

24. März 2017

Energiedialog für den Masterplan Energieforschung in Sachsen

Überblick Energiespeichertechnologien

Prof. Dr.-Ing. Thilo Bocklisch
Professur für Energiespeichersysteme

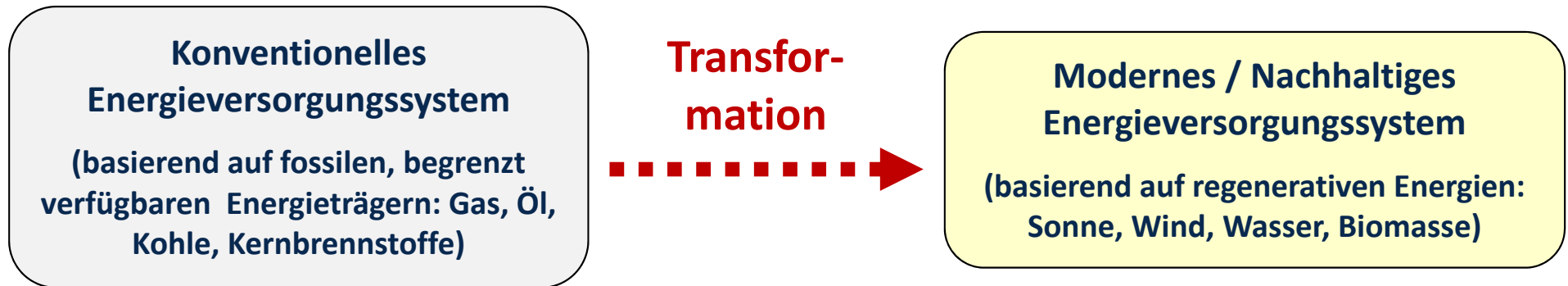
E-Mail: thilo.bocklisch@tu-dresden.de Tel.: +49 351 463-40270



DRESDEN
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Überblick

- 1. Motivation**
2. Kurzüberblick Energiespeicher
3. Dezentrale Sektorenkopplung und Energiespeicher

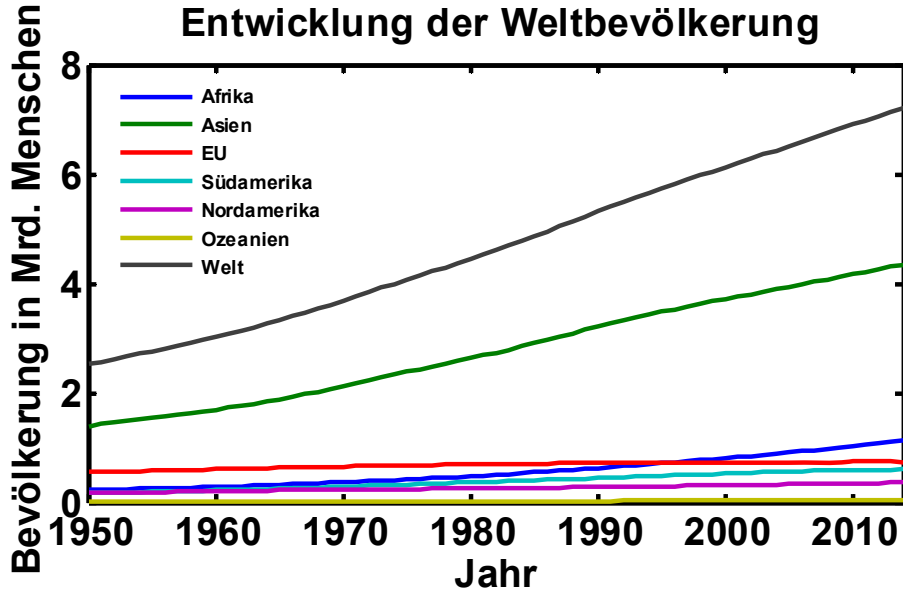


Beiträge zur Gestaltung einer nachhaltigen Energieversorgung:

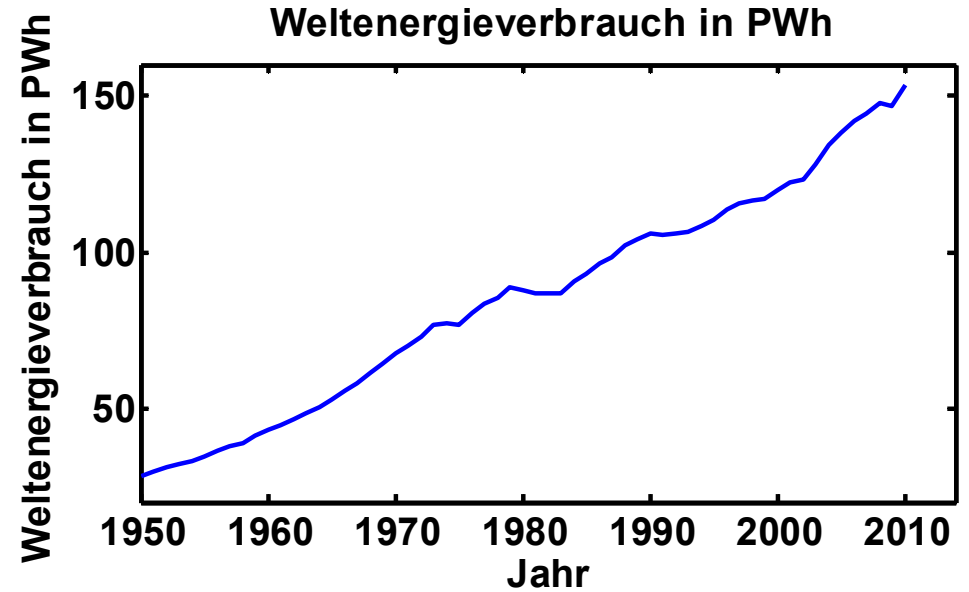
- o schneller Ausbau der erneuerbaren Energien (Sonne, Wind)
 - o Steigerung der Effizienz aller Energiewandlungsprozesse
 - o Steigerung der Lebensdauer der eingesetzten Komponenten
- ▶ Energiespeicher bilden hierfür eine entscheidende Grundlage in Kopplung mit anderen Flexibilisierungstechnologien (z.B. Netzen)
 - ▶ innovative „hybride“ Energiespeichersysteme bestehend aus Strom-/Wärme-/Gas- sowie Kurzzeit-/Mittelzeit-/Langzeit-Speichertechnologien bieten zusätzliche Potenziale für einen technisch, wirtschaftlich und ökologisch optimierten Betrieb
 - ▶ innovative Komponenten und Systemtechnik sowie intelligente, vorausschauende Betriebsführungs- und Dimensionierungs-Verfahren sind von entscheidender Bedeutung

Globale Herausforderungen

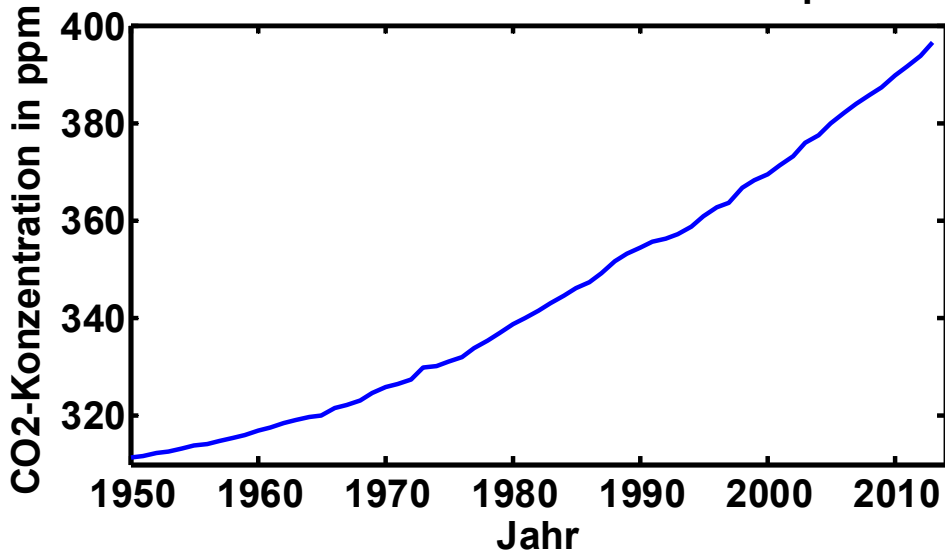
Entwicklung der Weltbevölkerung



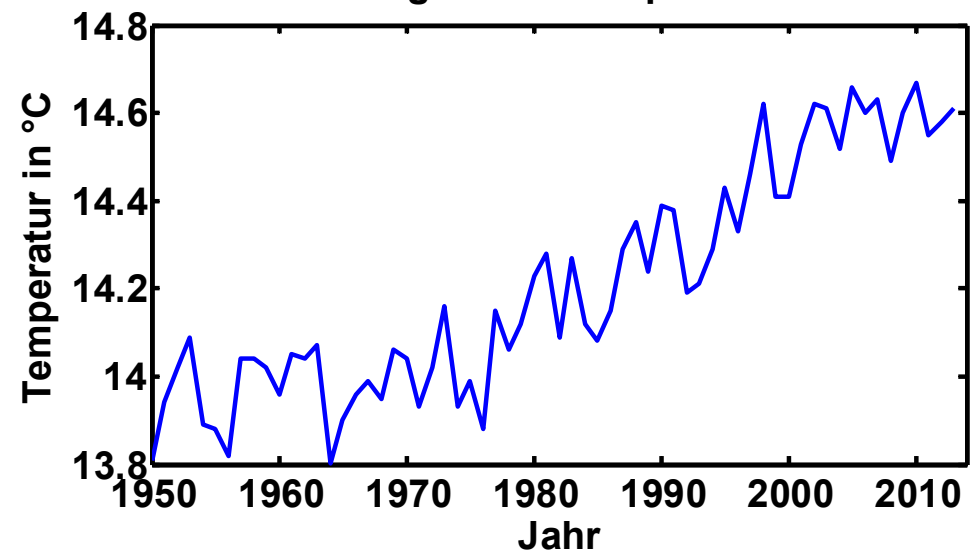
Weltenergieverbrauch in PWh



CO2-Konzentration in der Atmosphäre

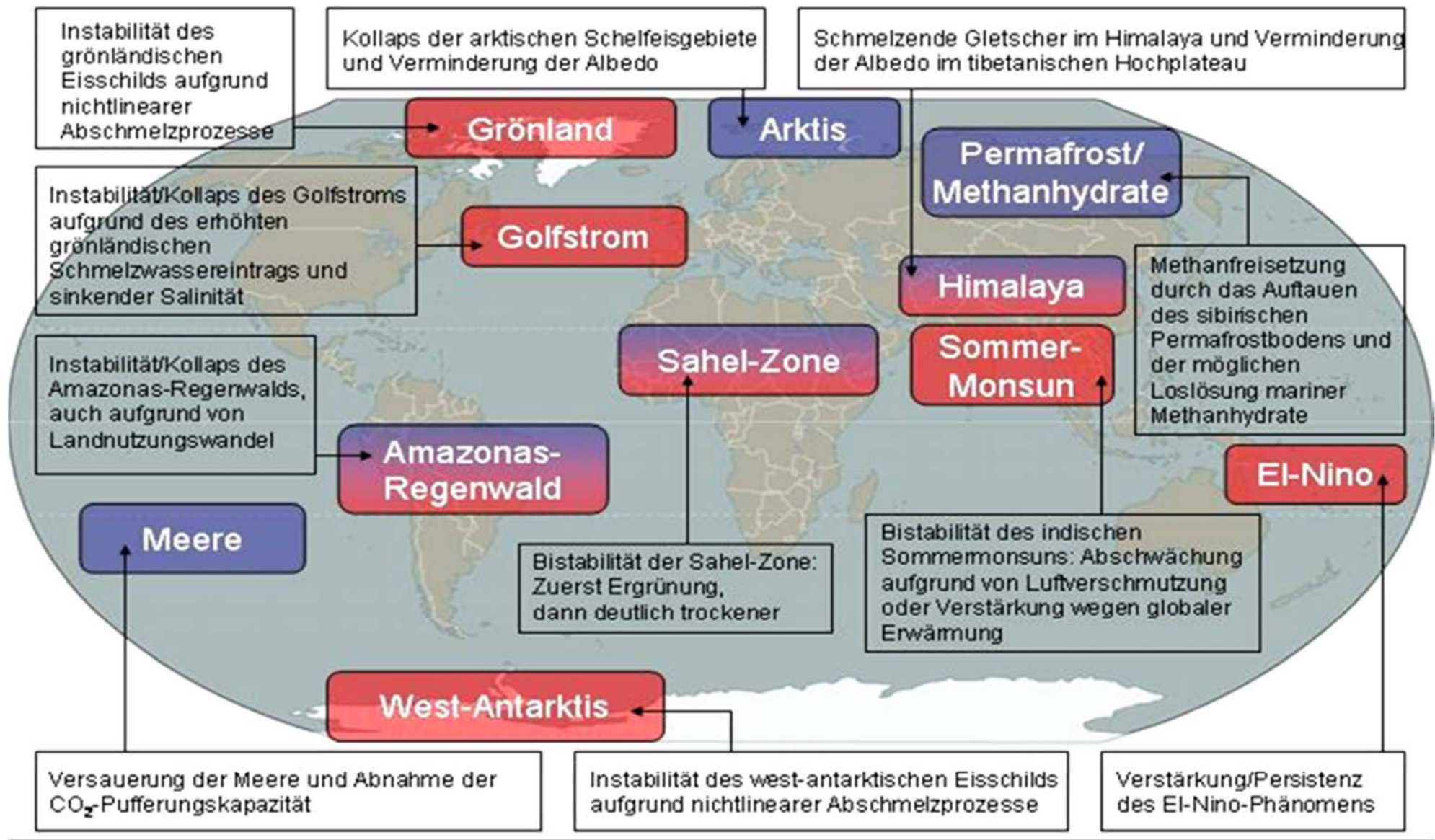


mittlere globale Temperatur in °C



Datenquelle: www.earth-policy.org/data_center

Globale Herausforderung: globale Klimaerwärmung

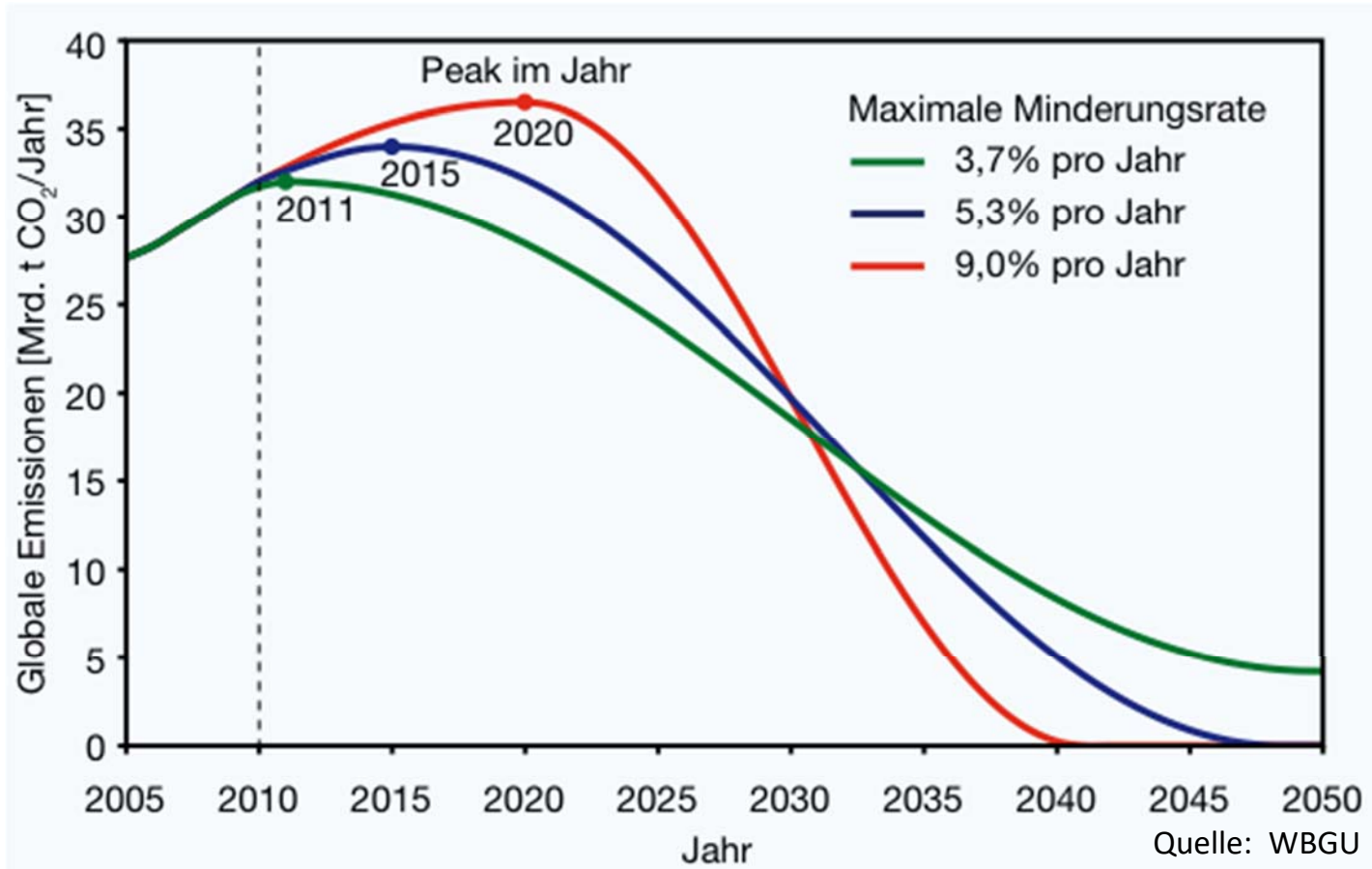


- Klima-Kipp-Elemente mit direkten und großen Folgen für Menschen
- Klima-Kipp-Elemente mit positiver Rückkopplung auf Temperatur

Quelle: GermanWatch, Schellnhuber

Globale Emissionspfade 2010-2050, um 2°C-Leitplanke einzuhalten

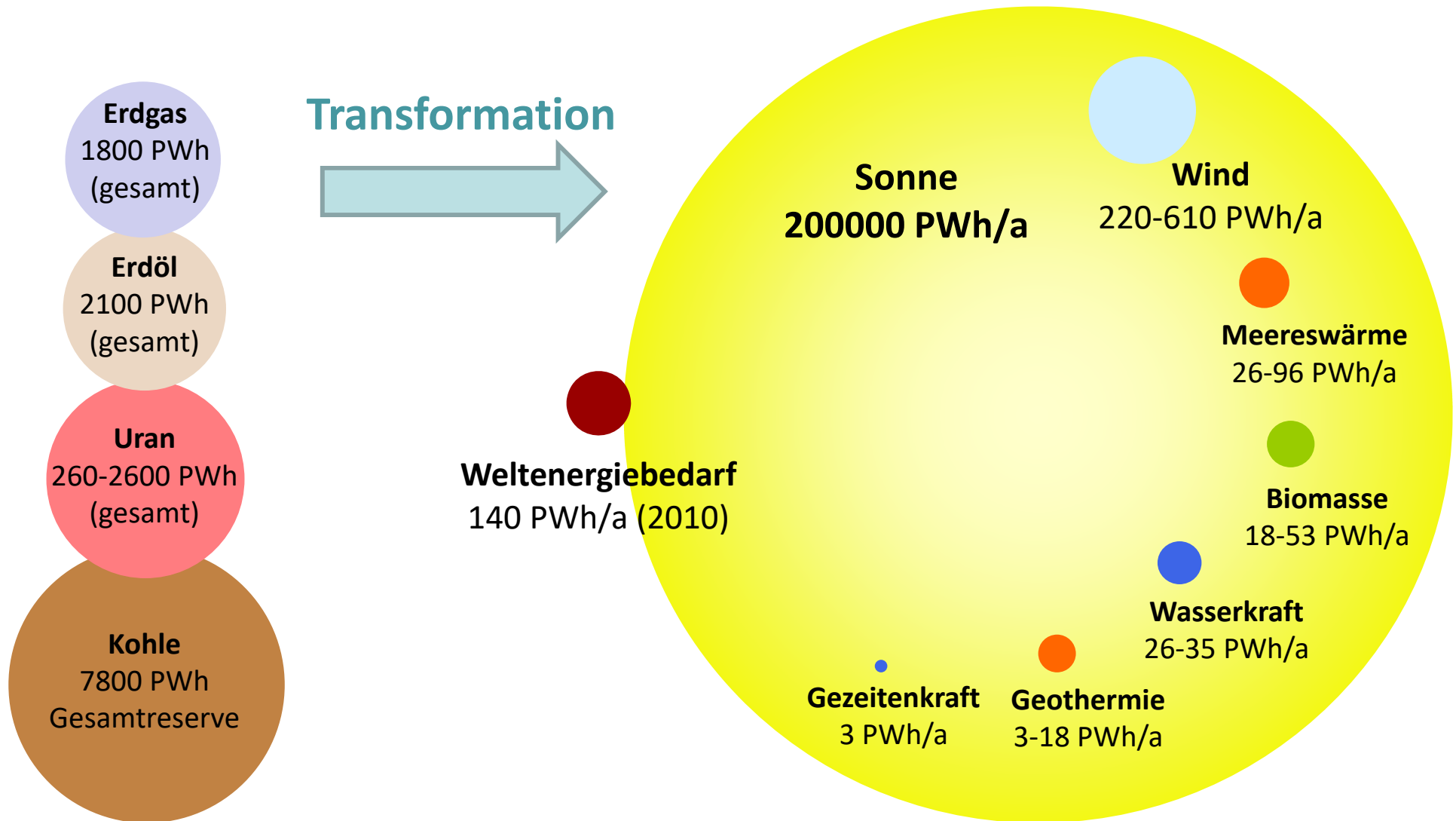
=> max. globale Emissionsmenge bis 2050: 750 Mrd. t CO₂



Konsequenzen:

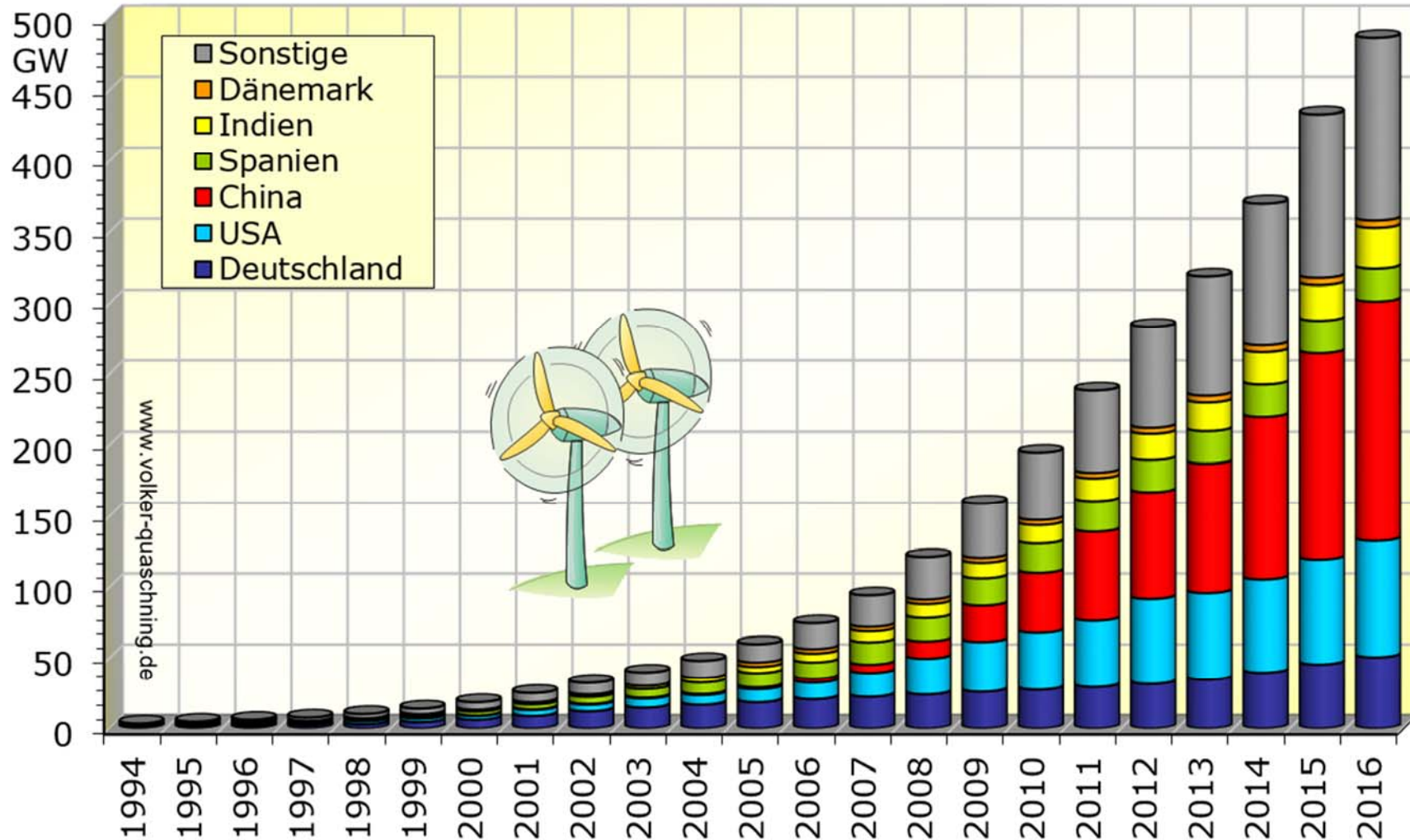
- fossile Energieträger müssen schnell durch regenerative Energien ersetzt werden
- massiver Umbau des Energieversorgungssystems erforderlich

Potentiale von fossilen Energieträgern und regenerativen Energiequellen



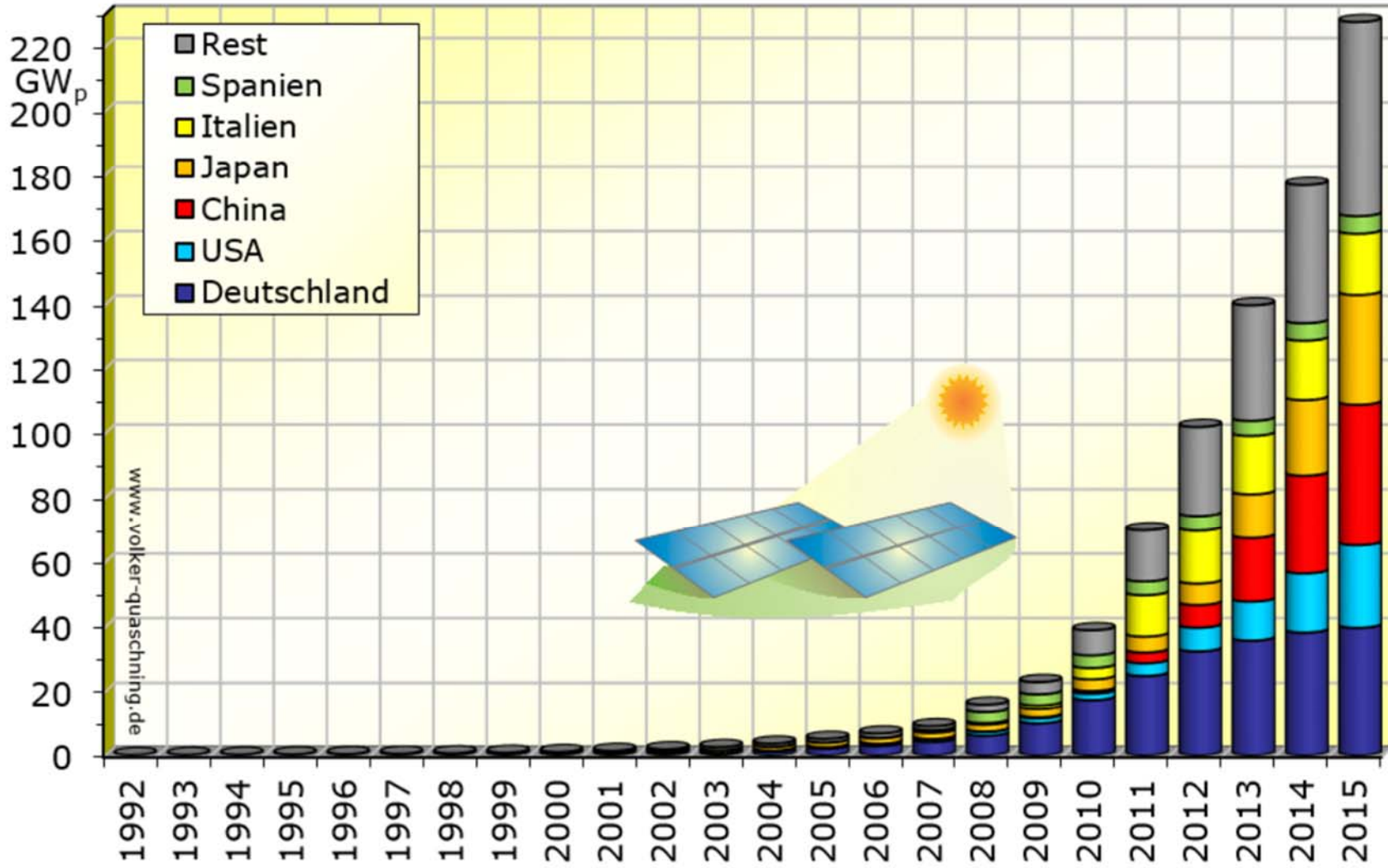
Quelle: nach Perez „A fundamental look at energy reserves for the planet“, 2009

Ausbau der Windenergie in der Welt:



Quelle: Quaschnig

Ausbau der Photovoltaik in der Welt:

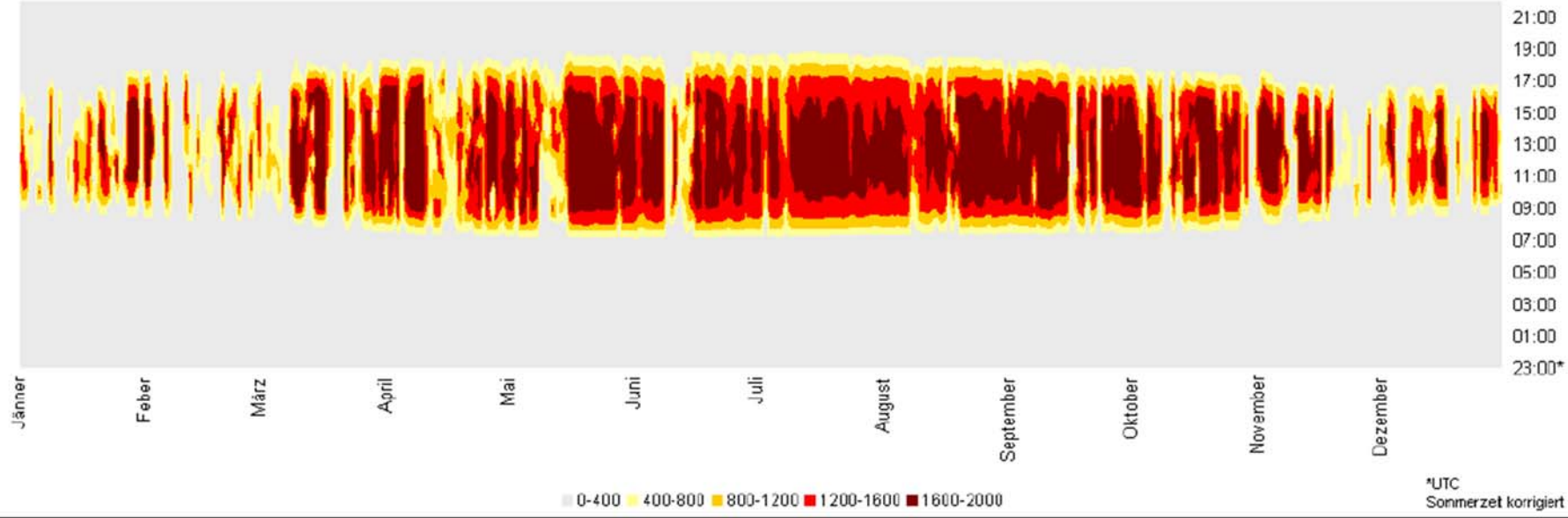


Quelle: Quaschnig

Schwankungseigenschaften der Solar- und Windenergie

Typ. Ertrag PV-Anlage:

Erzeugte Energie [kWh] 2010



2013 (D)

36GW

30TWh

2016 (D)

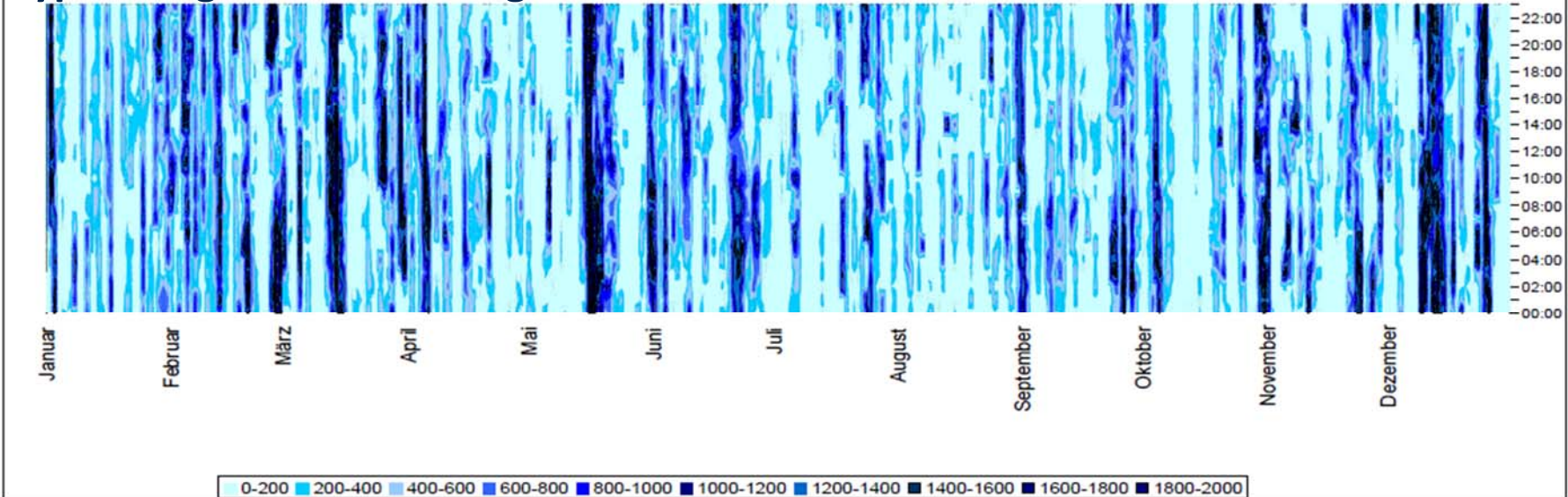
41GW

38TWh

Quellen: SMA,
BSW

Typ. Ertrag Windkraftanlage:

Energieproduktion 2010 Bruck WEA 1; 1,8MW [kWh]



2013 (D)

33GW

44TWh

2016 (D)

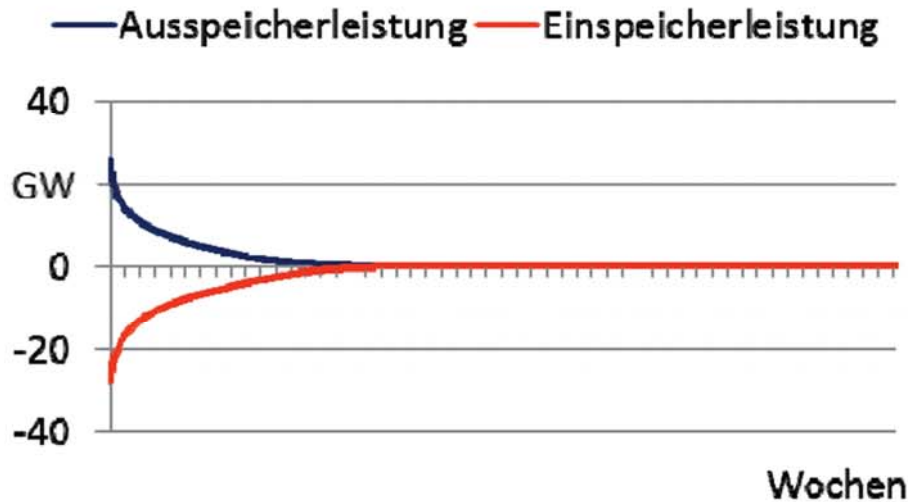
50GW

78TWh

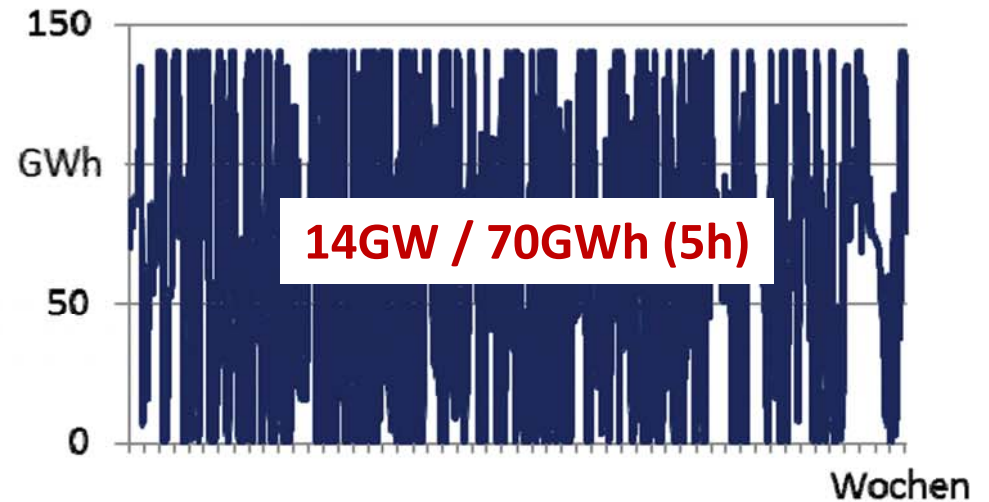
Quellen: BWE,
FH ISE

Energiespeicherbedarf für Kurzzeit- und Langzeit-Bereich für 80%-RE-Szenario

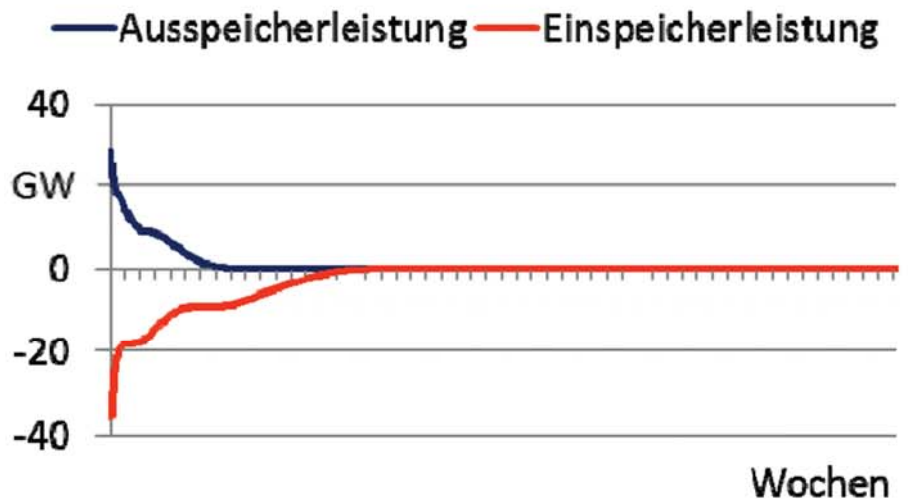
Kurzzeitspeicher Leistung



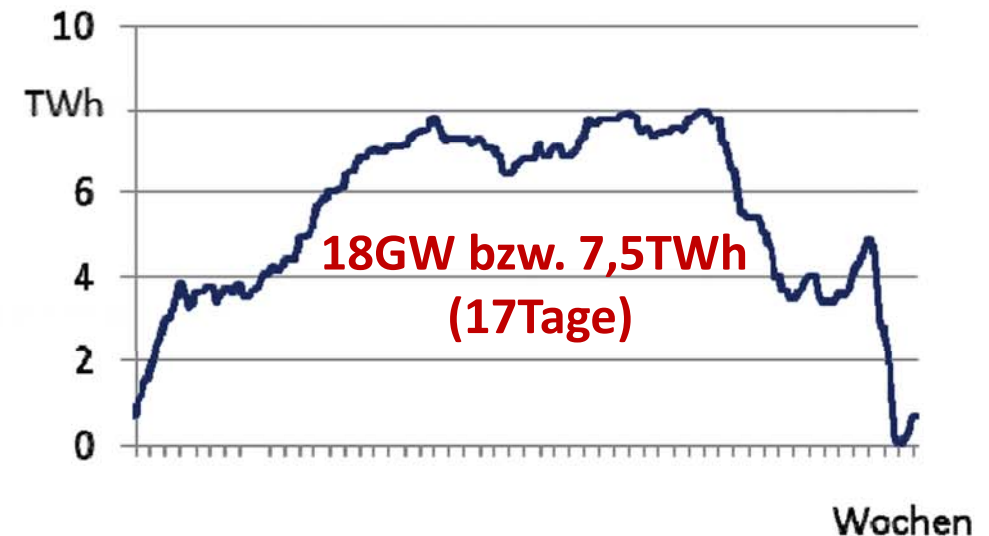
Kurzzeitspeicher Füllstand



Langzeitspeicher Leistung



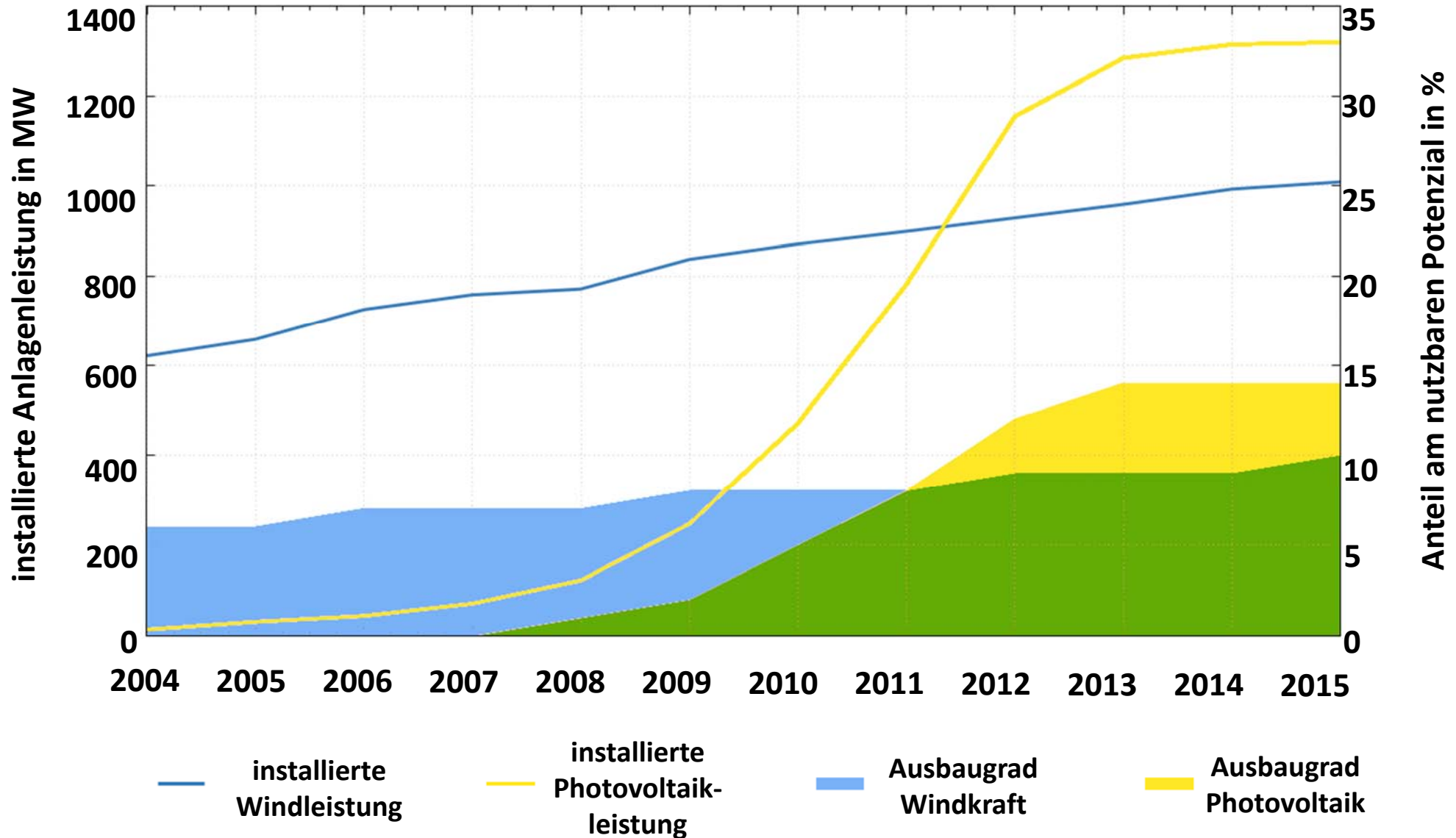
Langzeitspeicher Füllstand



Quelle: VDE12-Speicherstudie

Ausbau von Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen in Sachsen

(1,7GW in 12/2016)



Schlaglichter aus China

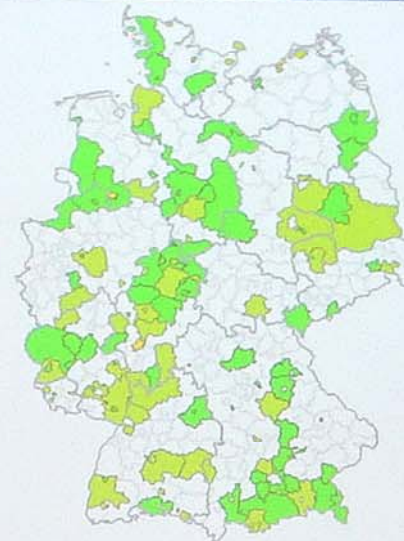
- Über 100 geplante/bereits im Bau befindliche Kohlekraftwerke abgesagt
- BYD will 200 000 E-Busse ausliefern;
Batterien gleichen Solar- und Windschwankungen aus



Quelle: H.J. Fell, IRES2017

Quelle: H.J. Fell, IRES2017

100% Erneuerbare Energien Regionen Globale Kampagne: GO 100 %



Deutschland (Juni 2016)

Länder mit 100% EE Ziel
 48 climate vulnerable states (COP in Marakesh)
 Zusätzlich: Dänemark; Schweden;
 Schottland; Island; Costa Rica

Über 1000 Städte mit 100% EE Ziel
 Barcelona; Masdar City; Vancouver; Sydney;
 München; San Francisco; Kopenhagen; Genf;
 Masheireb Downtown Doha; Frankfurt; Malmö



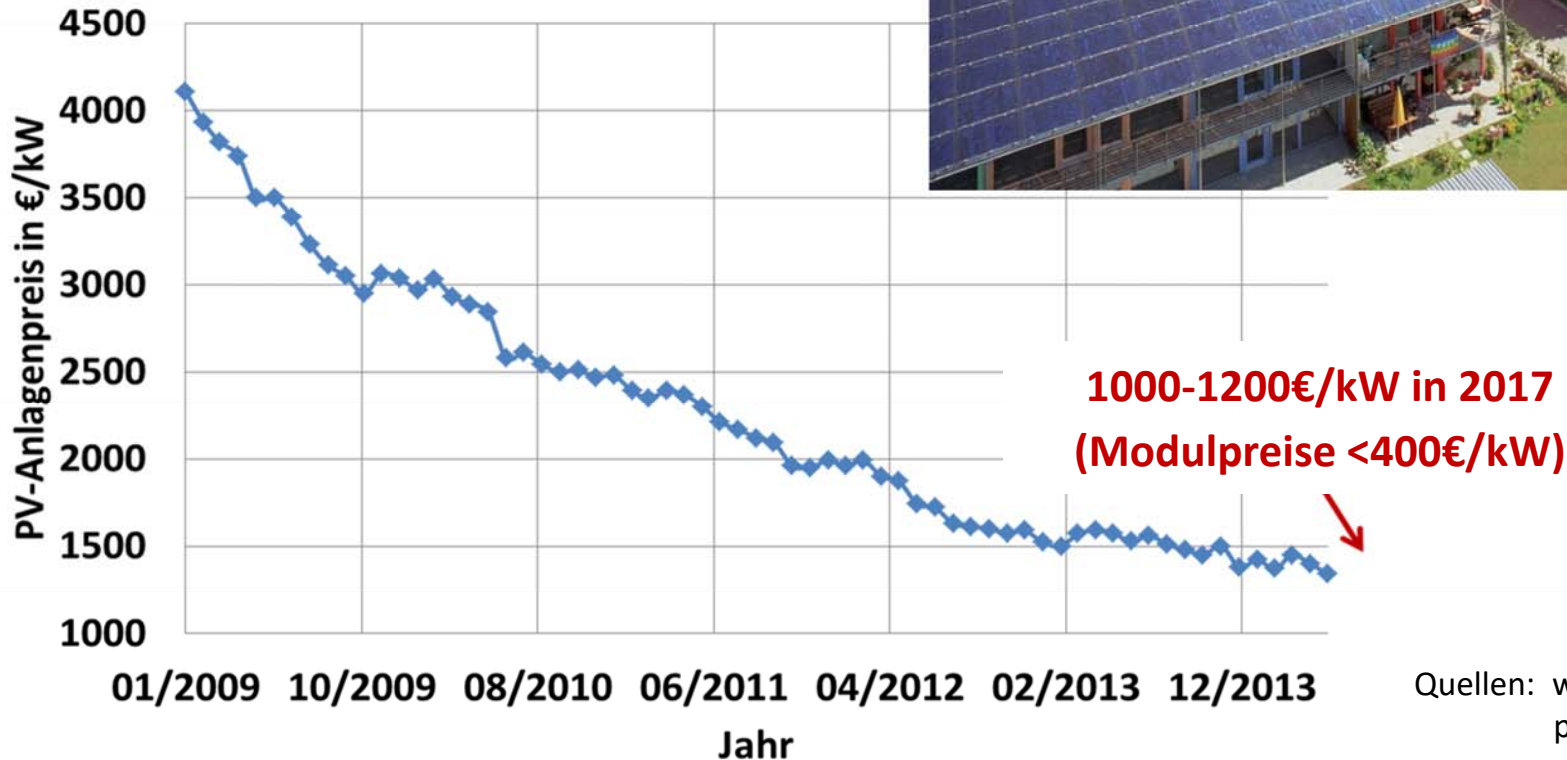
**100%
RENEWABLES**
www.go100re.net

Potentiale und Kostenentwicklung Photovoltaik in Deutschland

Flächenarten in D	Potential in GW
Dachflächen	96 – 240
Fassadenflächen	19 – 47
versiegelte Flächen	54 – 134
entlang von Schienenwegen	45 – 111
entlang von Autobahnen	15 – 37
Gesamt	229 – 569
aktuell installiert	>41

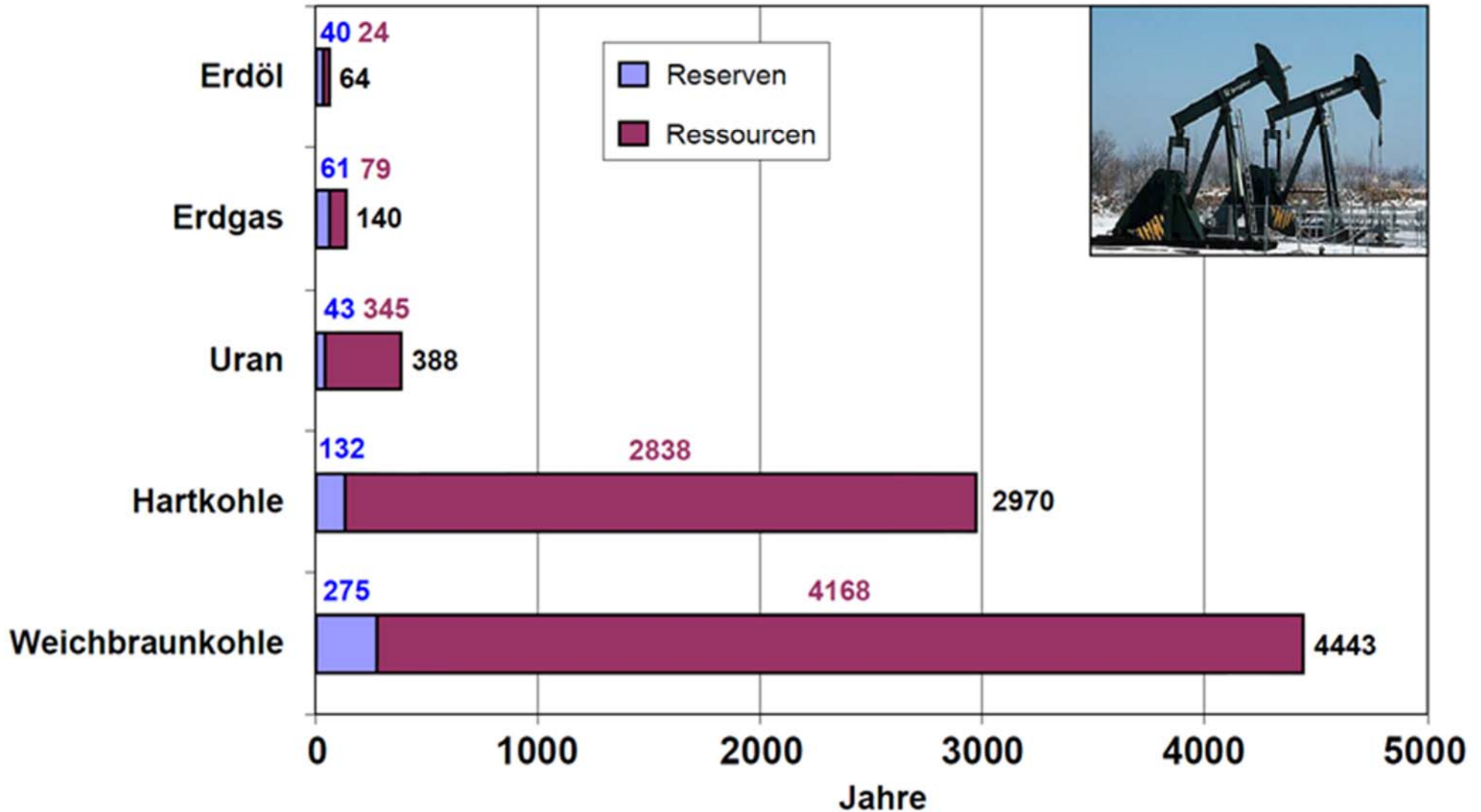


Preisentwicklung für PV-Anlagen (<10kW):



Quellen: www.photovoltaik-guide.de/pv-preisindex und v. Oehsen, 2011

Globale Herausforderung: Verknappung fossiler Rohstoffe

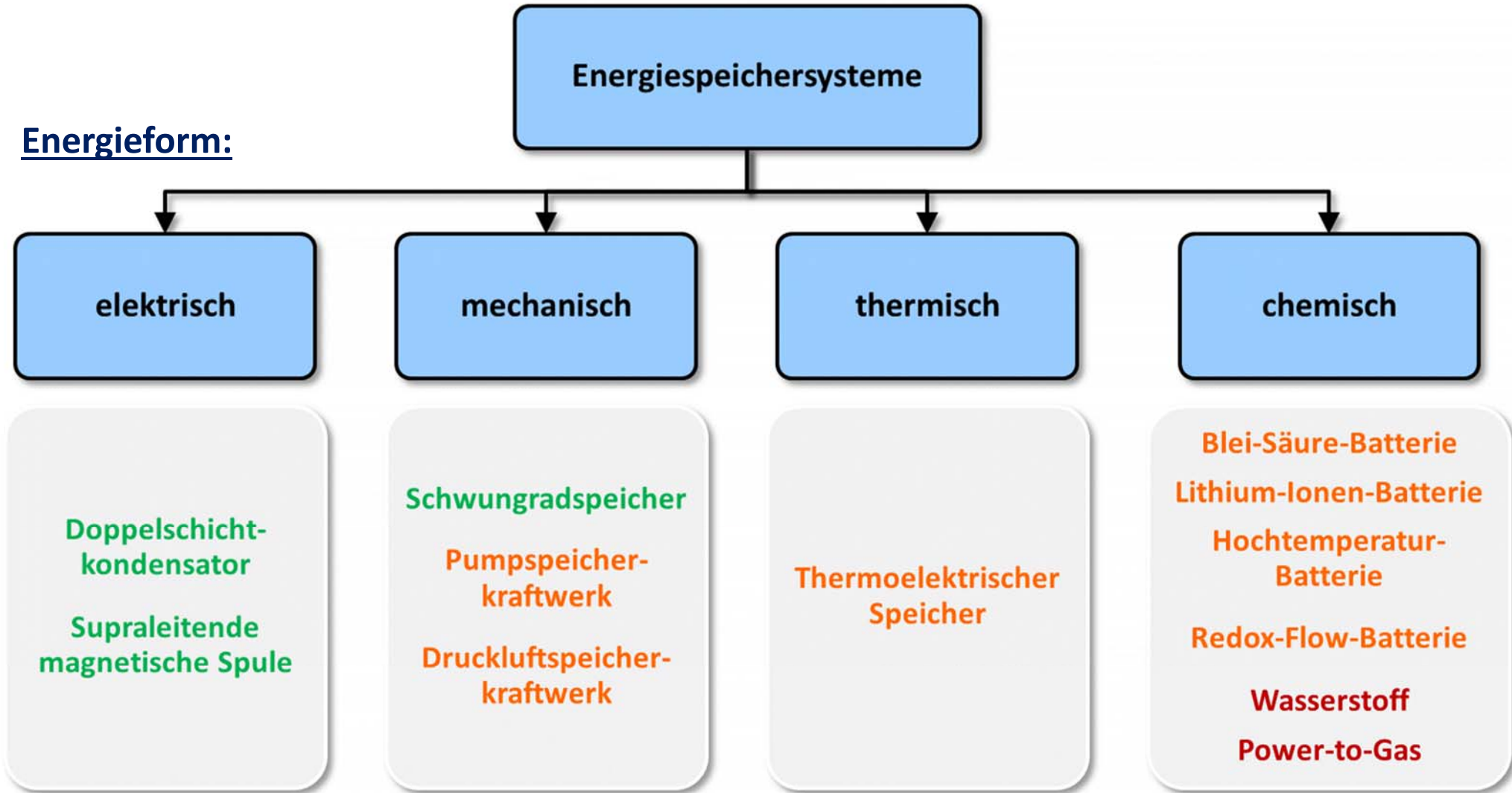


Quelle: Faulstich

Überblick

1. Motivation
- 2. Kurzüberblick Energiespeicher**
3. Dezentrale Sektorenkopplung und Energiespeicher

Klassifizierung von Energiespeichersystemen nach Speicherdauer



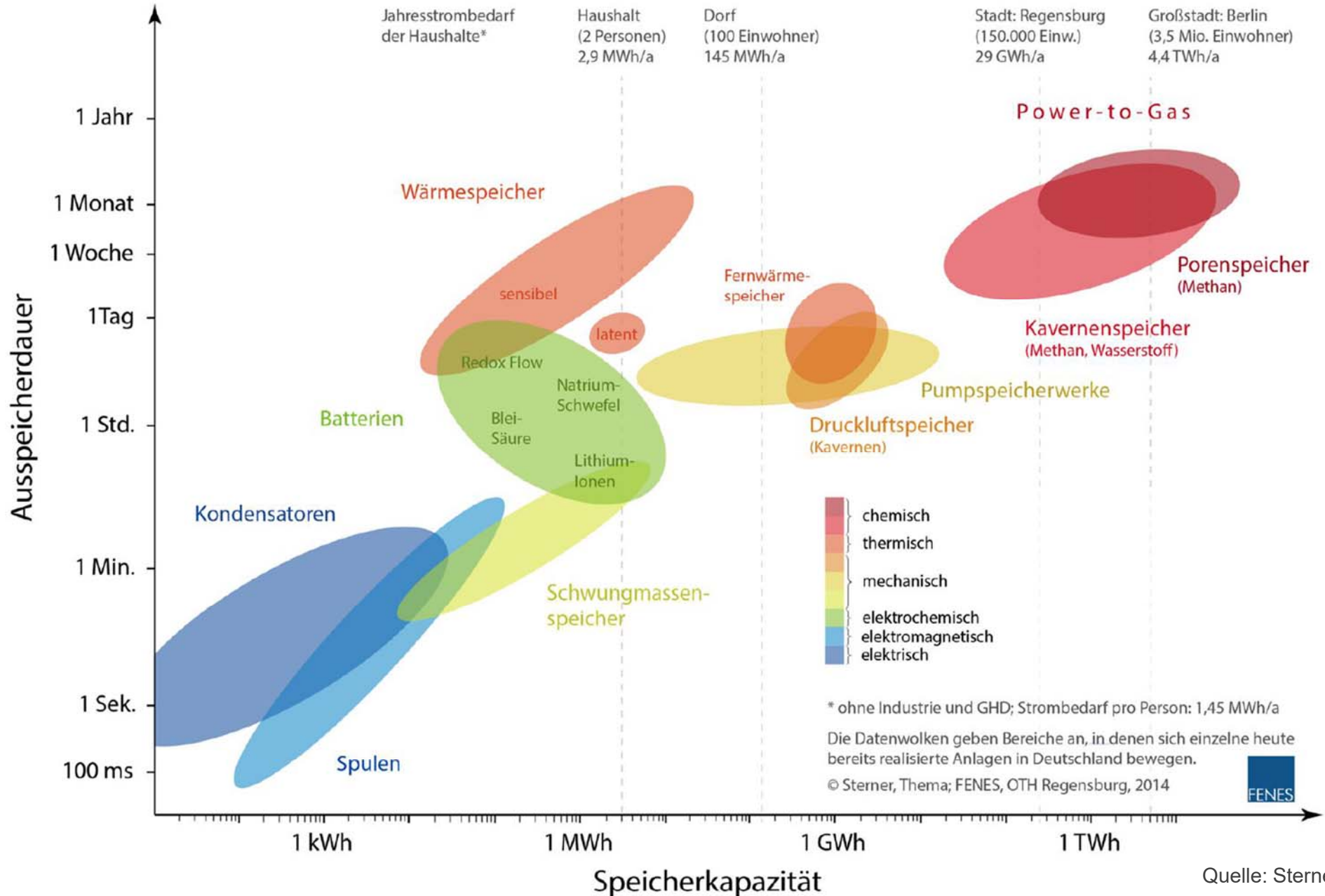
Speicherdauer:

Kurzzeit (Sekunden bis Minuten)

Mittelzeit (Stunden bis Tage)

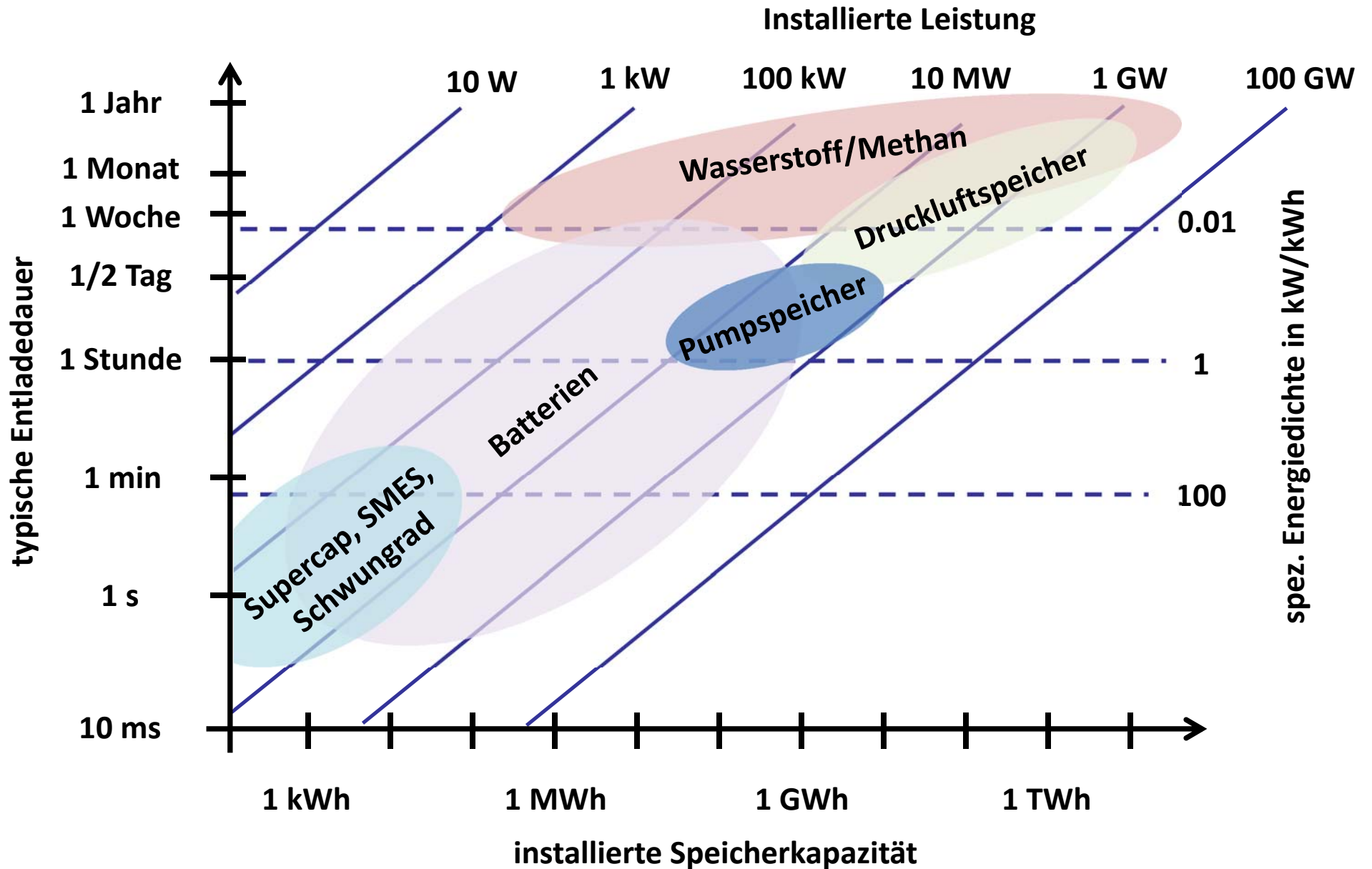
Langzeit (Wochen bis Monate)

Verfügbare Energiespeichertechnologien



Quelle: Sterner14

Vergleich von Energiespeichertechnologien (Anlagenebene)



Quelle: eigene Darstellung nach Fuchs

Vergleich der Kennwerte von Energiespeichertechnologien (Anlagenebene)

	DSK	SMES	SRS	Pump- speicher	Druckluft- speicher	Blei- Batterie	Li-Ionen- Batterie	NaS- Batterie	Flow- Batterie	Wasser- stoff	Power- to-Gas	
Speicherdauer	Sekunden bis Minuten			Stunden bis Wochen						Wochen bis Monate		
typ. Kapazität	Wh bis kWh			MWh bis GWh		kWh bis GWh				MWh bis TWh		
Energiedichte (Wh/l)	2-20	0,5-10	20-200	0,27-1,5	3-6	50-100	200-350	150-250	20-70	500-2500	1500-4000	
Leistungsdichte (W/l)	15000- 50000	1000- 5000	5000- 15000	0,5-1,5	0,5-2	10-500	10-350	140-180	<2	-	-	
Zykluswirkungs- grad (%)	77-83	80-90	80-95	75-82	60-70	70-75	80-85	68-75	70-80	34-40	30-35	
Selbstentladungs- rate (%/Tag)	≈10-20	10-15	70-100	0,005-0,02	0,5-1	0,1-0,4	0,1-0,3	≈10	0,1-0,4	0,003-0,03	0,003-0,03	
Zugriffszeit (ms)	<10	1-10	>10	>180000 (3min)	180000- 300000	3-5	3-5	3-5	>1000	≈300000 (10min)	≈300000 (10min)	

Kosten pro kWh	sehr hoch			niedrig		mittel				sehr niedrig		
Kosten pro kW	niedrig			hoch		niedrig bis mittel				sehr hoch		

Anforderungen an Energiespeicher

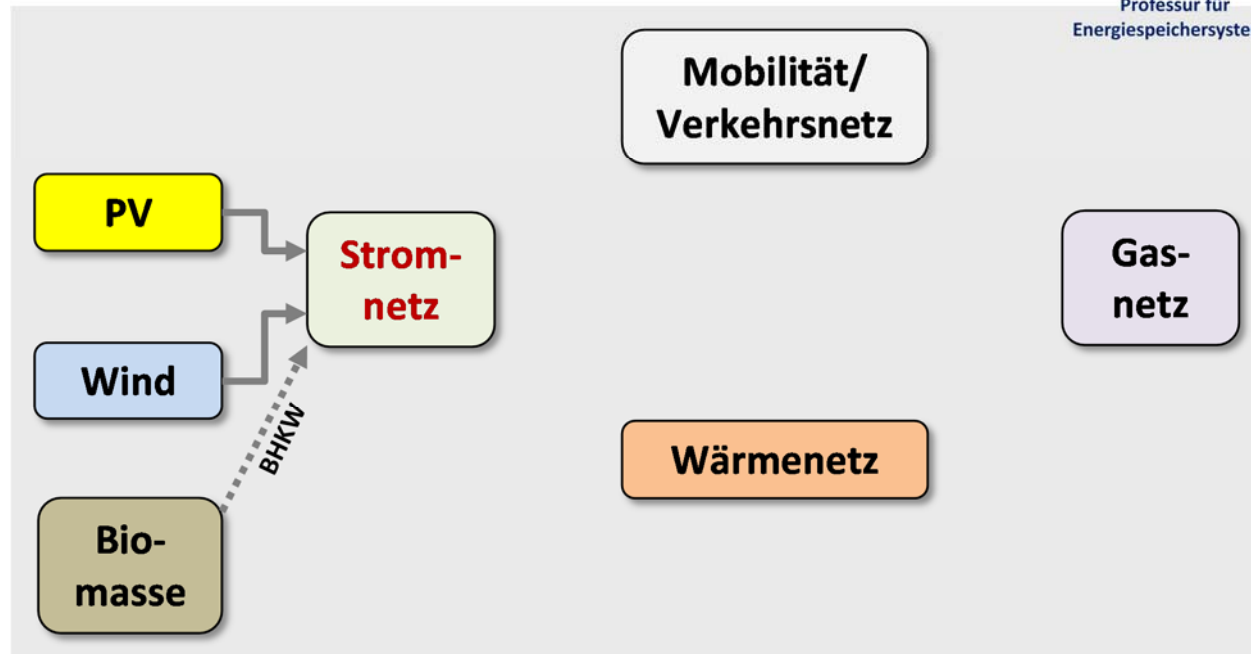


Einsatzfelder für Energiespeicher

- Bereitstellung von Systemdienstleistungen
 - Frequenzregelung (Primär-, Sekundärregelung und Minutenreserve)
 - Spannungsregelung
 - stehende und rotierende Reserve
 - Schwarzstartfähigkeit
- Spitzenlast-Glättung (peak shaving)
- Lastverschiebung (load levelling)
- Ausgleich von Überschüssen und Defiziten in einem mittleren (Stunden), längerfristigen (Tage bis Wochen) und saisonalem Zeitbereich
- Speicher zur Optimierung des Eigenverbrauchs dezentraler regenerativer Energien (z.B. PV im Hausbereich)
- Elektromobilität und Wasserstoffmobilität
- Unterbrechungsfreie Stromversorgungen / Backup-Systeme
- Inselsysteme

Überblick

1. Motivation
2. Kurzüberblick Energiespeicher
- 3. Dezentrale Sektorenkopplung und Energiespeicher**

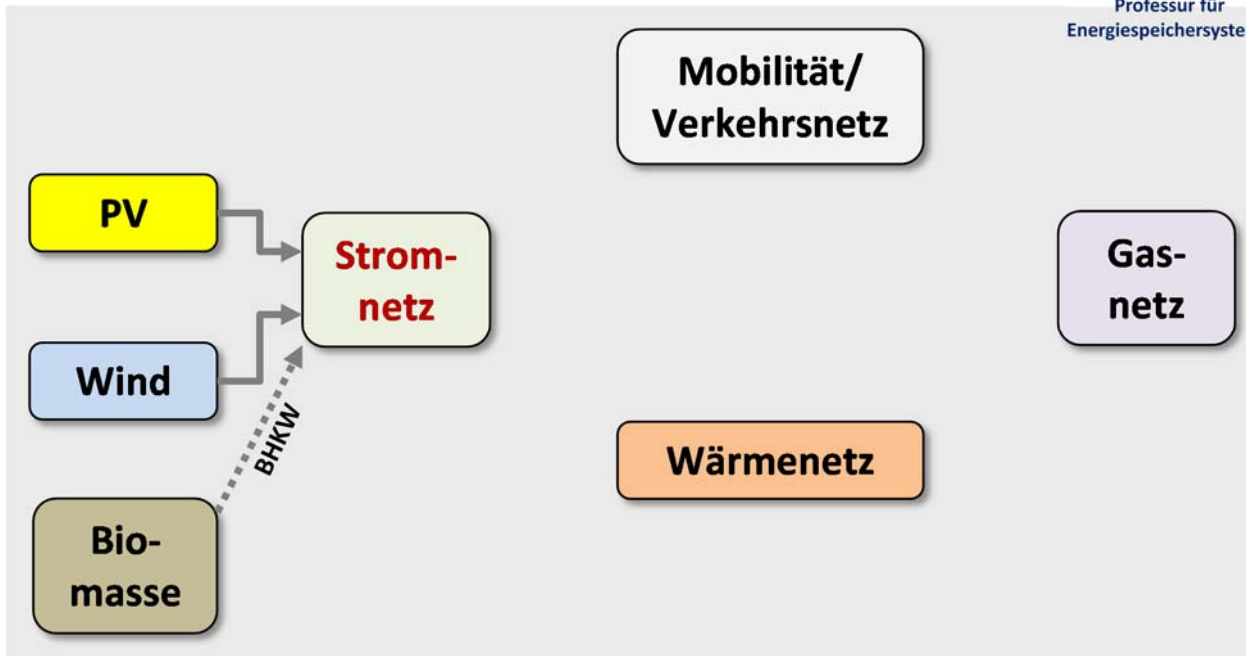


Speicher im Stromnetz:

➔ Systemdienstleistungen (Sekunden bis wenige Stunden)

#1: Schwungradspeicher-Anlage

#2: Lithium-Ionen-Batterie



Specifications

- Output power
20 MW max. continuous for 15 minutes
- Power range
40 MW (20 MW up or down)
- Rated output energy
5 MWh @ 20 MW
- Response time
<4 seconds (to rated power)
- Input/output voltage
480 VAC, 3-phase, 50/60 Hz
- Flywheel design life
20 years
- Plant footprint
3.5 acres (approx.)

+/- 20MW Frequency Regulation System by Beacon Power

Quelle: Beacon power

#1: Regeleistung +/- 20MW für 15 Minuten

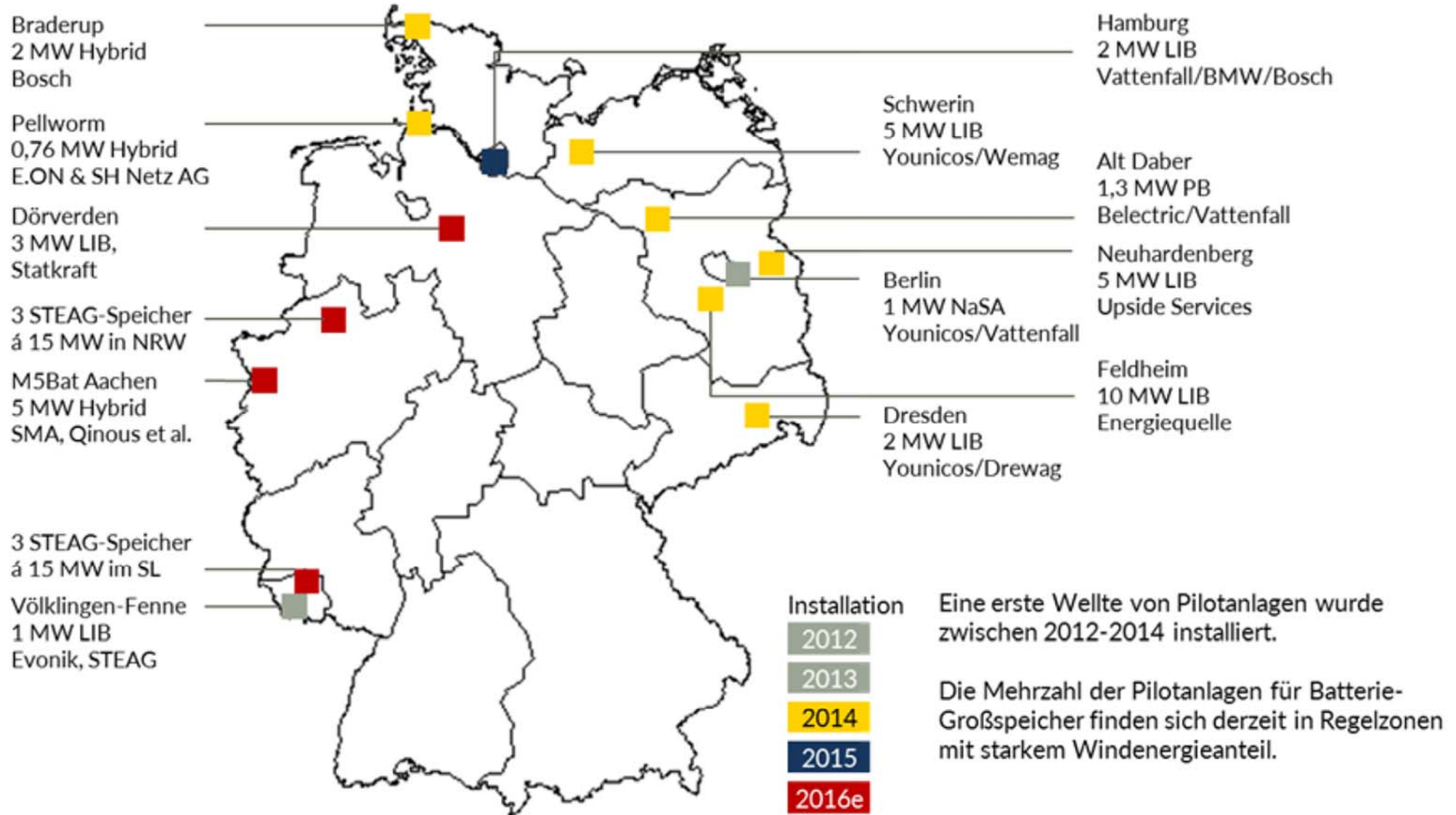


Younicos Let the fossils rest in peace.

Quelle: Younicos

#2: Regeleistung +/- 5MW für 60 Minuten

Überblick großer Batteriespeicher-Projekte >1MW in Deutschland



Quelle: Büro F - New Energy Markets, auf Basis von Unternehmensmeldungen, GTAI, DoE Global Energy Storage Database

Quelle: Sauer16

Überblick große Batteriespeicher-Projekte >1MW in Sachsen

Batteriespeicher DREWAG

Innovationskraftwerk Dresden-Reick

- Leistung/Kapazität: 2 MW / 2,7 MWh
- Lithium-Polymer-Zellen
- Bereitstellung von Netzdienstleistungen (Primärregelleistung)
- Verstärkung von Lastgängen
- Abdeckung von Lastspitzen
- Begrenzung von Anschlussleistung



Quelle: DREWAG

Batteriespeicher eins-Energie / Chemnitz

- größter Stromspeicher Sachsens
- Leistung/Kapazität: 10MW / 15,9 MWh
- Bereitstellung von Primärregelleistung
- Investitionsvolumen 10 Mio. €
- Eröffnung im 2. Quartal 2017



Quelle: <http://www.agadobe.de>

Vergleich Pumpspeicherkraftwerke in Sachsen

	Installierte Leistung in MW	Speichergröße in MWh	Inbetriebnahme
Markersbach	1.050	4.018	1980
Niederwartha*	120	591	1957
Mittweida	1,7	-	außer Betrieb



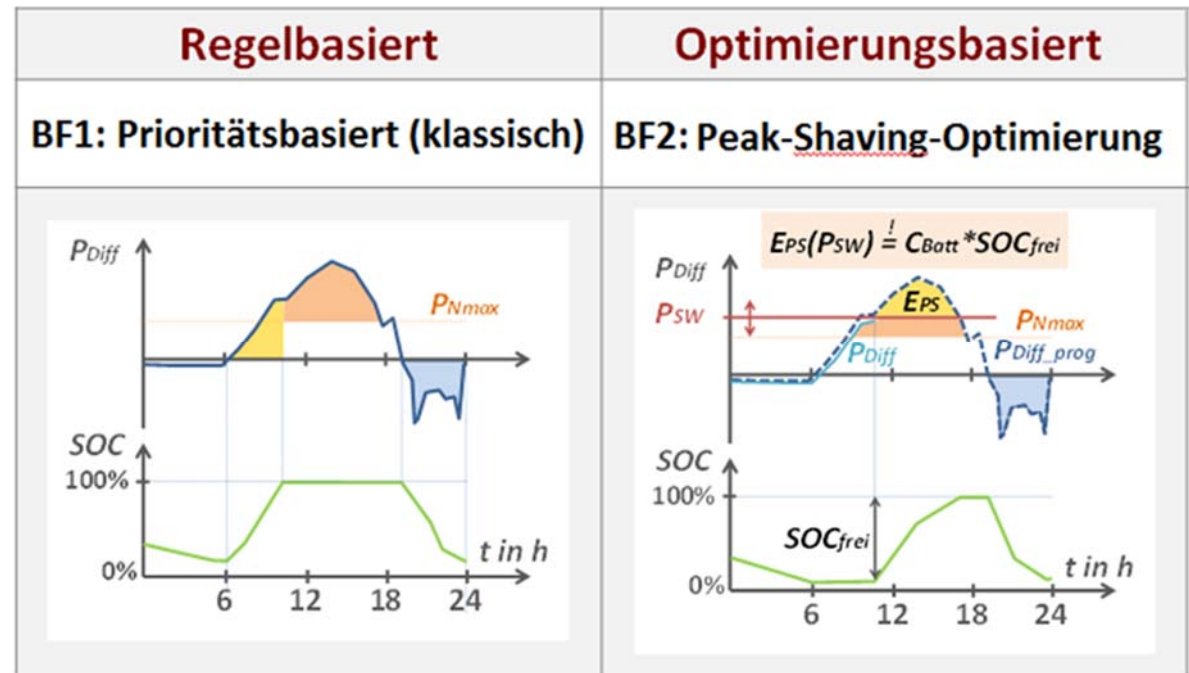
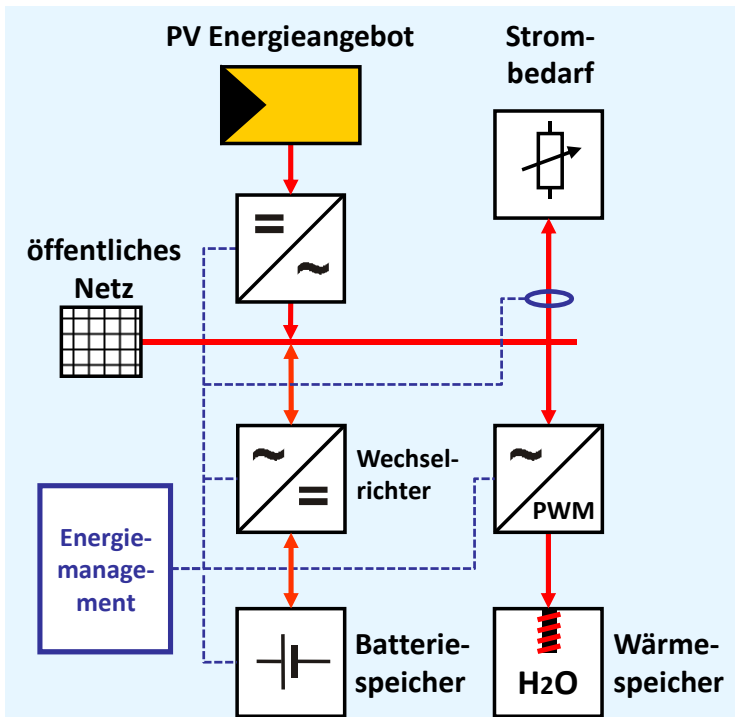
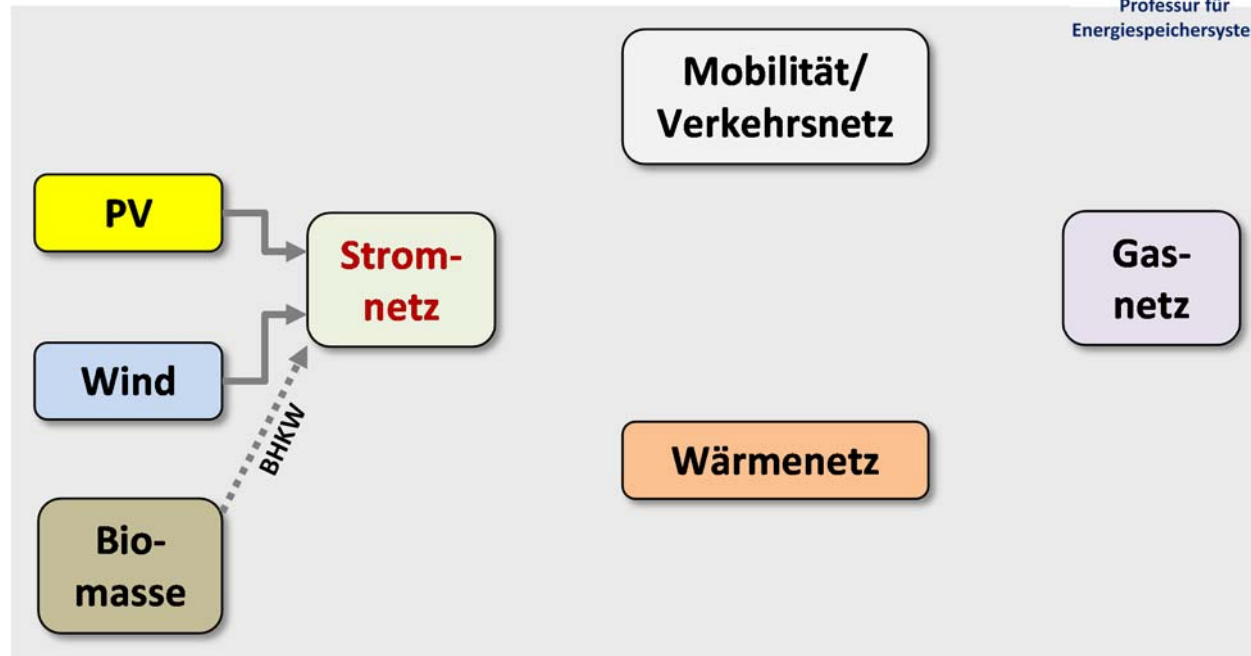
Quelle: <http://www.lr-online.de/nachrichten/wirtschaft/Pumpspeicherwerke-unter-Druck>

Quelle: <http://www.speicherbranche.de/ausbau/pumpspeicherkraftwerke> &
https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Pumpspeicherkraftwerken

Speicher im Stromnetz:

→ Ausgleichsspeicher (Minuten bis Stunden)

#3: PV-Batterie-Wärmespeicher-system zur erweiterten Eigenverbrauchs-optimierung in der Hausenergieversorgung



#4: Speicher im Niederspannungsnetz für dynamische Lasten

- Kräne, Hebeeinrichtungen, Containerbrücken, etc.
- Bremsen und Beschleunigen von Schienenfahrzeugen
- Industrieprozesse mit intermittierender Leistungsaufnahme



Bild: Wikimedia Commons



Bild: Wikimedia Commons

Quelle: Sauer, 2010

#5: Speicher im Niederspannungsnetz für unterbrechungsfreie Stromversorgung

- Absicherung von Servern Rechnern
- sicherheitsrelevante Anwendungen (z.B. Ampelanlagen, Windkraftanlagen)
- Kommunikationseinrichtungen
- kritische Fabrikanlagen (z.B. Reinraumprozesse, Papierfabriken, etc.)
- Krankenhäuser



Quelle: Sauer, 2010

#6: Speicher im Niederspannungsnetz zur Netzstabilisierung und Power Quality

- Blindleistungskompensation
- Phasensymmetrierung
- Flickerkompensation
- Spannungshaltung

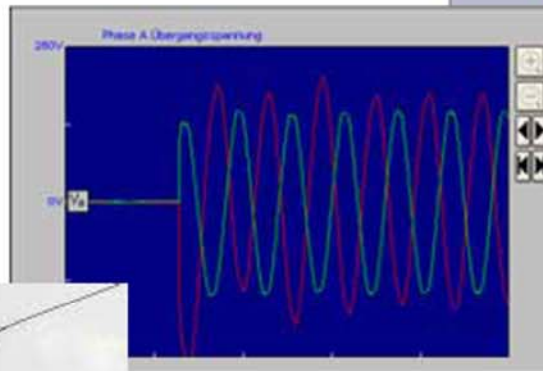
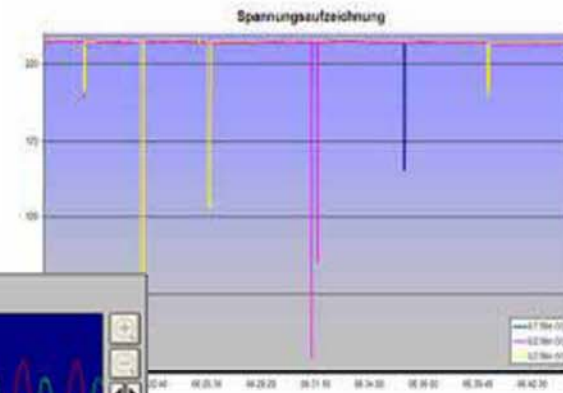
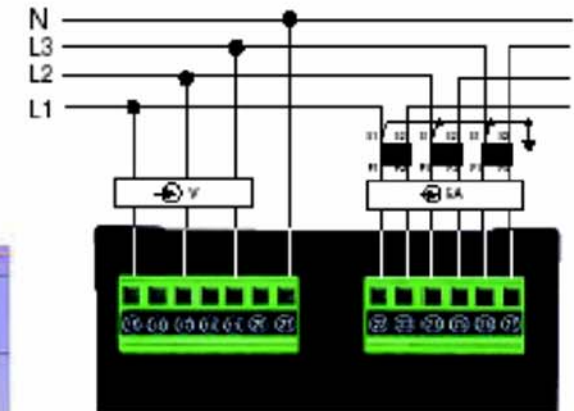


Bild: Wikimedia Commons



Bild: Wikimedia Commons



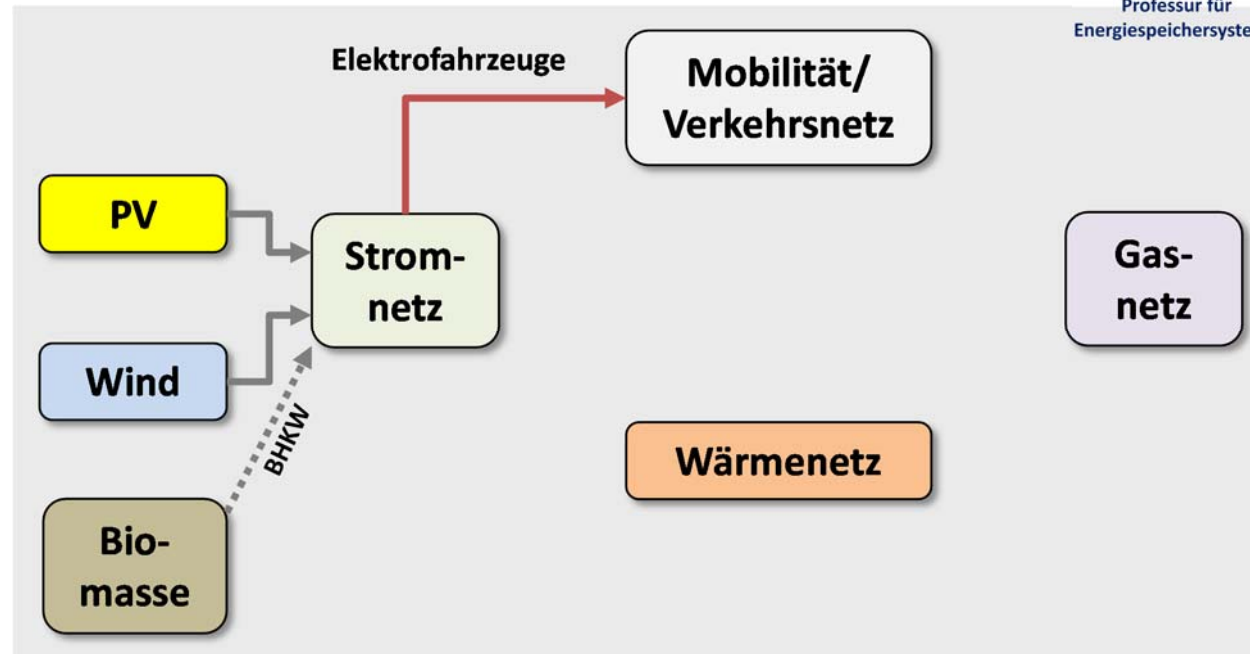
Bild: Chauvin Arnoux

Quelle: Sauer, 2010

Speicher im Verkehrsbereich:

→ Fahrzeugbatterien (Sekunden bis Stunden)

#7: Elektrofahrzeug- und Plug-in-Hybridfahrzeug-Flotten



Quelle: juwi, Sauer

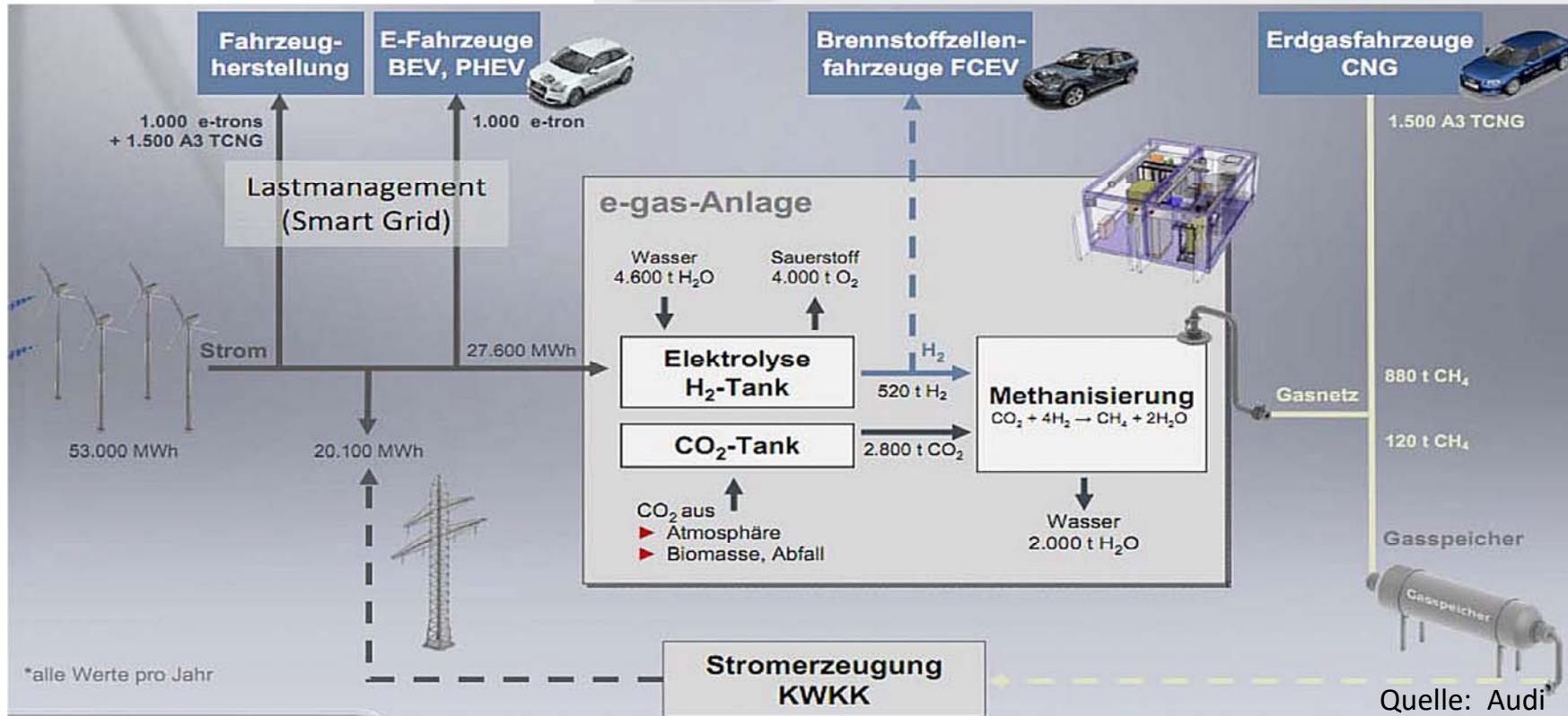
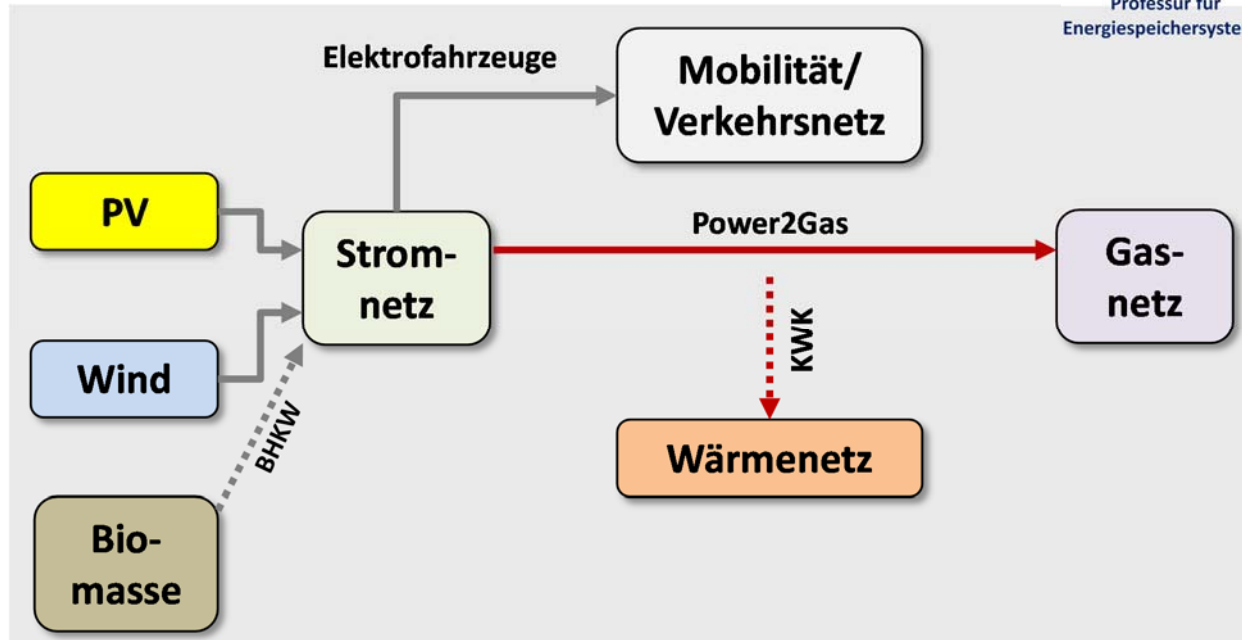
Mobilität in Deutschland

- ca. 46 Millionen PKW
- ca. 63% aller Strecken unter 50km
- mittlere Fahrstrecke: 37km/Tag bzw. 13500km/Jahr
- ca. 600TWh/a Energiebedarf im Verkehr
⇒ bei 100% Elektrofahrzeugen Reduzierung auf 100-120TWh/Jahr möglich

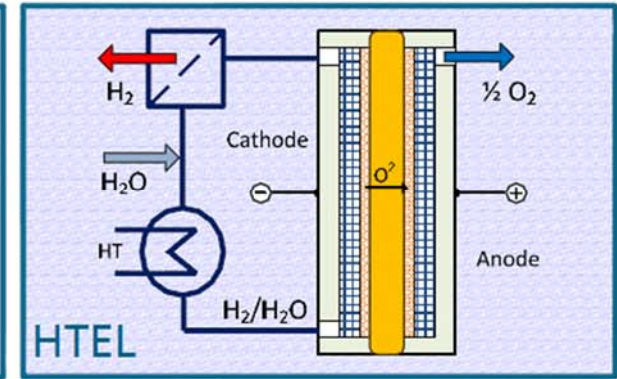
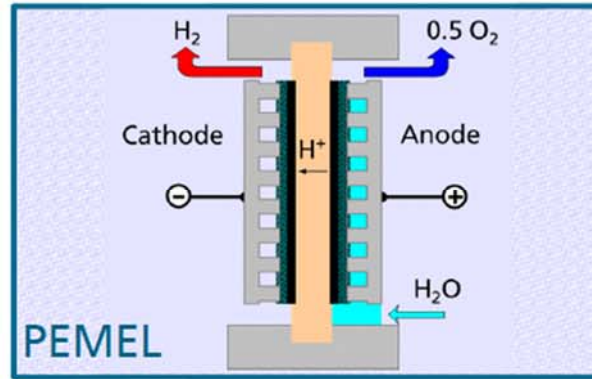
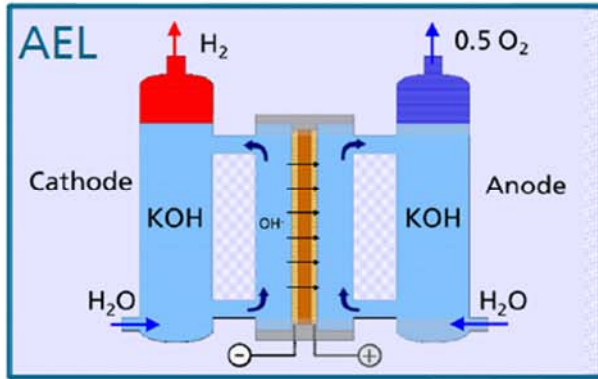
Power-to-Gas:

- ➔ Elektrolyse/Methanisierung
- ➔ Erdgasnetz als Langzeitspeicher (217TWh)
- ➔ Abwärmenutzung

#8: Audi e-gas-Projekt in Werlte



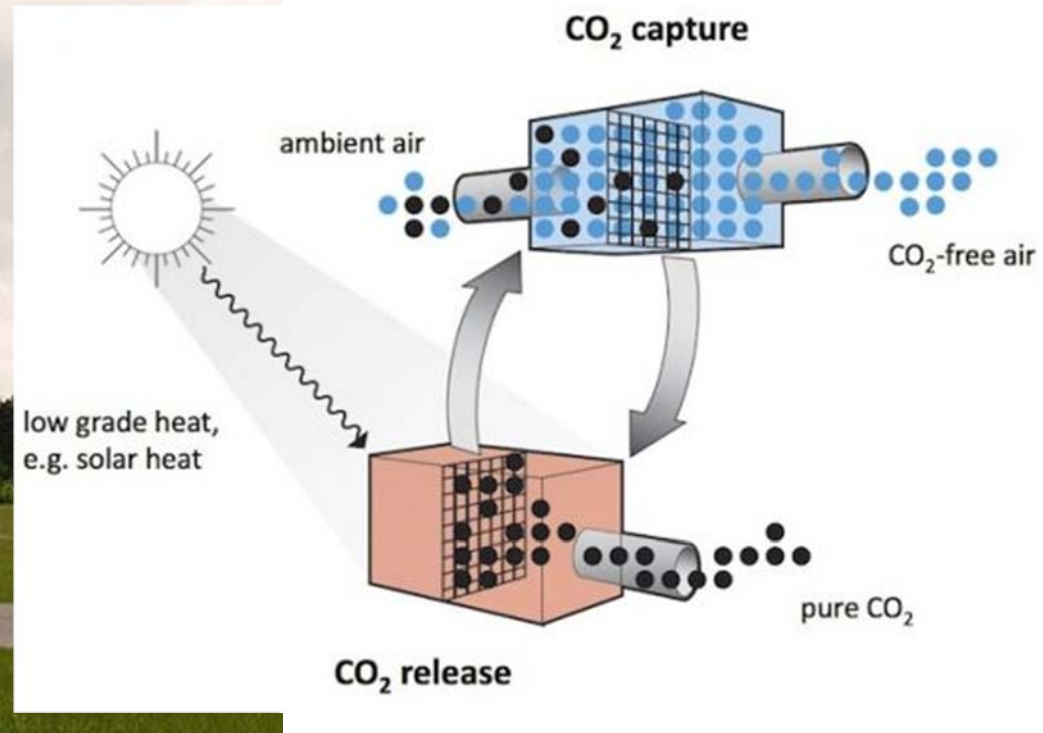
Elektrolyse-Technologien für Power-to-Gas-Speicherpfad



Parameter	Einheit	heutige alkalische Elektrolyse	Fortgeschr. alkalische Elektrolyse	Fortgeschr. Membran- Elektrolyse	HT- Elektrolyse (autotherm)	HT-Elektrolyse (allotherm)
Temperatur	°C	60 – 80	120	120	900	900
Druck	bar	< 30	60	< 100	2	2
Elektrischer Energieeinsatz	kWh/m ³ H ₂	4,5 – 6,0	3,8 – 4,5	4,1 – 4,8	3,2	2,6
Wärmeeinsatz	kWh/m ³ H ₂	-	-	-	0,6	1,1
Wirkungsgrad bzgl. unterem Heizwert	%	50 – 65	67 – 77	75	78	78
Investitionskosten	€/kWel	800-1500 (>500kW)	<500 (>1MW)	<1000 (>500kW)		
Anlagenlebensdauer	Jahre	>20	>30	>20		

Quelle: FH ISE, DLR

Anlage zur CO₂-Abscheidung aus Luft (Climeworks)



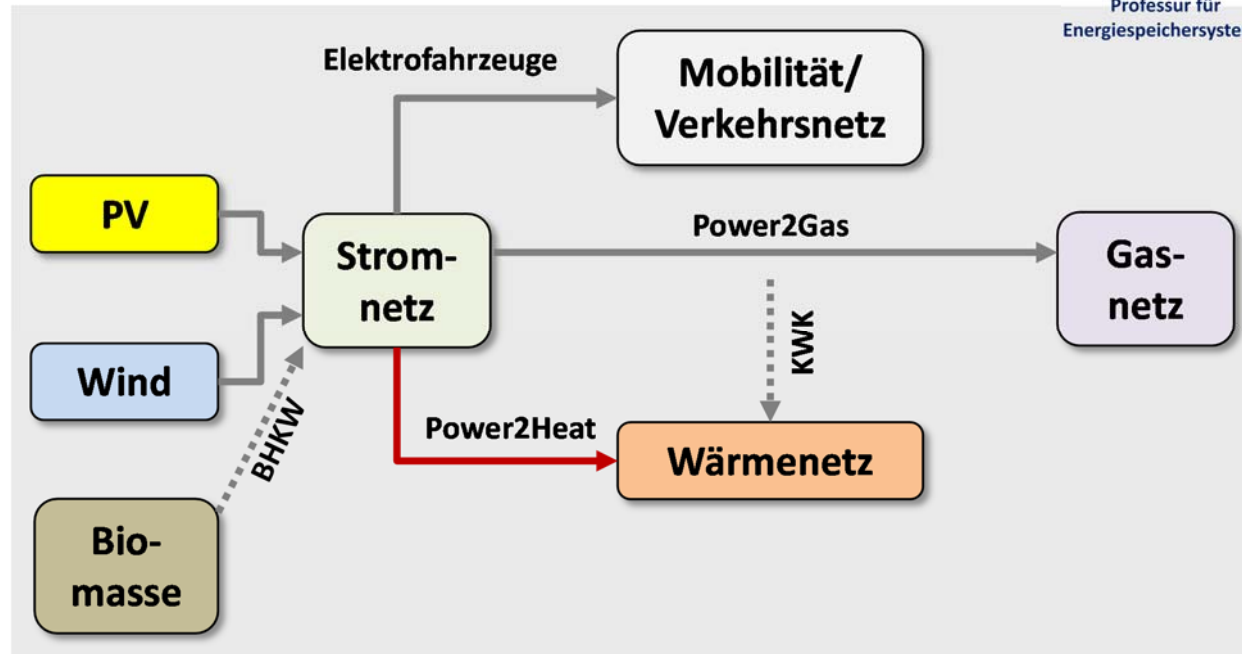
- zyklischer Adsorptions-/Desorptions-Prozess an einem aminbasierten Filter-Material
- nominale CO₂-Produktionsrate: von 35kg/h bis zu mehreren Tonnen pro Stunde
- CO₂-Reinheit: > 99.9%
- Wärmebedarf: 1500kWh bis 2000kWh pro Tonne CO₂ bei 100°C
- Strombedarf: 200kWh bis 300kWh pro Tonne CO₂
- modularer Aufbau: Filter-Module und Steuer-Modul in 40-Fuss-Containern

Quelle: Climeworks

Power-to-Heat:

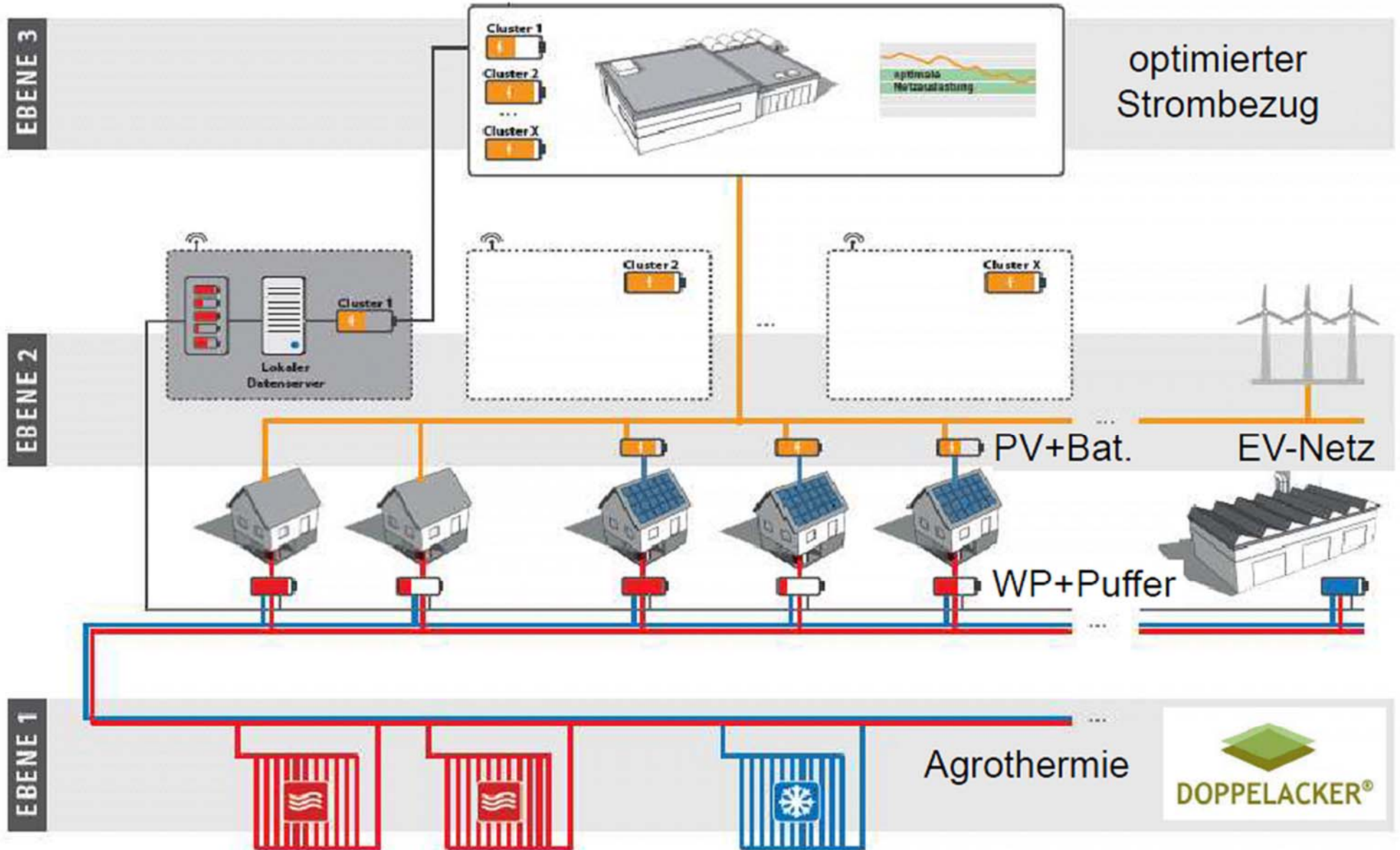
➔ Wärmepumpe und
Langzeitwärmespeicher

#9: „Marstal SUNSTORE 4“
(Volumen: 75000m³, ca. 6,7GWh,
Temp.: 10-90°C, Kosten: 2,65M€,
spez. Energiekosten: 0,373€/kWh)



Quelle: nach Sørensen, IRES2013

#10: Power-to-Heat – Kurz-/Langzeit-Wärmespeicherung von Solar-/Windenergie

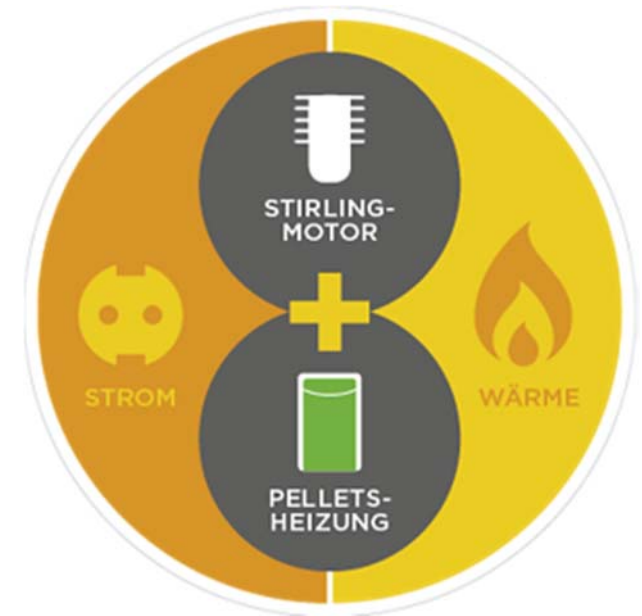
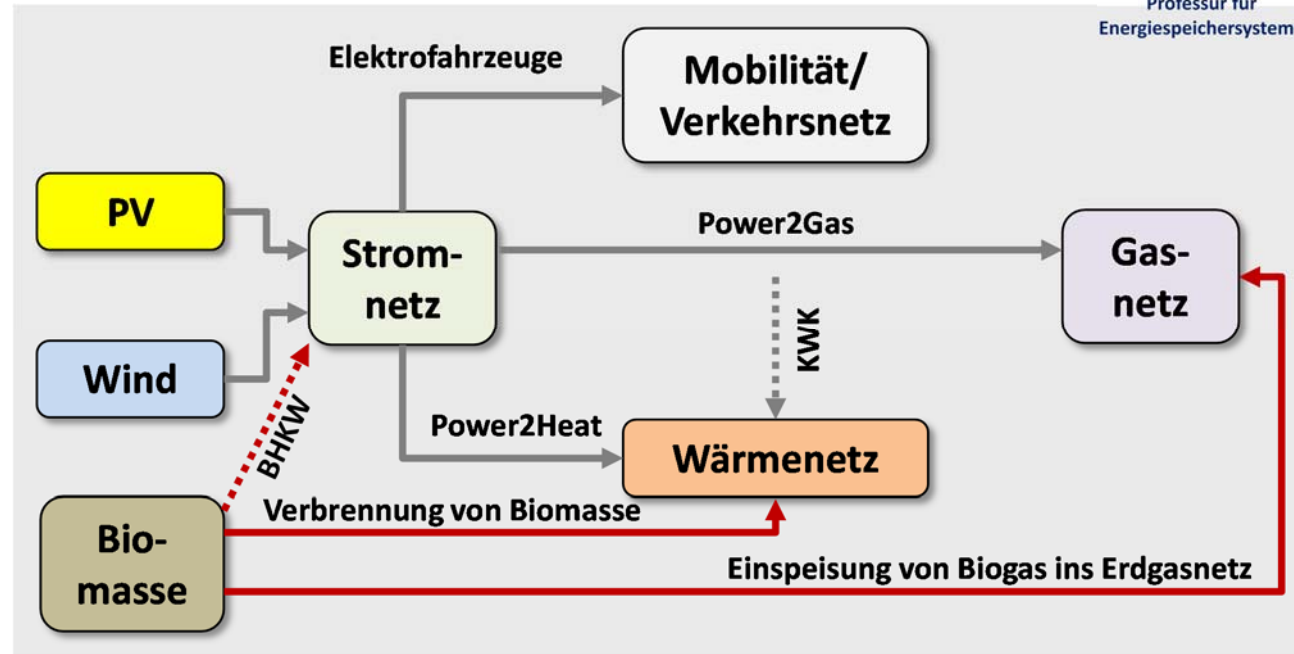


Quelle: ZSW

Biomasse:

→ strom- und wärmegeführte Blockheizkraftwerke auf Basis von Biomasse

#11: Ökofen Pelletheizung (Stirlingmotor, $P_{el}=1kW$, $P_{th}=14kW$, 600l Schichtspeicher)

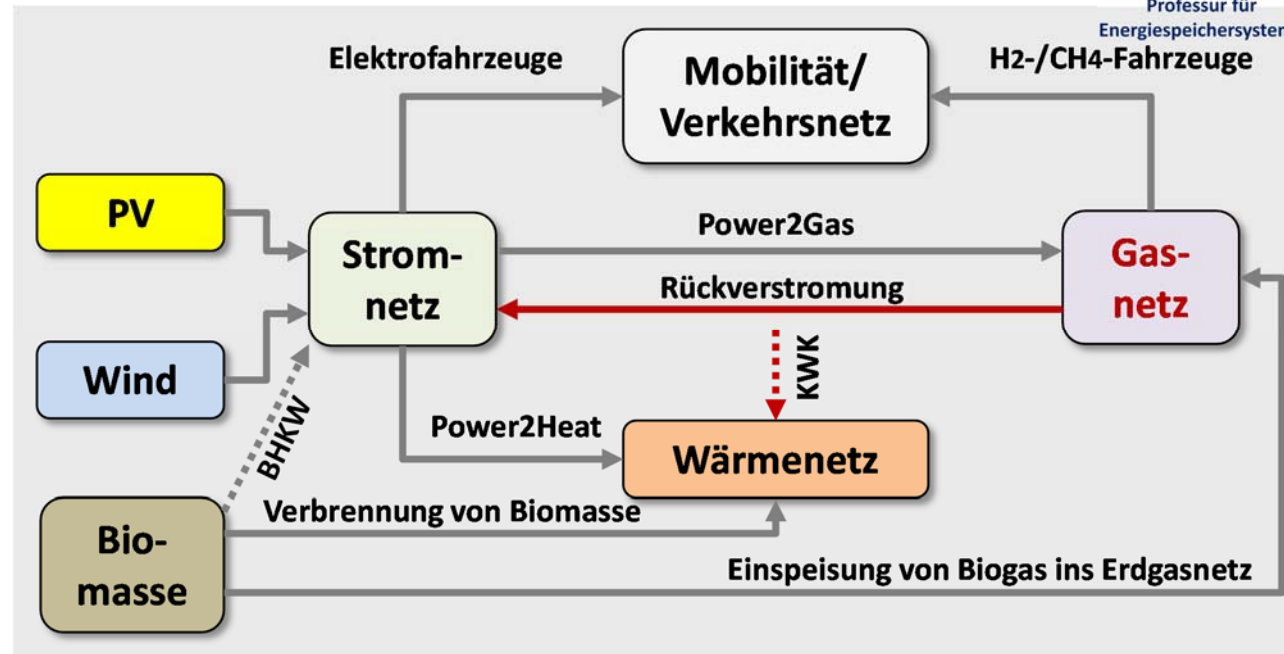


Quelle: Ökofen

Gas-to-Power:

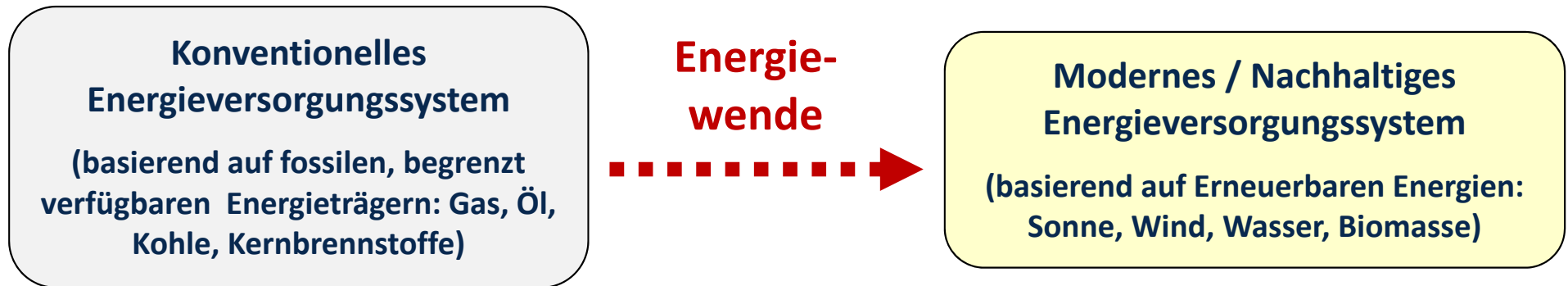
➔ Rückverstromung von langzeitgespeichertem Wasserstoff und Methan inkl. Abwärmenutzung

#12: Brennstoffzellenheizgeräte (Callux-Projekt)



Hersteller	Buderus	Elcore	HEXIS	Junkers	SenerTec	SOLIDpower	SOLIDpower	Vaillant	Viessmann
Typ	SOFC	HAT-PEM	SOFC	SOFC	NT-PEM	SOFC	SOFC	SOFC	NT-PEM
Modell	Logapower FC10	Elcore 2400	Galileo 1000N	Cerapower FC10	Dachs Innogen	EnGen-2500	BlueGEN	G6	Vitovalor 300-P
Leistung (el./th.)	0,7/0,62kW	0,3/0,7kW	1,0/1,8kW	0,7/0,62kW	0,7/0,96kW (modulierend)	2,5/2kW	1,5/0,61kW	0,8/1,5kW	0,75/1kW
Wirkungsgrad (el.)	45%	32%	35%	45%	37% (Vollast)	50%	bis zu 60%	33%	37%
Wirkungsgrad (ges.)	85%	104%	95%	85%	90%	90%	bis zu 85%	92%	90%

Quelle: NOW



Beiträge für eine nachhaltige Energieversorgung:

- o schneller Ausbau der erneuerbaren Energien (Sonne, Wind)
- o Steigerung der Effizienz aller Energiewandlungsprozesse
- o Steigerung der Lebensdauer der eingesetzten Komponenten
- ▶ Energiespeicher bilden hierfür eine entscheidende Grundlage in Kopplung mit anderen Flexibilisierungstechnologien (z.B. Netzen)
- ▶ innovative „hybride“ Energiespeichersysteme bestehend aus Strom-/Wärme-/Gas- sowie Kurzzeit-/Mittelzeit-/Langzeit-Speichertechnologien bieten zusätzliche Potenziale für einen technisch, wirtschaftlich und ökologisch optimierten Betrieb
- ▶ innovative Komponenten und Systemtechnik sowie intelligente, vorausschauende Betriebsführungs- und Dimensionierungs-Verfahren sind von entscheidender Bedeutung

24. März 2017

Energiedialog für den Masterplan Energieforschung in Sachsen

Überblick Energiespeichertechnologien

Prof. Dr.-Ing. Thilo Bocklisch
Professur für Energiespeichersysteme

E-Mail: thilo.bocklisch@tu-dresden.de Tel.: +49 351 463-40270



DRESDEN
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur