

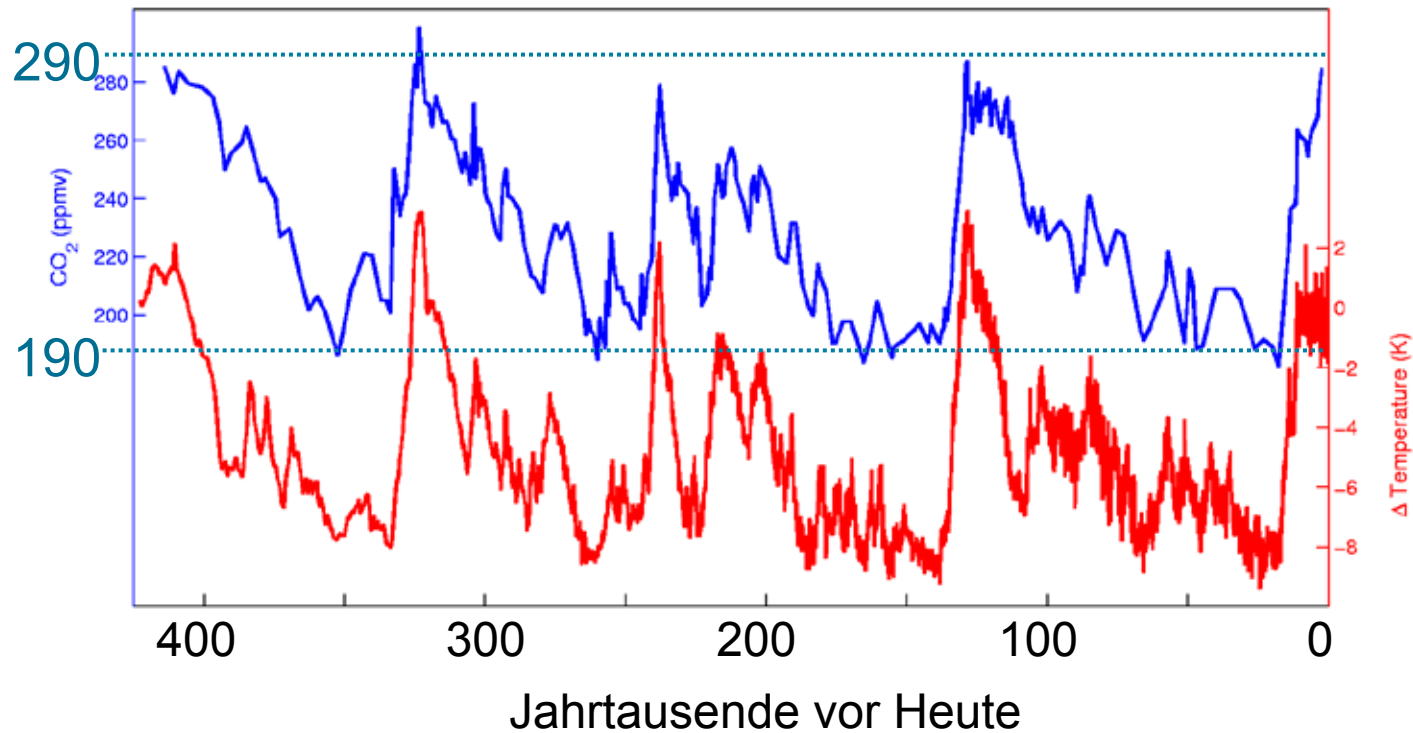


# Inhalt

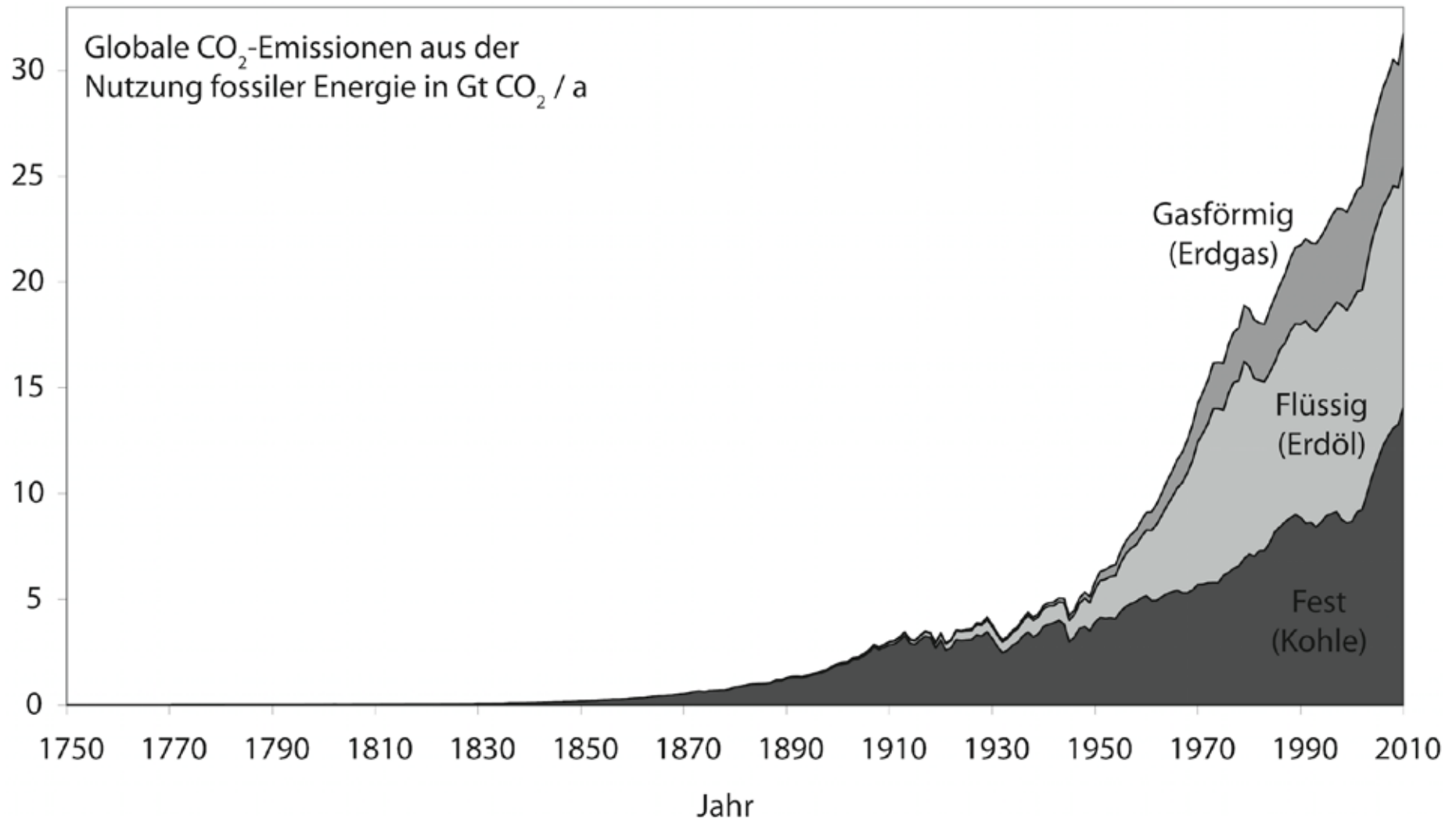
- 1) **Speicher im Kontext Energiewende**
- 2) **Speicherbedarf – Ergebnisse VDE Studie**
- 3) **Speichertechnologien – Fokus Power-to-Gas**
- 4) **Ausblick Verkehr – Strombasierte Kraftstoffe - Segelenergie**
- 5) **Zusammenfassung**

# Natürlicher vs. menschengemachter Klimawandel

## CO<sub>2</sub>-Konzentration und Temperatur im Laufe der Jahrtausende

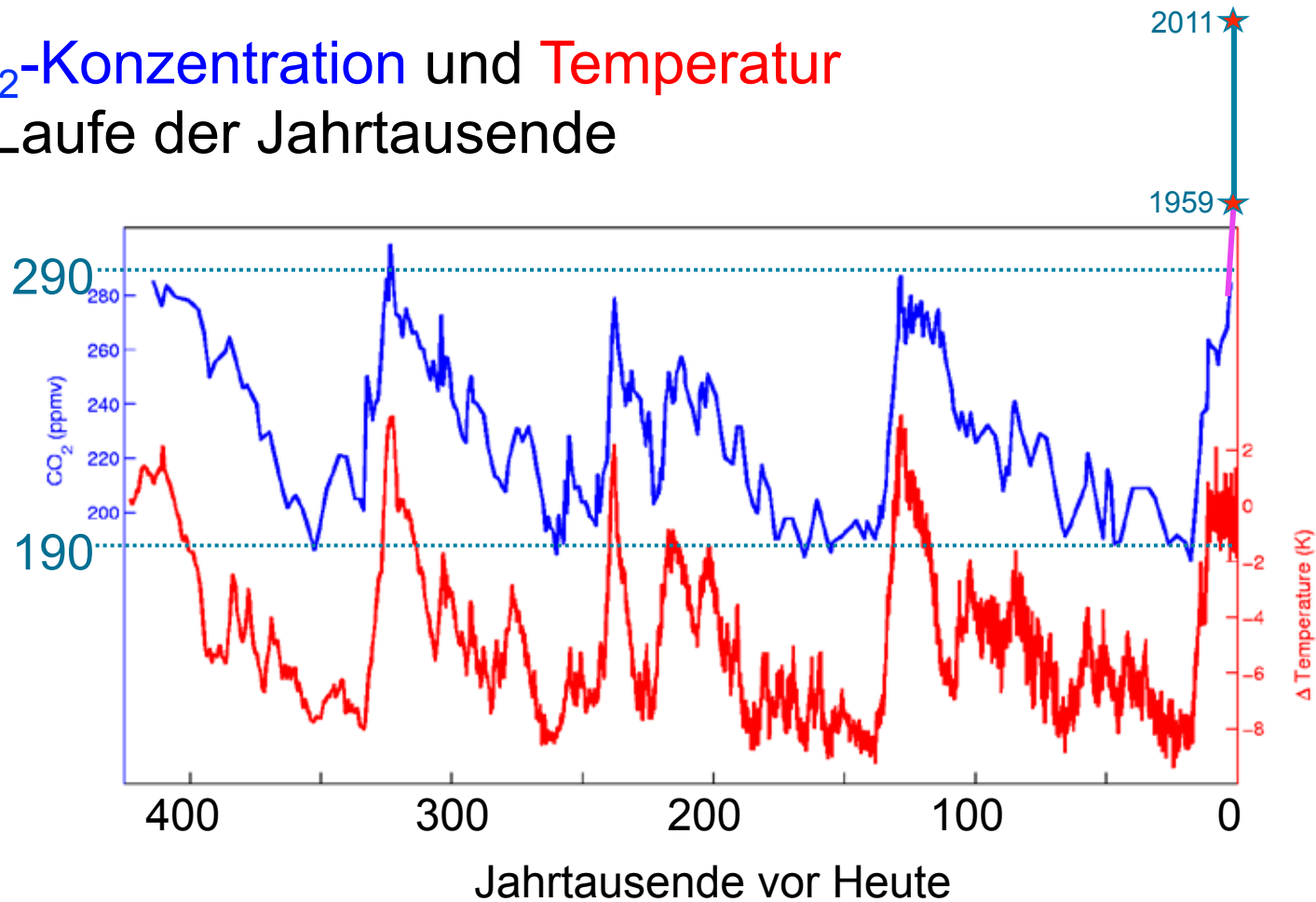


# Energiebedingte Emissionen zw. 1750 und 2010



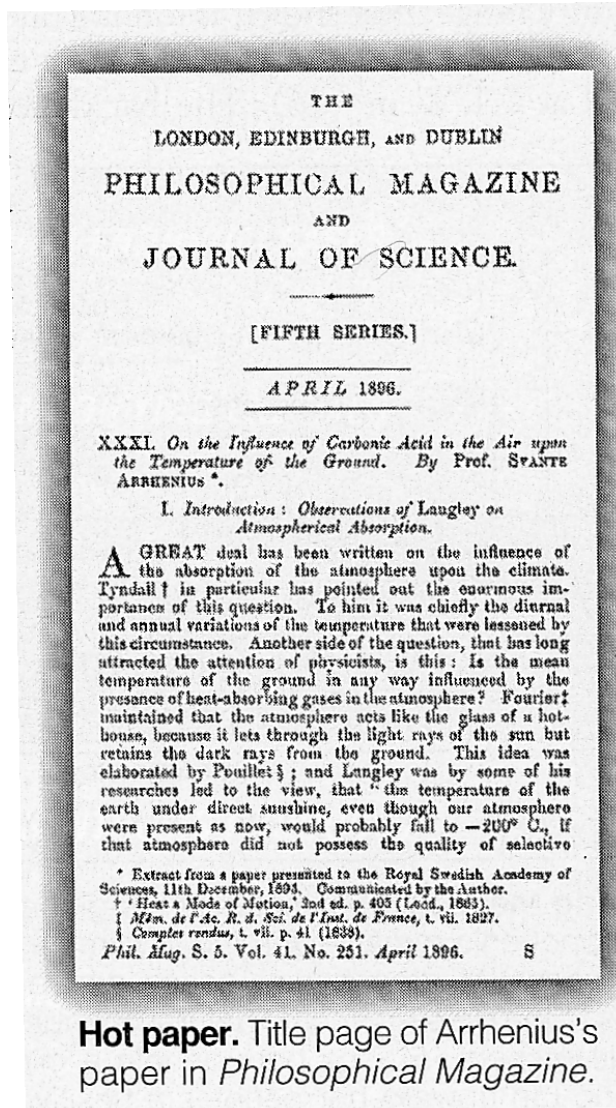
# Natürlicher vs. menschengemachter Klimawandel

## CO<sub>2</sub>-Konzentration und Temperatur im Laufe der Jahrtausende



# CO<sub>2</sub> ist ein Treibhausgas

Arrhenius 1896 (4-6 °C)



Hot paper. Title page of Arrhenius's paper in *Philosophical Magazine*.

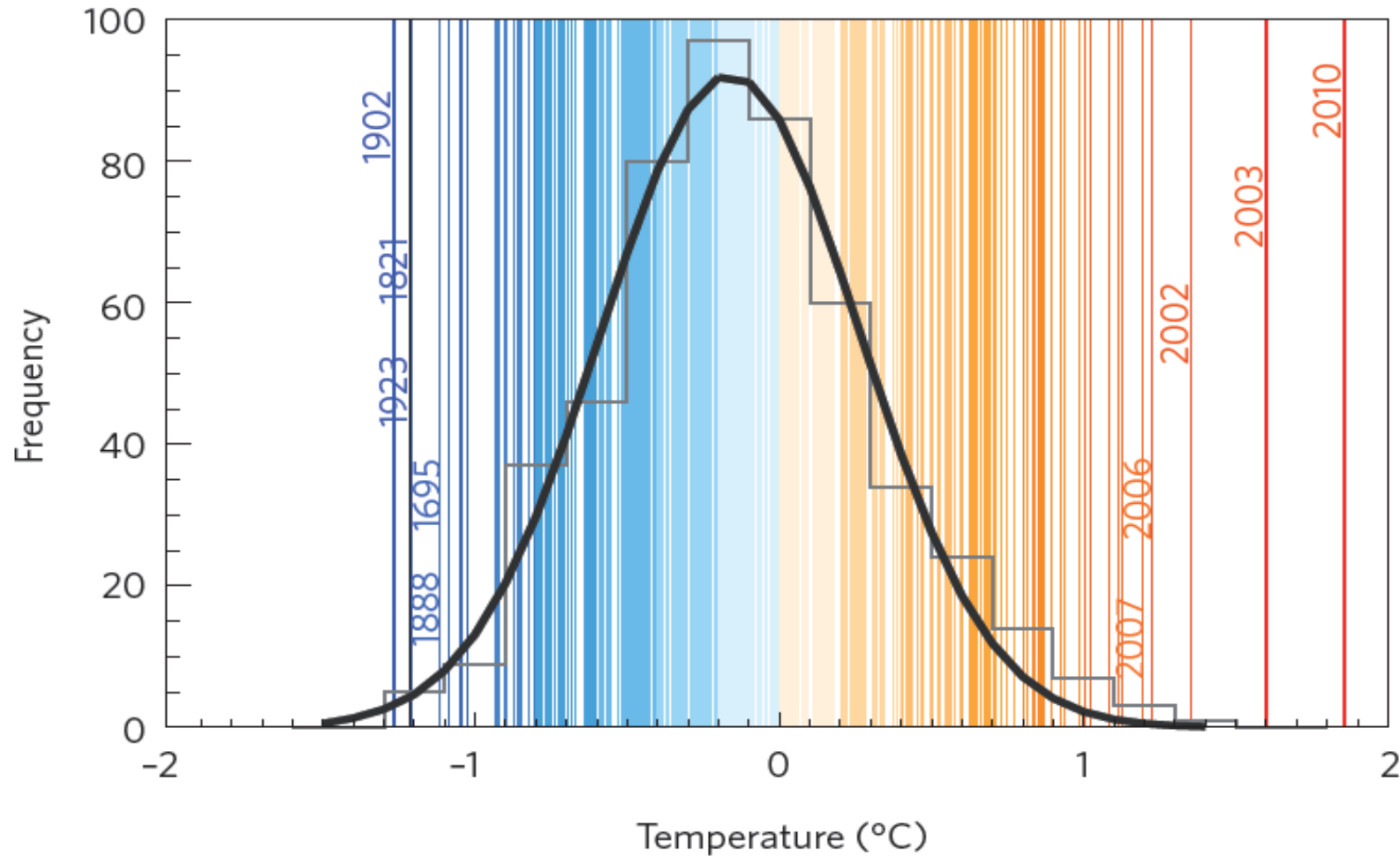
Effekt der CO<sub>2</sub>-Verdoppelung:

“Klimasensitivität”

3 ± 1 °C

Es folgt:  
Störung durch den  
Menschen sollte bisher  
0,7 – 0,9 °C Erwärmung  
verursacht haben

# Temperaturmessungen → Klimawandel in den letzten 500 Jahren eindeutig korreliert mit anthropogenen CO<sub>2</sub> Emissionen



Hitzewellen in Europa in den letzten 500 Jahren  
Verteilung der Jahresmittel-Temperaturen in Europa 1500 – 2010

# Klimawandel kostet Lebensraum – auch in Deutschland Energiewende ist notwendig zum Schutz des Lebens



PNP Juli 2013

## Studie: Zeit der Wetter-Extreme setzt sich fort

Genf. Hitzewellen, Überschwemmungen, Wirbelstürme: Zwischen den Jahren 2001 und 2010 hat die Welt mehr extreme Klimaerscheinungen erlebt als früher. Zugleich war die erste Dekade des 21. Jahrhunderts nach Erkenntnissen von UN-Experten die wärmste seit etwa 1850, als die regelmäßige Aufzeichnung von Wetterdaten begann. Der Trend zur Erderwärmung setze sich fort, erklärten Wissenschaftler der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) in Genf. „Steigende Konzentrationen von Treibhausgasen verändern unser Klima mit weitreichenden Folgen“, warnte WMO-Generalsekretär Michel Jarraud bei der Vorlage der Studie „Das globale Klima 2001-2010 – Eine Dekade der Extreme“. Dafür hatten meteorologische Dienste Daten aus 139 Ländern zusammengetragen. – dpa/Journal



Ob die Dürre im Norden Kenias 2009 oder die Flutkatastrophe heuer in Niederbayern (rechts das Autobahnkreuz Deggendorf inmitten des Überschwemmungsgebiets): Beides zählt zu den extremen Wetterentwicklungen, die eine neue Studie beschreibt. – Fotos: dpa/Birgmann



# Langfristiges Handeln zum Wohl der Menschen **notwendig**

Industriepolitik

vs.

Klimapolitik



„Kurzfristiger Profit“

vor

„langfristigem Wohlstand“

Grundproblem in Politik & Wirtschaft: Kurzfristiges Handeln

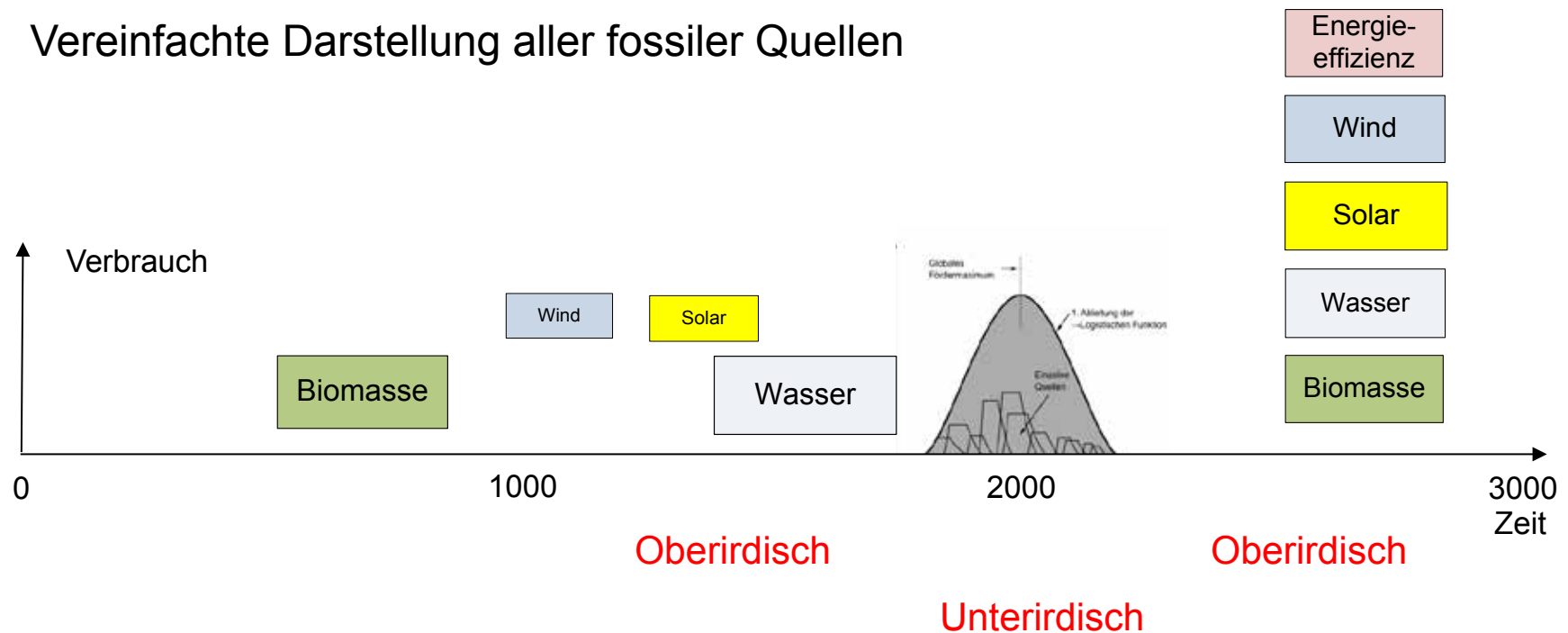
Klimaschutz: „Regional“ eher machbar als „national / global“

# Die Energieversorgung wird wieder oberirdisch

Das fossile Zeitalter: Ein infinitesimal kleines Zeitfenster der Erdgeschichte

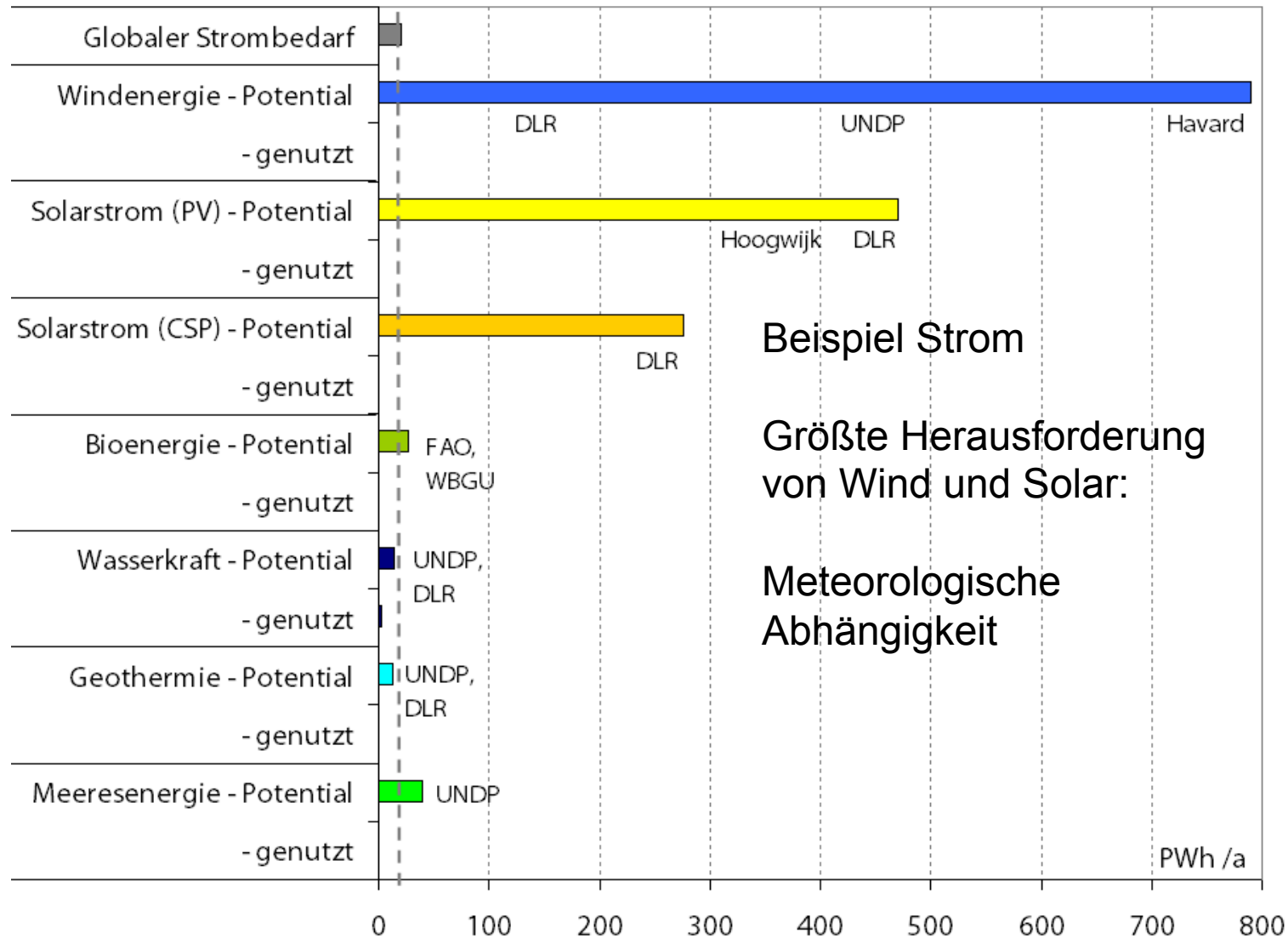


Vereinfachte Darstellung aller fossiler Quellen



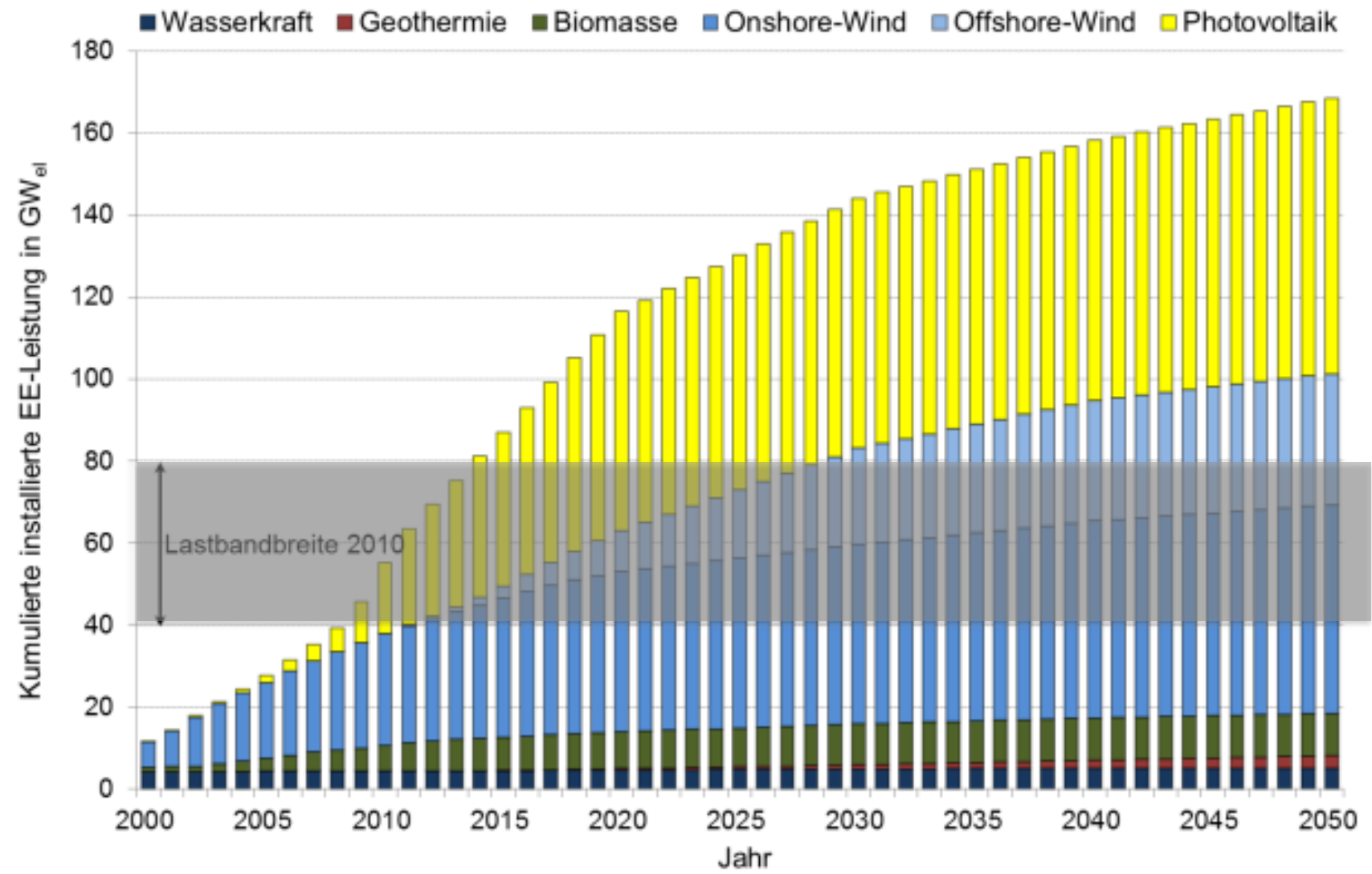
→ Energiewende = Erneuerbare Energien und Energieeffizienz

# Das globale technische Potential erneuerbarer Energien



# Installierte EE-Leistung übersteigt bald Lastbänder

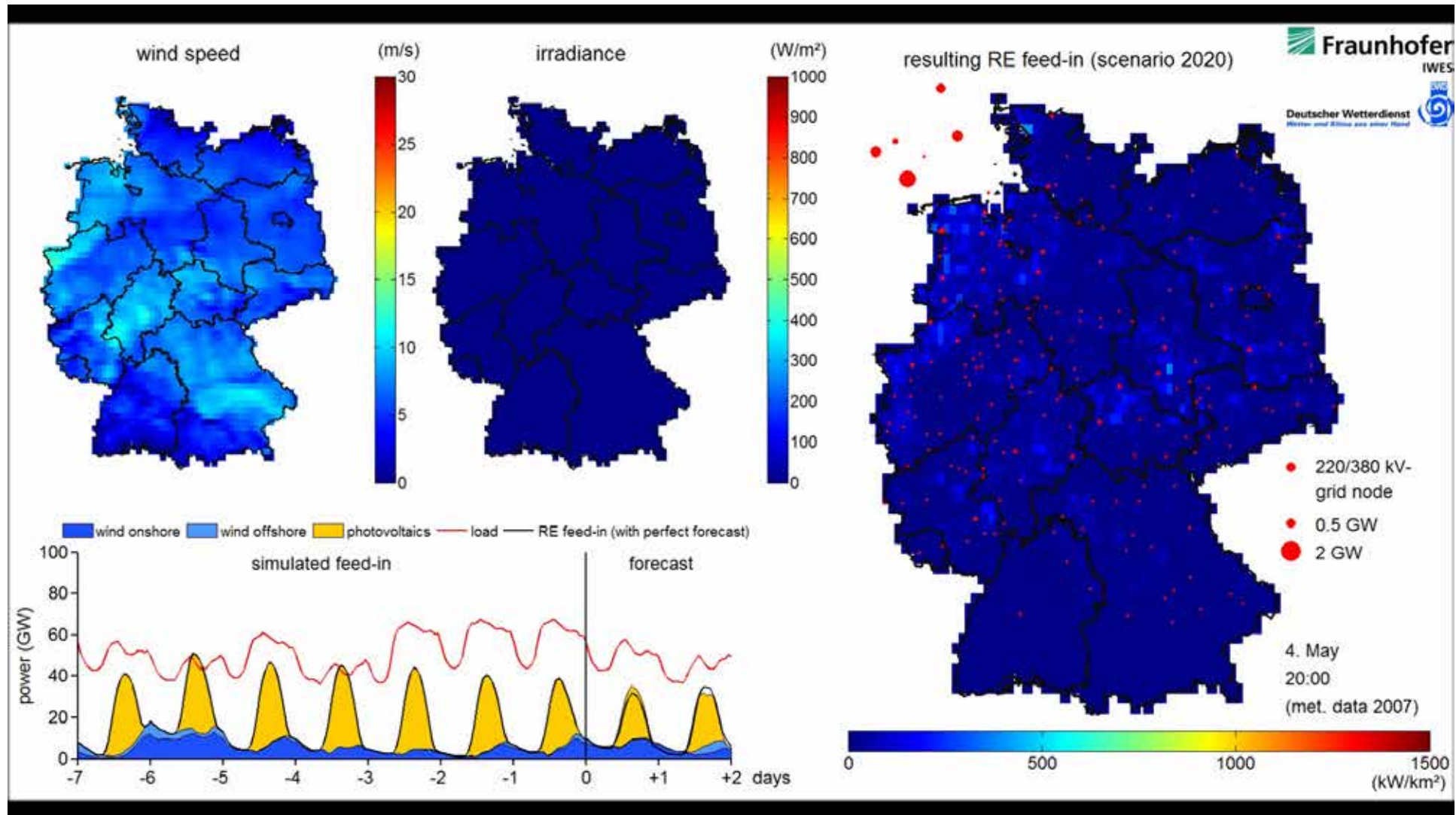
System rotierender Massen → Inverterbasiertes System



## Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung bis 2050

# Wind und Photovoltaik werden zur leitenden Größe

→ Technologie und Markt danach ausrichten

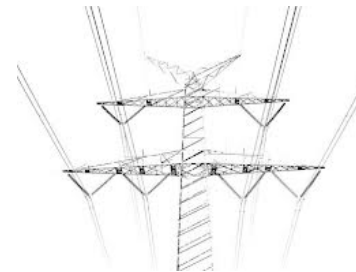
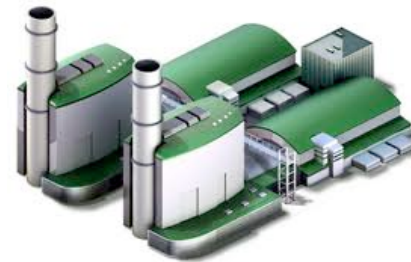


Nationaler Aktionsplan erneuerbare Energien: 2020 – 39% EE-Anteil

# Wind & Solar schaffen Energiewende nicht alleine

Wir brauchen Flexibilitäten

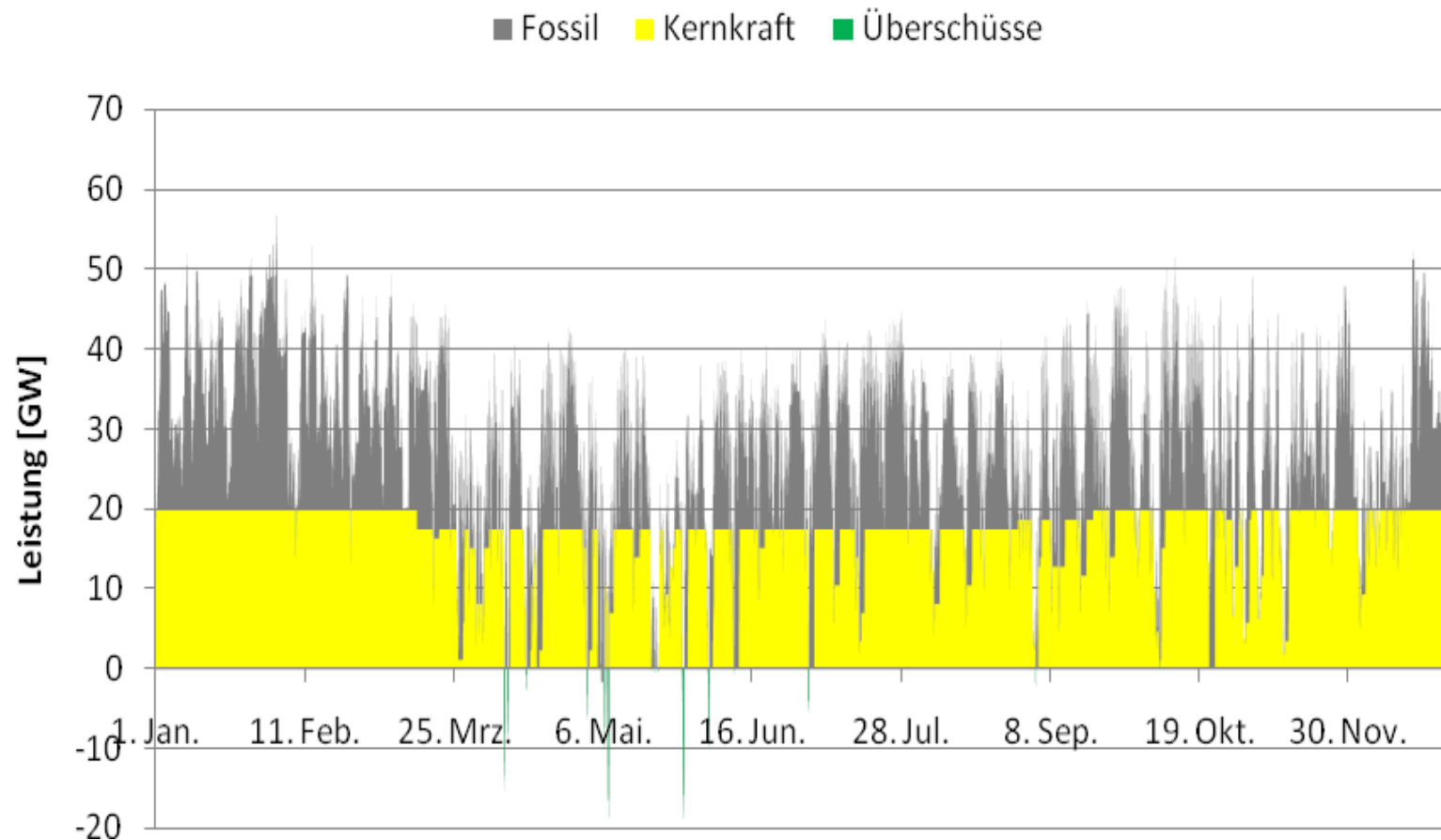
1. Hoch flexible Kraftwerke
2. Flexible Verbraucher
3. Stromnetze
4. Speicher



Kurzzeit	(Pumpsp., Batterien, Druckluft)
Langzeit	(Pumpsp., Gasnetz & -speicher)

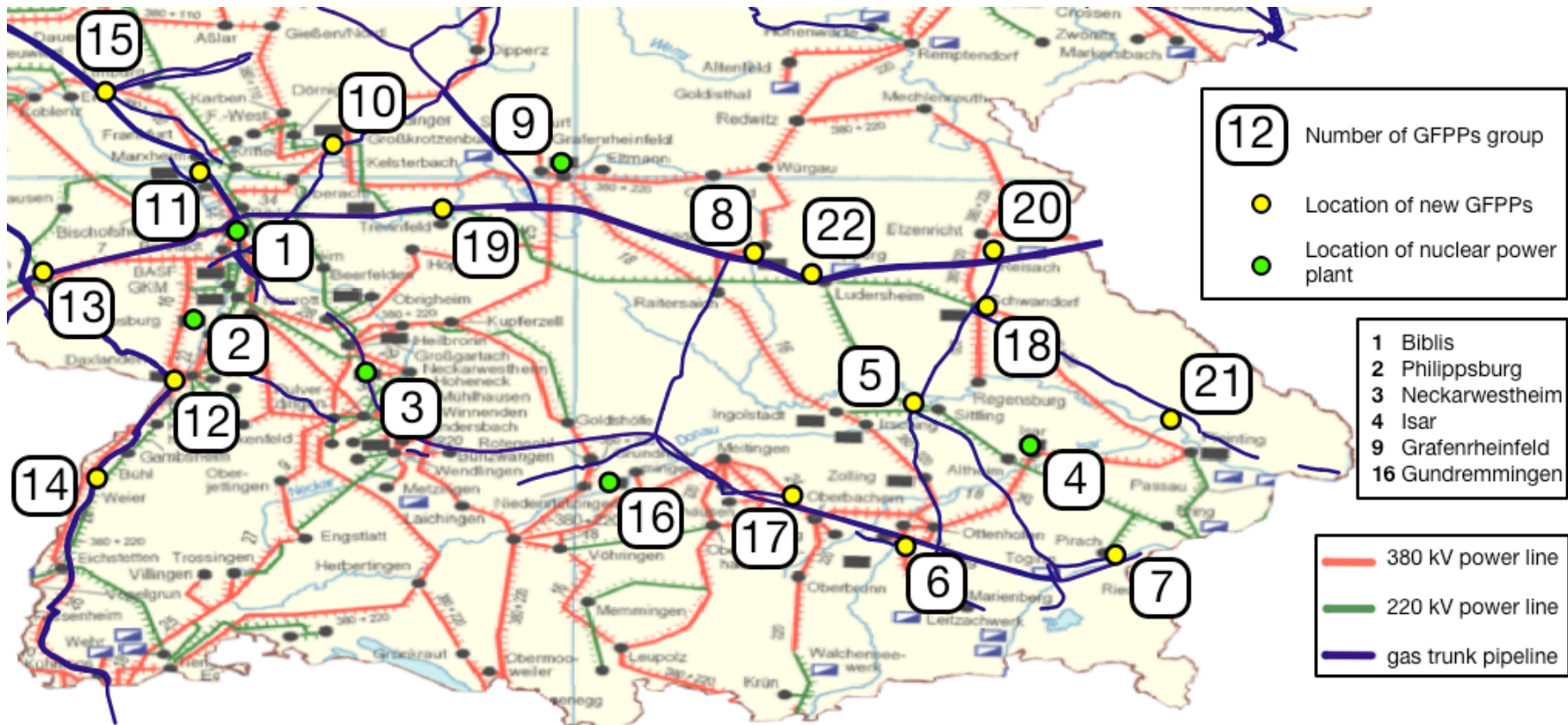


# EE Fluktuationen erfordern flexible Kraftwerke → Mit Kernkraft nur schwer technisch umsetzbar



# Ersatz von AKW in Süddeutschland große Herausforderung

## Kostengünstigste Lösung: Windenergie + Gastechnologien



- Wind fördern, nicht bremsen (Mythen: „Umzingelung“, Rentabilität, Lärm)
- Gaskraftwerke / Gasturbinen vorausschauend planen
- Kein n-1 Versorgungssicherheitsproblem, wenn Thüringer Brücke nicht kommt



# Inhalt



- 1) Speicher im Kontext Energiewende
- 2) **Speicherbedarf** – Ergebnisse VDE Studie
- 3) Speichertechnologien – Fokus Power-to-Gas
- 4) Ausblick Verkehr – Strombasierte Kraftstoffe - Segelenergie
- 5) Zusammenfassung

# VDE ETG Studie: Energiespeicher für die Energiewende (2012)

## Fragestellung



- Bilanzierung von Verbrauch & Erzeugung
  - Kurzzeitspeicher
  - Langzeitspeicher
  - Flexible Kraftwerke & KWK
  - Flexible EE-Erzeugung (Abregeln, Biogas)

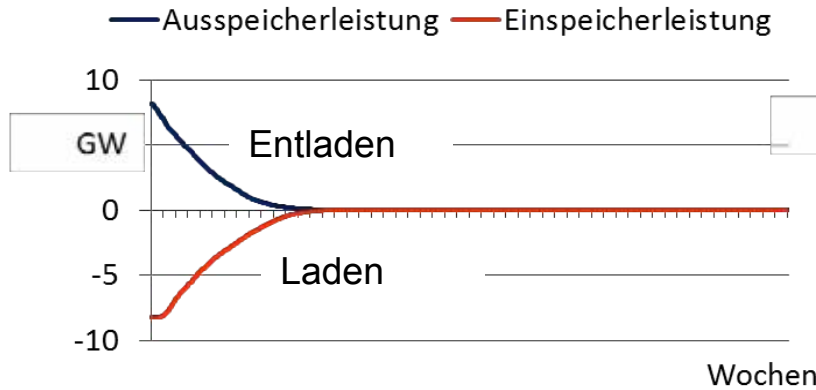


**VDE**

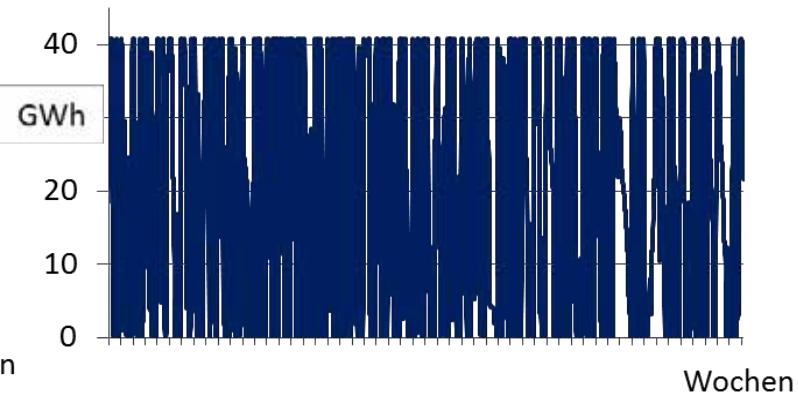
# 40% EE Speichernutzung

Auslastung 600 – 900 h  
 Zyklen 150

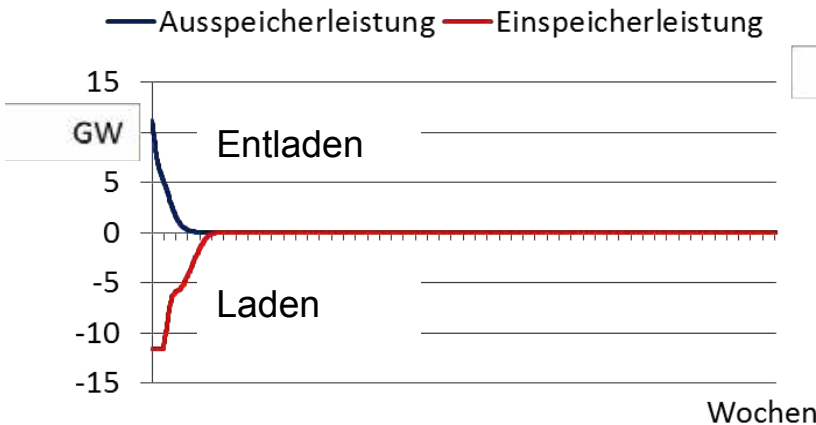
## Kurzzeitspeicher



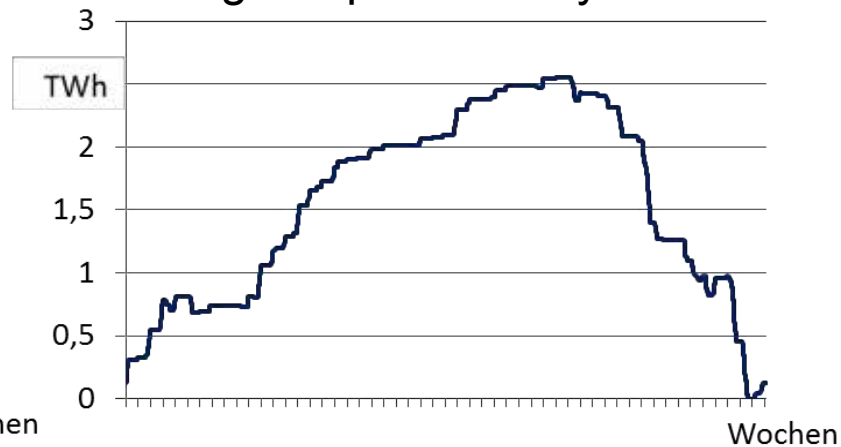
## Kurzzeitspeicher - Zyklen



## Langzeitspeicher



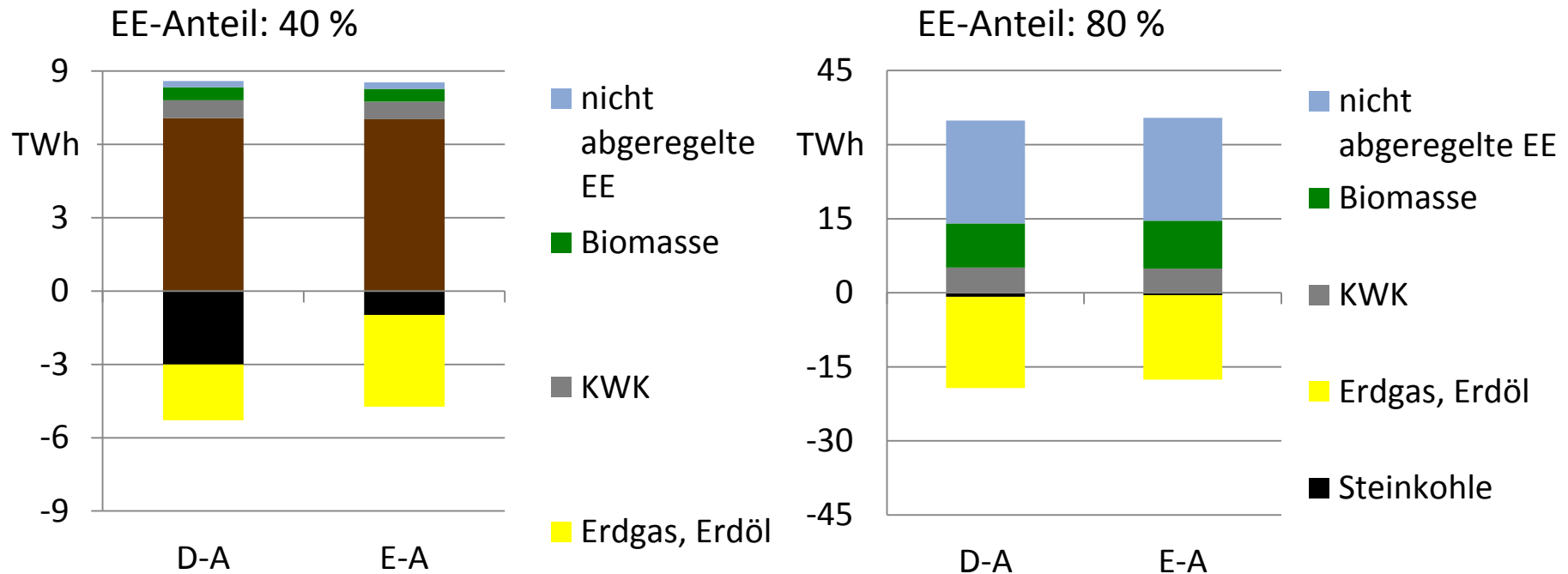
## Langzeitspeicher - Zyklen



EE-Abregelung ohne Speicher: 0,11%  
 mit Speicher: 0,01%

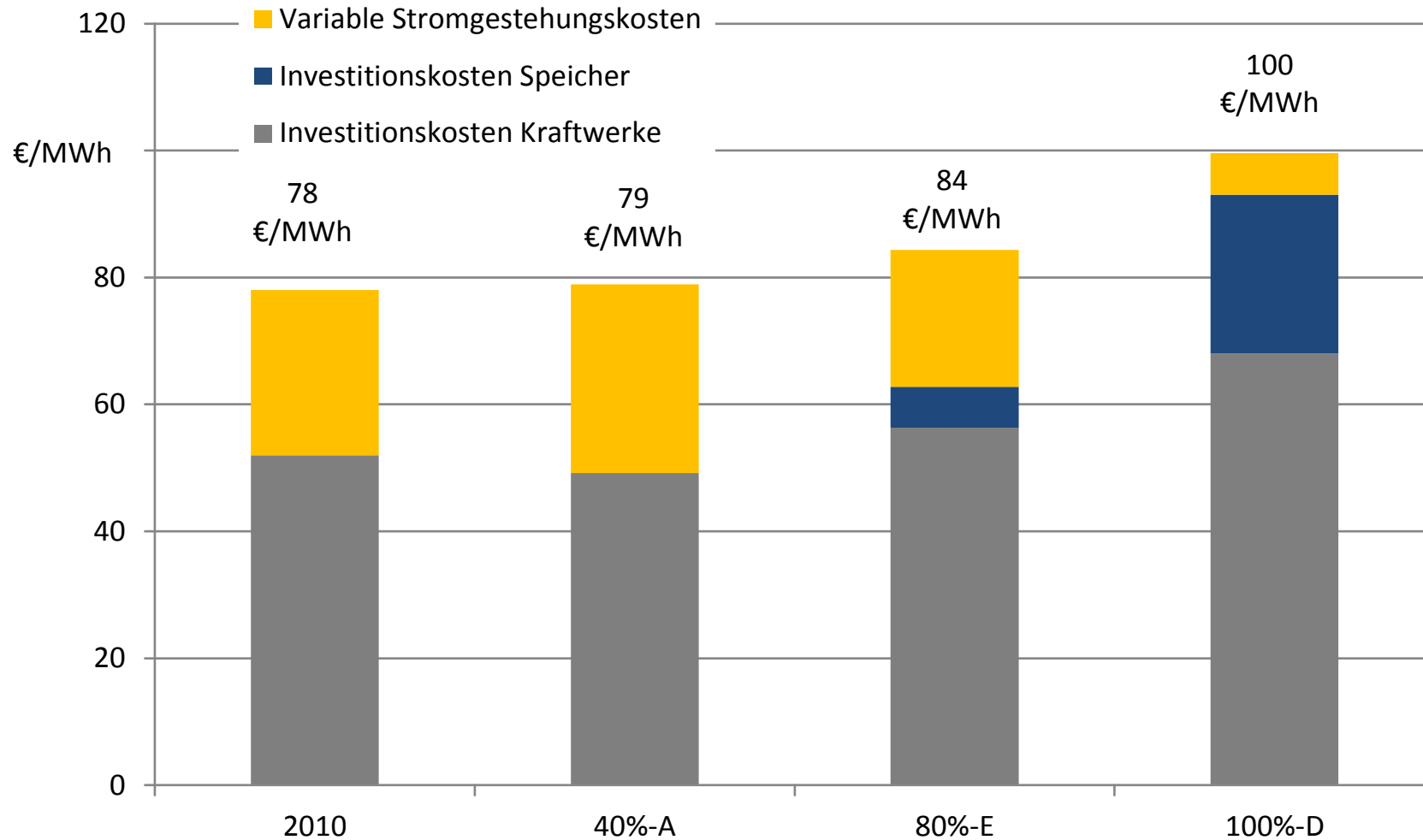
Auslastung 100 – 400 h  
 Zyklen 1

# Veränderung der Stromerzeugung durch Speicherzubau



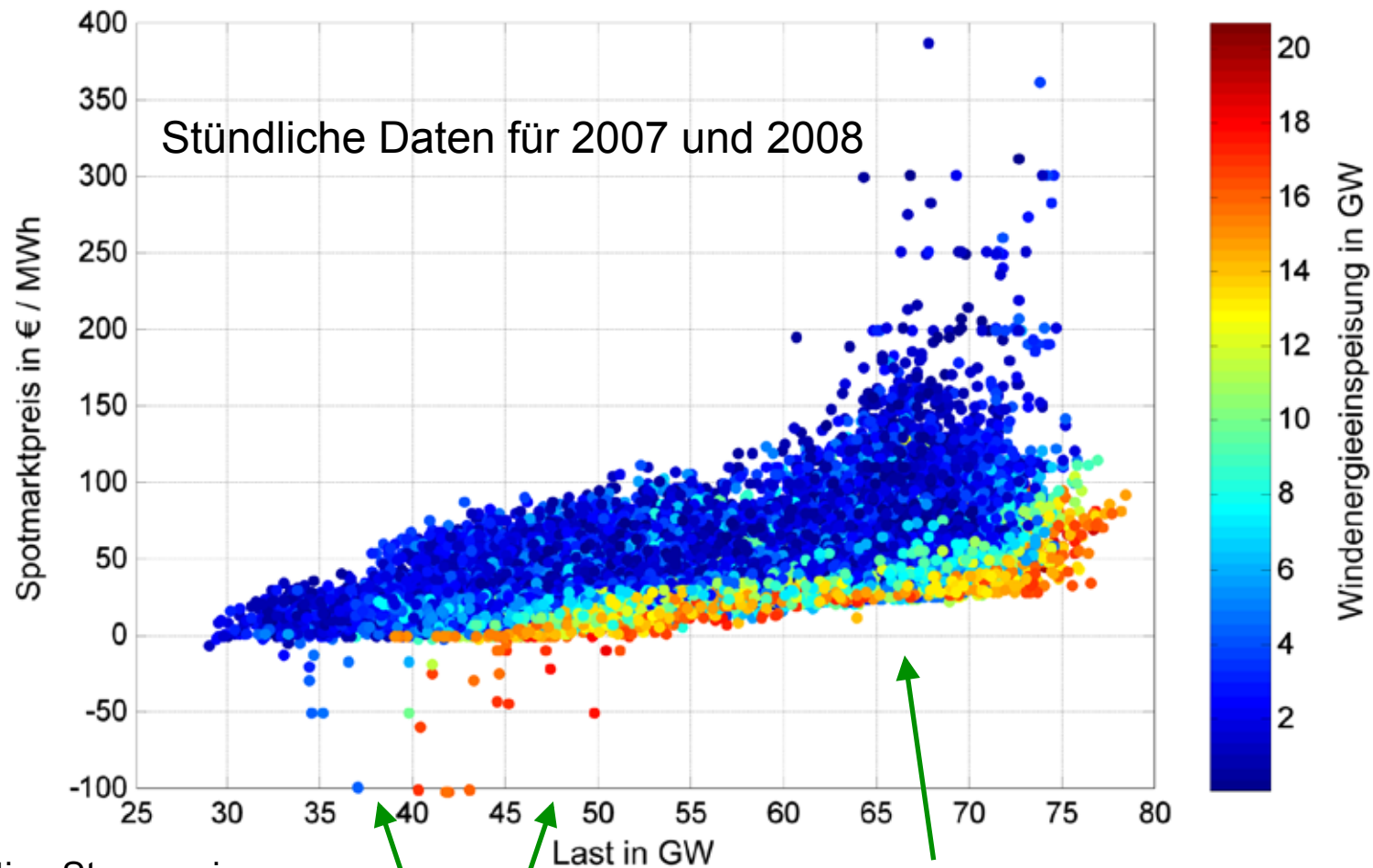
- Speicher erhöhen Braunkohleanteil
- Speicher verdrängen Gas-KW
- Minimaler Nutzen für EE
- Speicher vorwiegend für EE
- Speicher ersetzen Gas-KW

# Energiewende: Stromgestehungskosten steigen selbst mit Speichereinsatz nur um ca. 10%.



# Korrelation Wind & Last & EEX

## Negative Strompreise auch bei Windflaute



Negative Strompreise zu Schwachlastzeiten bei wenig / viel Wind

Wind senkt den Spotmarktpreis

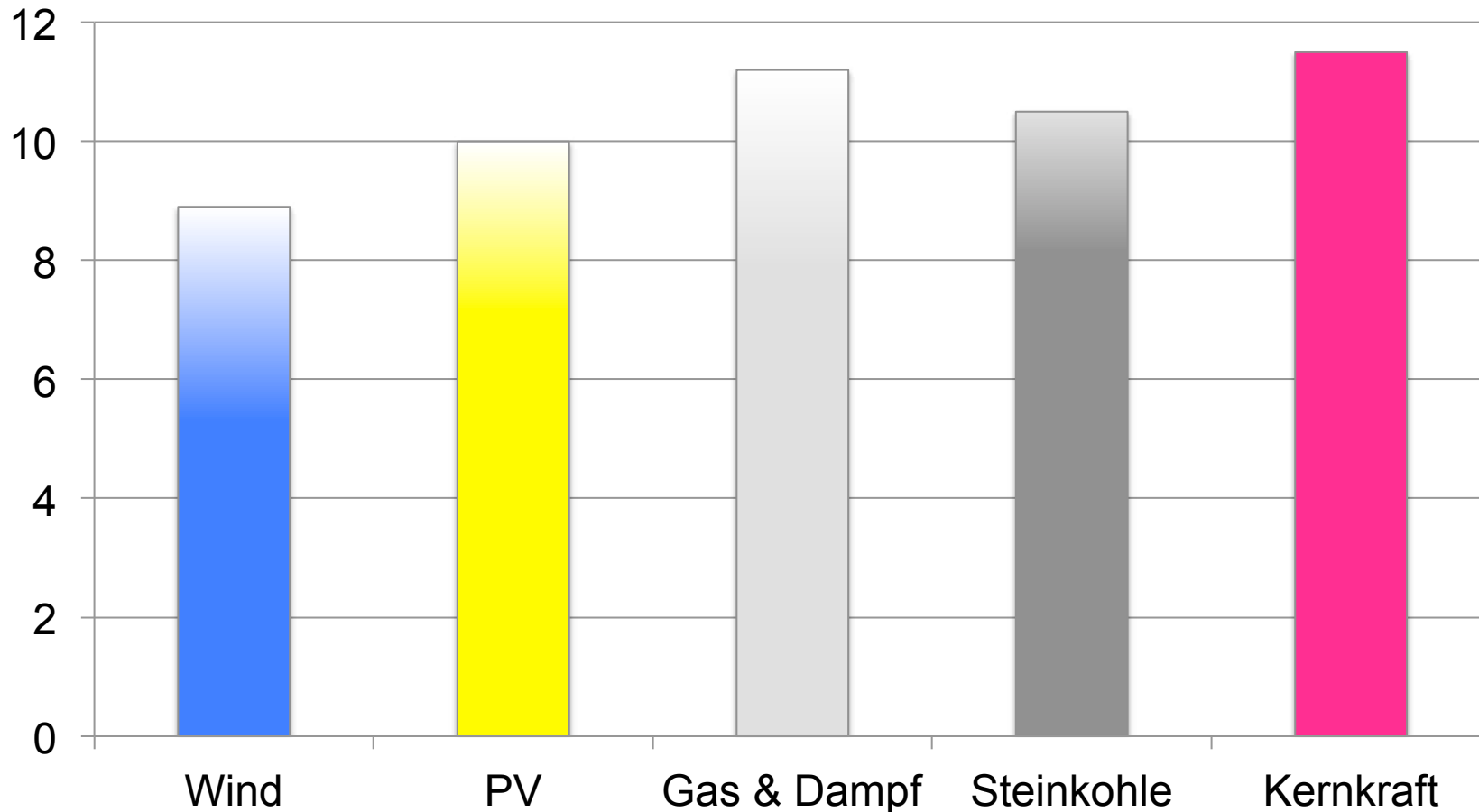
# Gestehungskosten Strom

## Wind & Sonne gleichauf / am Günstigsten



Nicht enthalten: Speicherkosten

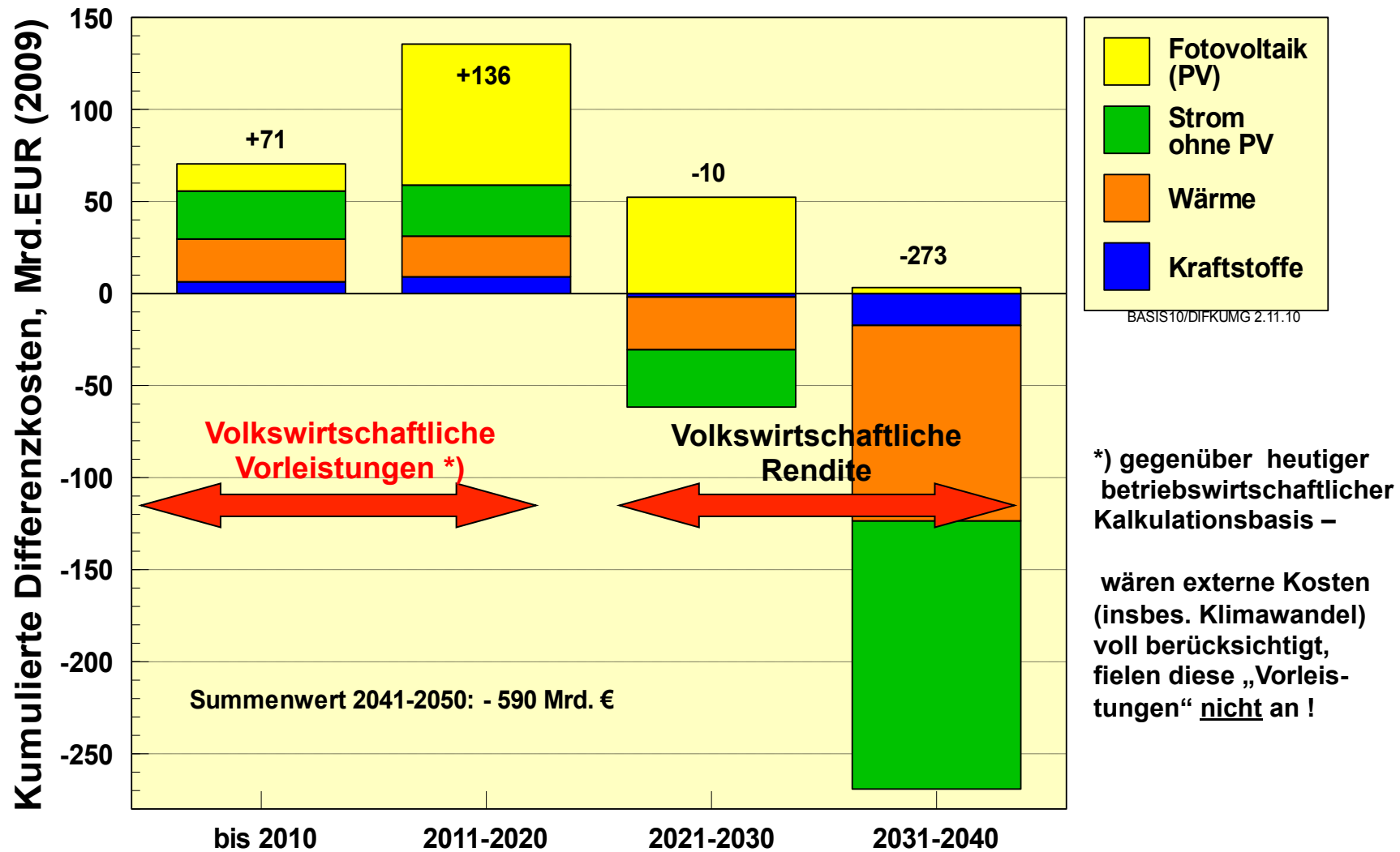
Externe Kosten (Entsorgung, etc.)



Gestehungskosten für **neue** Kraftwerke in €-ct. / kWh 2013

# Preiswerte und kostenstabile Energieversorgung nur mit Energiewende - Volkswirtschaftliche Kosten und Erlöse

- Basisszenario 2010 A, Preispfad A -



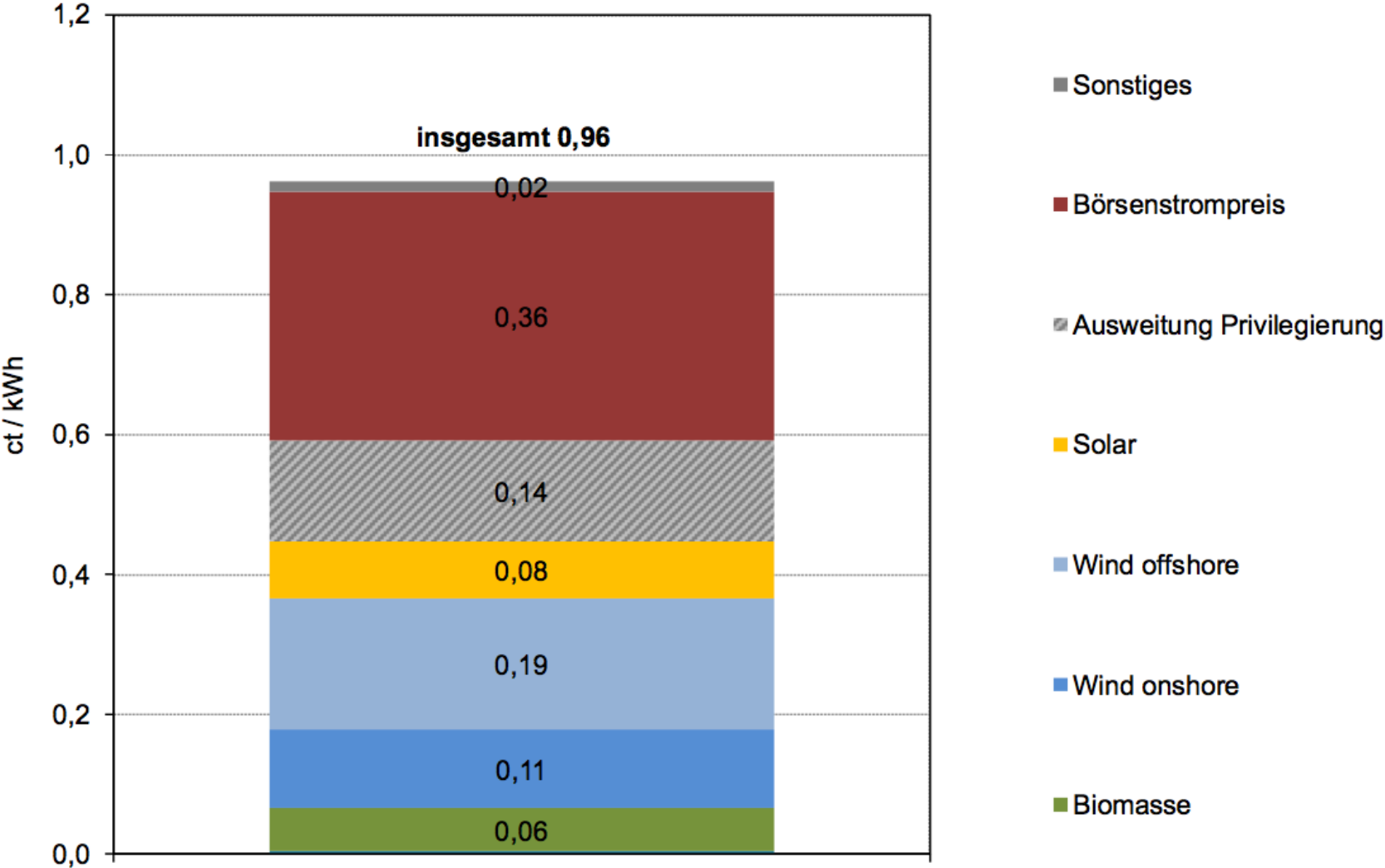


# Externe Kosten des Energieverbrauchs

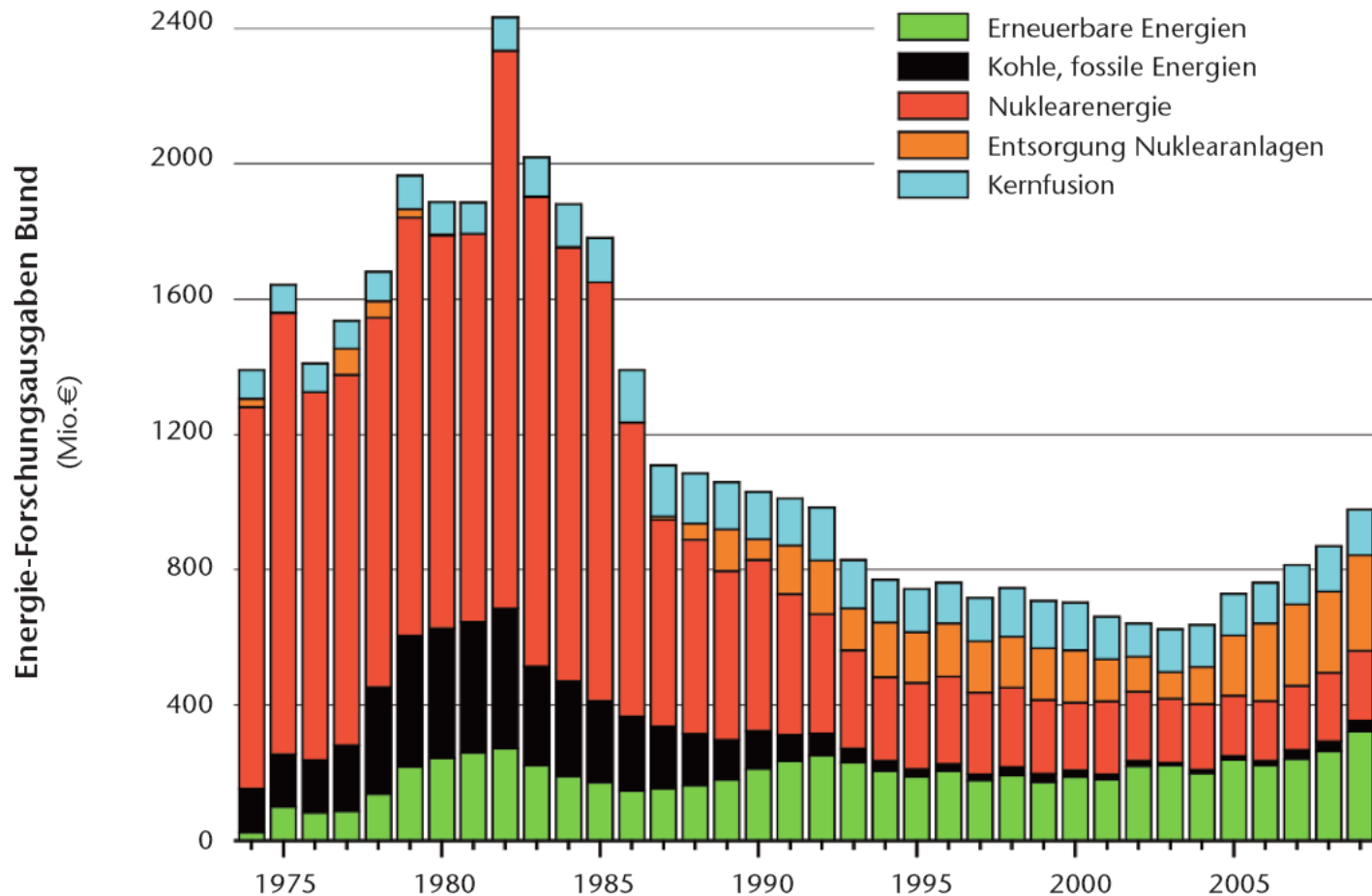
## Subventionen

- **EEG ≠ direkte Subvention**; Mehrkosten werden auf alle Stromkunden umgelegt → EEG-Umlage zukünftig konstant – Preistreiber nicht EE
  
- Dt. Steinkohle: von 1975 bis 1995 **Kohlepfennig**
  - 1995: direkte Abgabe von 8,5% der Stromrechnung: 3,1 Mrd. EUR
  - Verfassungsgericht kippt Kohlepfennig
  - seitdem indirekte Subventionierung über Steuern
  - Bisher ca. 90 Mrd. EUR Subventionen (Auslaufend 2018)
    - reicht für 90 GW Wind (ca. 180 TWh = 1/3 unseres Nettostrombedarfs)
  
- Förderung von Nachtspeicherheizungen bis 2006, um für Grundlast (Atom, Braunkohle) zu sorgen
  
- Indir. Subvention: Steuervergünstigung für Flugtreibstoffe, für Bahn nicht

# Beiträge einzelner Faktoren zur Steigerung der EEG - Umlage 2013 - 2014



# Ausgaben für Energieforschung: 50% Kernenergie, 50% andere Energie“markt“ – war immer planwirtschaftlich getrieben



2009: Energie-Forschung: 979 Mio. €, davon Kernspaltung: 205 Mio. € + 284 Mio. € (Beseitigung) (50%)  
 Kernfusion: 135 Mio. € (14%)  
 Regenerative Energien: 323 Mio. € (33%)

# Inhalt

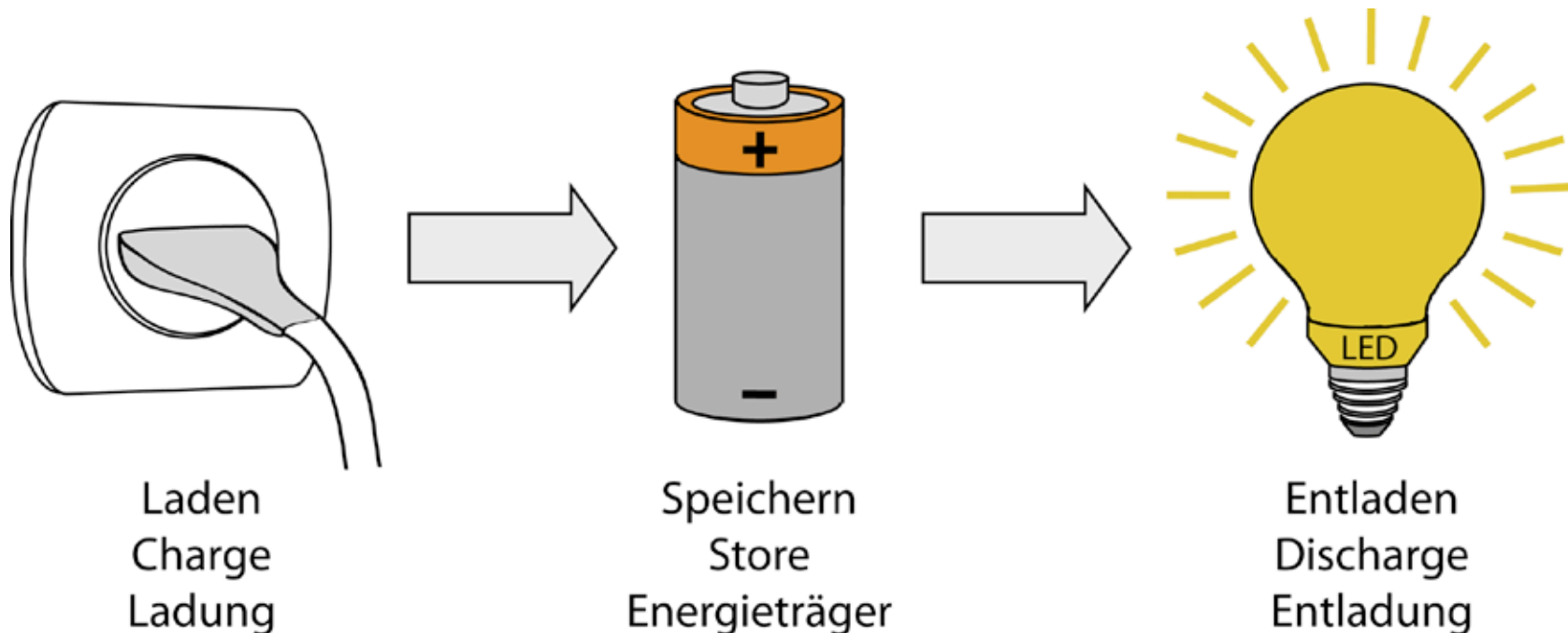


- 1) Speicher im Kontext Energiewende
- 2) Speicherbedarf – Ergebnisse VDE Studie
- 3) **Speichertechnologien – Fokus Power-to-Gas**
- 4) Ausblick Verkehr – Strombasierte Kraftstoffe - Segelenergie
- 5) Zusammenfassung

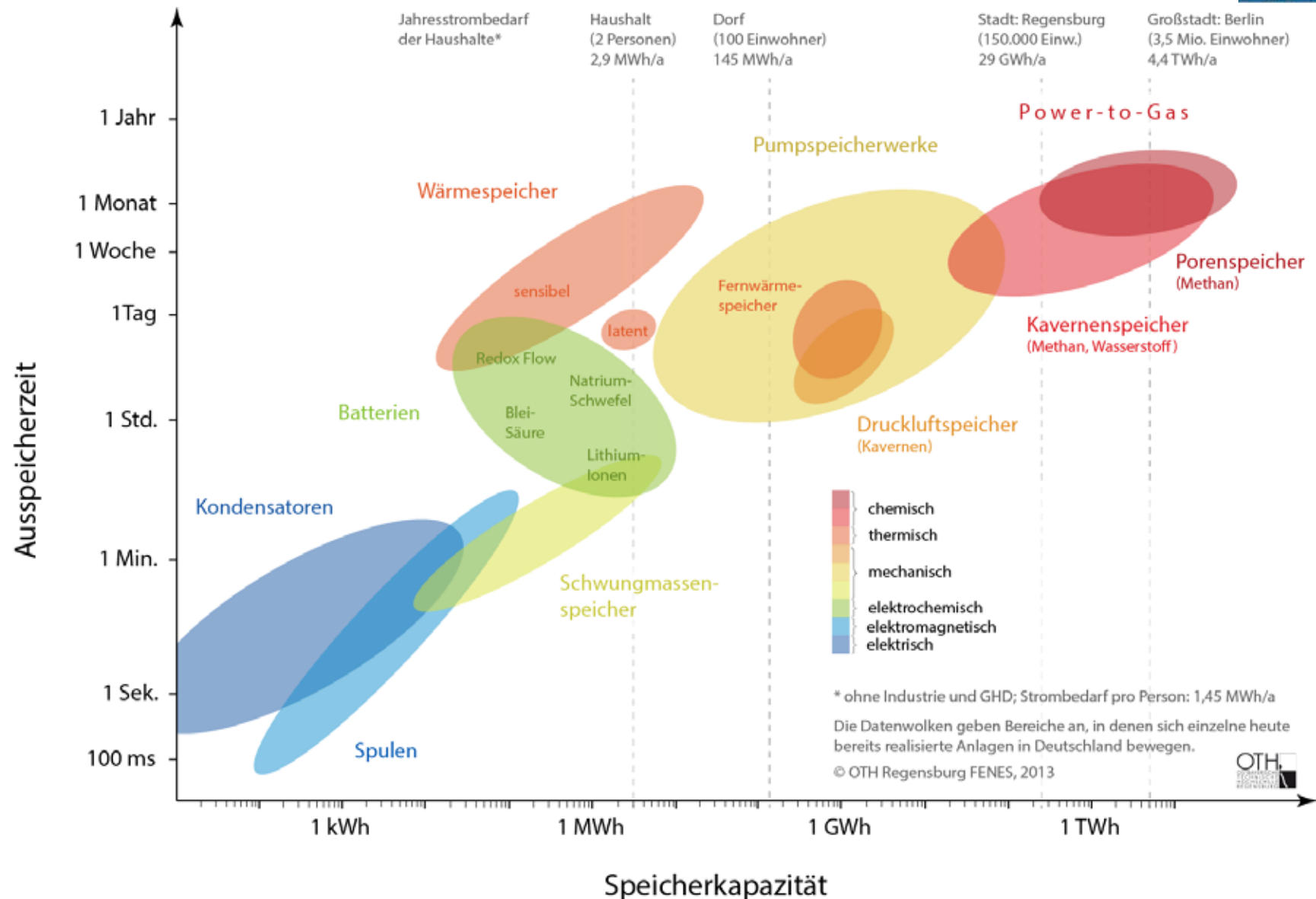
# Definitionen Speicher & Energiespeicher

Ein **Speicher** ist eine Einrichtung zur Bevorratung, Lagerung und Aufbewahrung von Gütern.

Ein **Energiespeicher** ist eine energietechnische Einrichtung, welche die **drei** folgenden **Prozesse** beinhaltet: **Laden**, **Speichern** und **Entladen**



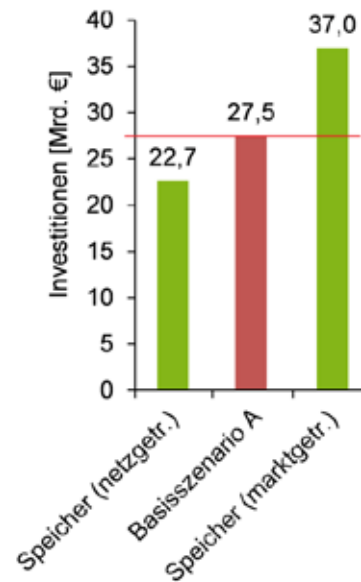
# Speichertechnologien im Vergleich: Kapazität und Reichweite



# Speicher je nach Einsatz sinnvoll oder nicht

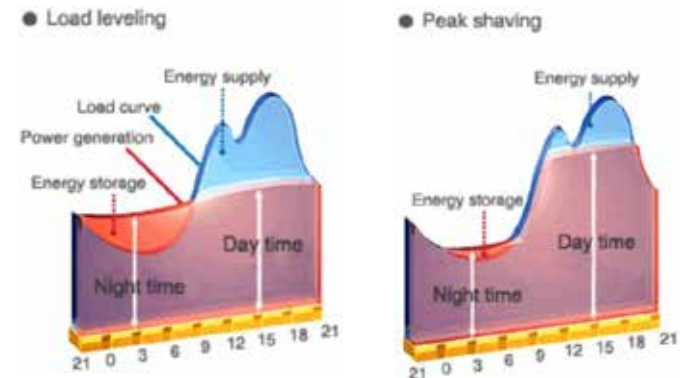
2030 Varianten für Szenario 'NEP B 2012' für NS-, MS- und HS-Ebene

Hausspeicher



- Bewährt bei USV
- Unverzichtbar für die Elektromobilität
- Hausspeicher für PV nur im netzkonformen Betrieb sinnvoll
- Als Systemspeicher für Netzstabilität sinnvoll

Netzstabilität



# Netzstützung durch Primärregelleistung

Berlin: Erstmals kommerzieller Einsatz eines BKW in PRL





## Pumpspeicher Riedl u. a.

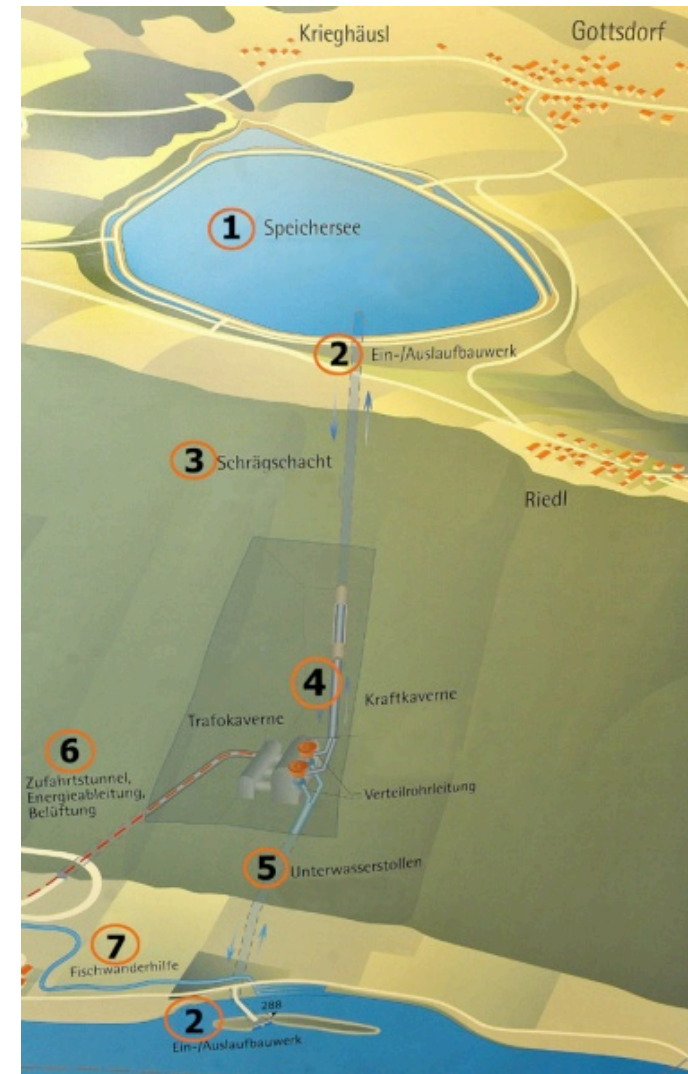
Etablierte Technologie – Akzeptanz durch Verbindung mit EE



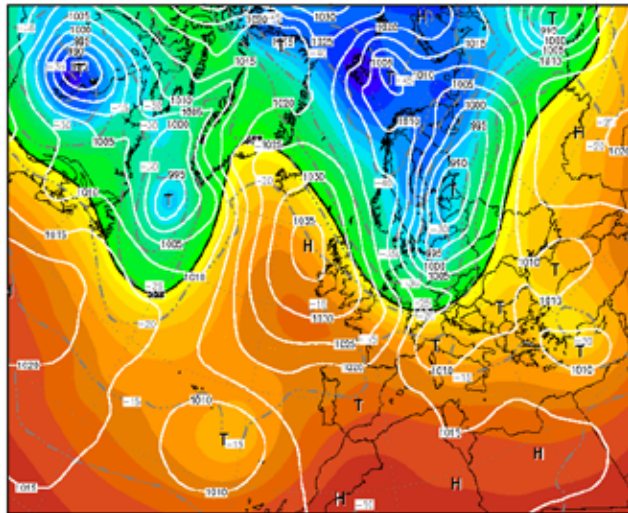
PSW können gute Speicher  
für erneuerbaren Strom  
aus der Region für die Region sein

Voraussetzung:

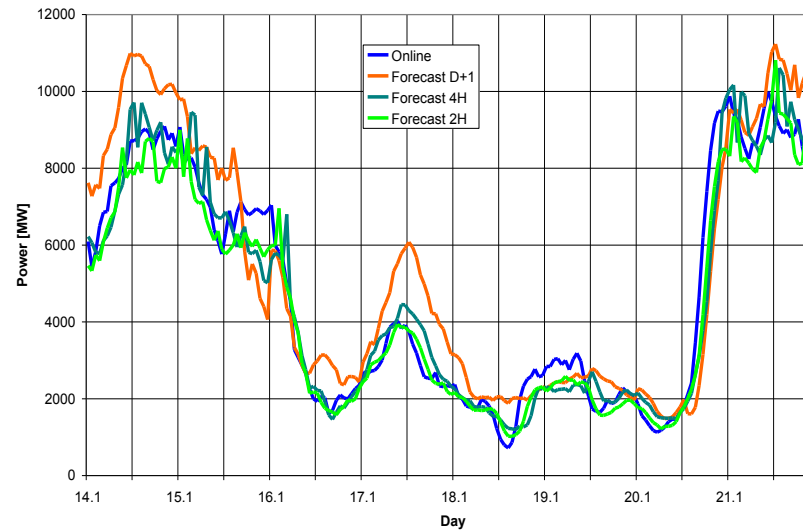
**Betrieb im Takt von Wind und Sonne**



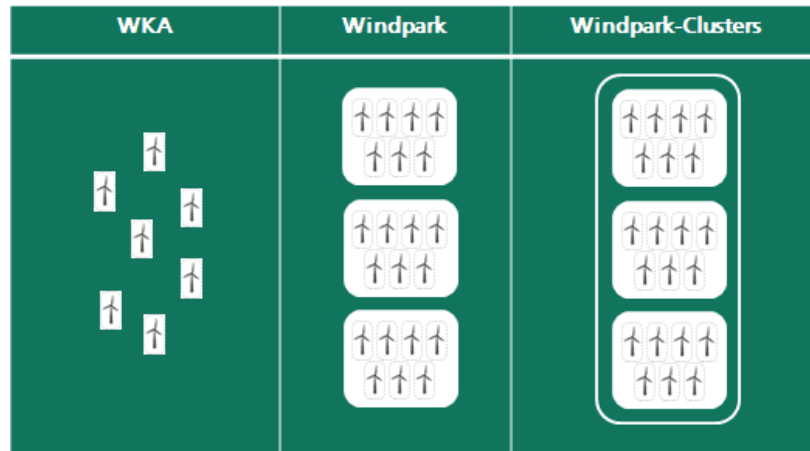
# Entwicklungsschritte Integration EE bis Power-to-Gas



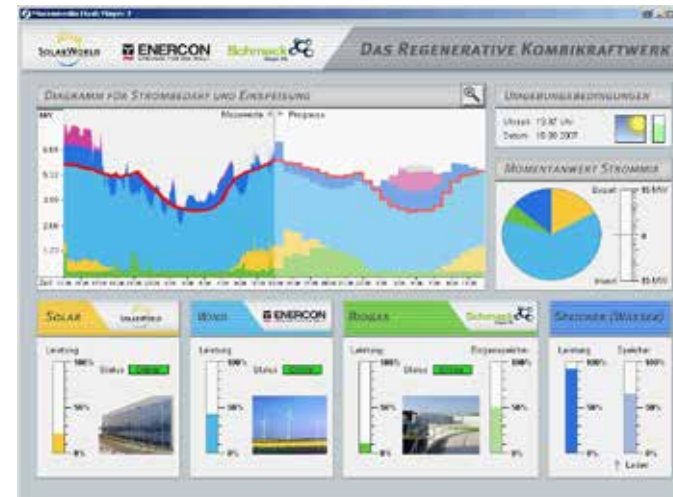
Numerisches Wettermodell



Windleistungsprognose für eine Regelzone

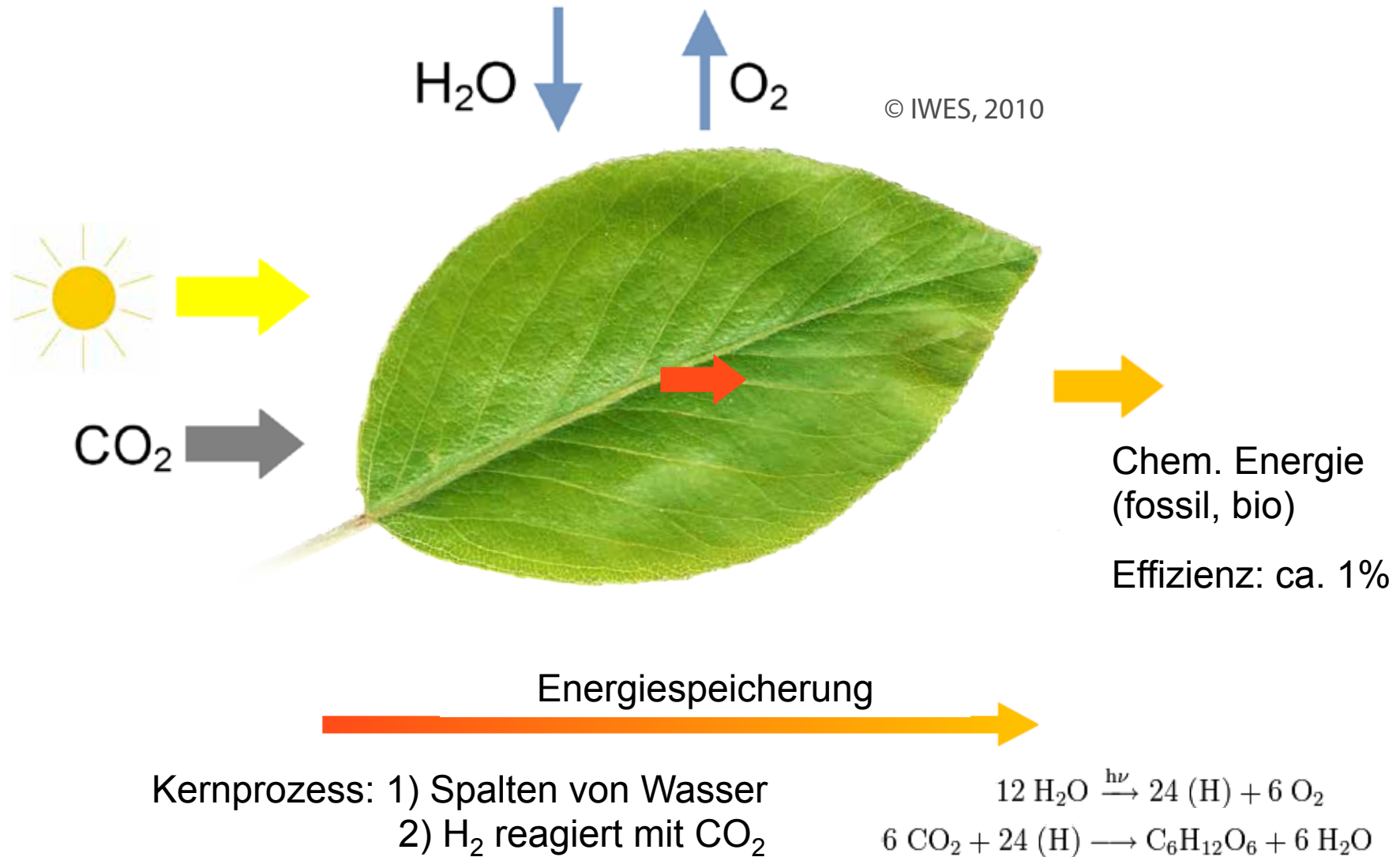


Wind Power Cluster Management



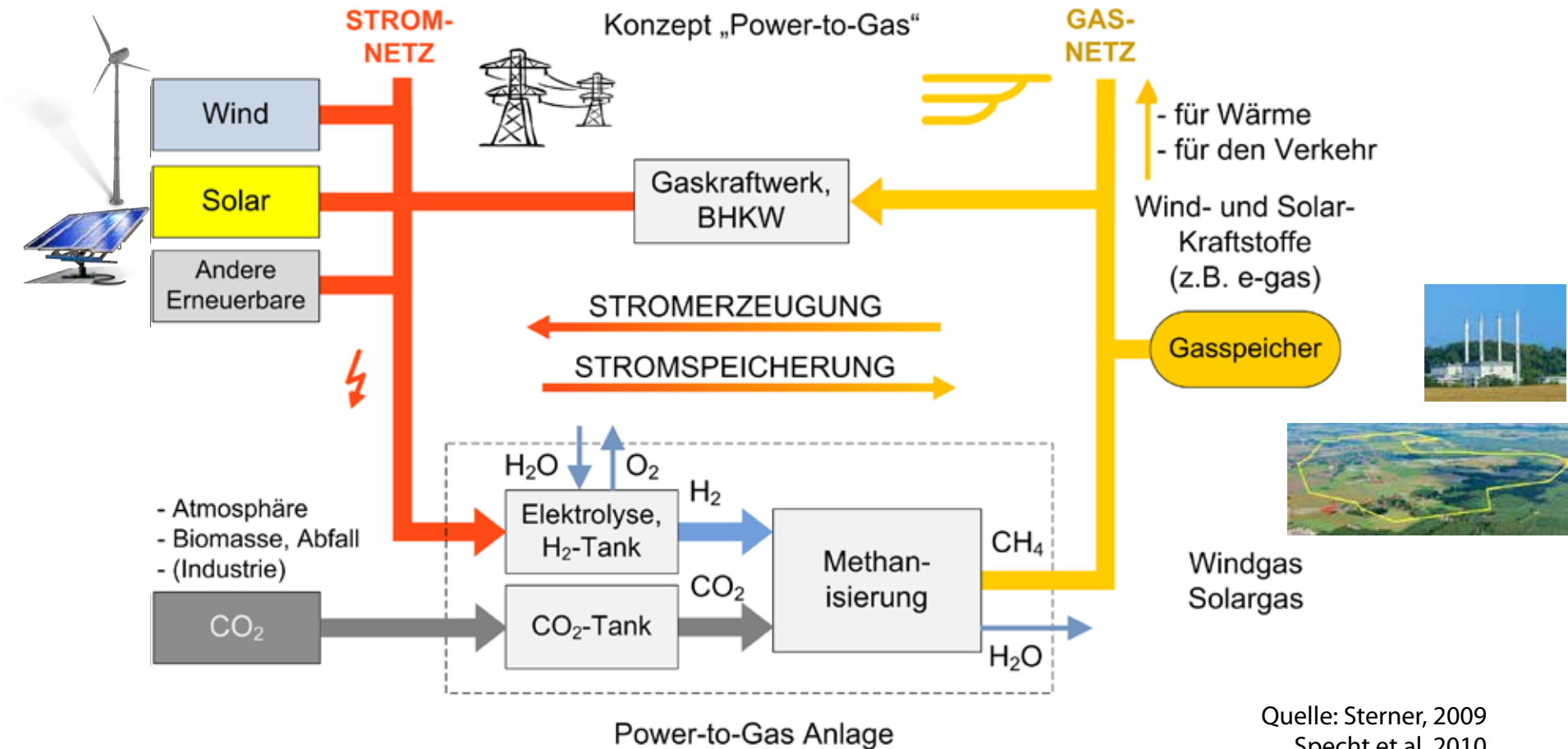
Kombikraftwerk

# Wie speichert die Natur Energie über lange Zeiträume?



# Power-to-Gas Das Original

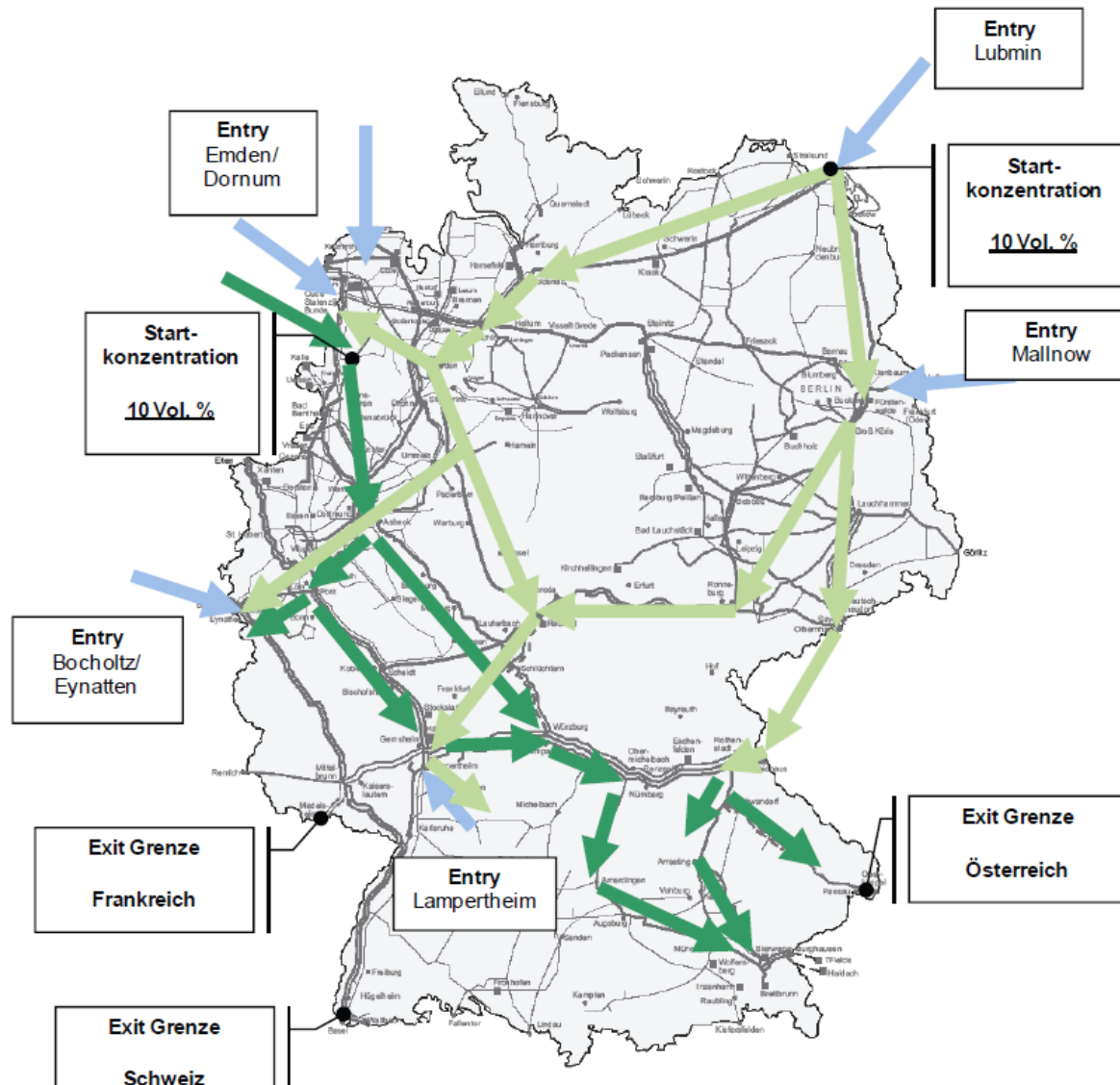
Energiespeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz  
 → Technische Nachbildung der Photosynthese



Sterner, M. (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Limiting global warming by transforming energy systems. Kassel University, Dissertation. <http://www.upress.uni-kassel.de/publi/abstract.php?978-3-89958-798-2>

# Einspeisung von 10-Vol% Wasserstoff an 3 Hauptleitungen

## Gasnetzentwicklungsplan der Gasnetzbetreiber



→ Austausch aller Kompressorstationen

Kosten:  
3.7 Mrd. EUR

→ Aufbau neuer H<sub>2</sub> Infrastruktur einfacher

→ Austauschgas (z.B. Biogas) hat Vorfahrt vor Zusatzgas (Wasserstoff)

→ 2% H<sub>2</sub> realistisch!

# Methanisierung: Chemie vs. Biologie

	Thermo-chemisch	Biologisch
Reaktion	$4 \text{ H}_2 + \text{ CO}_2 \rightarrow \text{ CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$	
Druck	Bis zu 100 bar	1 bar
Temperatur	200 - 600 °C	20 - 80 °C
Kern	Katalysator	Mikro-Organismen



# Pilot- & Demoanlagen: Entwicklung in Stuttgart & Kassel

2011



2009 25 kW

2012 250 kW



# E-ON Power-to-Gas Falkenhagen

2013 2 MW





# Methangas: Audi g-tron Projekt

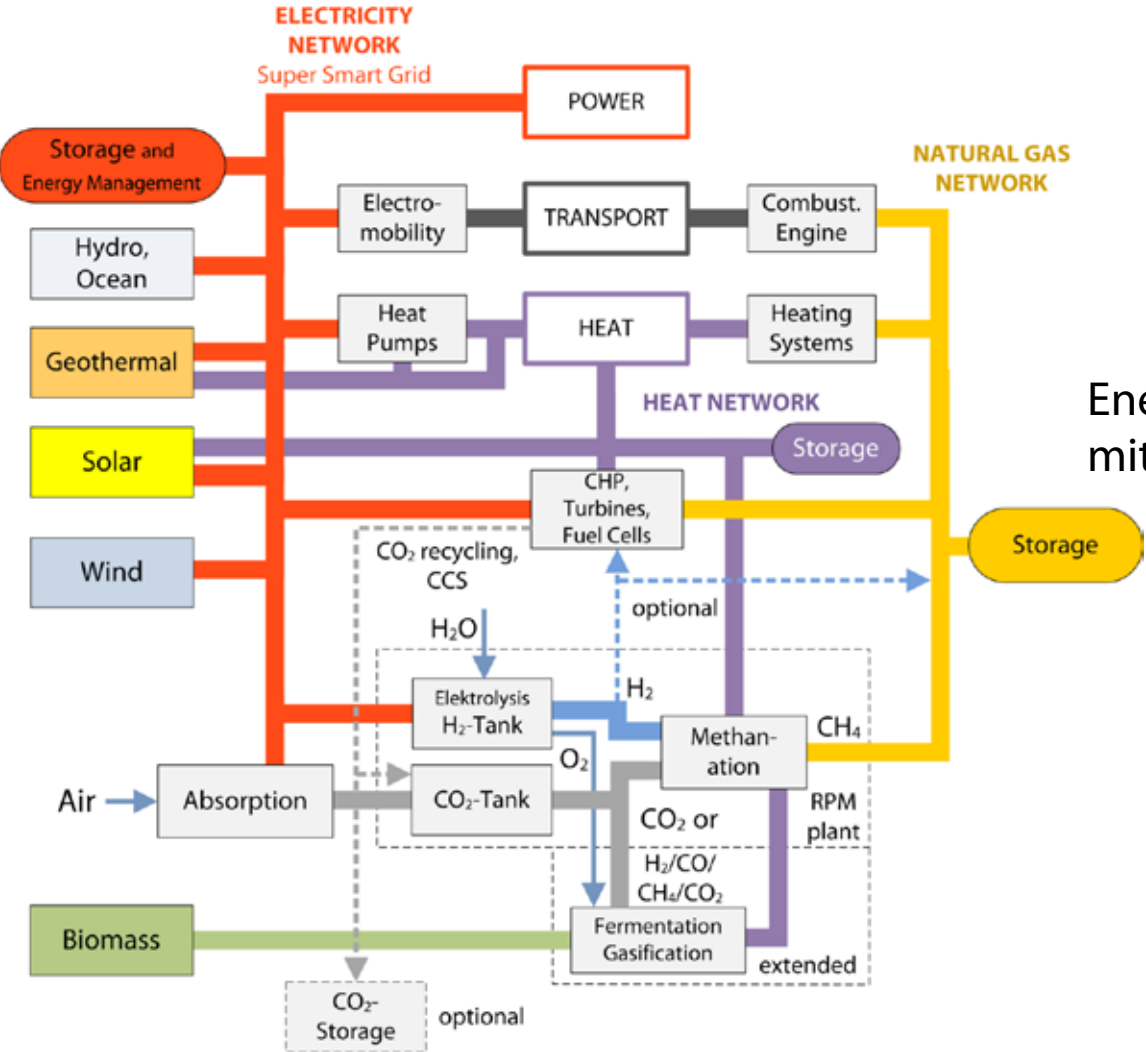
2013 6,3 MW



Audi balanced mobility



# 100% erneuerbares Energiesystem möglich



Energiesystem mit CO<sub>2</sub> Senke

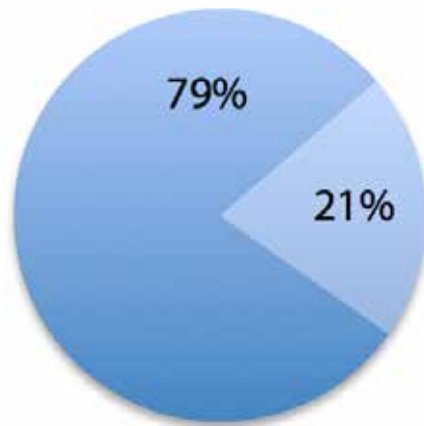
# Inhalt



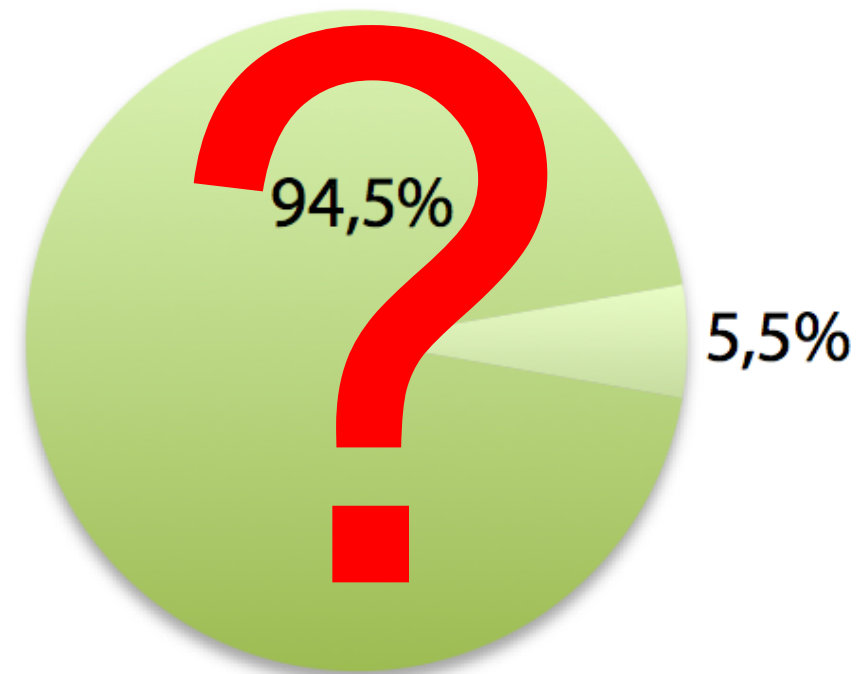
- 1) Speicher im Kontext Energiewende
- 2) Speicherbedarf – Ergebnisse VDE Studie
- 3) Speichertechnologien – Fokus Power-to-Gas
- 4) **Ausblick Verkehr** – Strombasierte Kraftstoffe - Segelenergie
- 5) Zusammenfassung

# Herausforderungen “Energiewende”

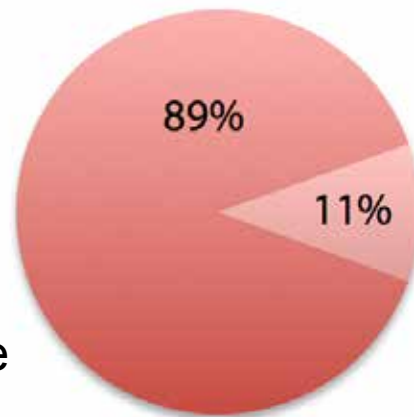
Stromwende



Verkehrswende



Wärmewende



Erneuerbare  
Anteile 2011

# Herausforderung nachhaltige Mobilität / Kraftstoffe



## Biomasse

- Flächenpotential
- Akzeptanz / Nachhaltigkeit (Tank-Teller)



## Elektromobilität

- Reichweite
- Kosten

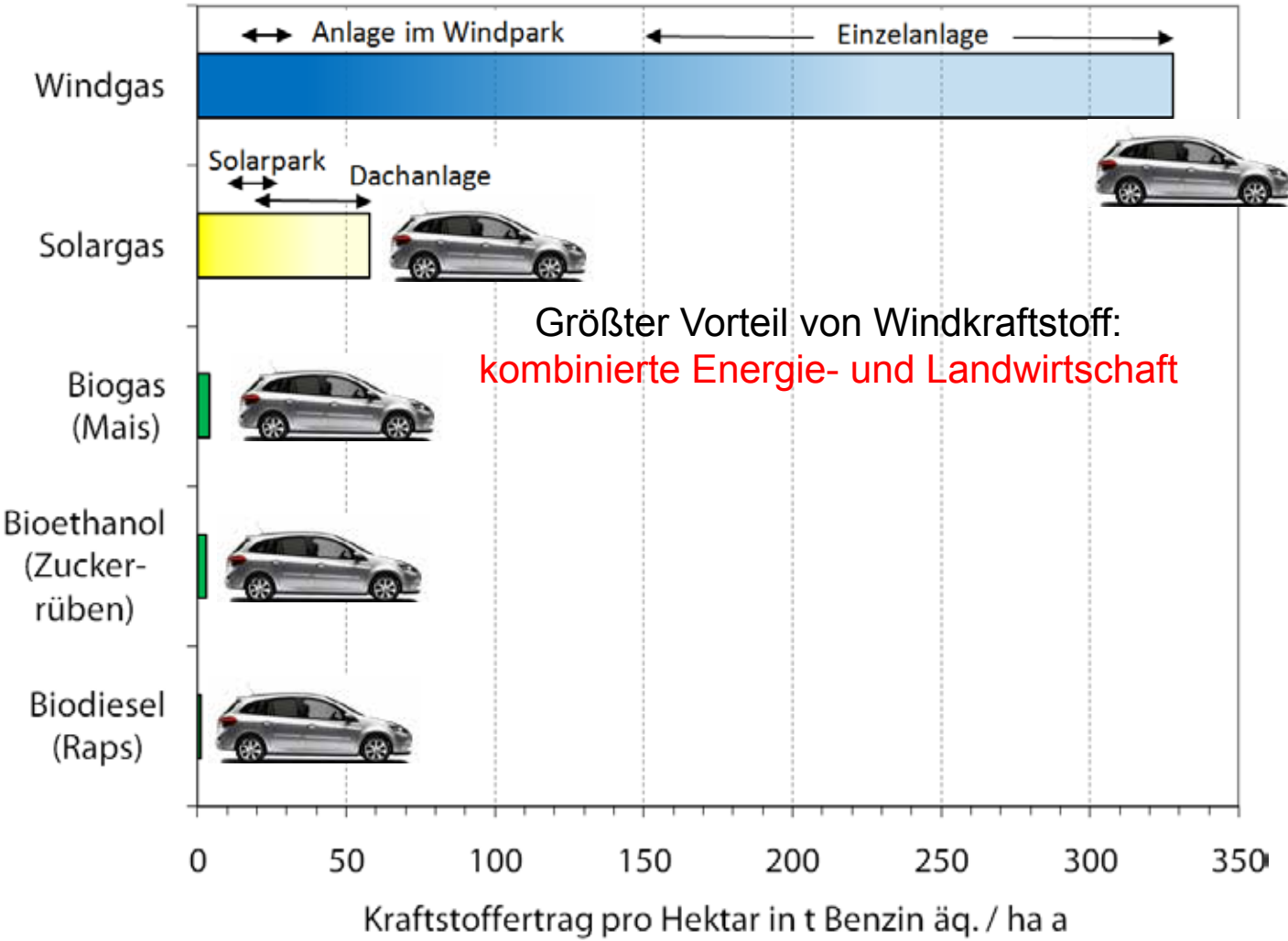


## Strombasierte Kraftstoffe die Lösung?

- Power-to-Gas
- Power-to-Liquids

# Wind- und Solarkraftstoffe entschärfen Tank-Teller-Konflikt

Hektarertrag für regenerativen Kraftstoff in t Benzin-Äquivalente



# Herausforderung nachhaltige Mobilität / Kraftstoffe

## Biomasse

- Flächenpotential
- Akzeptanz / Nachhaltigkeit (Tank-Teller)



## Elektromobilität

- Reichweite
- Kosten



## Strombasierte Kraftstoffe die Lösung?

- Power-to-Gas
- Power-to-Liquids

**Gesamtpotential Stromüberschüsse bei 100%: ca. 50 TWh**

→ **25 TWh** Kraftstoff von heute ca. 700 TWh Bedarf

# Weiterer Ausbau von Wind & Solar: Kernprobleme Fluktuationen & Akzeptanz

## Landnutzung begrenzt

- Flächenpotential
- Akzeptanz
- Nachhaltigkeit



## Meer: größtes Flächenpotential für Erneuerbare

- Offshore-Windkraft
  - Meeresströmungsturbinen
- } Fluktuationen, Anbindung, Potential

**Grundidee** des neuen Konzepts:

# Follow the wind



Wie können wir

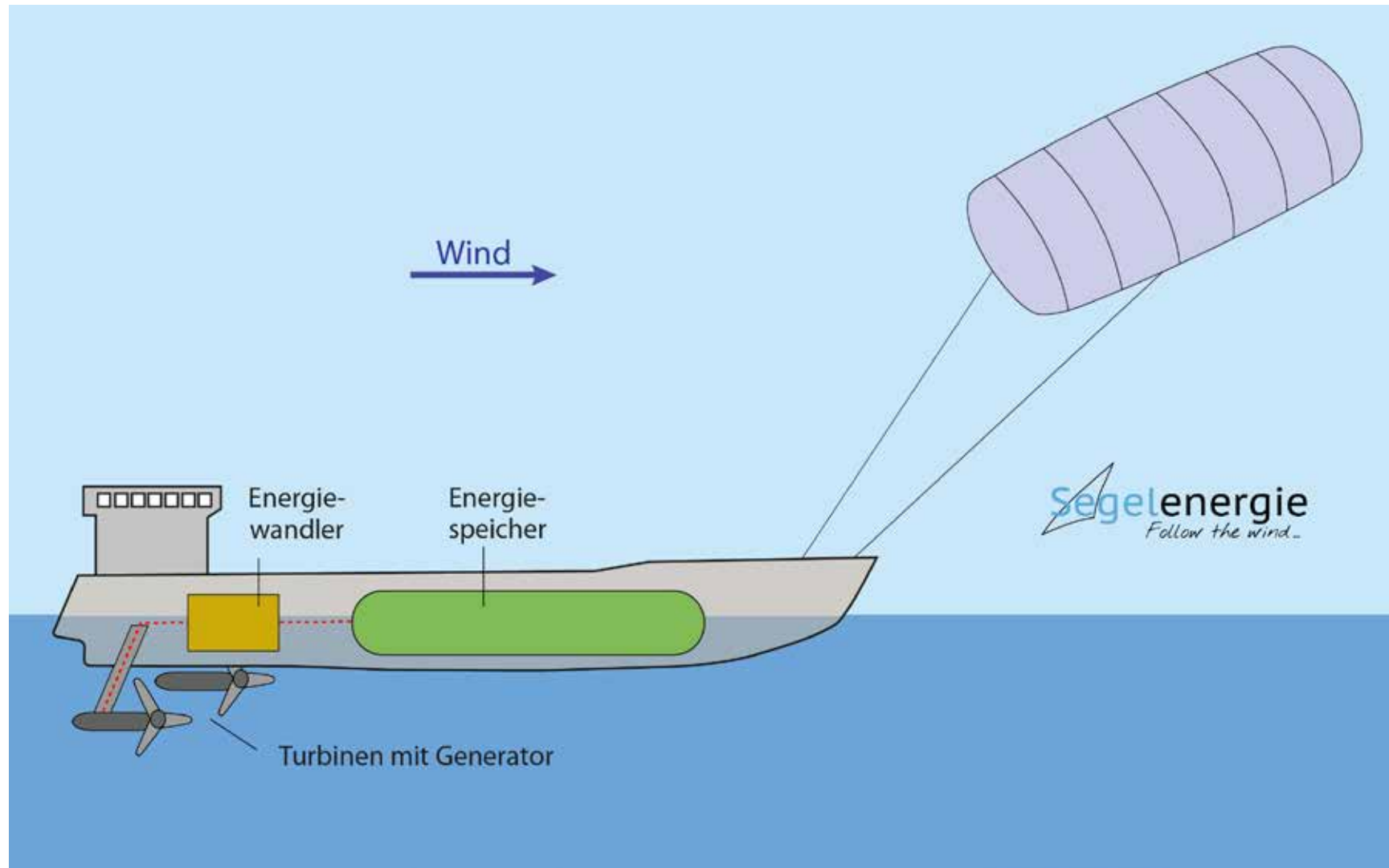


## „dem Wind folgen“?

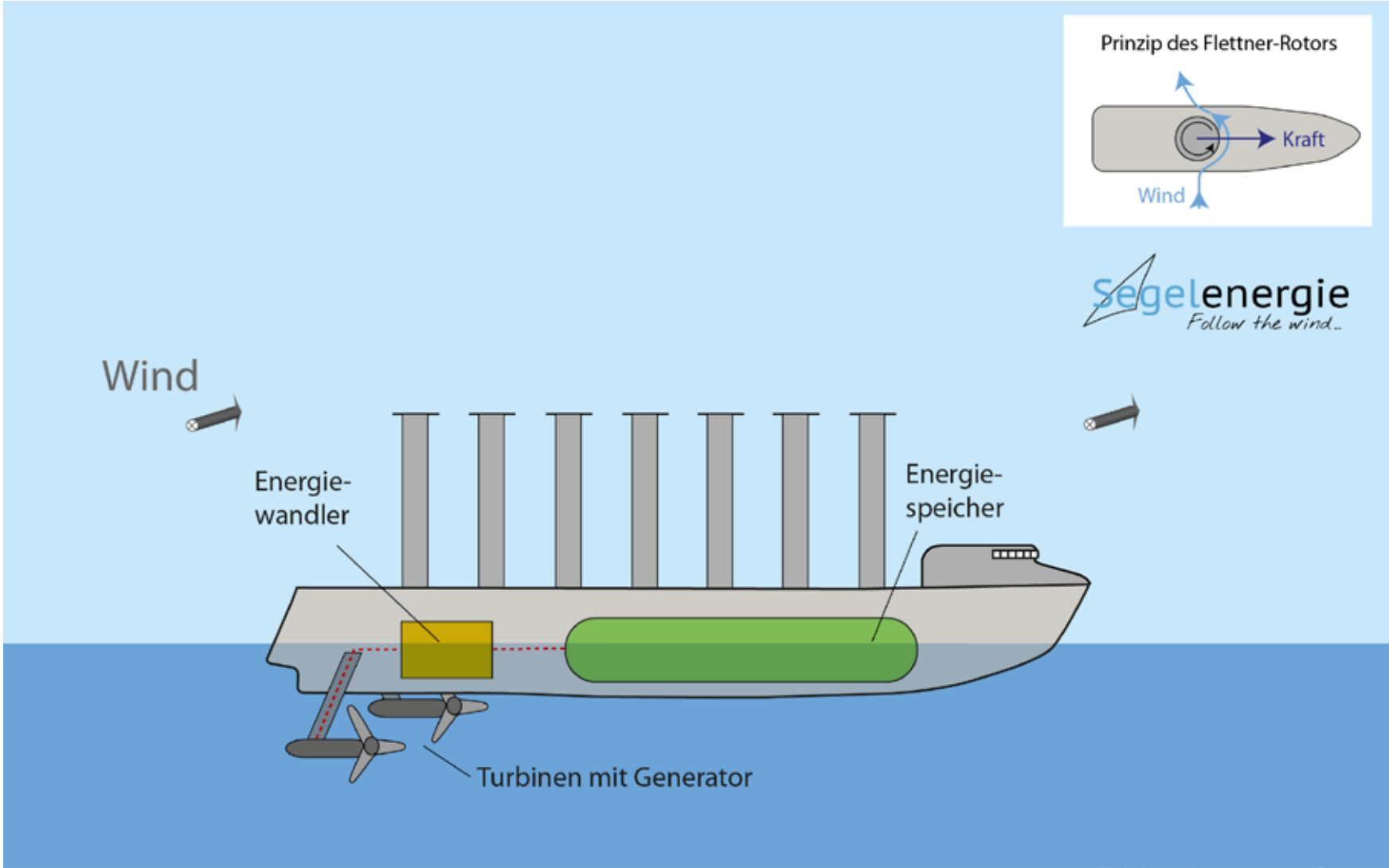


# Wind + Wasserkraft + Speicher = Segelenergie

Zweck: Dem Wind folgen und Energie ernten



# Segelenergie: Energieschiff mit Flettner-Rotoren



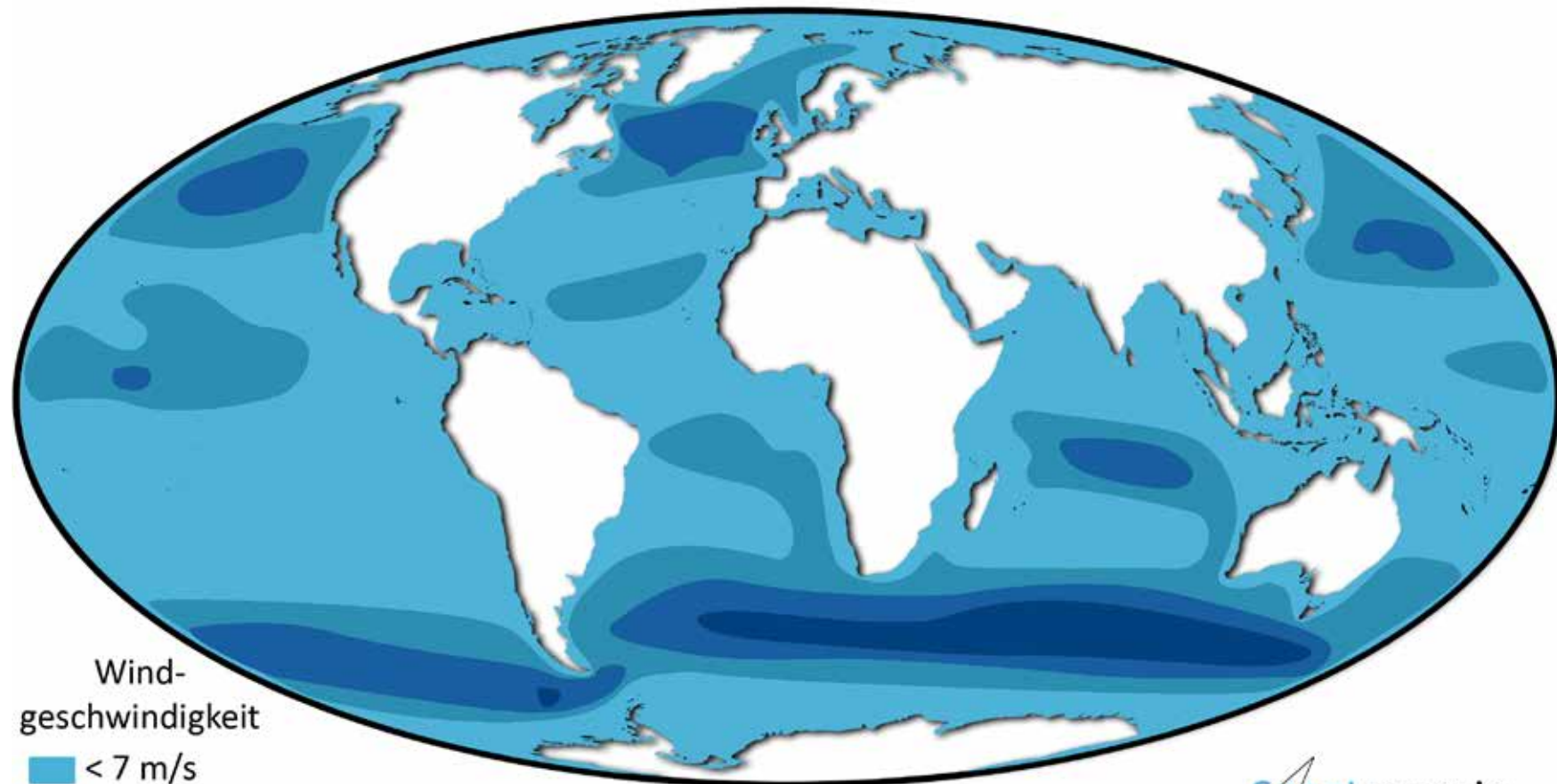
# Segelenergie: Energieschiff der 2 – 5 MW Klasse






**Konstante Ernte von Windenergie**

**Hohe Auslastung der Anlagen**

# Segelenergie: Potentiale vorhanden



Wind-  
geschwindigkeit

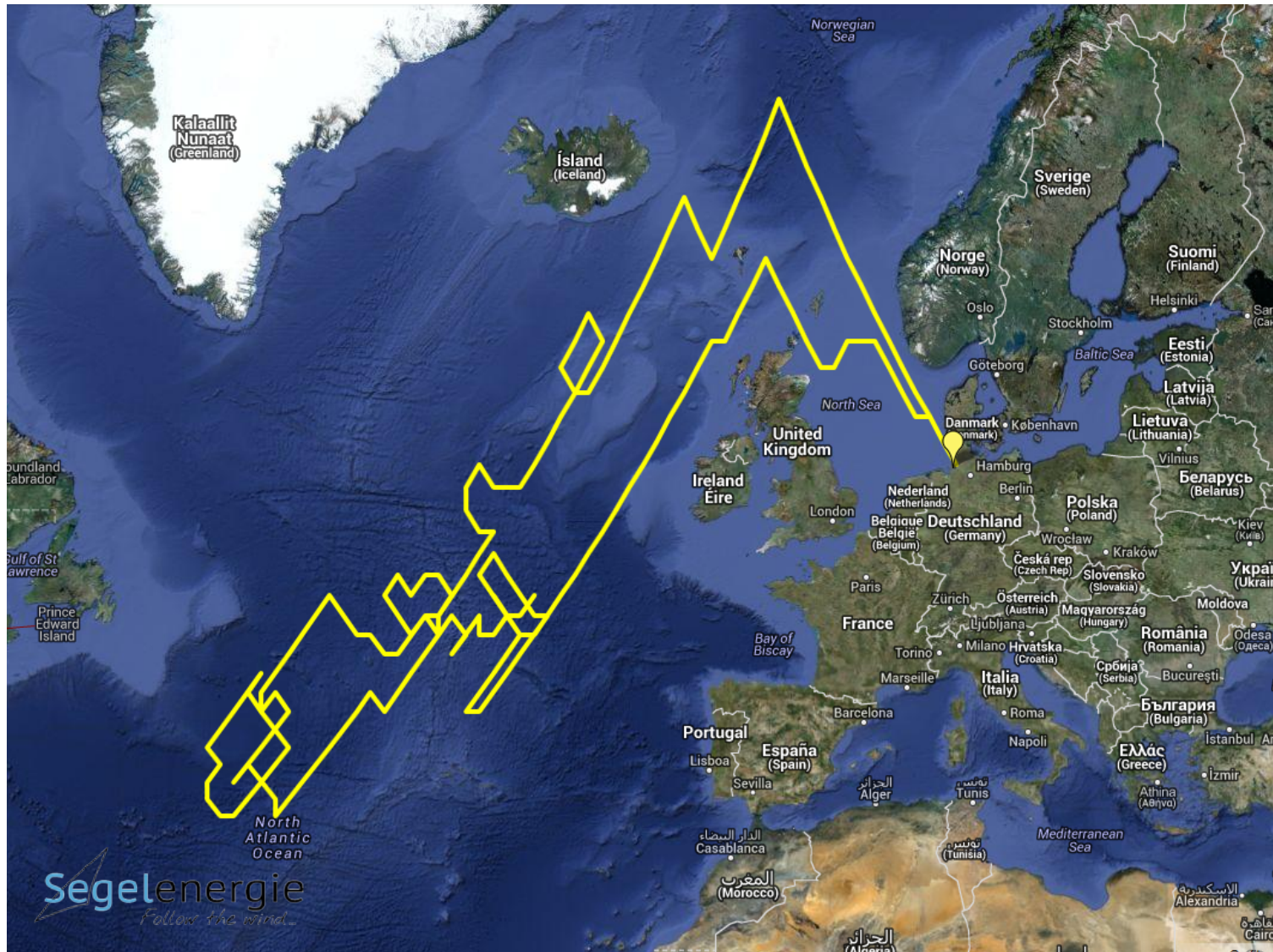
-  < 7 m/s
-  7 - 9 m/s
-  > 9 m/s

 **Segelenergie**  
*Follow the wind...*

Routenoptimierung: 80% Auslastung (Wind Grundlast)  
Gestehungskosten H<sub>2</sub>: ab 16 Cent/kWh - derzeitiger Marktpreis: 33 ct./kWh

# Segelenergie: Routen optimieren

Beispiel 3 Monate-Fahrt – insg. 7000 h (80%) Auslastung



# Inhalt

- 1) Speicher im Kontext Energiewende
- 2) Speicherbedarf – Ergebnisse VDE Studie
- 3) Speichertechnologien – Fokus Power-to-Gas
- 4) Ausblick Verkehr – Strombasierte Kraftstoffe - Segelenergie
- 5) **Zusammenfassung**

## Take home

Stromwende

PtG **einzig**er nationaler Langzeitspeicher

Verkehrswende

PtG wichtiger für **Mobilität** und **chem. Industrie**

Segelenergie

**Wind-Wasser-Speicher-System**

**Konstant** Wind als „Grundlast“ ernten

Erschließt **großes ungenutztes Potential**

**Kein Einfluss** auf das Landschaftsbild

**Keine Konkurrenz** zu **Nahrung / Futter**

Impuls für **nachhaltige Mobilität & Schiffbau**

### ■ Speicher

Ohne **Rahmenbedingungen** keine Entwicklung

**CO<sub>2</sub>** vernünftig **bepreisen / besteuern**

(Kauf: 100 € / t CO<sub>2</sub> vs. Entsorgung in der Atmosphäre: 4 € / t CO<sub>2</sub>)

### ■ Energiewende

**Wind & PV gleichauf** mit fossil / nuklear

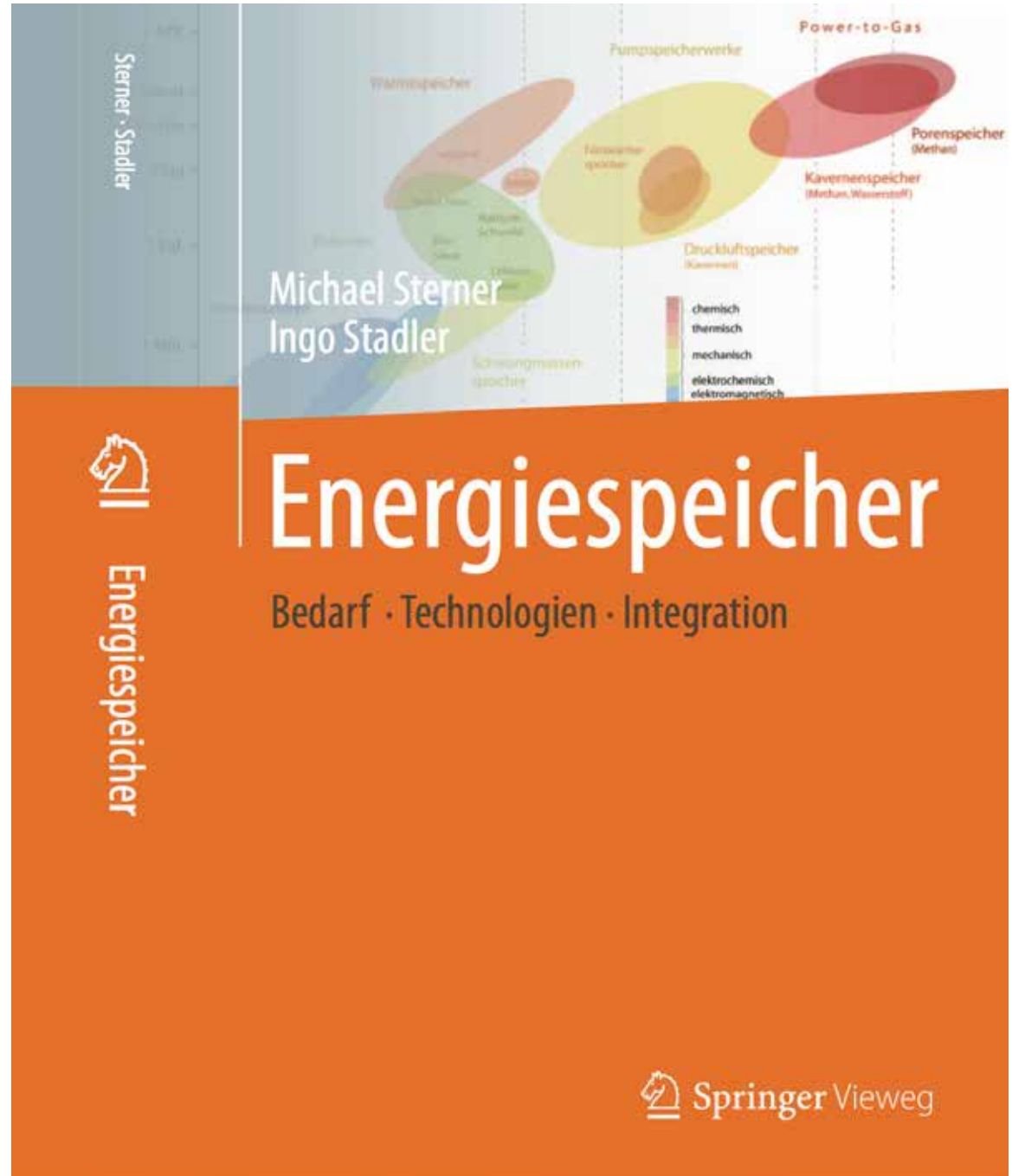
**Subventionen** für fossil / nuklear beseitigen

(EU: 100 Mrd. €/a für fossil & nuklear vs. 30 Bio. €/a für Erneuerbare  
global: 544 Mrd. €/a fossil & nuklear vs. 101 Mrd. )



# Weiterlesen

Ab Anfang 2014  
im Springer-Verlag



# Kontakt



Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner  
Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES)  
Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

+ 49 – (0) 941 – 943 9888

[michael.sterner@hs-regensburg.de](mailto:michael.sterner@hs-regensburg.de)

[www.segelenergie.de](http://www.segelenergie.de)

[www.power-to-gas.de](http://www.power-to-gas.de)

