen Strombedarfs

- Prinzip:



- Kenndaten:

		Wind	Solar	Biogas	Speicher	Import/Export	$\Sigma$
Potential gem. Tab. 2 (≈1/10.000)	GWh/a	≈28,8	≈6,0	≈10,0	-	-	≈44,8
Optimierung <sup>1</sup>	GWh/a	26,5	6,2	10,8	-0,6	0,02/1,8	41,1 (43,5)
	MW	12,6	5,5	4,0	1,06	-1,0	-
	%	60,9	14,3	24,8	-	-	100,0

Quelle: Quaschning, Volker, Erneuerbare Energien und Klimaschutz, Hanser Verlag, 2008

EE – Einführung in die regenerativen Energien – WS22 – Vo1