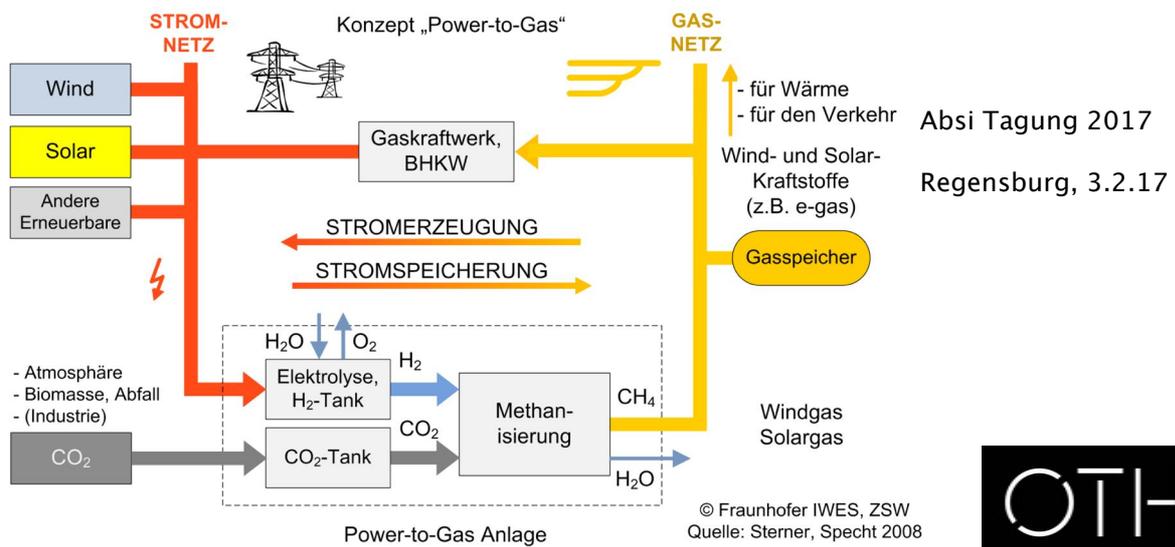


Nötige Rahmenbedingungen für mehr Schwung in der Energiewende

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner et al.

Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher FENES, OTH Regensburg



Absi Tagung 2017
Regensburg, 3.2.17

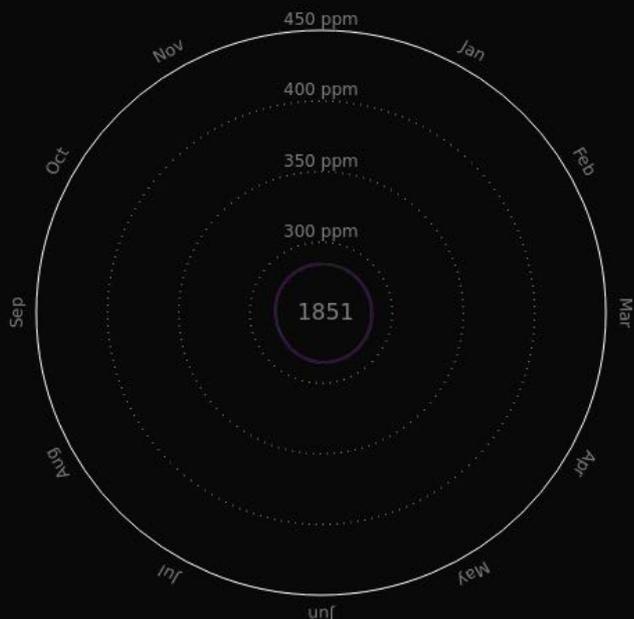


Zeit zu handeln...

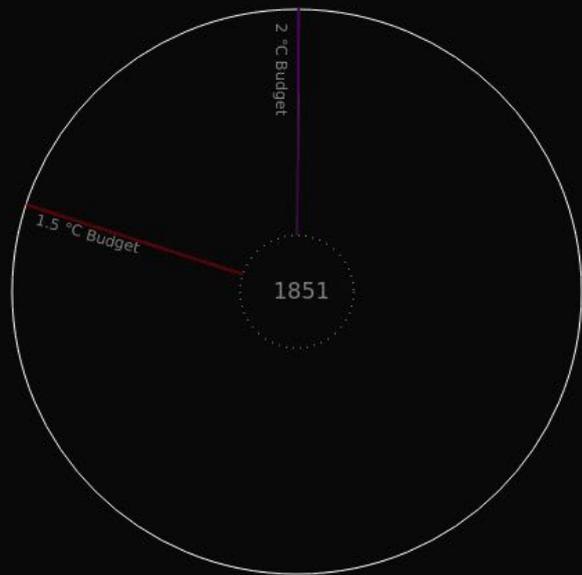


Climate changes

CO₂-concentration increases, CO₂-budget gets depleted



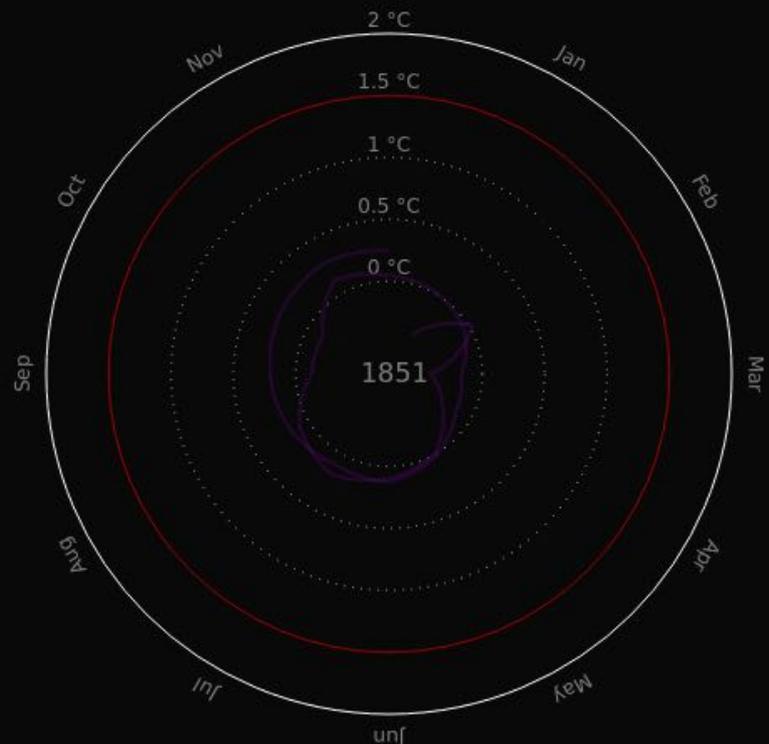
Concentration Spiral pik-potsdam.de/primap-live/ & climatecollege.unimelb.edu.au, Gieseke, Meinshausen. Thx to Ed Hawkins



The Carbon Budget. pik-potsdam.de/primap-live/ & climatecollege.unimelb.edu.au, Gieseke, Meinshausen. Thx to Ed Hawkins

Climate changes

It's getting warmer – system change is long overdue



Temperature Spiral pik-potsdam.de/primap-live & climatecollege.unimelb.edu.au, Gieseke, Meinshausen. Thx to Ed Hawkins

Grundgesetz - Artikel 20a

„Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen.“

Papst Franziskus - Enzyklika „Laudatosi“

„ein Verbrechen gegen die Natur zu begehen (Klimawandel), ist eine Sünde gegen uns selbst und gegen Gott“



Dalai Lama – Ethik ist wichtiger als Religion

„Klimawandel ist nur global zu lösen. Egoismus, Nationalismus und Gewalt sind der falsche Weg. Wichtigste Frage: wie können wir einander dienen?“



The Guardian – Divestment-Bewegung

„Fossile Energie De-investieren“

Quelle: Grundgesetz für die BRD vom 23. Mai 1949, zuletzt geändert 11.07.12

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 5

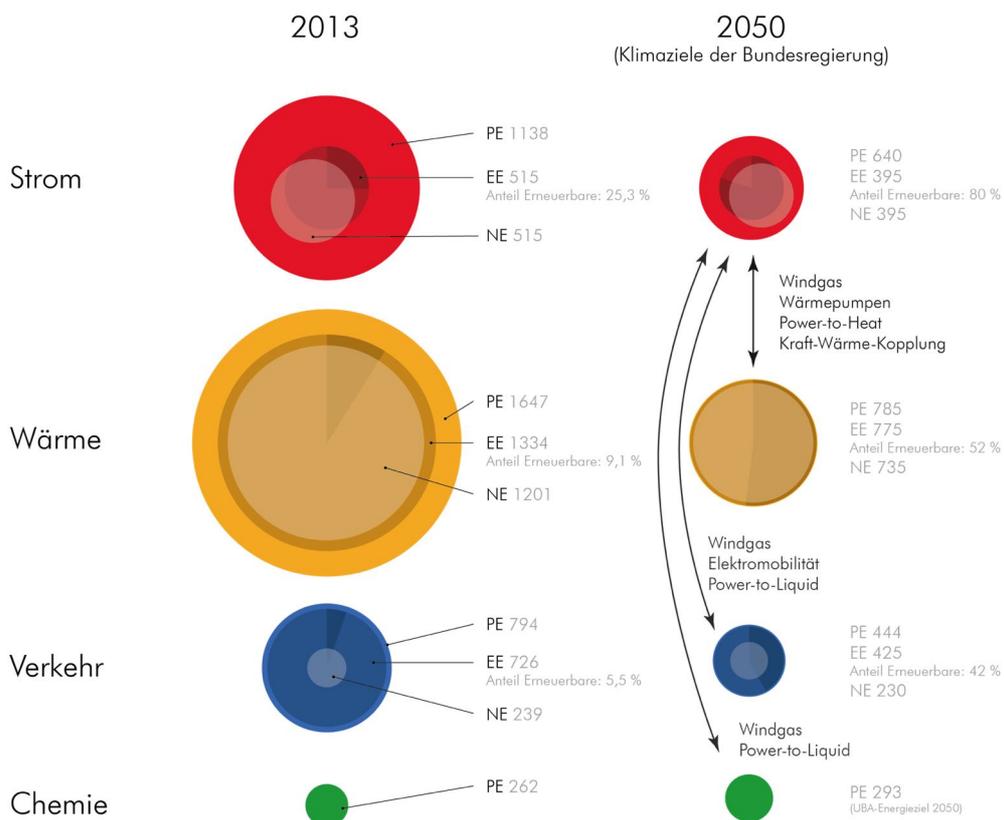
Energiewende =
Stromwende
+ Wärmewende
+ Mobilitätswende

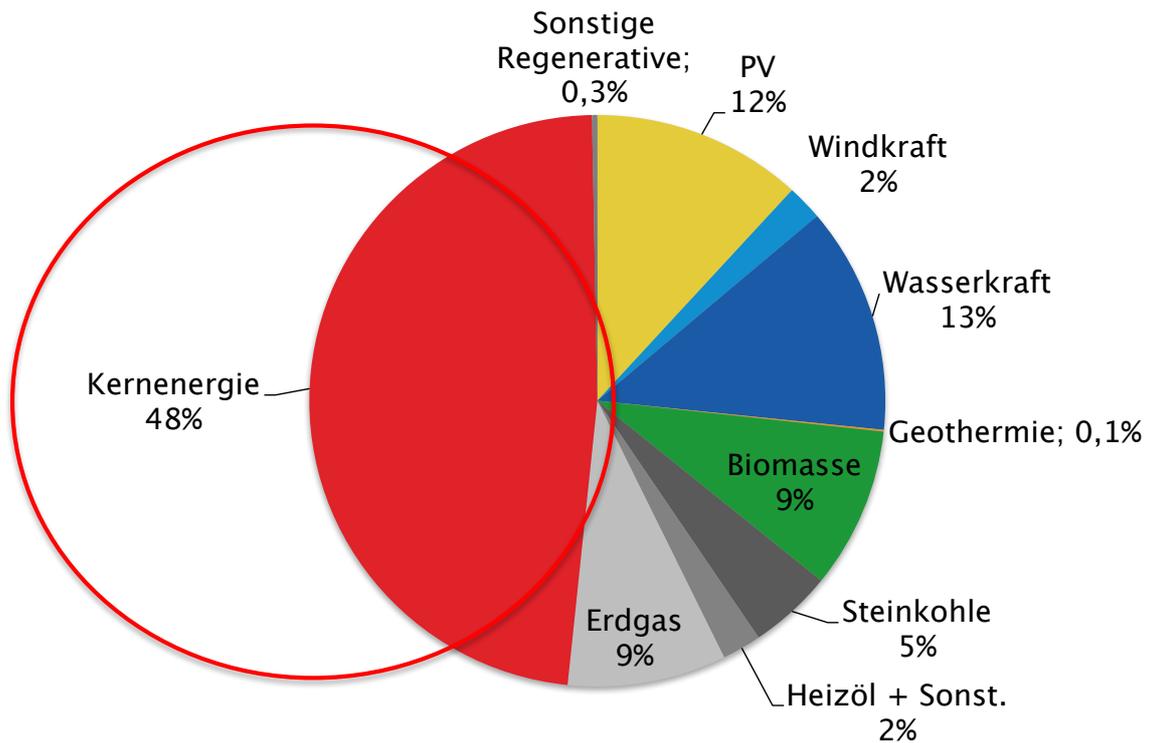
1. Schritt: Energieeffizienz = Energie sparen & besser nutzen
Maßnahmen für **Strom**, **Wärme**, **Verkehr**



Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 7

Erneuerbarer Strom wird zur Primärenergie für alle Sektoren





Bruttostromerzeugung 2014, Quelle: <https://www.stmwi.bayern.de/energie-rohstoffe/daten-fakten/>, 2016 Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 9

3 Optionen zum Füllen der Lücke

1. Strom aus **heimischen Quellen** selbst erzeugen (+ speichern)



2. Strom über **Stromtrassen** importieren



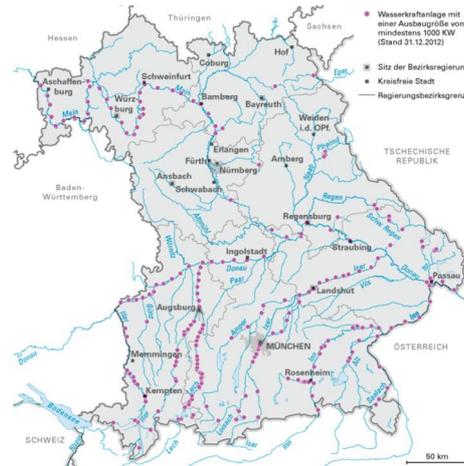
3. **Gespeicherte Energie** importieren und verstromen



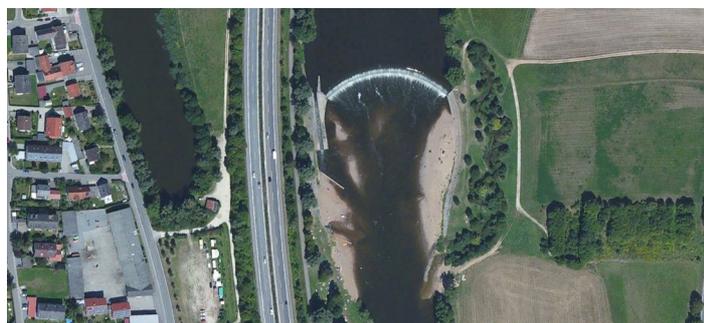
Bewertung: technisch, wirtschaftlich, ökologisch, gesellschaftlich

Technisches Potential Wasserkraft

- Geologisch gute Verhältnisse
- Ausreichend Wasserführung
- Stand 1926: 11.900 Anlagen
- Stand 2016: 4.200 Anlagen
 - 2,94 GW, 12,5 TWh (inkl. PSW)
 - Potential für 3,2 GW, 14,6 TWh
 - heute ausgeschöpft: ca. 92 %



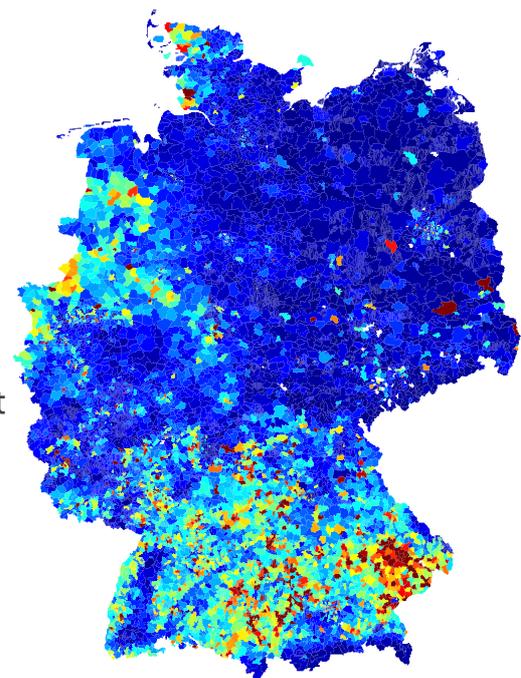
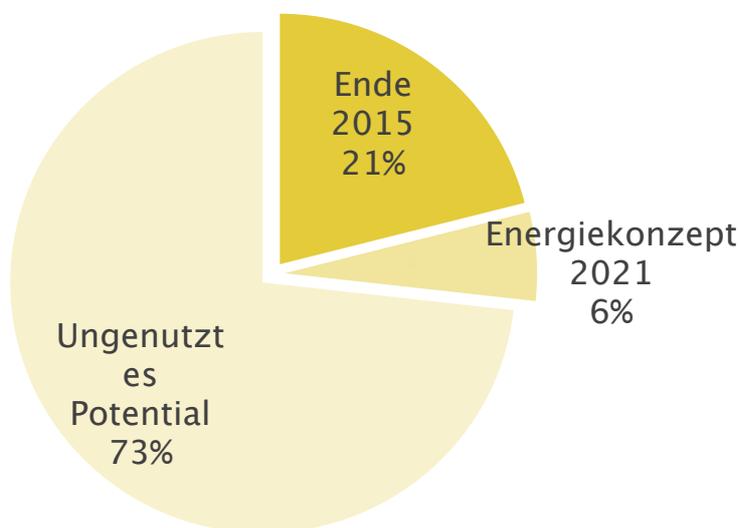
→ Kleinwasserkraft
Potenziale
auch regional
erschließen!



Quelle: [https://www.energieatlas.bayern.de/thema_wasser/daten.html?print\[2\]=print](https://www.energieatlas.bayern.de/thema_wasser/daten.html?print[2]=print), 2016

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 11

Technisches Potenzial Photovoltaik



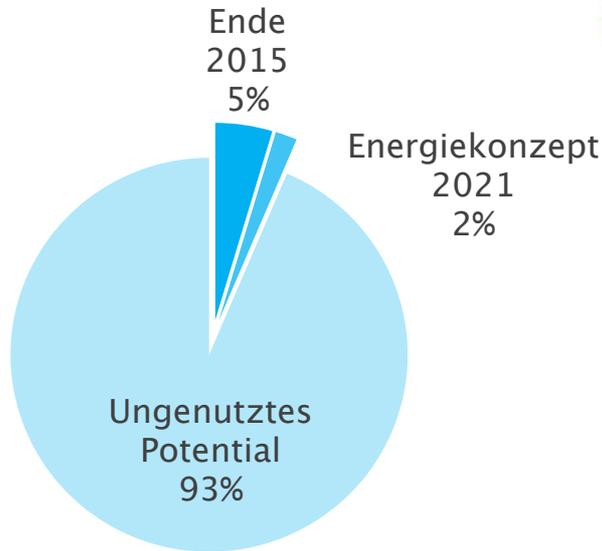
Verteilung der installierten Photovoltaik
Leistung in Deutschland (2010)

Quelle: Fraunhofer IWES für BSW, 2011; Bundesnetzagentur;
https://www.energieatlas.bayern.de/thema_sonne/photovoltaik/daten.html

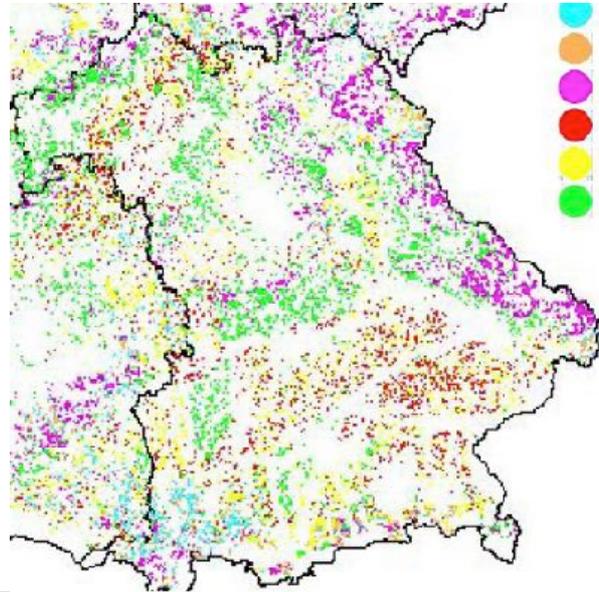
Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 12

Technisches Potential Windkraft

- Potential: 41 GW, 80 TWh bei 1000 m Abstand (ca. 5 H)



- Ohne Restriktion Anlagen für gute Standorte
- Wald ohne Schutzgebiete Anlagen für gute Standorte
- Schutzgebiete Anlagen für gute Standorte
- Ohne Restriktion Schwachwindanlage
- Wald ohne Schutzgebiete Schwachwindanlage
- Schutzgebiete Schwachwindanlage

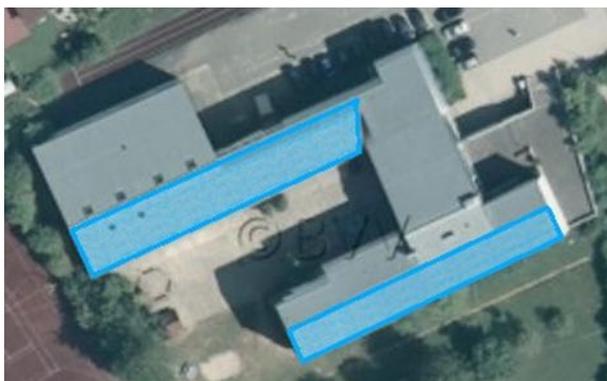


Quelle: <https://www.wind-energie.de/verband/landes-und-regionalverbaende/bayern>, 2016

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 13

Mythen und Fakten Photovoltaik

- Ausgereifte Technologie, Module keine el.-magn. Strahlung, energet. Amortisation < 2-3 Jahre
- Einfache elektrische Integration
- Mythen: Energie kommt nicht zurück, PV strahlt und brennt
Ertrag Ghana: 20 % mehr als in Bayern



Windenergie

- Ausgereifte Technologie, geringe Lärmemissionen energetische Amortisation < 1 Jahr
- Auf 150-200 m Höhe gute Erträge
- Mythen: Landschaftsveränderung, Bienen, Stromversickerung, Wald, Investitionsruinen



Quelle: Fraunhofer IWES für BSW, 2011 / Sterner, Stadler, 2014 / BVV

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 14

Flächenverbrauch für den Ersatz aller 4 bay. AKW

42,9 TWh (2013)

- Fläche Bayern: 7,1 Mio. ha: Betrachtet werden drei und/oder Optionen:

- **Biogas: ca. 30 % der Landesfläche**

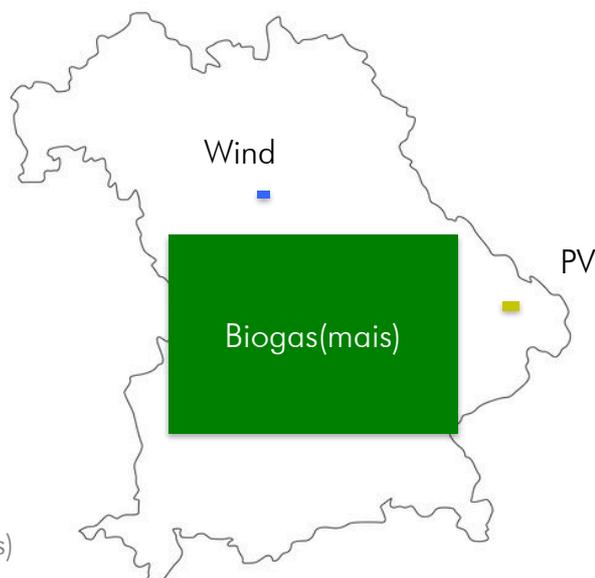
- Ertrag: 20 MWh / ha (Biomethan-Mais)
- Bedarf: 2,15 Mio. ha

- **Photovoltaik: ca. 1,8 % der Landesfläche**

- Ertrag: 3 ha / MW
1000 VLS und 333 MWh / ha (PV-Freifläche 15 % Wirkungsgrad)
- Bedarf: 0,13 Mio. ha

- **Windenergie: ca. 1,1 % der Landesfläche**

- Ertrag: 3,44 ha / MW
1950 VLS + 567 MWh / ha (Windparks)
- Bedarf: 0,076 Mio. ha



Flächenbedarf exemplarisch,
Nicht maßstabsgetreu

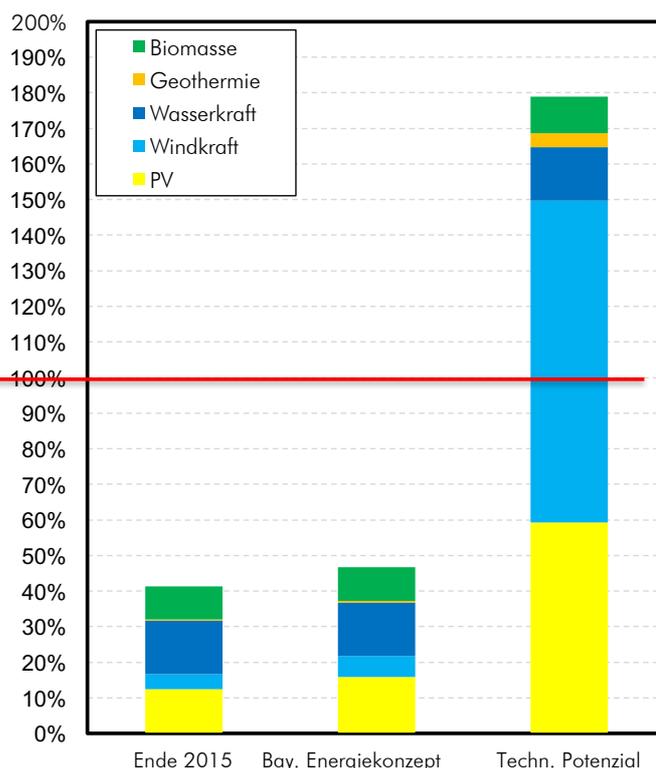
Quelle: Sterner, eigene Berechnungen auf Basis der Potenziale, 2014 & DBFZ, 2008, Fraunhofer IWES, 2011 - 14 Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 15

Wir haben genügend heimische Ressourcen in Bayern

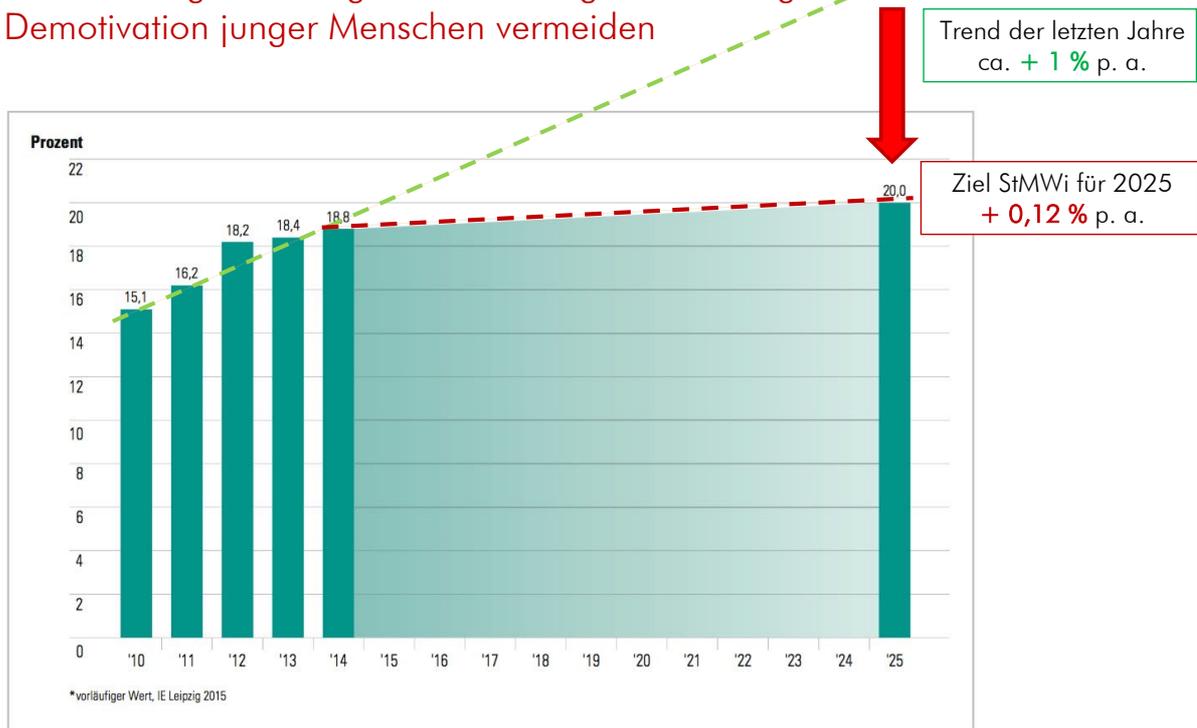
Erneuerbarer Anteil an der Stromversorgung

Technisches **Potenzial**
in **Bayern vielfach ausreichend**,
für eine 100 % Stromwende

Größte Herausforderung:
Versorgung der Ballungszentren
→ Land versorgt die Städte



Bay. Energiekonzept 2015 = weitgehend wie 2011: wenig ambitioniert
 Defakto **Wachstum** erneuerbarer Energien auf +0,12 % p.a. **reduzieren**
 → Jeder Beitrag ist wichtig für das Gelingen der Energiewende
 → Demotivation junger Menschen vermeiden

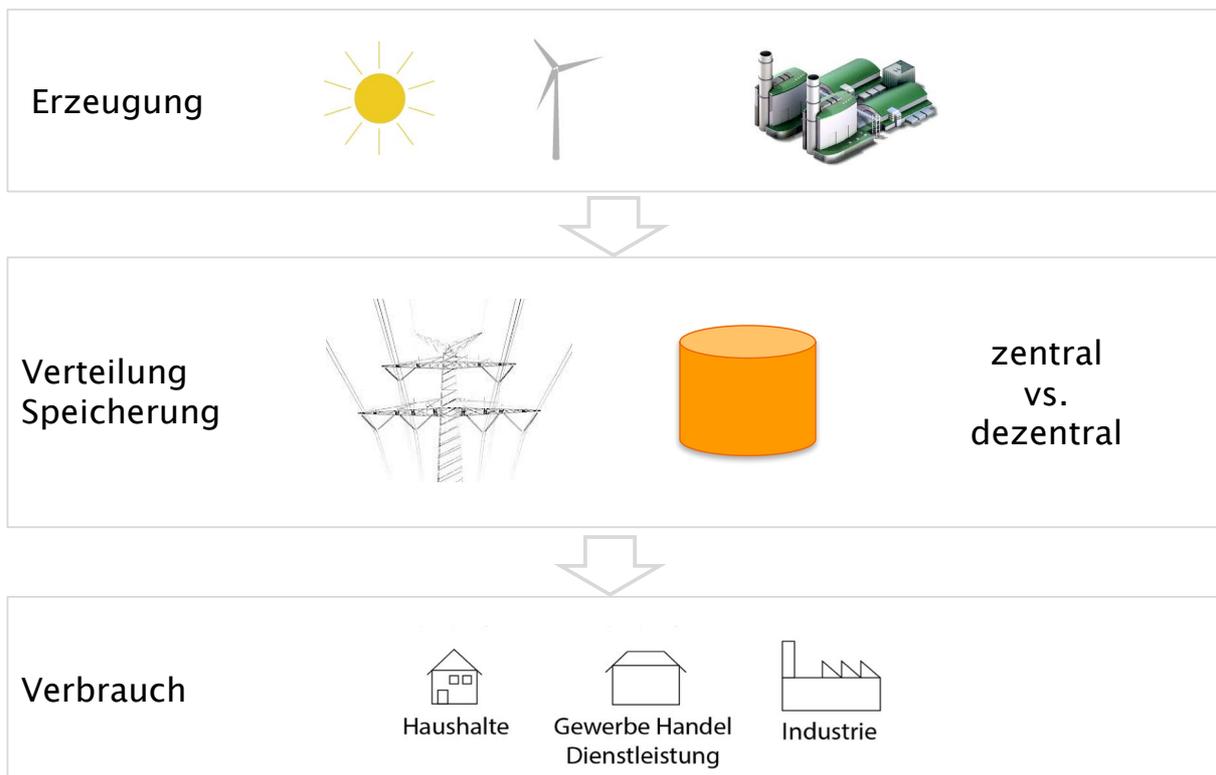


Grafik 2.1 | Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch Gesamte Energiewende: Strom, Wärme, Verkehr

Quelle: Wirtschaftsministerium Bayern, 2015

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 17

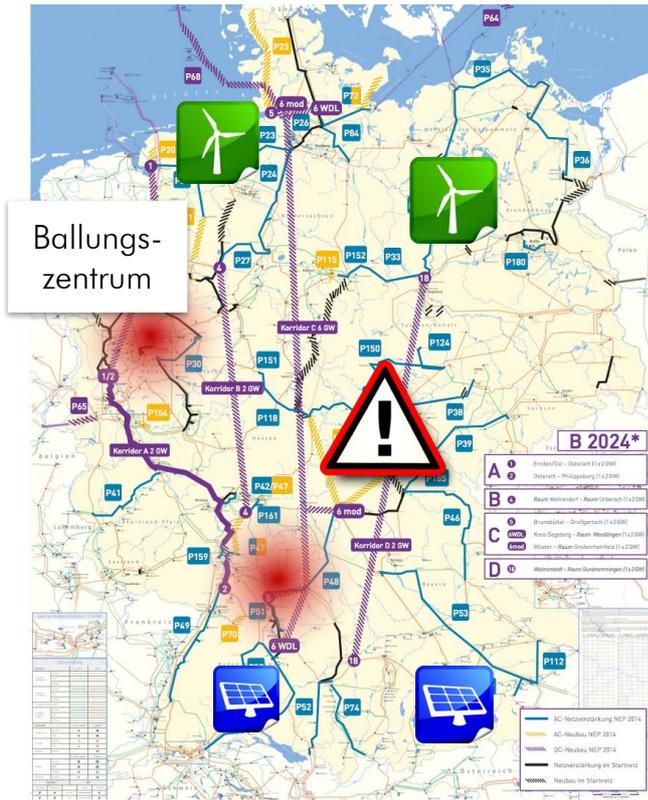
Gesamtbild: Wir brauchen Netze und Speicher



Quelle: Sterner, Stadler, 2014

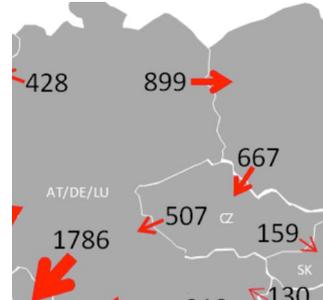
Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 18

Fehlende Stromtrassen → Netzengpässe → Handel beschränkt



Netzausbau mit Atomausstieg verbunden
 Verzögerte Planungen → teure Gaskraftwerke

Ungeplante Stromflüsse 2011 & 12:
 Ringfluss Ost-D. → Polen → CZ → Bayern



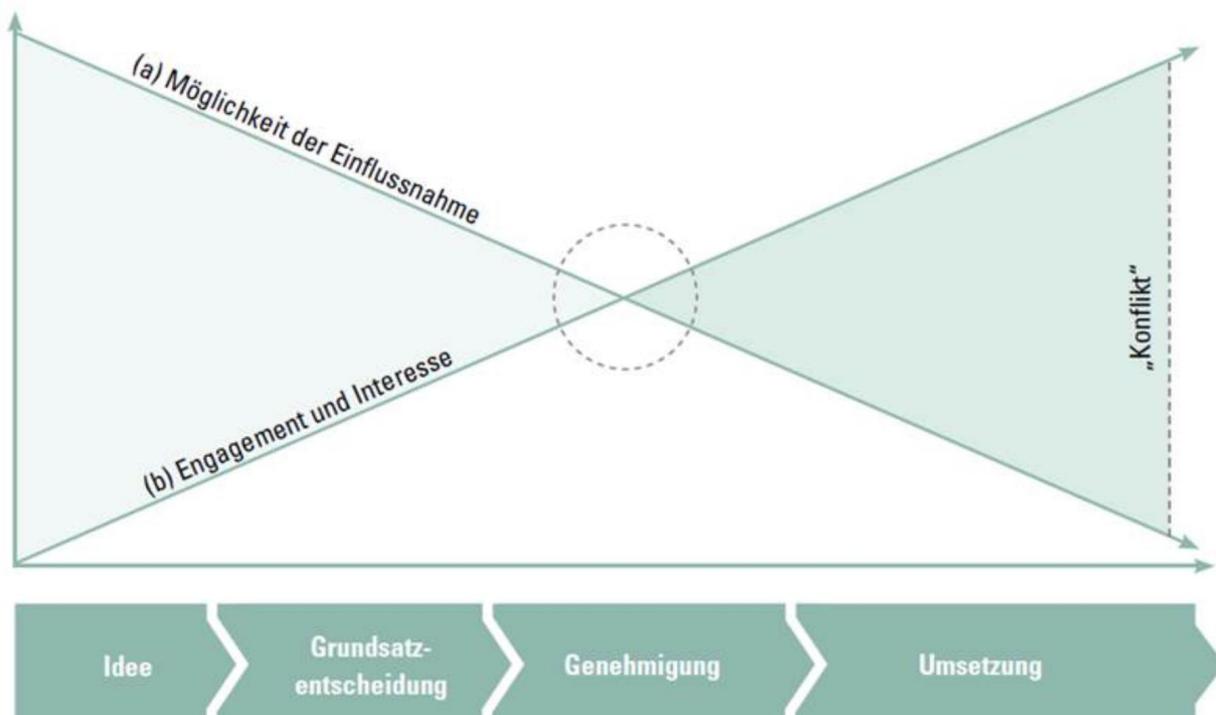
Trassenendpunkt Landshut:
 Energiewirtschaftlich und -technisch nicht so sinnvoll wie Gundremmingen, v. a. wenn Ostbayernring nicht kommt

- Möglichkeiten für mehr Akzeptanz:**
- Beteiligung + Information
 - Braunkohletrasse → Kohleausstieg
 - Kombination mit vorhand. Infrastruktur
 - Erdverkabelung

Quelle: Ahmels, 2011, NEP 2014, Stand 11/14, eigene Ergänzungen

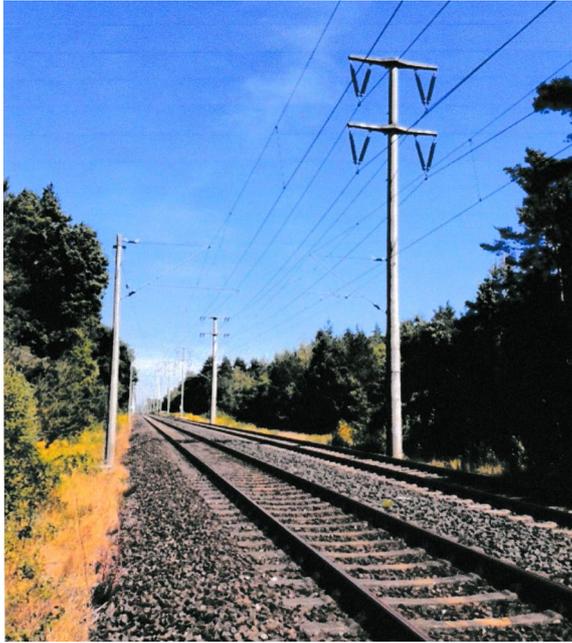
Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 19

Gesellschaftliche Akzeptanz: Einbindung von Anfang an



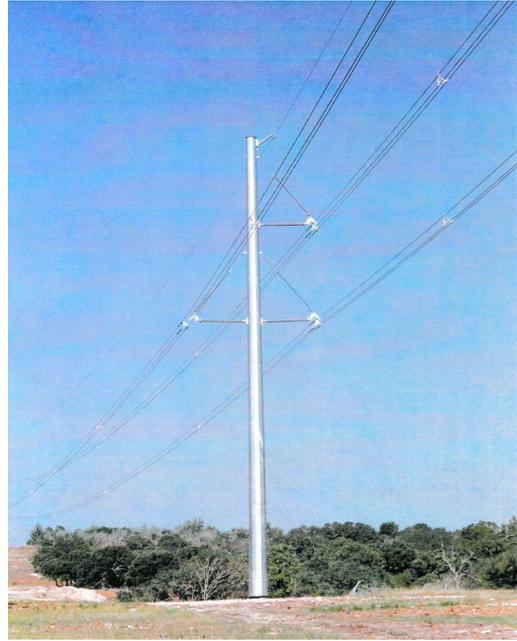
Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 20

Kombination mit Bahntrassen



Bahnstrecke bei Lauf / Nürnberg
2x 15 kV Bahnstrom (links, rechts unten)
und 2x 110 kV Stromtrasse (oben rechts)

Schlankere Masten



Vollwandmasten
in den USA
(Stahl, Beton)

FENES

Quelle: Werner, 2013

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 21

Paradigma „Netzausbau günstigste Option“ noch gültig?

FENES

Verkabelung

1. Technisch schwierig
2. Gesellsch. besser akzeptiert?
3. Mehrkosten:



+ 15 Mrd.



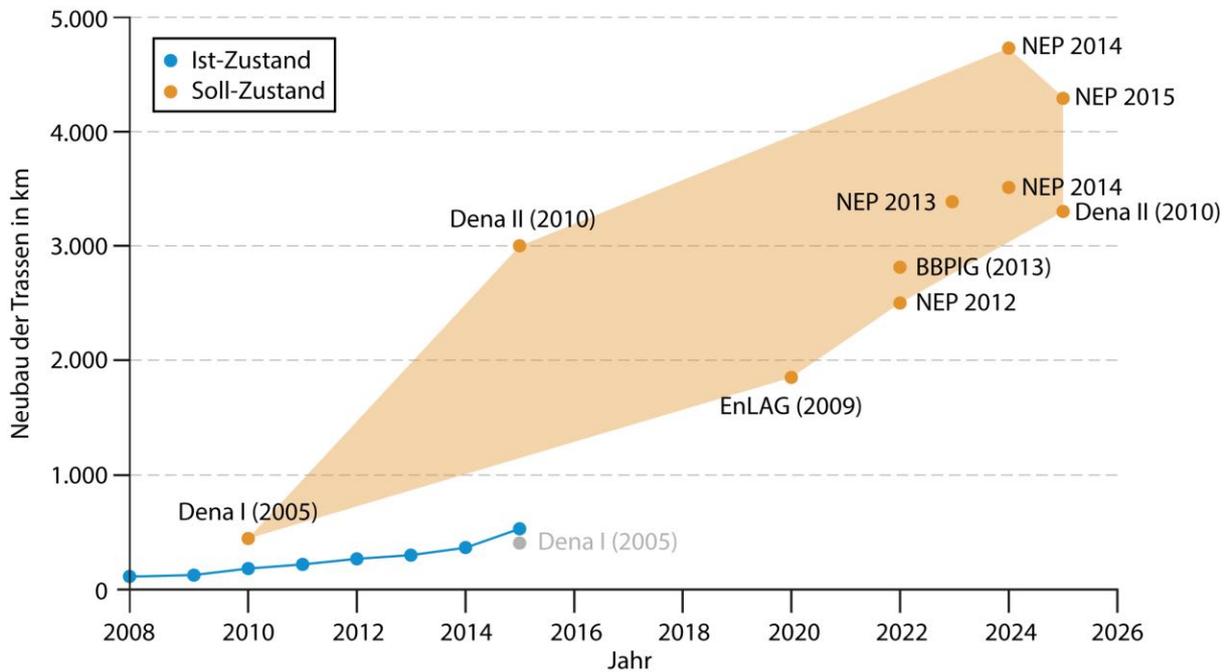
Weiter stockender Netzausbau:

Mehrkosten Redispatch: 2016: ? Mrd. €

→ **Speicher** als Lösungsoption **zulassen!**

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 22

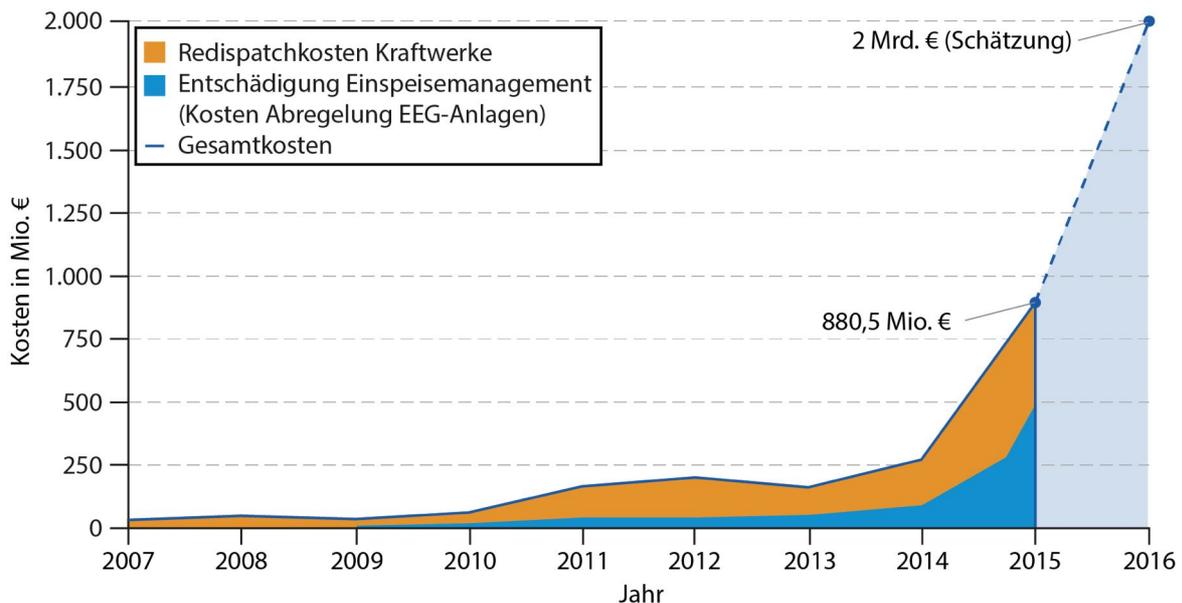
Gegenüberstellung des geplanten Netzausbaus und der bis dato umgesetzten Trassenkilometer



Quelle: Sterner, Bauer, Sektorkopplung für dena, 2016 Datenbasis: BNetzA Monitoringberichte

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 23

Kosten für Redispatch nehmen exponentiell zu (Kraftwerke, Abregelung EEG)



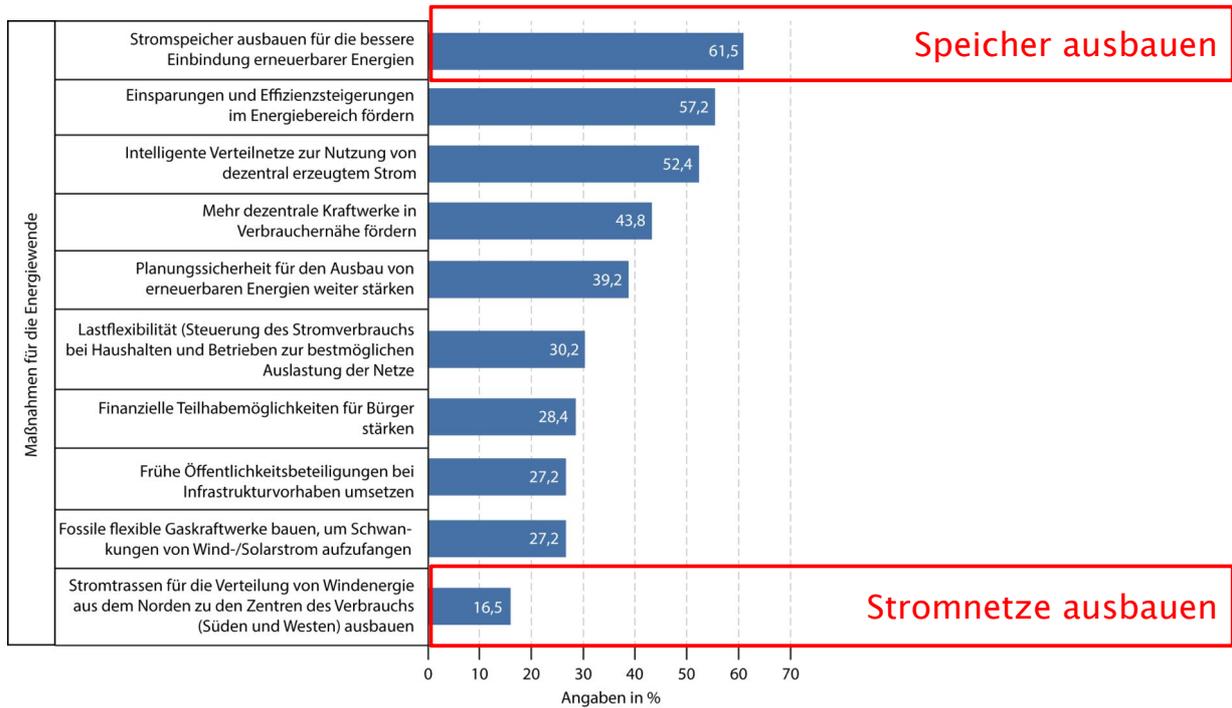
+ zzgl. Kosten für negative Strompreise / Import und Export etc.

→ Speicher als Lösungsoption zulassen!

Quelle: Sterner, Bauer, Sektorkopplung für dena, 2016 Datenbasis: BNetzA Monitoringberichte & FAZ

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 24

Umfrage: „Welches sind aus Ihrer Sicht die wichtigsten Maßnahmen für den Erfolg der Energiewende in den kommenden 10 Jahren?“



C. Henseling, M. Evers-Wölk, B. Oertel, M. Opielka, and C. Kahlisch, "Ausbau der Stromnetze im Rahmen der Energiewende," Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Berlin, 2016.

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 25

Was sind Energiespeicher?

Laden → **Speichern** → **Entladen**

Pump-speicher (Pumped storage)

Kohlehalden (Coal piles)

Wärme-speicher (Thermal storage)

Gasspeicher (Gas storage)

THINK OUTSIDE THE BOX

... viel mehr als Batterien!

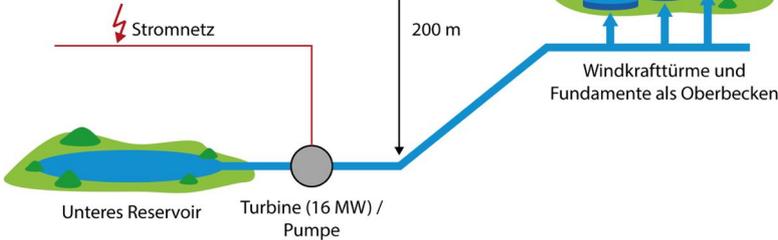
Labels in Gasspeicher diagram: Wind farm, Tank farm, Offshore wind farm, Hydrogen, Natural gas, Compressed air, Solution mining process, Salt cavern, Crude oil, 3D view of a cavern.

Pumpspeicher: klassische „Kraftwerksflexibilisierer“ - Stromspeicher

Probleme: Standorte & Akzeptanz, Wirtschaftlichkeit

Innovatives PSW – Wind-KWK
www.naturstromspeicher.de

**IHR WINDPARK
KANN MEHR ALS
SIE DENKEN ...**



Quelle: Schluchseewerke, 2010

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 27

Kommunale Strom- und Wärmeversorgung über Wind-KWK

„Naturspeicher“ = Pump- und Wärmespeicher – läuft allein mit Wind



Batteriekraftwerke für Netzstabilisierung & Kraftwerksflexibilität

Speicher der Stadtwerke WEMAG & Younicos AG

→ ca. 300 MW PRL in Planung / im Bau / in Betrieb

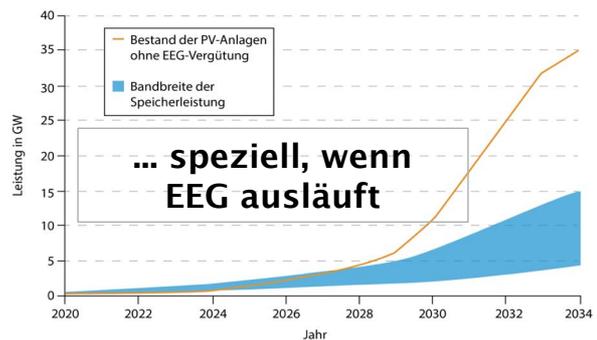
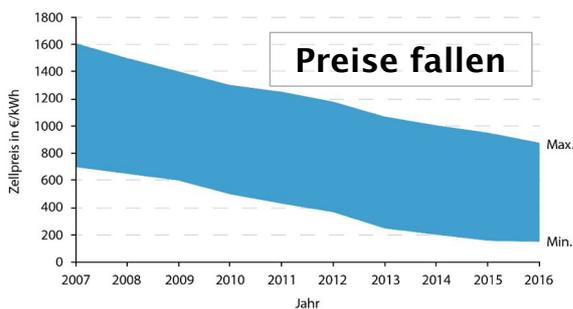
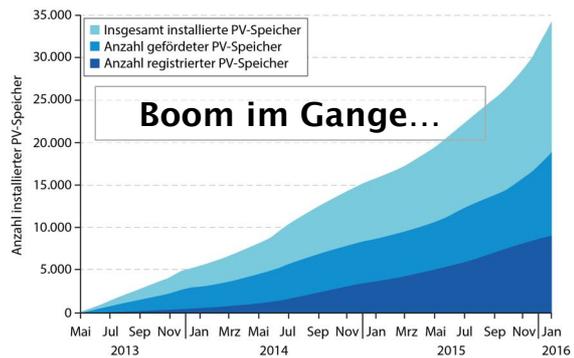


Quelle: Younicos AG, 2014

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 29

Haus-Batteriespeicher

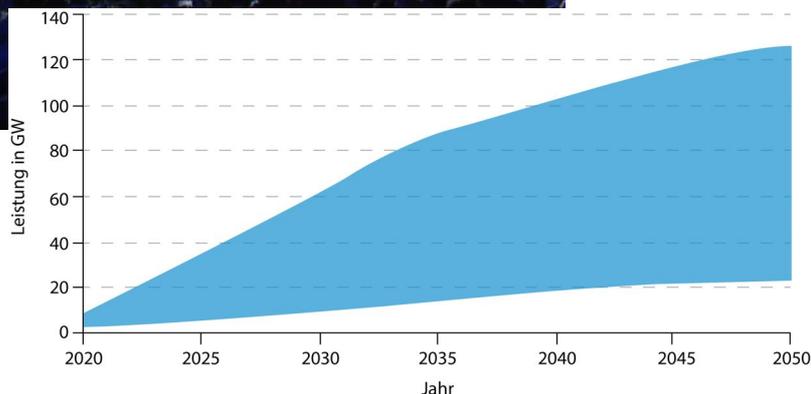
→ **Netzdienlicher Einsatz notwendig**



Quelle: Sterner, Bauer, Hausbatteriesysteme für BEE, 2015 – Bild: Sonnen GmbH

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 30

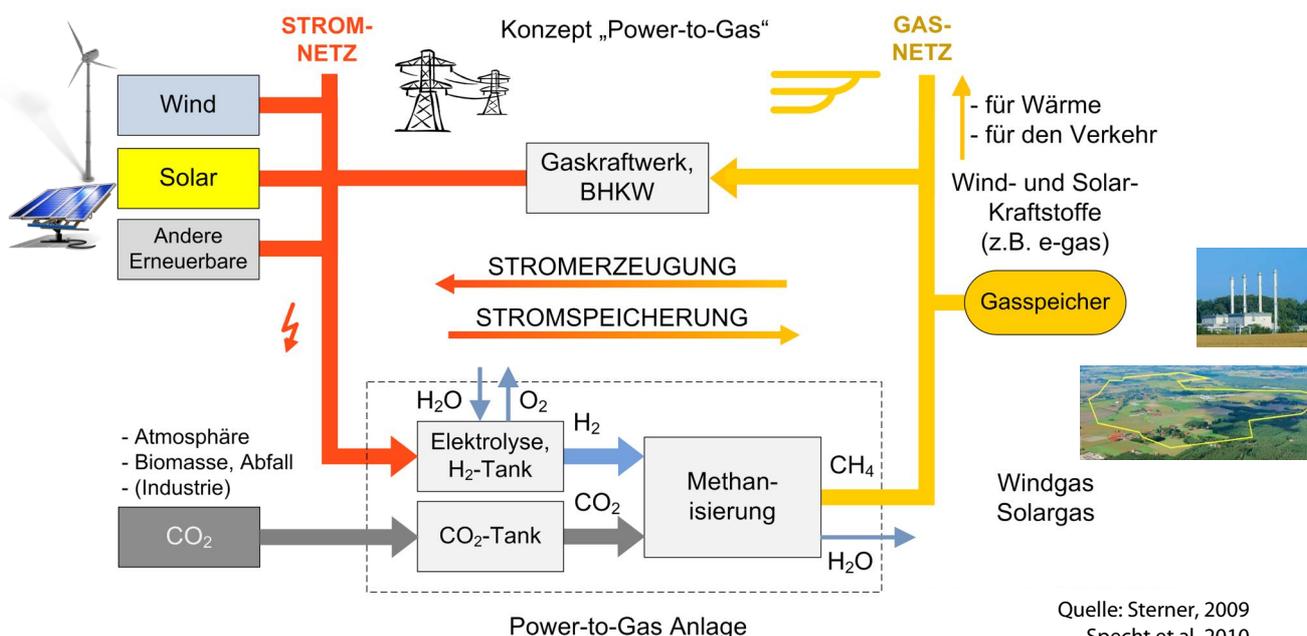
E-mobilität kommt – nur eine Frage der Zeit Tesla Vorstellung Modell 3 – Start: Klimawandel!



Quelle: Sterner et al, Stromspeicher für die Energiewende für Agora, 2014 – Bild: Tesla

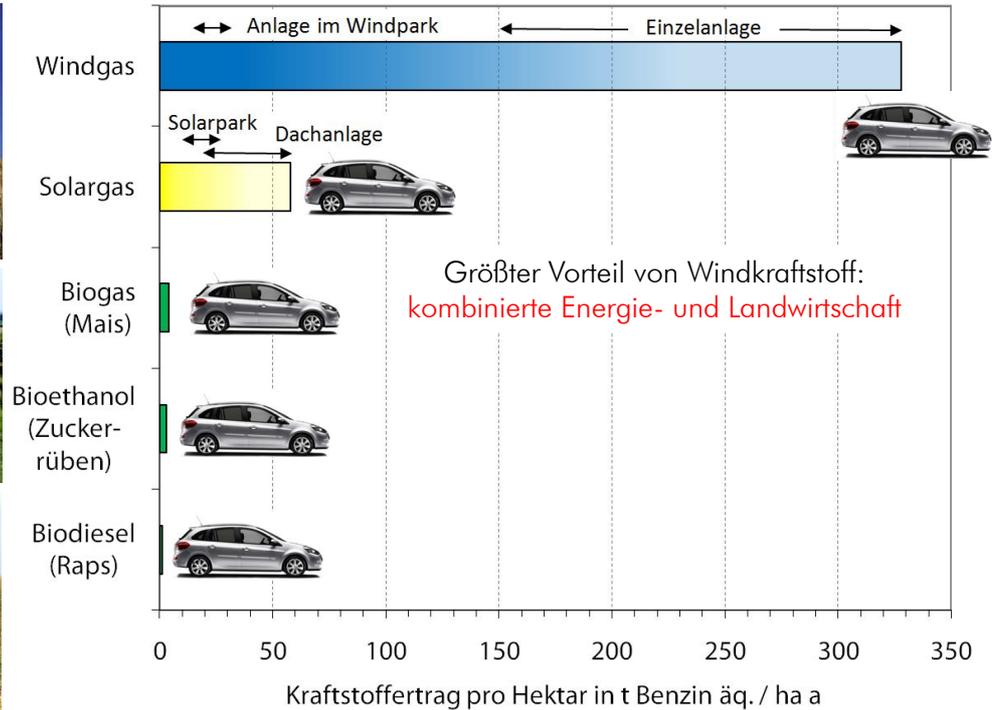
Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 31

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>

Herausforderung Mobilität: Kraftstoffe wie Gas aus Wind + Solar Ergänzung zu Elektromobilität und Biokraftstoffe



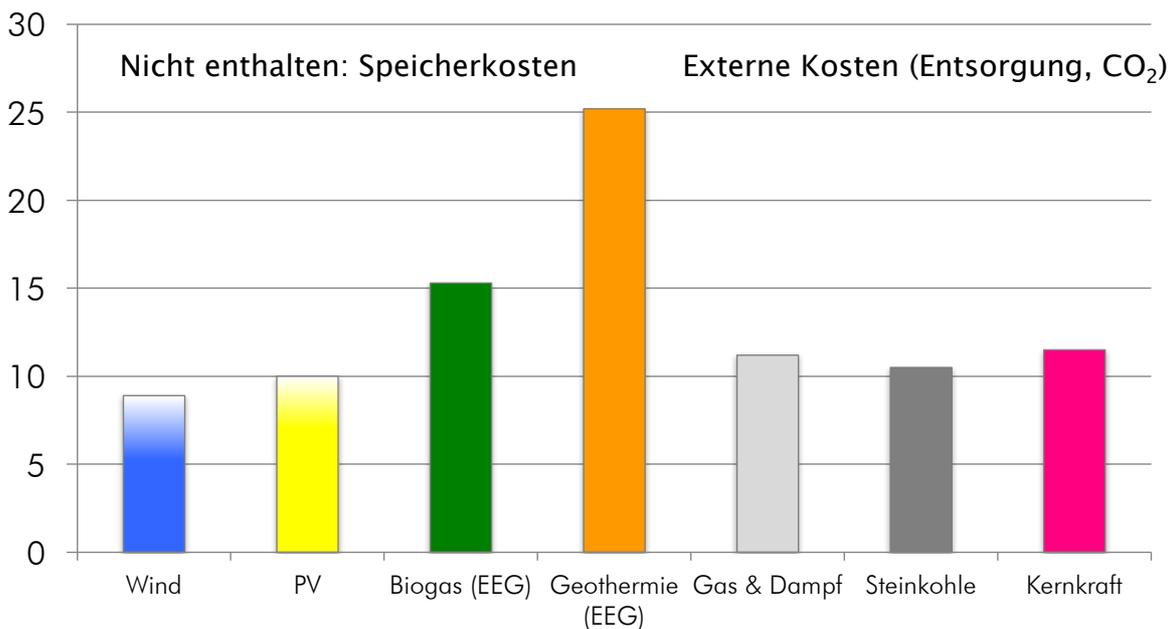
Quelle: IWES 2011, FNR 2011, DESTATIS 2011

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 33

Mythos: „Ökostrom ist teuer“ Wind und Solar am Günstigsten



→ auch global Schalter umgelegt



Gestehungskosten für neue Kraftwerke in cent / kWh 2013

Einspeisevergütung England neues AKW: 11,5 ct / kWh für 35 Jahre, inflationsbereinigt

Quelle: Agora 2013, mit Daten von EWI zu Köln EWI 2011 - 2013, EEG Nov. 2014

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 34

100 % Autarkie Strom & Wärme = „12 % Mehrkosten“?
 4000 Bewerber auf wenig Wohnungen...
 Durch hohe Energiepreise nur in der Schweiz möglich...

Das energieautarke Haus

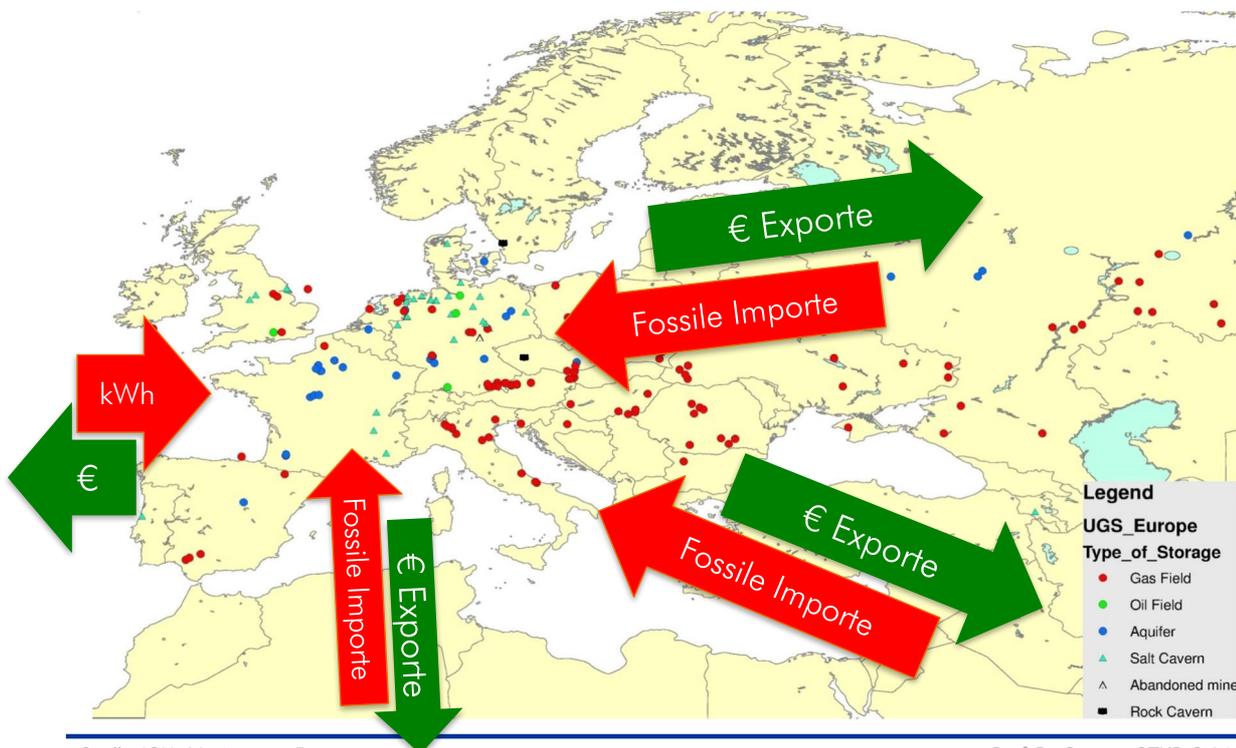


Quelle: Pfenning, 2016

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 35

1970er: Energiekrise → Strategische fossile Reserven
 20xx: Energiewende → Strategische **erneuerbare** Reserven

Reserven = Speicher = Versorgungssicherheit



Quelle: IGU, 2014, eigene Ergänzung

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 36

Deutschland importiert für
100 Milliarden €
 Primärenergie jedes Jahr,
 v. a. Kohle, Öl und Gas.

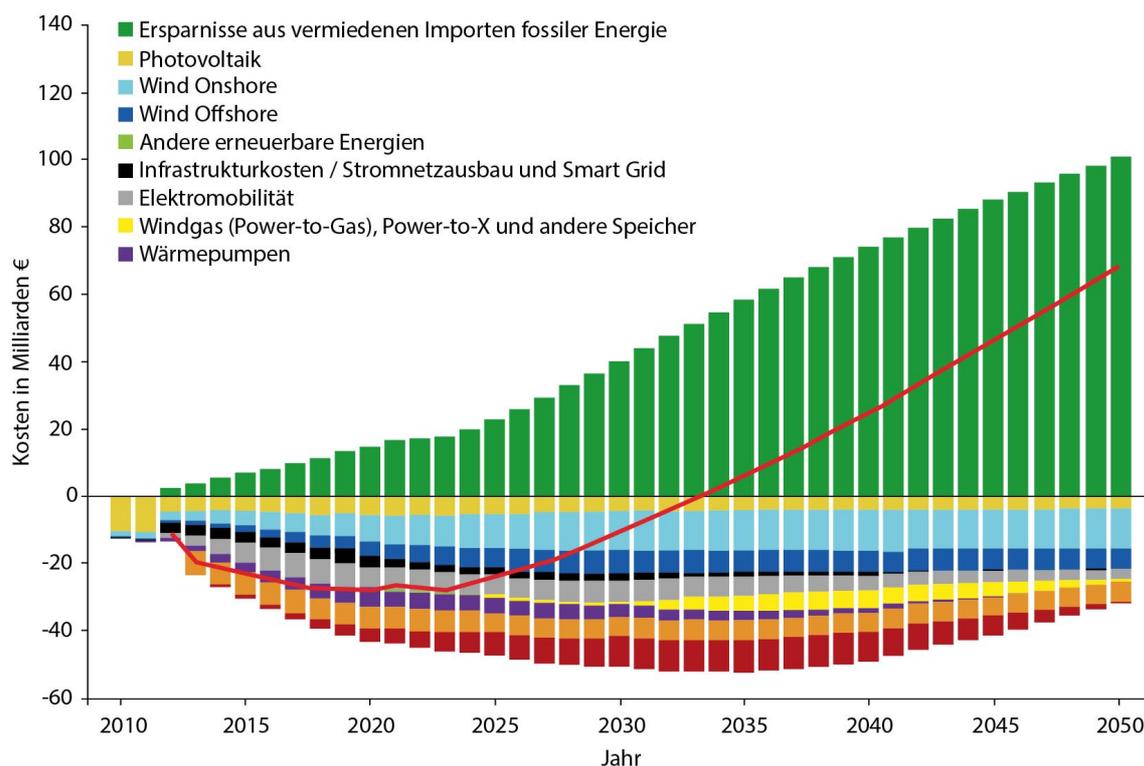
In 10 Jahren „verbrennen“ wir 1000 Mrd. €

→ **Investition** in erneuerbare Energien &
 Infrastruktur (Netze + Speicher)
 ist eine **attraktive Kapitalanlage**

Quelle: Gerhardt et al., 2013 (www.herkulesprojekt.de)

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 37

Energiewende lohnt sich – Rendite 4 – 7 % bis 2050
 Kosten aller Sektoren inkl. Speicher enthalten



Quelle: Studie Geschäftsmodell Energiewende – Norman Gerhardt et al., 2013 (www.herkulesprojekt.de) Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 38

Chance „regionale Energiewende“

Regionale Wertschöpfung durch regionale Versorgung



Geld bleibt in der Region und sichert Umsatz & Arbeitsplätze

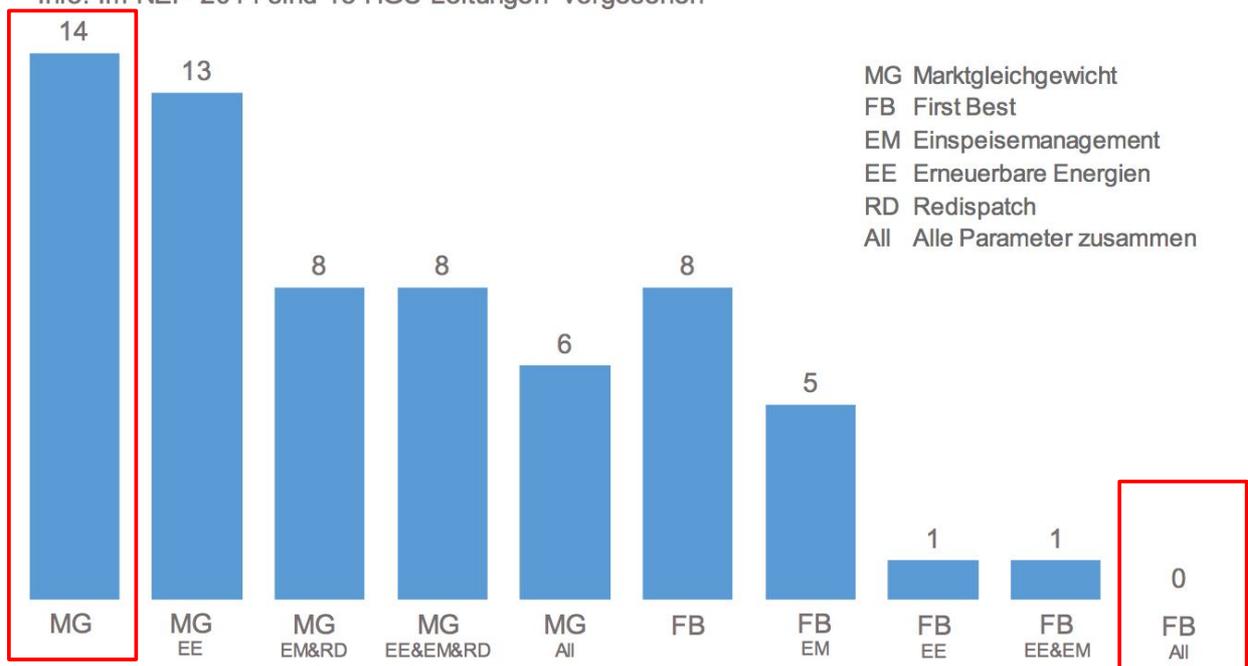
- Partizipation schafft Akzeptanz und Wohlstand
- Regionale Partner entscheidend!

Quelle: StadtwerkeUnion Nordhessen, 2011

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 39

Durch andere EE-Verteilung, Regionalmärkte, Redispatch, EinsMan, flex. KWK und zusätzliche Lasten (PtH und PtG im Norden) lassen sich langfristig (2035) deutlich Stromtrassen einsparen

Info: Im NEP 2014 sind 15 HGÜ-Leitungen vorgesehen

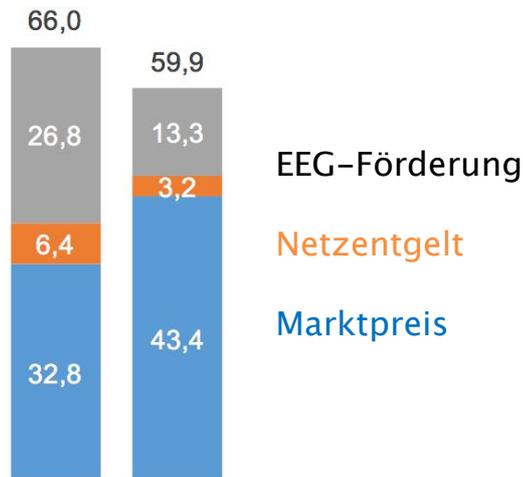


Quelle: Prognos, FAU, ECN 2016 – Dezentralität und zellulare Optimierung – Auswirkungen auf den Netzausbaubedarf

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 40

Regionalszenario am Kostengünstigsten & EE-Förderung minimal

Preisbestandteile für Endkunden in Euro/MWh



Zentral (Status Quo): Markt & Netz
 Nur ein globaler Markt
 Viel Wind im Norden
 → 15 Stromtrassen

Dezentral: Viele regionale Märkte
 Viel EE vor Ort, flex. KWK und Lasten
 Redispatch & Abregelung
 → 0 Stromtrassen

Quelle: Prognos, FAU, ECN 2016 – Dezentralität und zellulare Optimierung – Auswirkungen auf den Netzausbaubedarf

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 41

Bewertung aller energiewirtschaftlichen Themen



→ Entscheiden und daran Arbeiten!

	 Technisch	 Wirtschaftlich	 Ökologisch	 Gesellschaftl.
Eigener Strom aus der Region (Bay.)	Green	Green	Green	Red
Import über Stromtrassen	Green	Yellow	Yellow	Red
Fossiler Import & Kraftwerke	Green	Yellow	Red	Yellow

Quelle: Eigene Darstellung

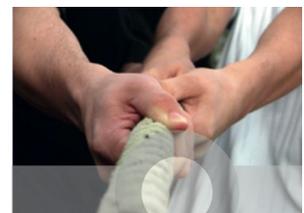
Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 42



Quelle: Nordgröön GmbH, 2016

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 43

Vom Ende her denken + Wege öffnen



■ Energiewende ist notwendig

- Klimaschutz ist Überlebensfrage für die Menschheit
- Regionale Umsetzung und Beteiligung schafft Akzeptanz

■ Energiewende ist technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll

- Wind + Solar günstigste Quellen, Ausgleich u. a. durch Netze & Speicher
- Wärme- und Verkehrswende angehen – Energieeffizienz umsetzen
- Gesellschaftliche Akzeptanz sichern durch Beteiligung und vorbildl. Verhalten

■ Chancen für Kommunen

- Regionale Wertschöpfung schafft Arbeit und Wohlstand
- Nutzung heimischer Ressourcen sichert Zukunft kommender Generationen

■ Politische Rahmenbedingungen sind zu setzen

- Klimapolitik: CO₂ adäquat bepreisen
- Energiepolitik: Heimische Nutzung erneuerbarer Energien ermöglichen, nicht blockieren, regionale Energiemärkte zulassen
Vorbild leben – für Glaubwürdigkeit und die junge Generation!

Wir können / wir kann eh nichts ändern

Illusion

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 45

Was kann ich persönlich tun?

- **Energiewende Strom**
 - Effiziente Geräte installieren
 - Ökostrom einkaufen, nicht Atom- oder Kohlestrom
 - Ökostrom produzieren
- **Energiewende Wärme**
 - Dämmen, Heizungspumpe tauschen, hydraulischer Abgleich
 - Ökoheizung installieren
- **Energiewende Verkehr**
 - Weniger unterwegs sein, Fahrgemeinschaft, ÖPNV, etc.
 - Nachhaltig fortbewegen
- **Einsetzen in Politik, Verbänden, Gemeinden für eine nachhaltige Lebens- und Wirtschaftsweise**

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 46

Energiewende geht nicht ohne Bewusstseinswende

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 47

Kontakt

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

+ 49 - (0) 941 - 943 9888
michael.sterner@oth-regensburg.de

www.othr.de/michael.sterner
www.power-to-gas.de

