



FORSCHUNGSSTELLE FÜR  
ENERGIENETZE UND ENERGIESPEICHER

# Power-to-Gas

Energiespeicher, Alternative zum Übertragungsnetz und Bindeglied zwischen den Energiesektoren - die eierlegende Wollmilchsau für die Energiewende?

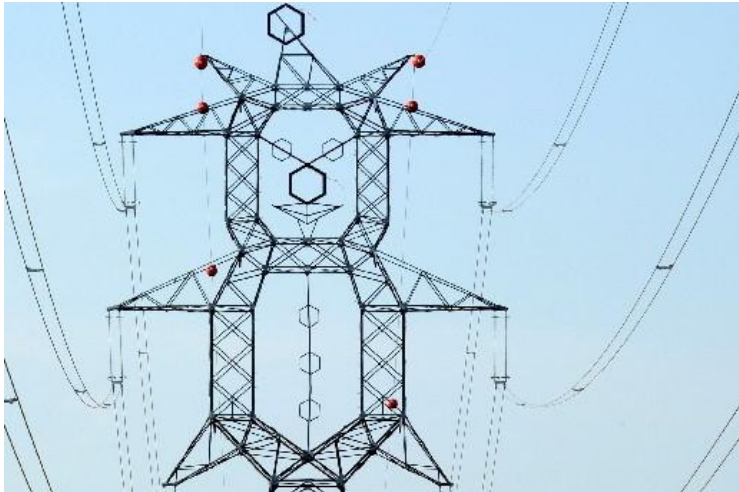
Agendafrühstück  
Puchheim, 26. April 2015



Martin Thema  
Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES)  
Fakultät Elektro- und Informationstechnik  
Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Regensburg

Bildquellen: Sterner/Stadler/Springer, Sustainx.com, Wikipedia.org, lwb.ch, Poppware.de, Stadtwerke-herne.de, Af.net, A-vierling.de





Herausforderungen unseres Stromsystems im Wandel  
Flexibilitäts- und Speicherbedarf, Energiespeicherarten

**Power-to-Gas**  
Konzept und Stand der Technik

Ausblick

## Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner,  
Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

- Derzeit ca. 20 Mitarbeiter
- Lehre und Studien im Bereich der Integration erneuerbarer Energien (Energiespeicher, Power-to-Gas, Energieverteilung und Energiepolitik)

## Ingenieurbüro Thema

Partnerschaftsgemeinschaft Solektrik

Beratung, Planung, Umsetzung

- Technische Betriebsführung Photovoltaik
- Energetische Sanierung
- LED-Beleuchtung

[martin.thema\(at\)solektrik.de](mailto:martin.thema(at)solektrik.de)



# Energiespeicher

Nachhaltig wirtschaftende Organismen brauchen Energiespeicher



- Vorratshaltung für ‚schlechte Zeiten‘
- Anpassung an schwankendes Angebot (kurzzeitig/saisonal)



# Irene beim Tanken

Welches elektrische Leistungsäquivalent liegt beim Tanken an?



Irene kontrolliert gerade einen Leistungsfluss von **16 MW**:

Energieinhalt Benzin (Heizwert): 9 kWh/l = 32 MJ/l  
Durchflussmenge: 0,5 l/s



Elektrisches Äquivalent von  
3 (sehr) großen Windkraftanlagen

ca. 1,5 x

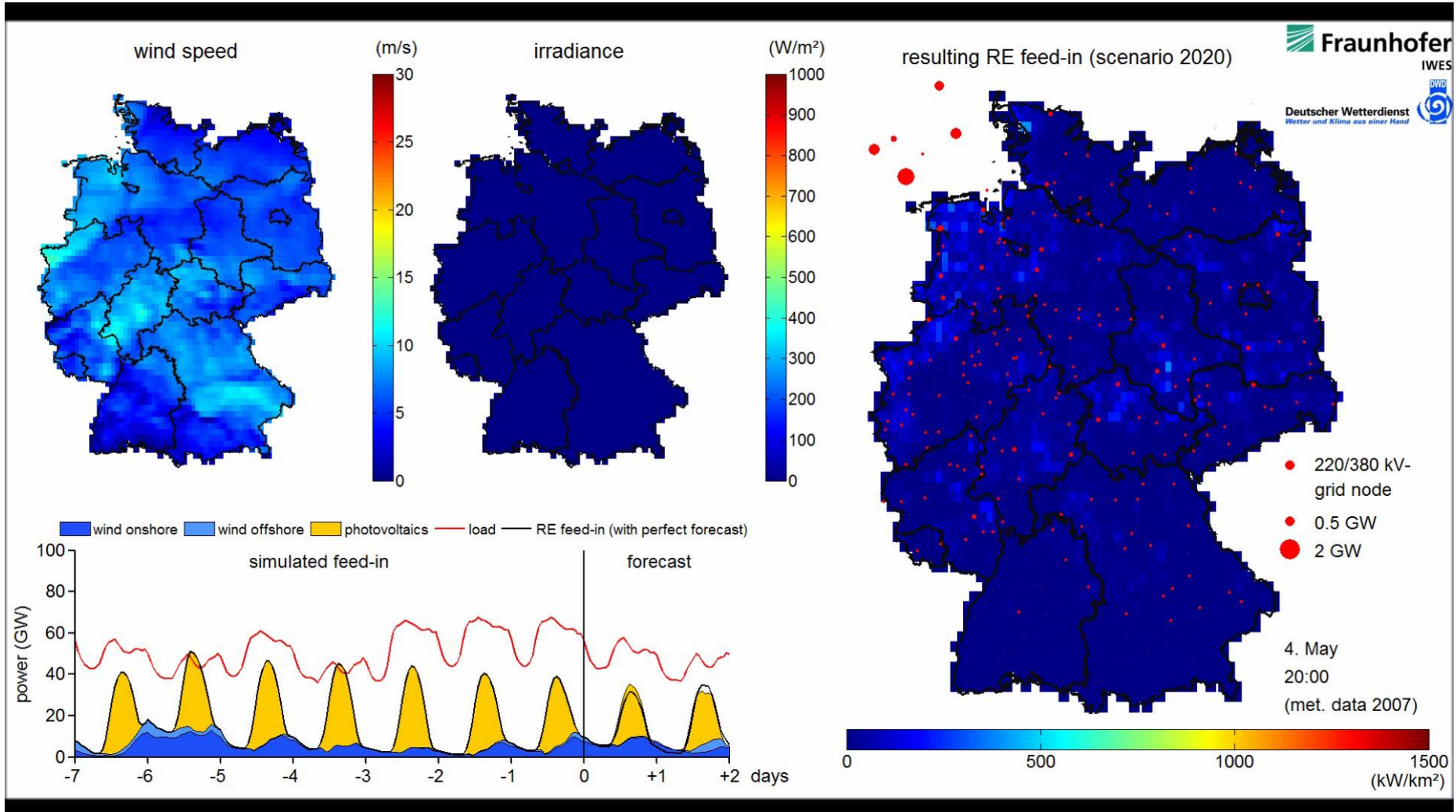


Elektrisches Äquivalent von  
32.000 Haushalten (à 500 W Verbrauch)

Quelle: nach C. Hoffmann - Siemens, 2011; maps.google.de

# Wind & PV als wichtigste Erzeuger

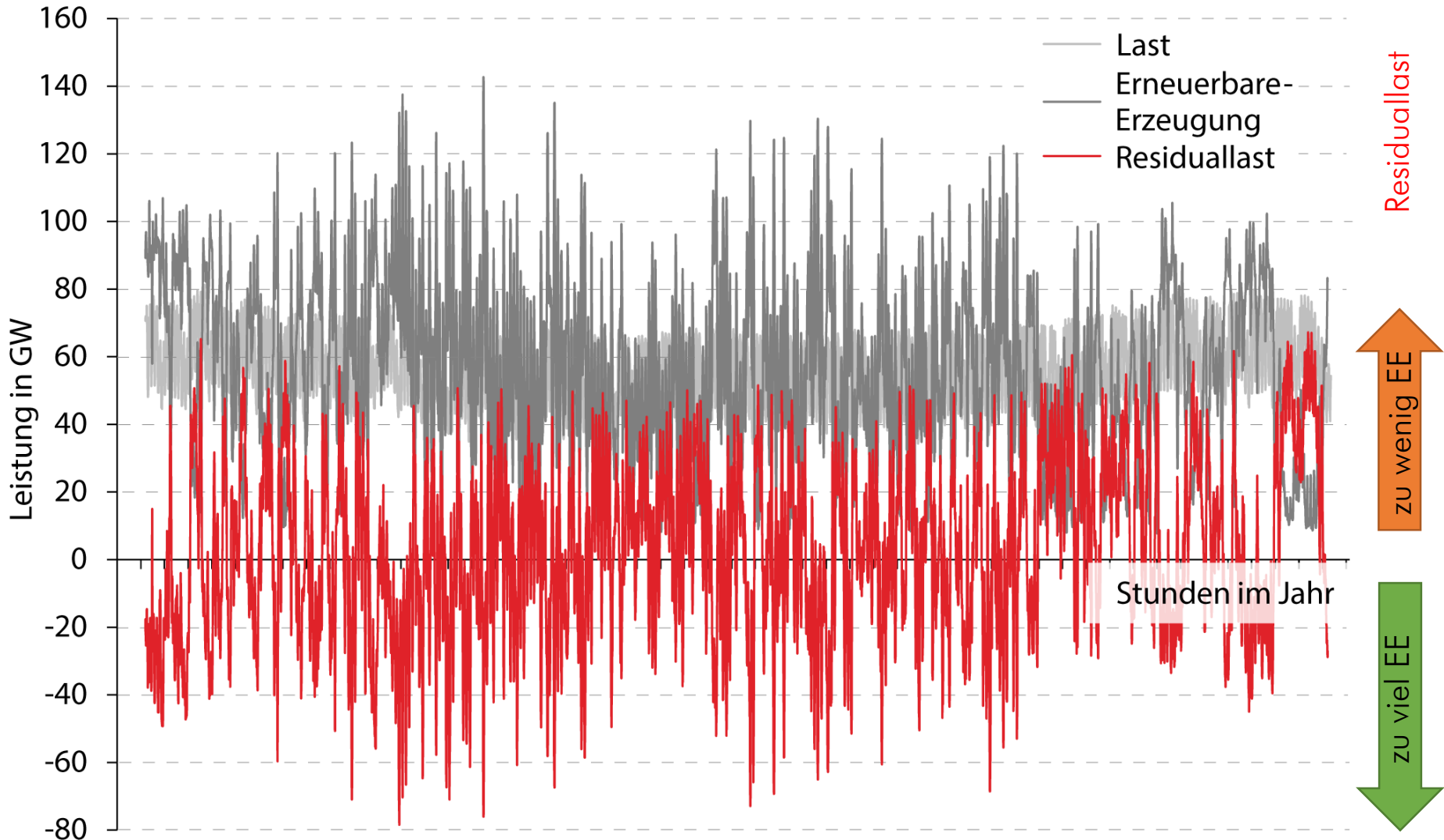
Technologie und Markt müssen danach ausgerichtet werden



Einspeisung im Mai: Nationaler Aktionsplan erneuerbare Energien: 2020 – 39% EE-Anteil

# EE-Ausbau allein reicht nicht aus

Szenario: 80 % erneuerbare Energien

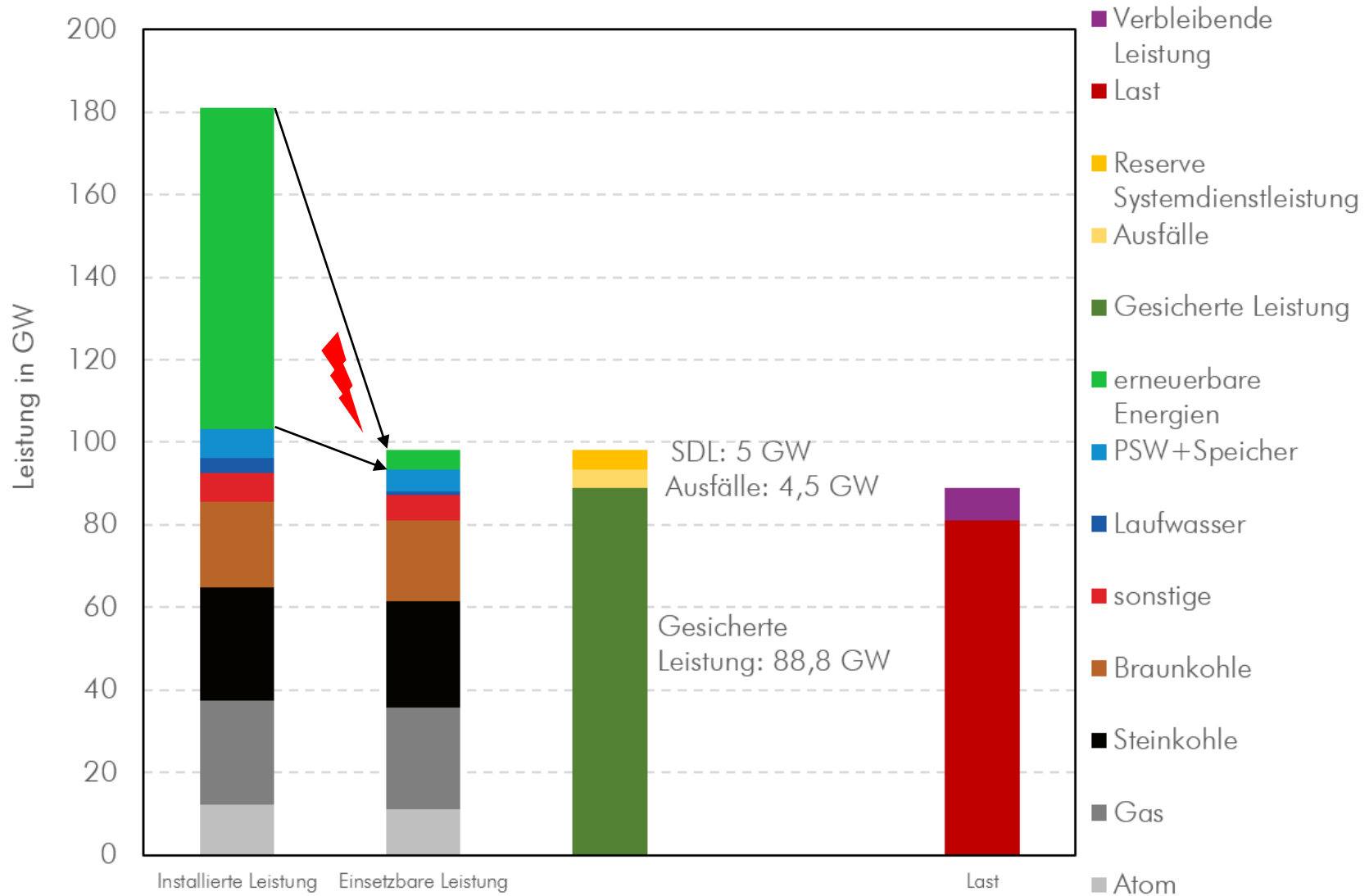


Quelle: VDE ETG (2012) Energiespeicher für die Energiewende;, Energietechnische Gesellschaft im VDE. Frankfurt am Main



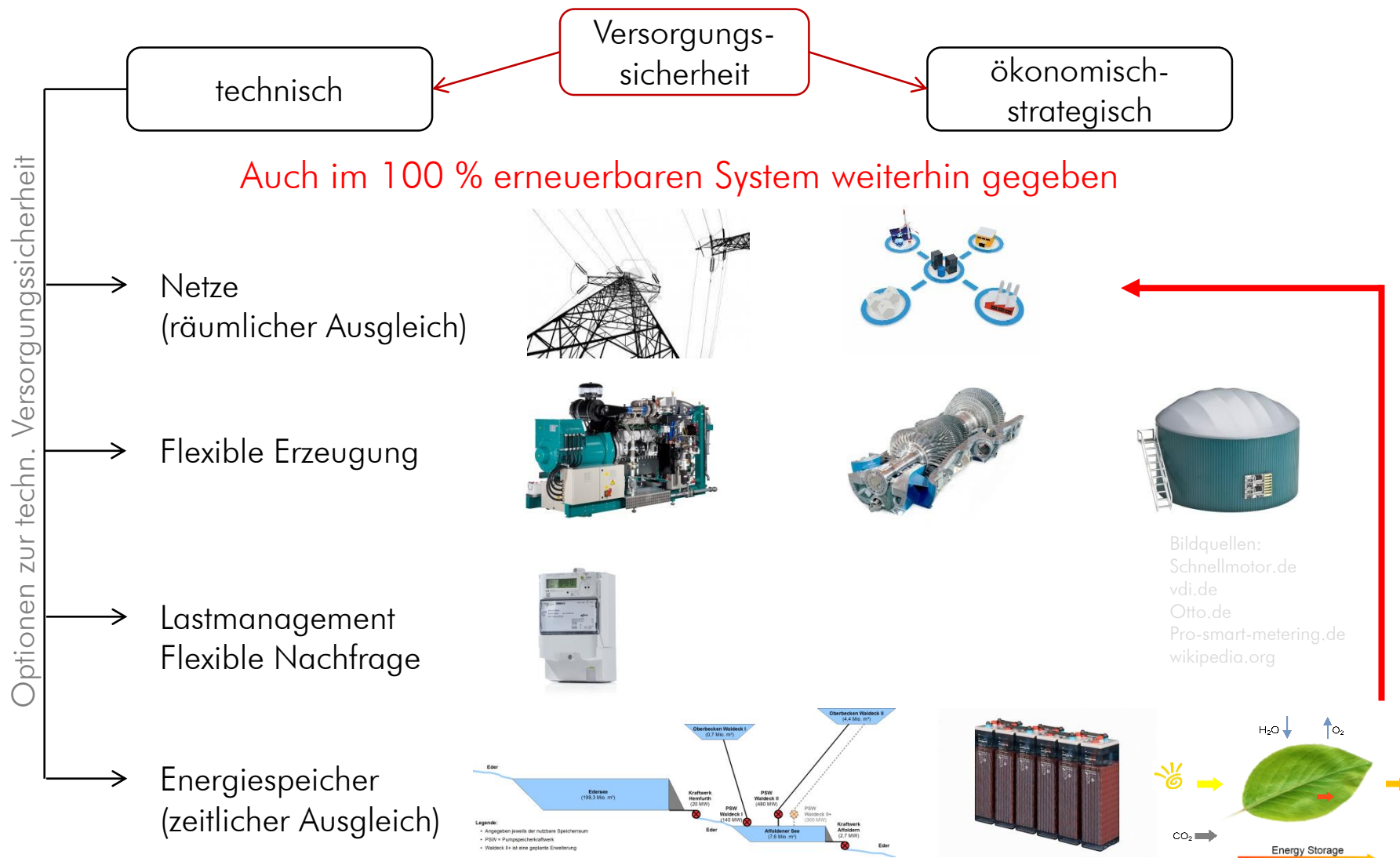
# Gesicherte Leistung

≠ installierte Leistung



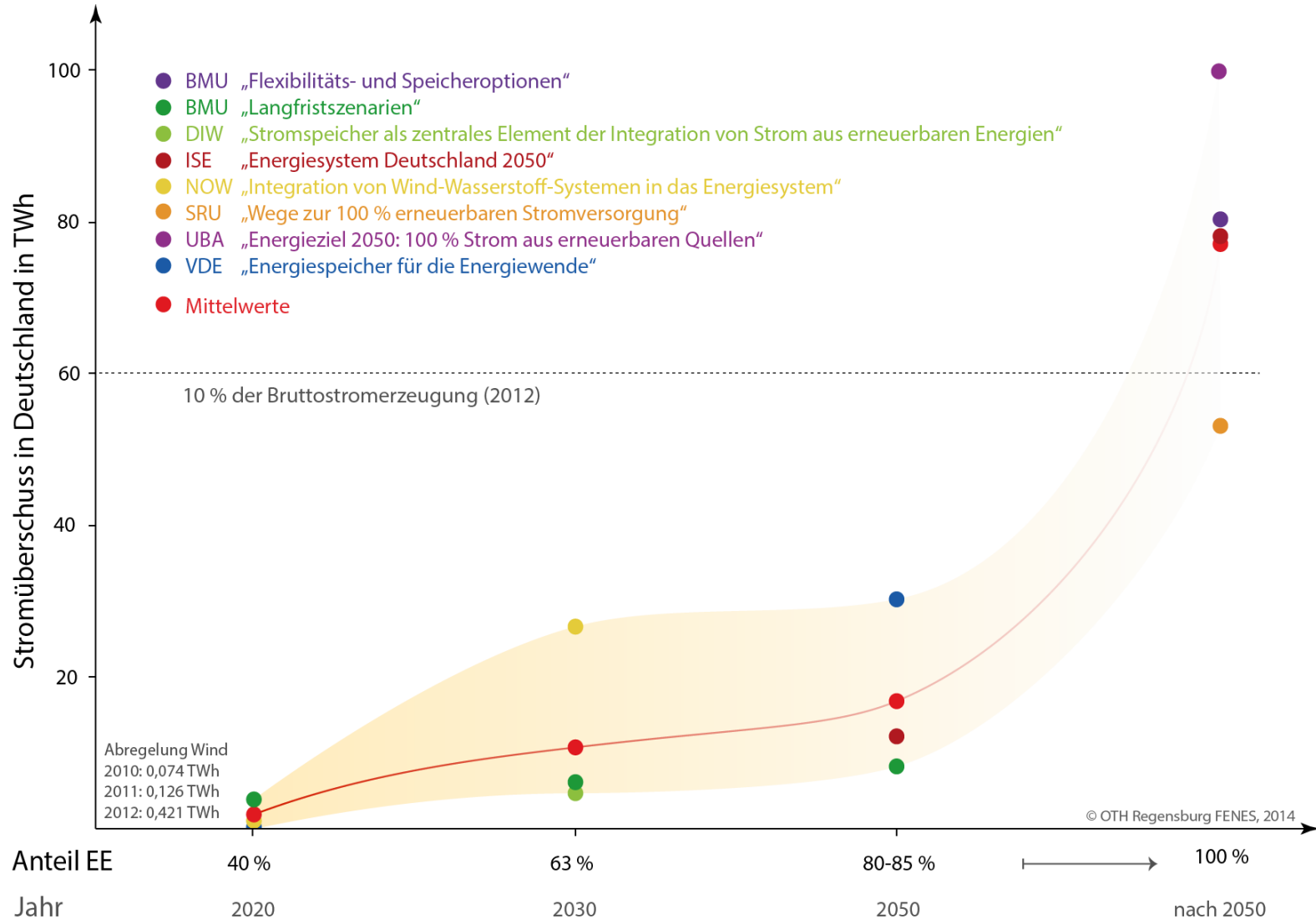
# Ende des Strom-Schlaraffenlandes?

Versorgungssicherheit im sich wandelnden Energieversorgungssystemen



# Stromüberschüsse in Deutschland

## Speicherbedarf



# Vorsicht vor Äpfeln und Birnen!

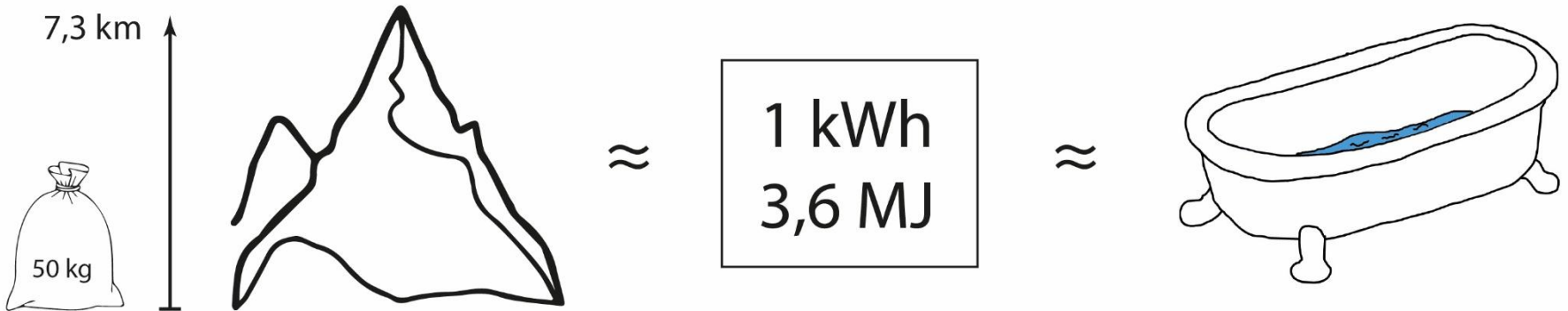
Beim Vergleich verschiedener Energiespeicher

Energie = Energie  
aber

mechanische Energie  $\neq$  chem. E.  $\neq$  el. E.  $\neq$  thermische Energie



- ~ 111 ml Benzin
- ~ 100 l Erdgas (Normvolumen)
- ~ 500 g Rohbraunkohle
- ~ 100 g Steinkohle
- ~ 31 kg Blei-Säure Batterie
- ~ 6,6 kg Li-Ionen Batterie

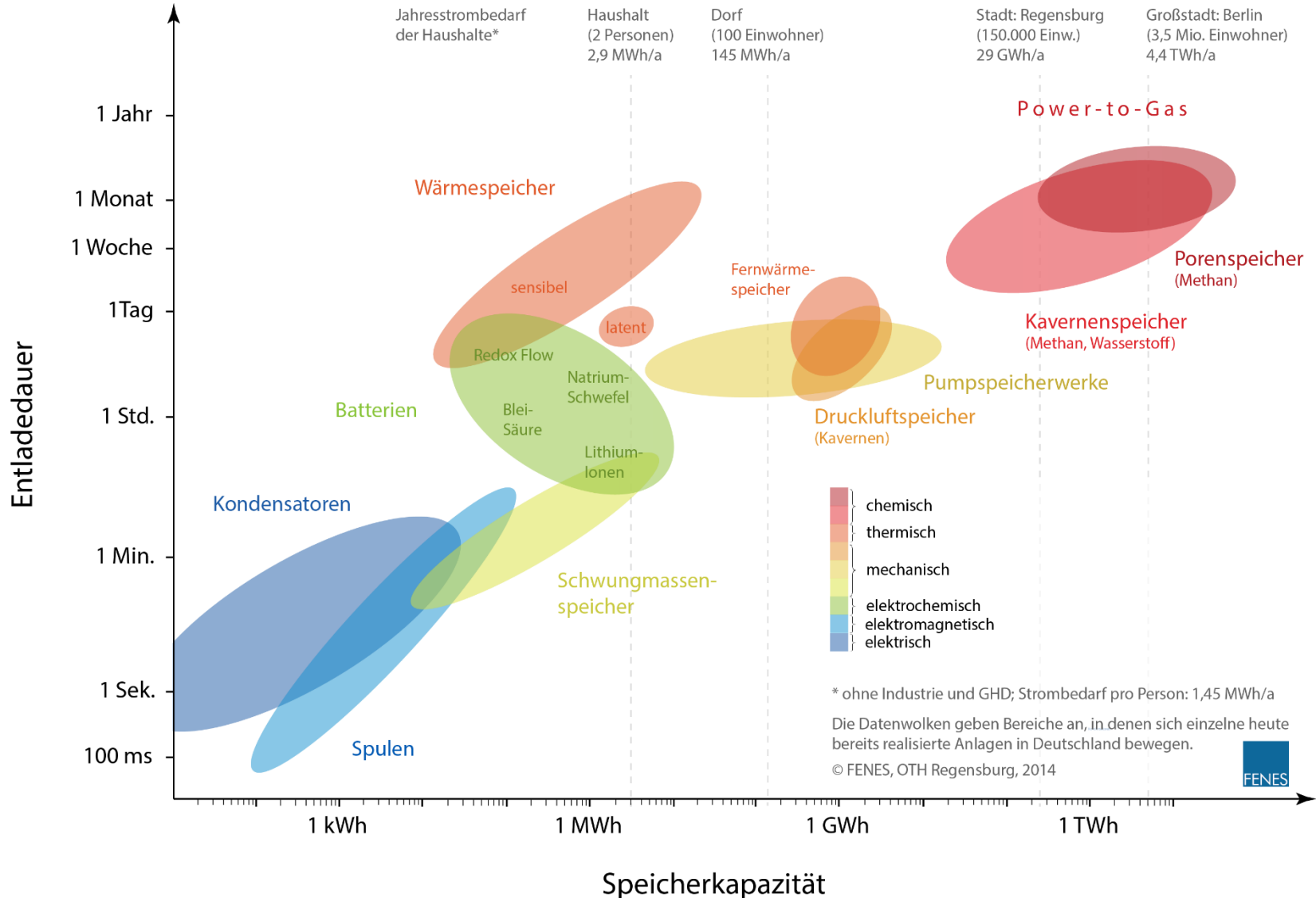


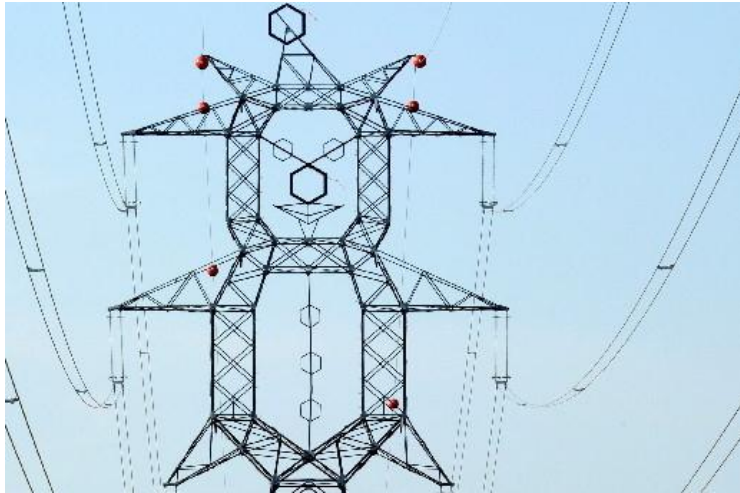
1/4 Badewanne bei 35 °C

Bildquellen: pixabay.de, putzlowitsch.de

# Vergleich Energiespeicher

## Einordnung in die Speicherlandschaft





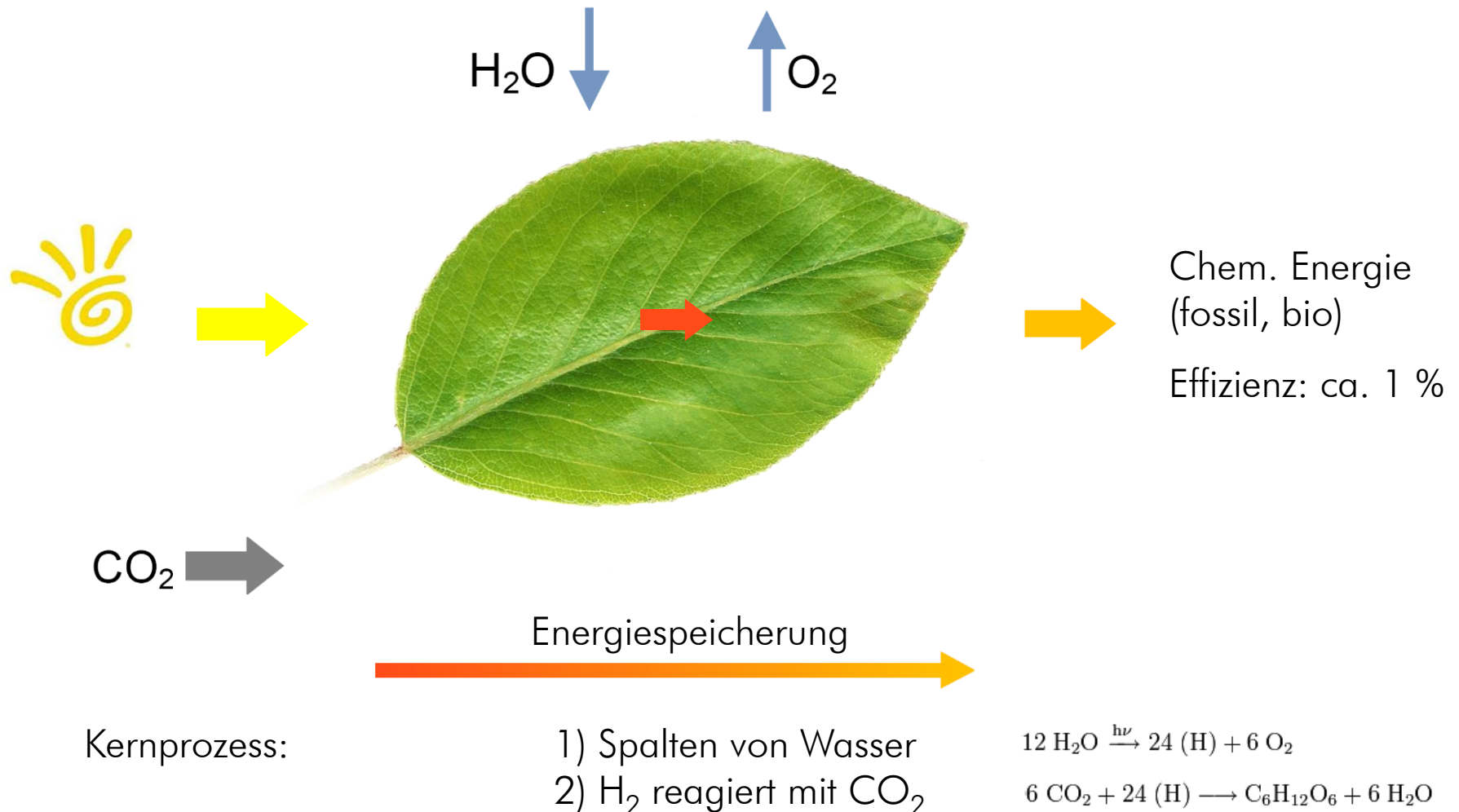
Herausforderungen unseres Stromsystems im Wandel  
Flexibilitäts- und Speicherbedarf, Energiespeicherarten

**Power-to-Gas**  
Konzept und Stand der Technik

Ausblick

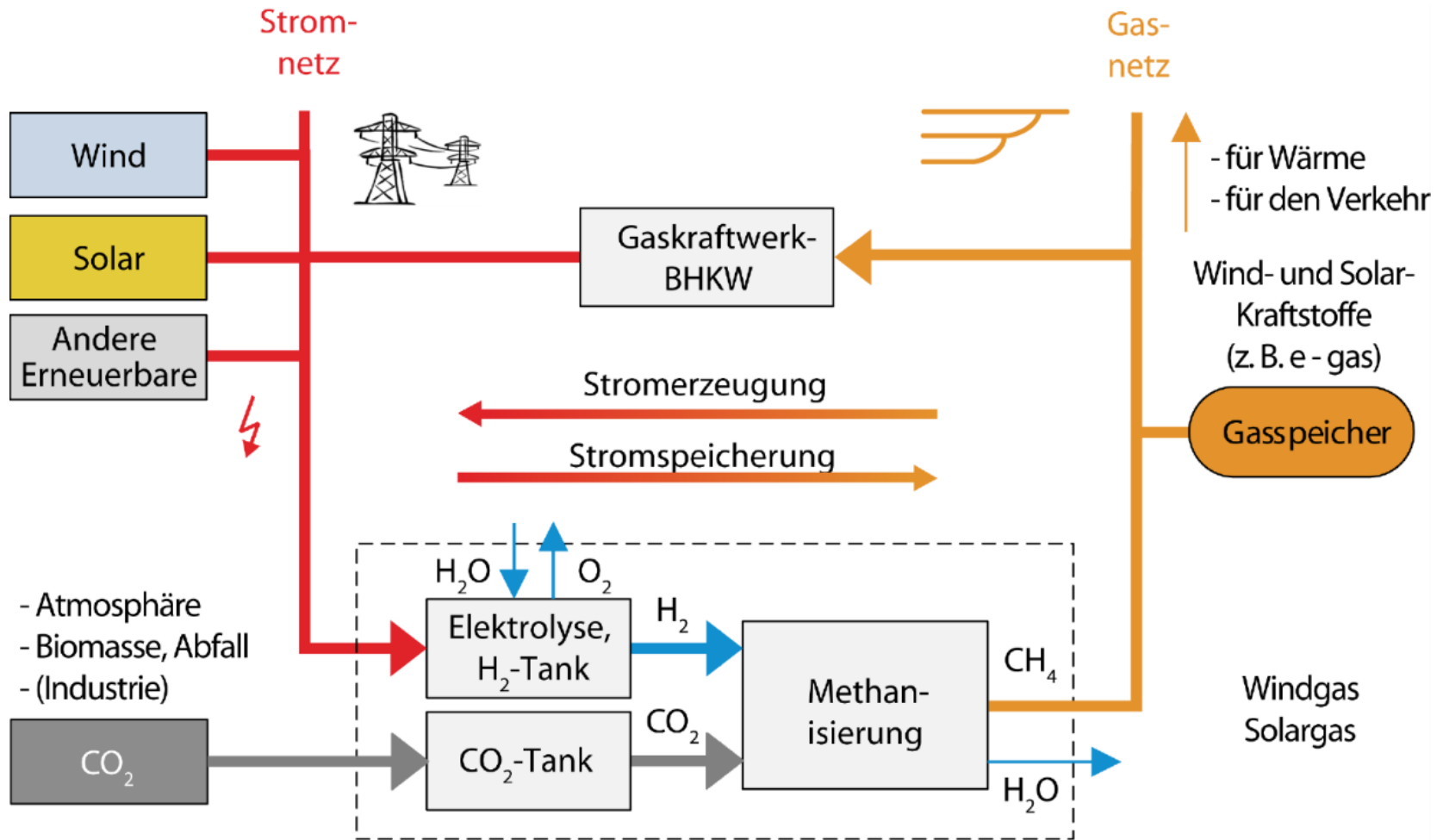
# Das Power-to-Gas-Konzept

Analogie zum natürlichen Kohlenstoffkreislauf



# Das Power-to-Gas-Konzept

In Analogie zum natürlichen Kohlenstoffkreislauf



Windgas-Anlage

Wirkungsgrade

Wasserstoff-Pfad:

33-84 %

Methan-Pfad:

30-79 %



# Das Power-to-Gas:

## Vorhandene Technik

### Einspeichern

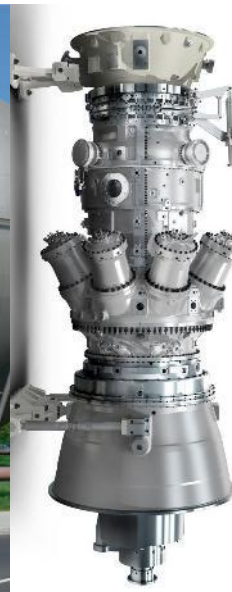
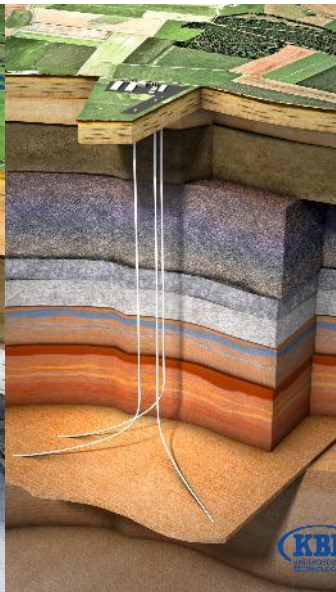
- Alkalische Elektrolyse (AEL)
- Membran-Elektrolyse (PEMEL)
- Hochtemperatur-Elektrolyse (HTES)
- Methanisierung (chem./biolog.)

### Speichern

- Gasnetz
- Ehem. Gas-/Öl-Lagerstätten (Poren- und Kavernenspeicher)
- Oberirdische Gasspeicher

### Ausspeichern

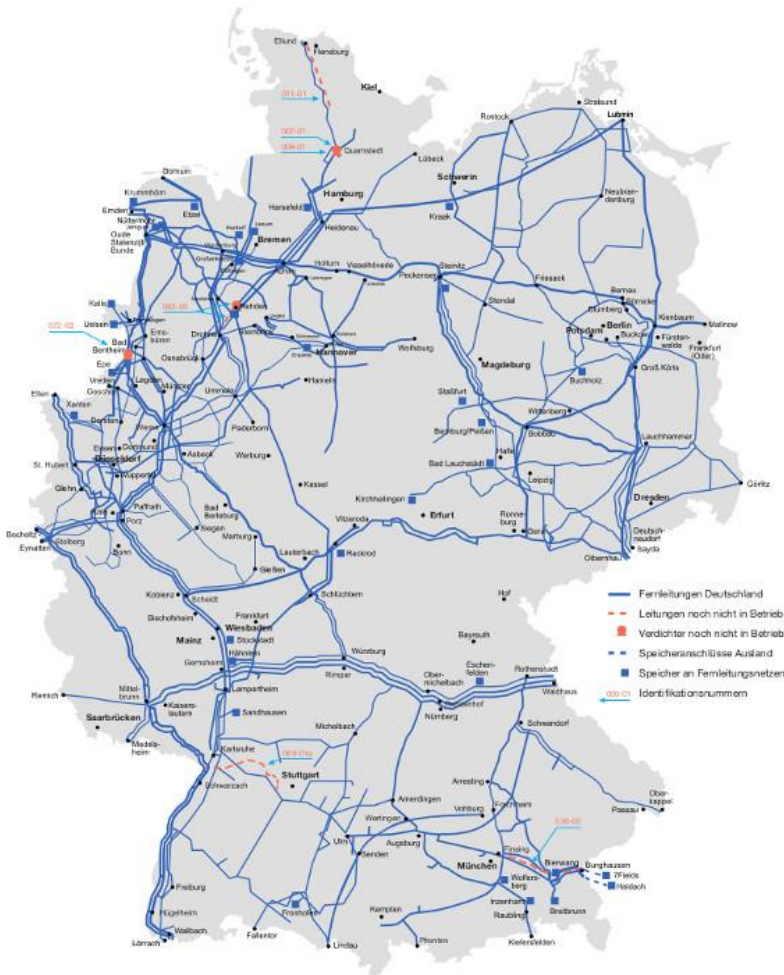
- Brennstoffzelle
- Gasturbine, GuD, BHKW
- Gasheizung, Gaswärmepumpe, Kältemaschinen
- Verbrennungsmotor (Mobilität, Luft-/Schifffahrt)
- Stoffliche Nutzung



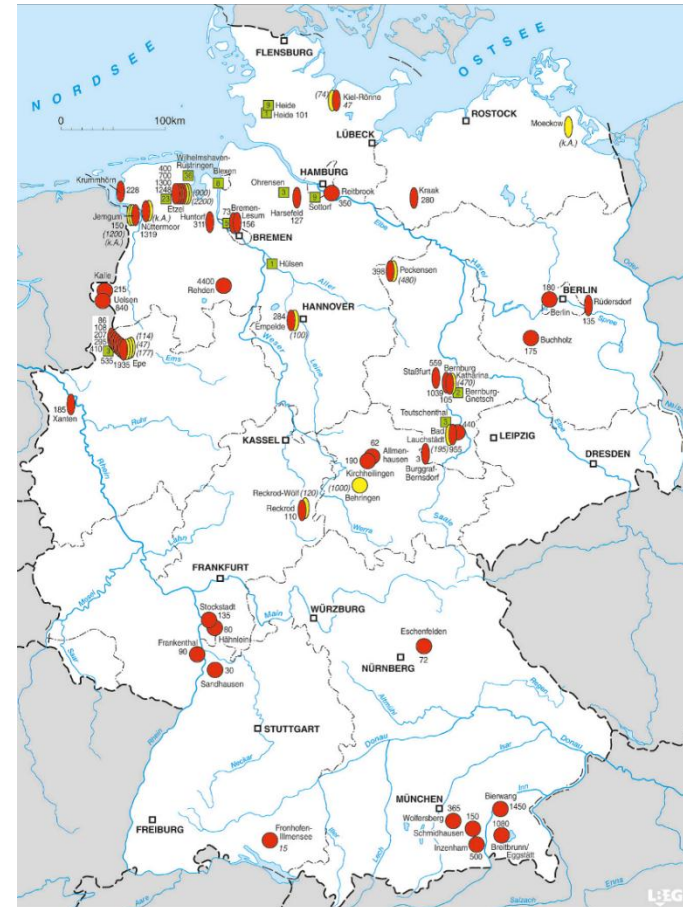
# Potentiale von Power-to-Gas

Mit ca. 230 TWh ausreichend Gasspeicherkapazität sind vorhanden

## Deutsches Gas-Fernleitungsnetz



## Gasspeicher in Deutschland

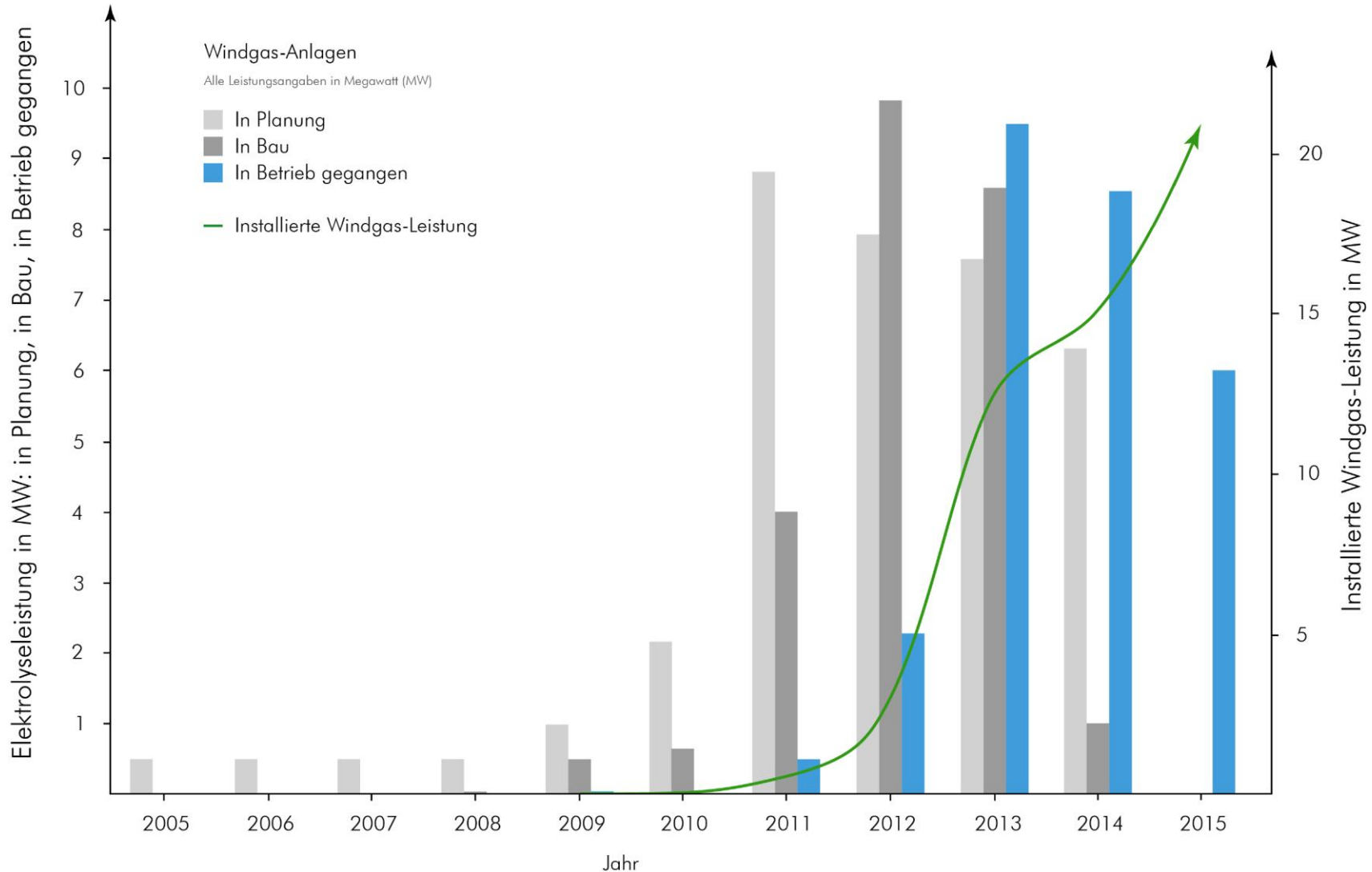


Quelle: Fernleitungsnetzbetreiber

Power-to-Gas – Die eierlegende Wollmilchsau? Puchheim, Agendafrühstück 2015, Martin Thema

# Potentiale von Power-to-Gas

PtG von der Idee zur Umsetzung: Projekte, Akteure, Entwicklung



# Power-to-Gas

Archaea-Bakterien oder Sabatier-Prozess



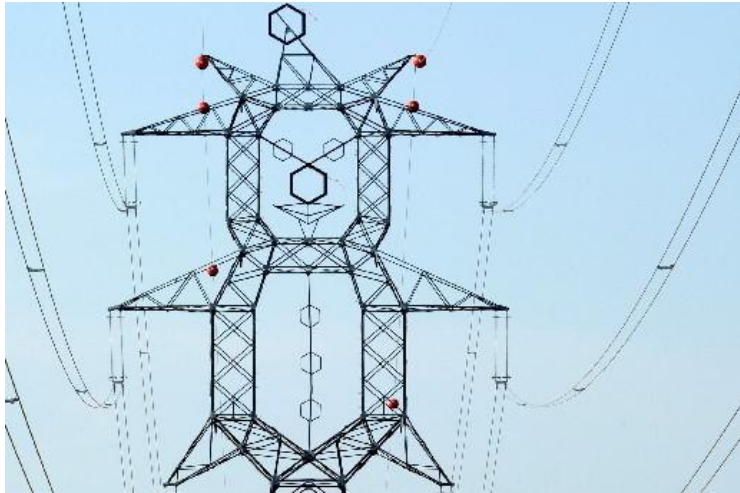
MicrobEnergy, Schwandorf (275 kW)

ZAE, Stuttgart (400 kW)



Audi E-Gas, Werlte (6 MW)





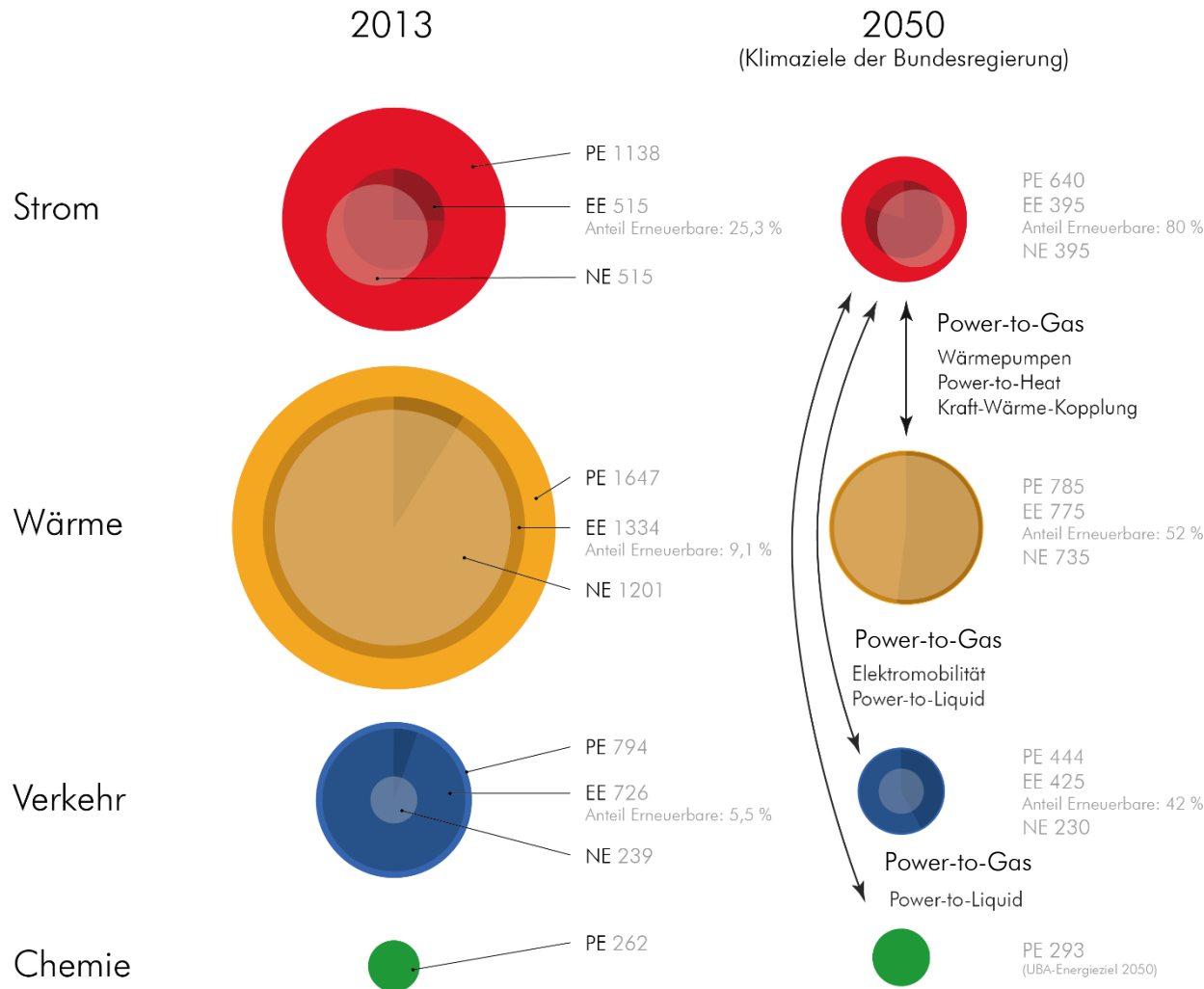
Herausforderungen unseres Stromsystems im Wandel  
Flexibilitäts- und Speicherbedarf, Energiespeicherarten

**Power-to-Gas**  
Konzept und Stand der Technik

Ausblick

# Power-to-Gas als verbindendes Element

Kopplung der Energiesektoren Strom, Wärme und Mobilität



Die Kreisflächen verhalten sich proportional zur Energiemenge  
 PE: Primärenergie in TWh nach Wirkungsgradmethode mit Wind, Solar und Wasserkraft = 100 %, aber verzerrter prozentualer Darstellung  
 EE: Endenergie in TWh, welche die exergetische Wertigkeit der unterschiedlichen Energieformen (Strom, Brennstoff, Kraftstoff) nicht unterscheidet  
 NE: Nutzenergie in TWh als Zielenergie zur Erfüllung der Energiediensleistung Strom, Wärme und Fortbewegung (mechanische Energie)  
 Darstellung auf Basis der BMWi-Energiedaten (2014), Statista (2015), Energieeinsparverordnung (EnEV 2014), UBA-Energieziel 2050 (2014)  
 © FENES, OTH Regensburg, 2015

# Fazit: Speicherproblem gelöst?

## Power-to-Gas – Technologie-Reifegrad

### Technologie-Reifegrad Windgas (Technology Readiness Level TRL)

Systemtest  
Inbetriebnahme, Betrieb

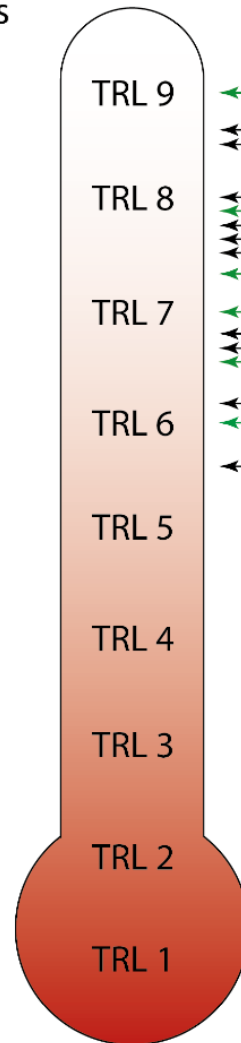
Systementwicklung

Demonstration

Technologieentwicklung

Machbarkeitsstudien

Grundlagenforschung



Blei-Säure-Batterien  
Erdöl  
Bioethanol  
Biodiesel

**Alkalische Elektrolyse**  
Kraft-Wärme-Koppelung  
Gasturbinenkraftwerk, GuD  
Pumpspeicherwerke  
Sensible Wärmespeicher

a | Nickel-Batterien

b | Schwungmassenspeicher

c | Flüssiggas/Autogas/LPG

d | Brennstoffzellen

e | Lithium-Batterien

f | Natrium-Batterien  
Power-to-Heat

g | Lastmanagement als Energiespeicher

h | **Methanisierung (chemisch)**  
Latentwärmespeicher

i | Kondensatoren  
**Membran-Elektrolyse**

j | Thermochemische Speicher

k | Druckluftspeicher

l | **Methanisierung (biologisch)**

m | Redox-Flow-Batterien

n | **Dampfelektrolyse**

Spulen



Technik vorhanden.  
Und jetzt?

# Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

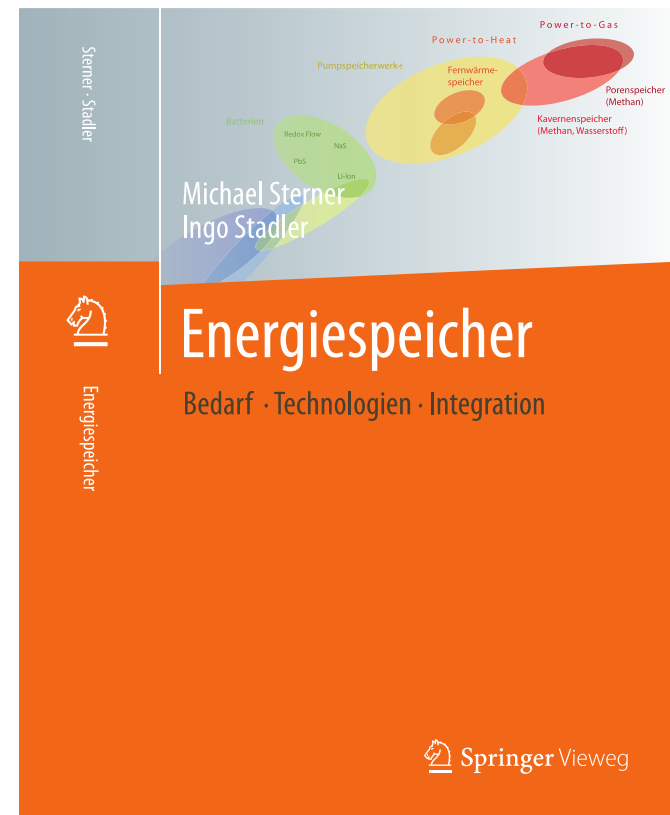
## Kontakt:

Martin Thema M.Sc. B.Eng.  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES)

OTH Regensburg  
Fakultät Elektro- und Informationstechnik  
Postfach 12 03 27  
Raum S-107  
93053 Regensburg

Mobil: +49 (0) 163 73 43 692  
Telefon: +49 (0) 941 943-9200  
[martin.thema\(at\)oth-regensburg.de](mailto:martin.thema(at)oth-regensburg.de)  
[martin.thema\(at\)solelektrik.de](mailto:martin.thema(at)solelektrik.de)



750 S. ISBN: 978-3-642-37379-4



# Was kann Power-to-Gas?

Und was kann es nicht?



## Kann

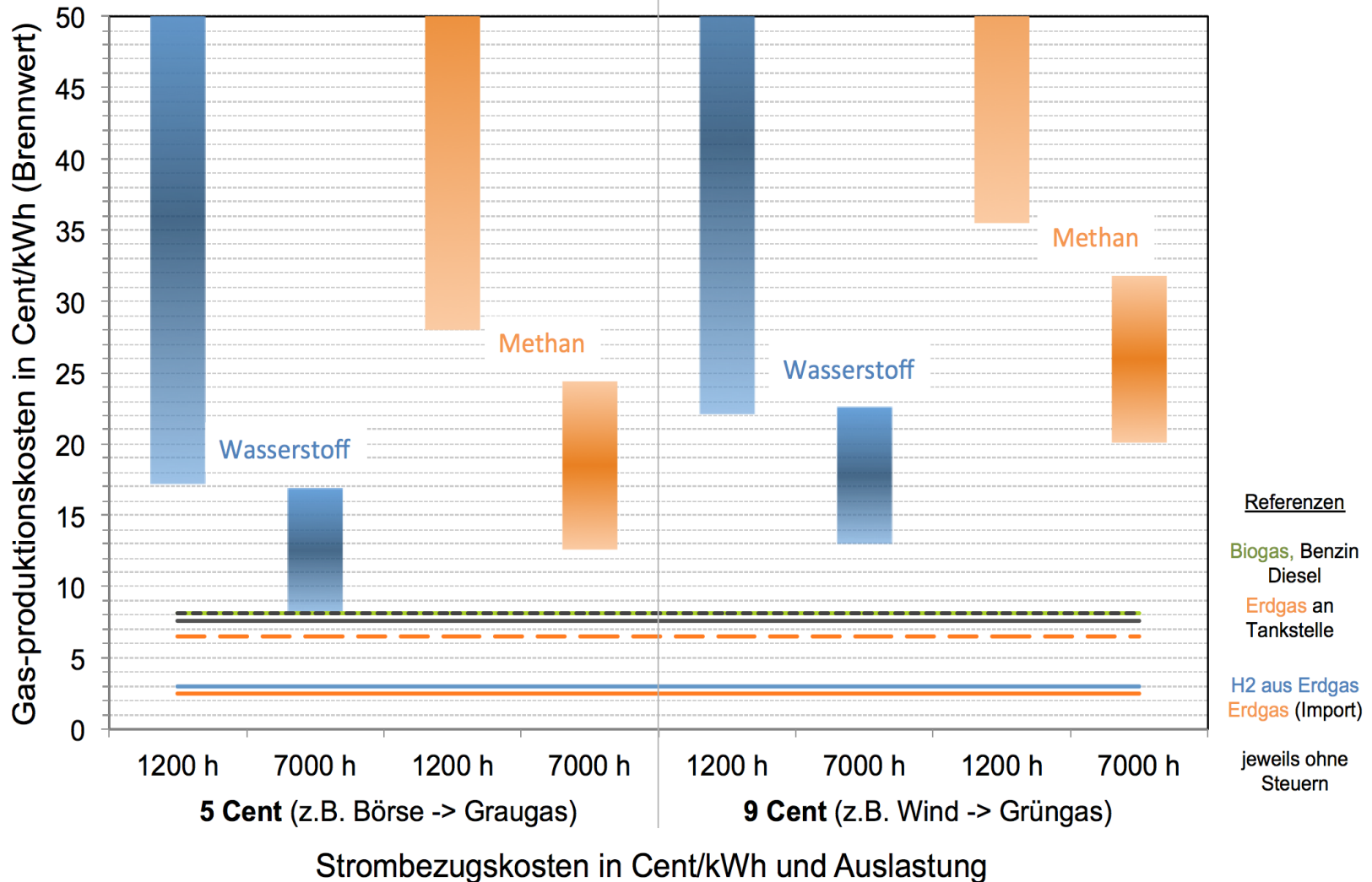
- Strom mit geringen Speicherverlusten für lange Zeit speichern,
- Vorhandene (fossile Erdgas-) Infrastruktur langfristig nutzbar machen,
- Schwankungen im Stromnetz dämpfen,
- In Zukunft das Stromsystem kostengünstig halten und
- Versorgungssicherheit gewährleisten

## Kann nicht

- Effizienzmaßnahmen, Konventionellen Netzausbau und alternative Speicheroptionen ersetzen
- Alleinseligmachende Alternative zum konventionellen Netzausbau sein,
- Schon heute wirtschaftlich betrieben werden.

# Power-to-Gas

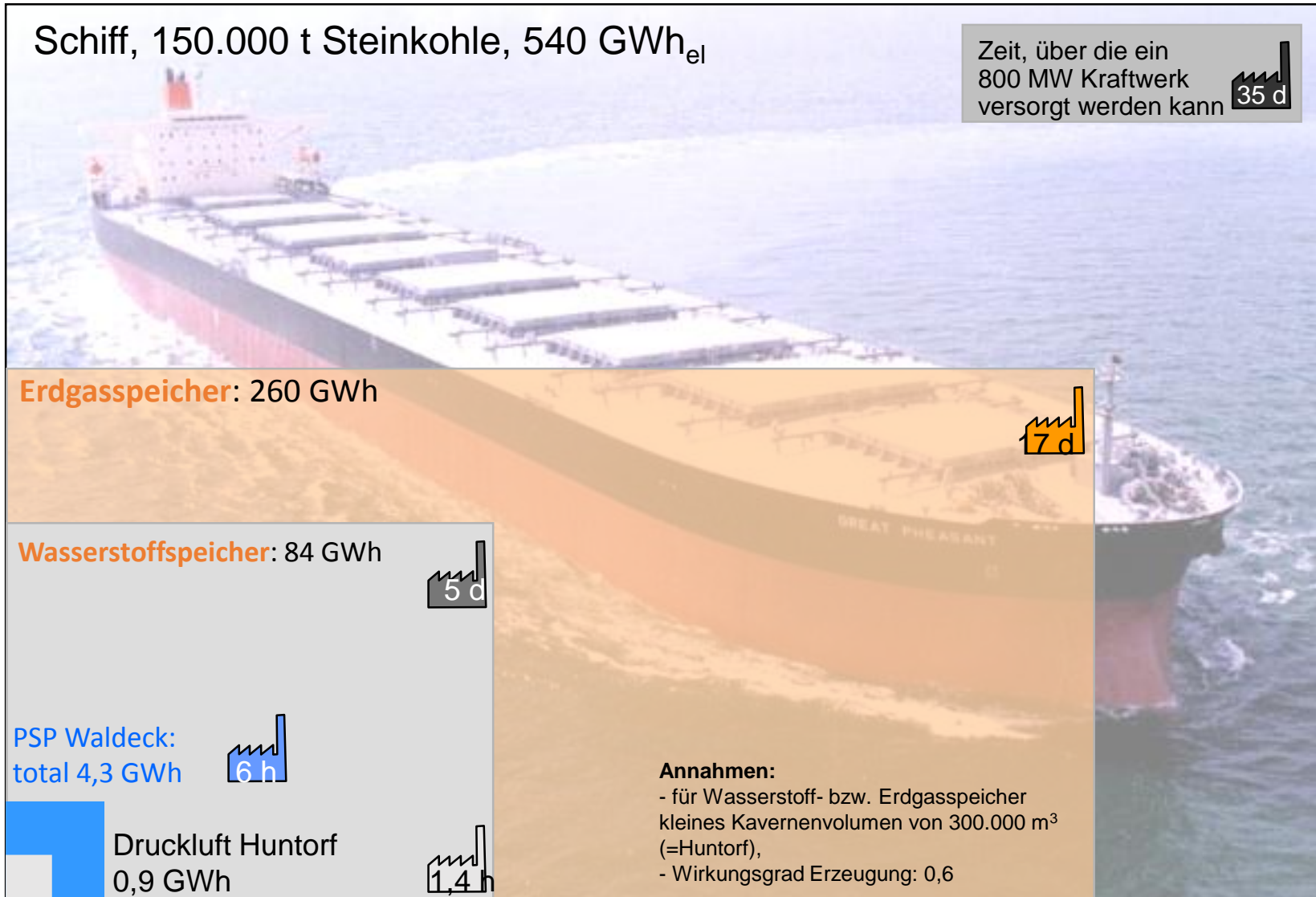
Gestehungskosten für Gas aus erneuerbaren Energien (EE-Gas)  
 Ergebnisse DVGW Projekt: Energiespeicherkonzepte



Quelle: Köppel, DVGW 2012

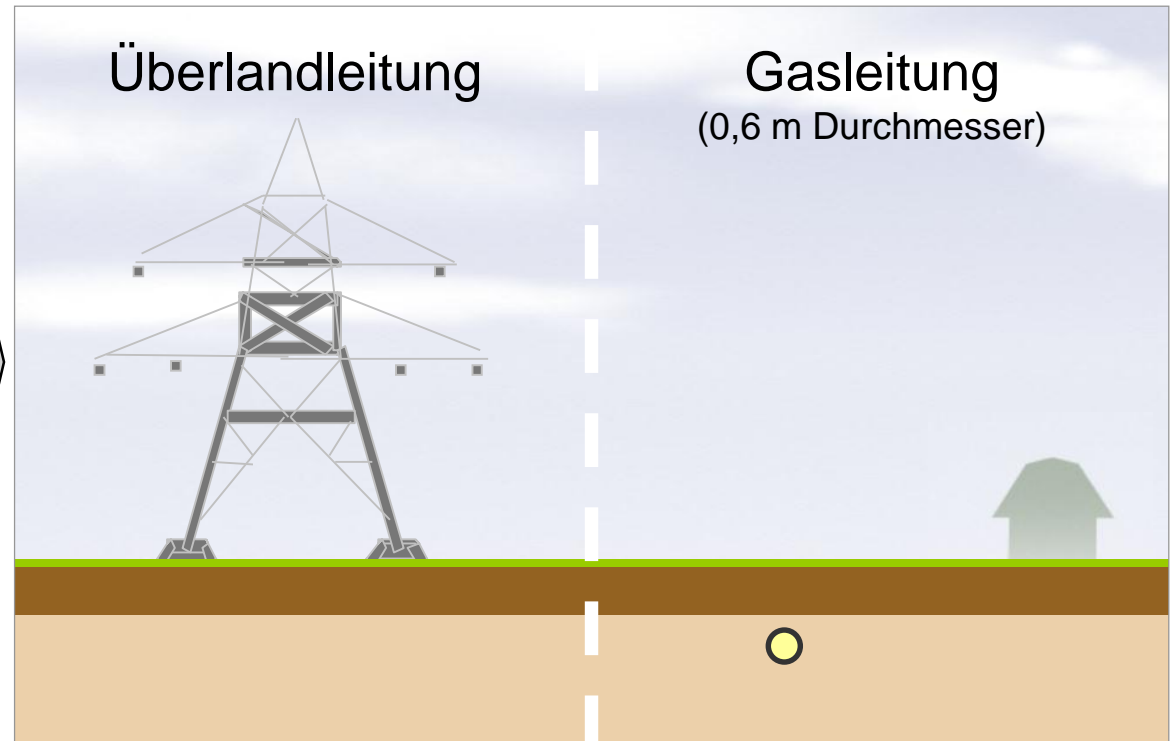
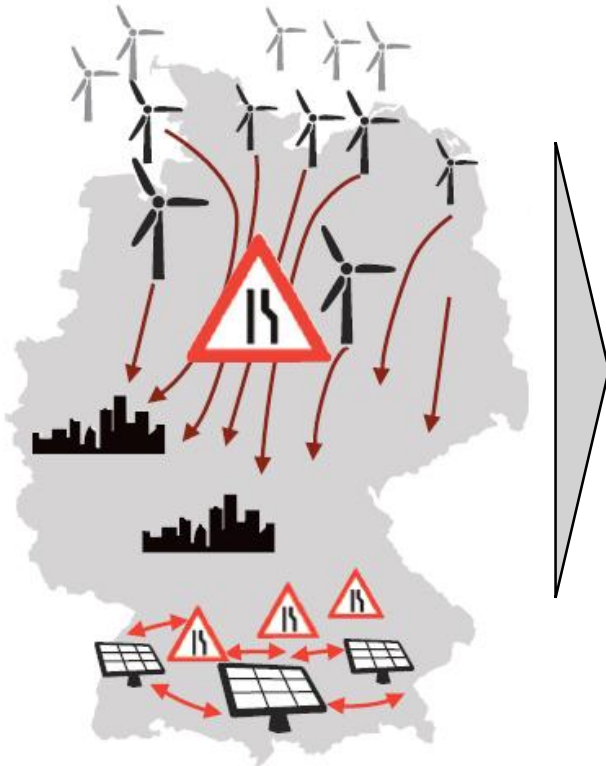
# Energieinhalt im Vergleich

Kohle vs. Gas vs. PSW vs. Druckluft



# Gastransport vs. Stromtransport

Transportleistung von 1 GW im Vergleich



1 GW = Großkraftwerk oder  
200 große Windkraftanlagen oder  
200 000 Photovoltaik-Aufdachanlagen

Quelle: DUH, 2011 - E-ON Ruhrgas angepasst, 2012

# Gastransport vs. Stromtransport

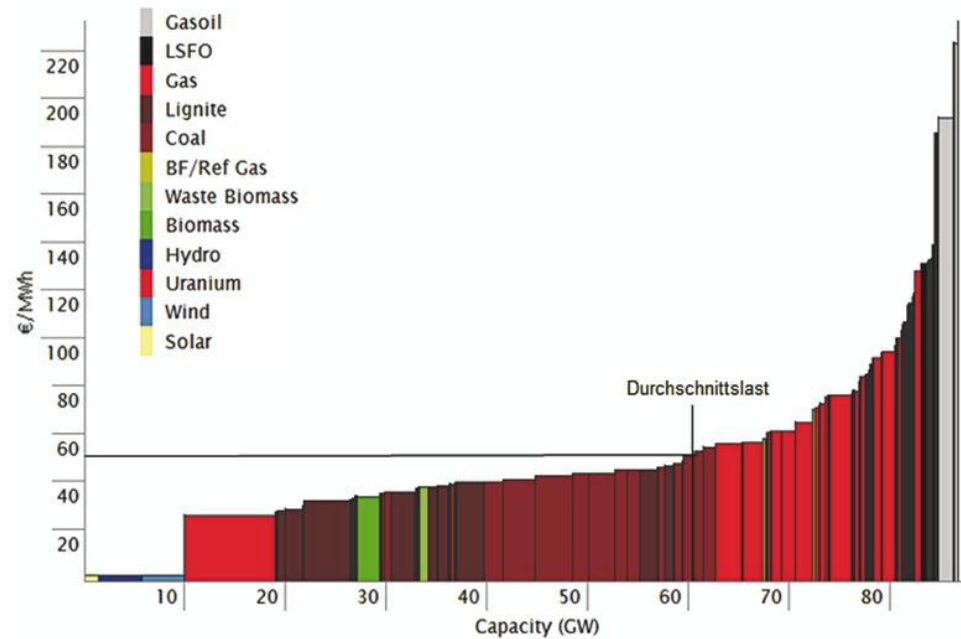
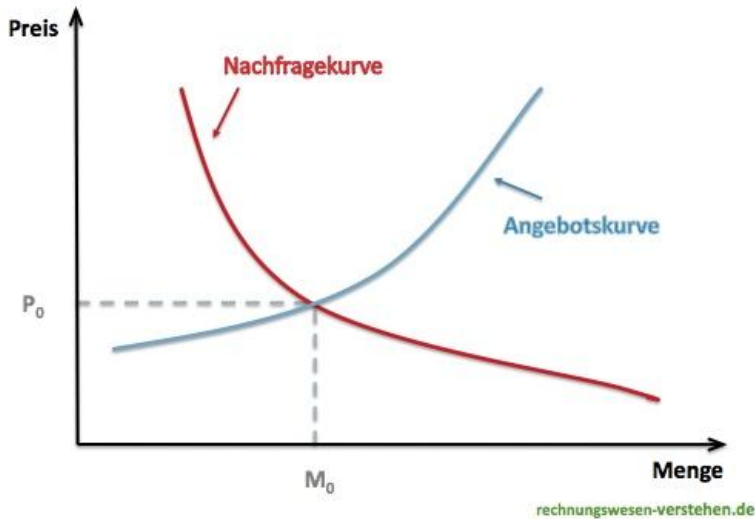
Pipeline nach Belgien und Großbritannien



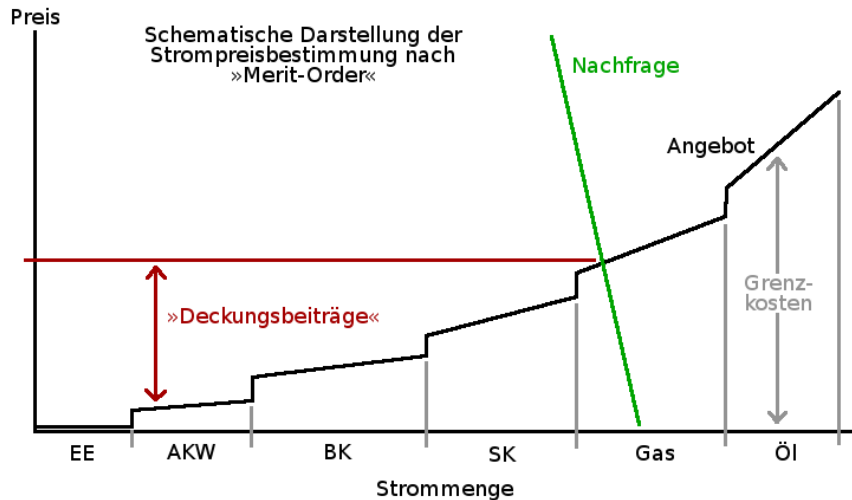
Quelle: Bauer, Wingas Transport 2011

# Erneuerbare drängen auf den Markt

## Merit-Order der Kraftwerkseinsatzplanung



Lastfaktoren: Wind: 15 %, Solar: 5 %



# Es gibt 1000 gute Gründe für die Energiewende

Lassen Sie sich nicht verunsichern

- Eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien ist

- ökologisch / klimatechnisch notwendig
- technisch möglich
- ökonomisch vorteilhaft auf lange Sicht und kostet uns jährlich ca. 10 Mrd. EUR über 15 Jahre (ca. 5% mehr als sonst)
- Chancen: 100 000e von Arbeitsplätzen und Erhalt der natürlichen Lebens- und Wirtschaftsgrundlagen



- Herausforderungen

- Umbau der Energieversorgungsstrukturen (v.a. Investitionen)
- Technologie- und Wissenstransfer
- "Transformation" des Bewusstseins (Menschen mitnehmen über Beteiligung und gesellschaftlichen Konsens)



- Entscheidend

- politischer Wille und Akzeptanz + Beteiligung der Bürger