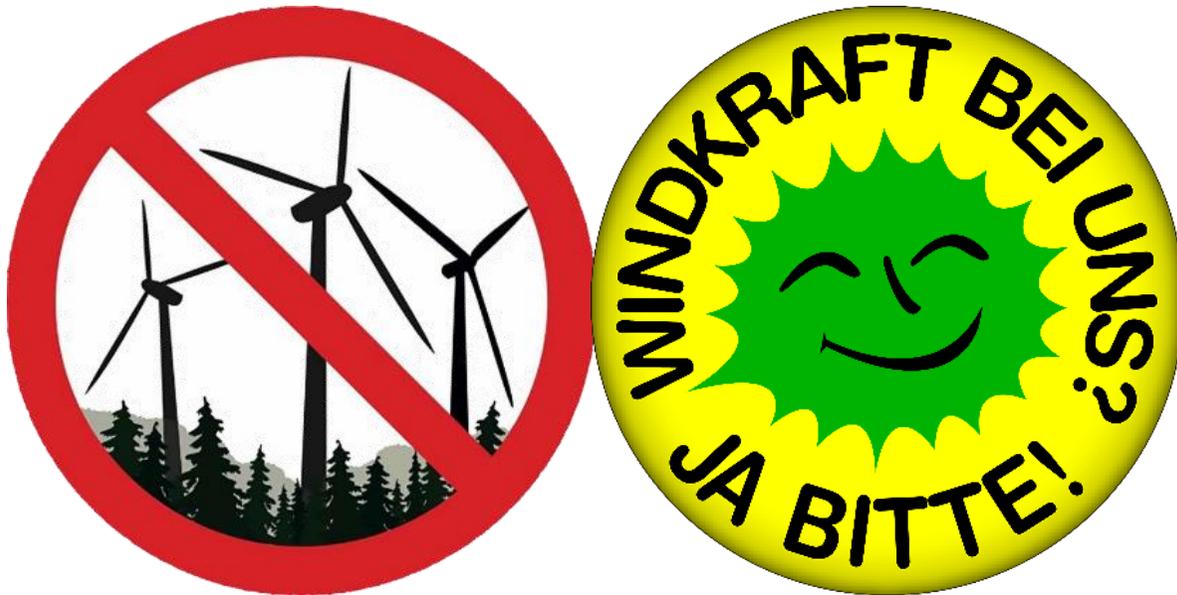


# Grenzen grüner Energie

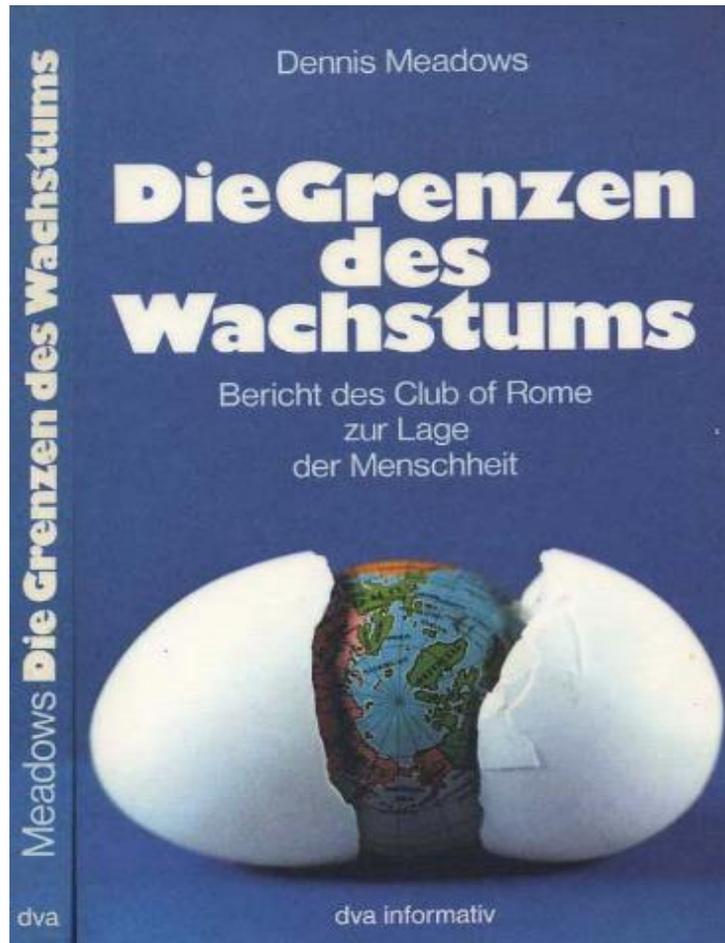
Oder: Die neuen Knappheiten der Energiewende  
und ihre Implikationen für die Gestaltung  
der Transformation des Energiesystems



Science Notes  
Grenzen des Wachstums  
Berlin, 15.09.2018

Prof. Dr. Bernd Hirschl  
IÖW – Institut für ökologische  
Wirtschaftsforschung, Berlin  
und  
BTU Cottbus-Senftenberg

# Die fossilen Grenzen des Wachstums

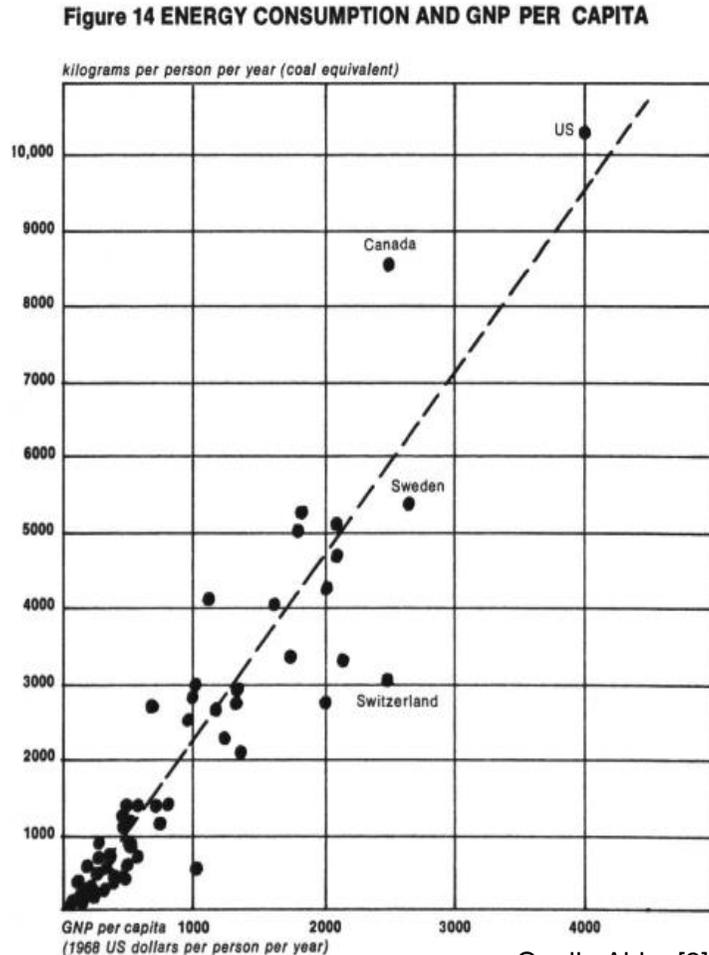


## Zentrale Erkenntnisse von Meadows et al. 1972

- Energieverbrauch korreliert mit dem Pro-Kopf-BSP

Quelle Abb.: [1]

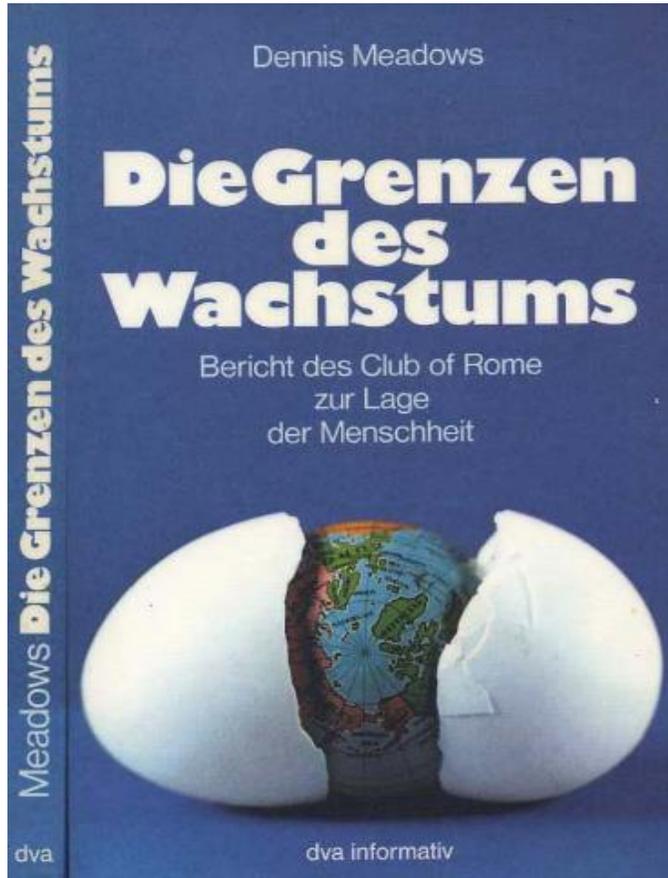
# Die fossilen Grenzen des Wachstums



## Zentrale Erkenntnisse von Meadows et al. 1972

- Energieverbrauch korreliert mit dem Pro-Kopf-BSP
- steigender Wohlstand - im Sinne von wirtschaftlichem Wachstum – führt(e) also zu steigenden Energieverbräuchen

# Die fossilen Grenzen des Wachstums

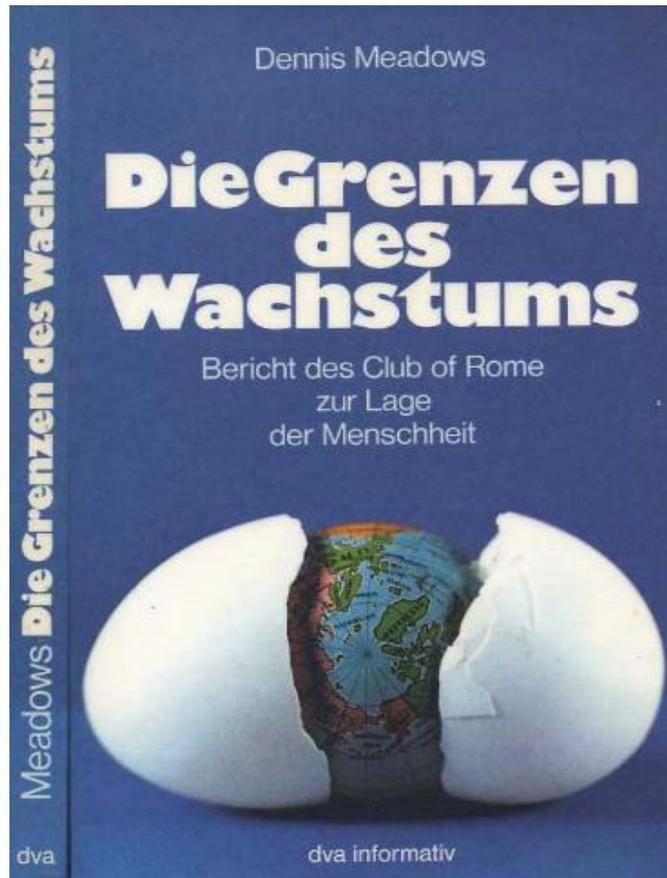


Quelle Abb.: [1]

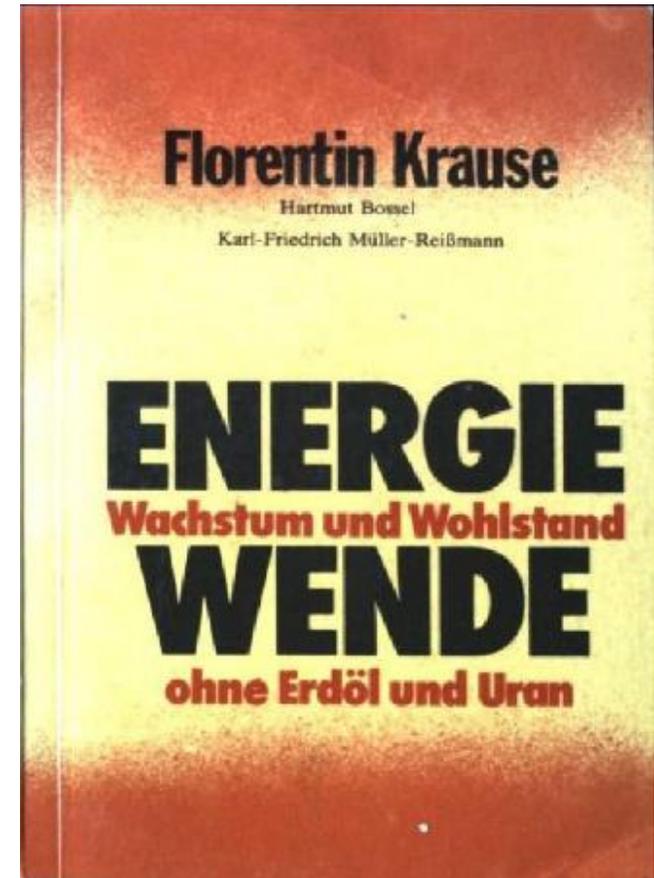
## Zentrale Erkenntnisse von Meadows et al. 1972

- Energieverbrauch korreliert mit dem Pro-Kopf-BSP
- steigender Wohlstand - im Sinne von wirtschaftlichem Wachstum – führt(e) also zu steigenden Energieverbräuchen
- Die natürlichen Grenzen fossiler Rohstoffe werden damit auch zu Grenzen des globalen Wirtschaftswachstums
- Wirtschaftswachstum geht zudem einher mit steigenden Umweltproblemen: CO<sub>2</sub>, radioaktive Abfälle etc.

# Diese Erkenntnisse führten zur „Energiewende 1.0“



Quelle Abb.: [1]



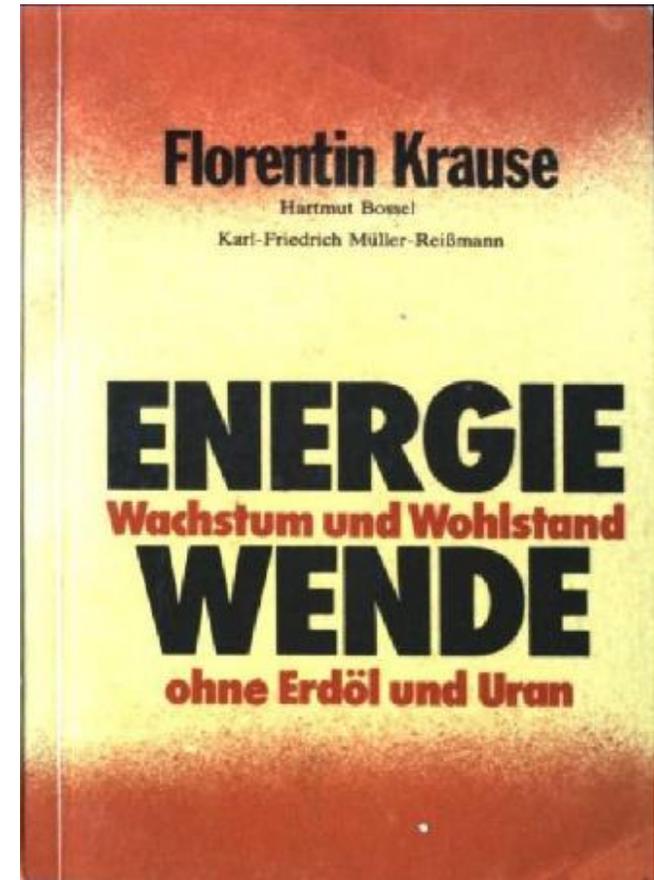
Quelle Abb.: [3]

# ... führten zur „Energiewende 1.0“



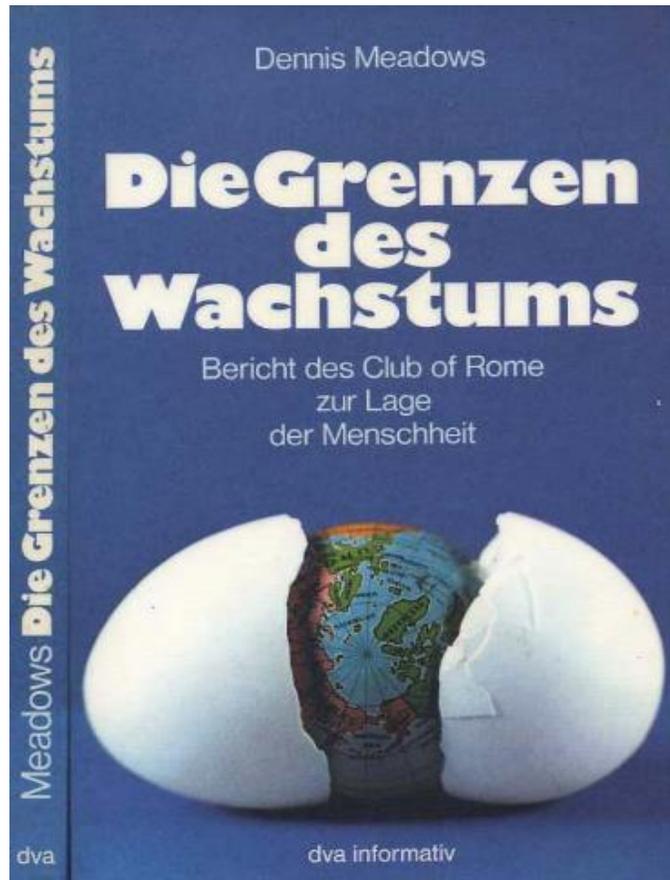
## Zentrale Erkenntnisse von Krause et al. 1980

- Erfahrung der Öl(preis)krise führt zur Debatte über Versorgungssicherheit - Atomkraft ist wg. unvertretbarer Risiken keine Lösung
- Primäre Konsequenz: Einsparung / effiziente Verwendung fossiler Ressourcen ist nötig
  - Paradigmenwechsel: Entkopplung von Wirtschaftswachstum und (fossilem) Energieverbrauch
- Einführung erneuerbarer Energien und Atomausstieg sind möglich



Quelle Abb.: [3]

# Lösen die fossilen Grenzen (Knappheiten) das Problem nicht von allein?



Quelle Abb.: [1]

**Grenzen der Verfügbarkeit fossiler Energien führen zu Fördermaxima**

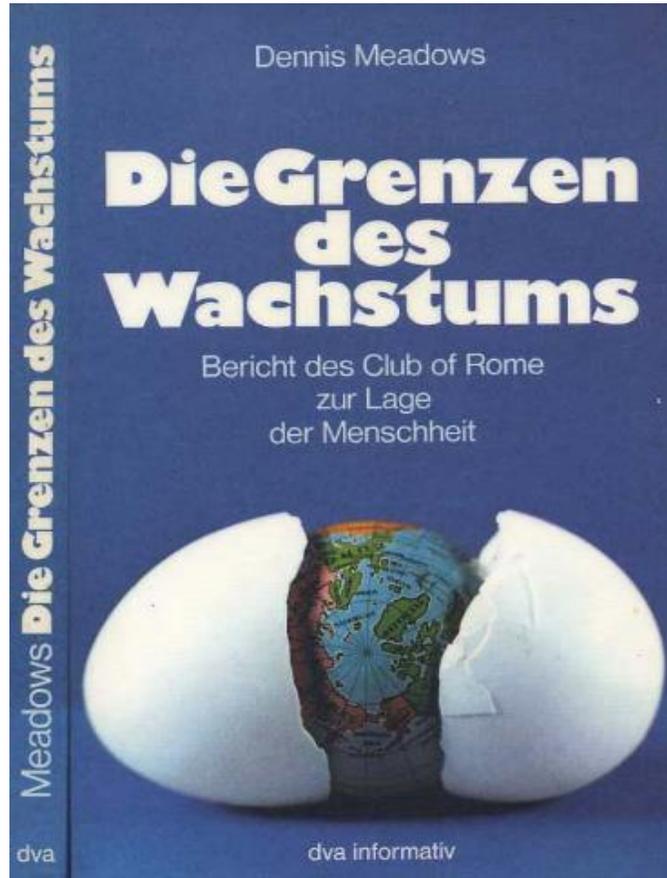
**Abnehmende Förderung führt (bei gleichbleibender/ steigender Nachfrage) zu steigenden Preisen**

## ➤ **Peak-oil-Theorie**

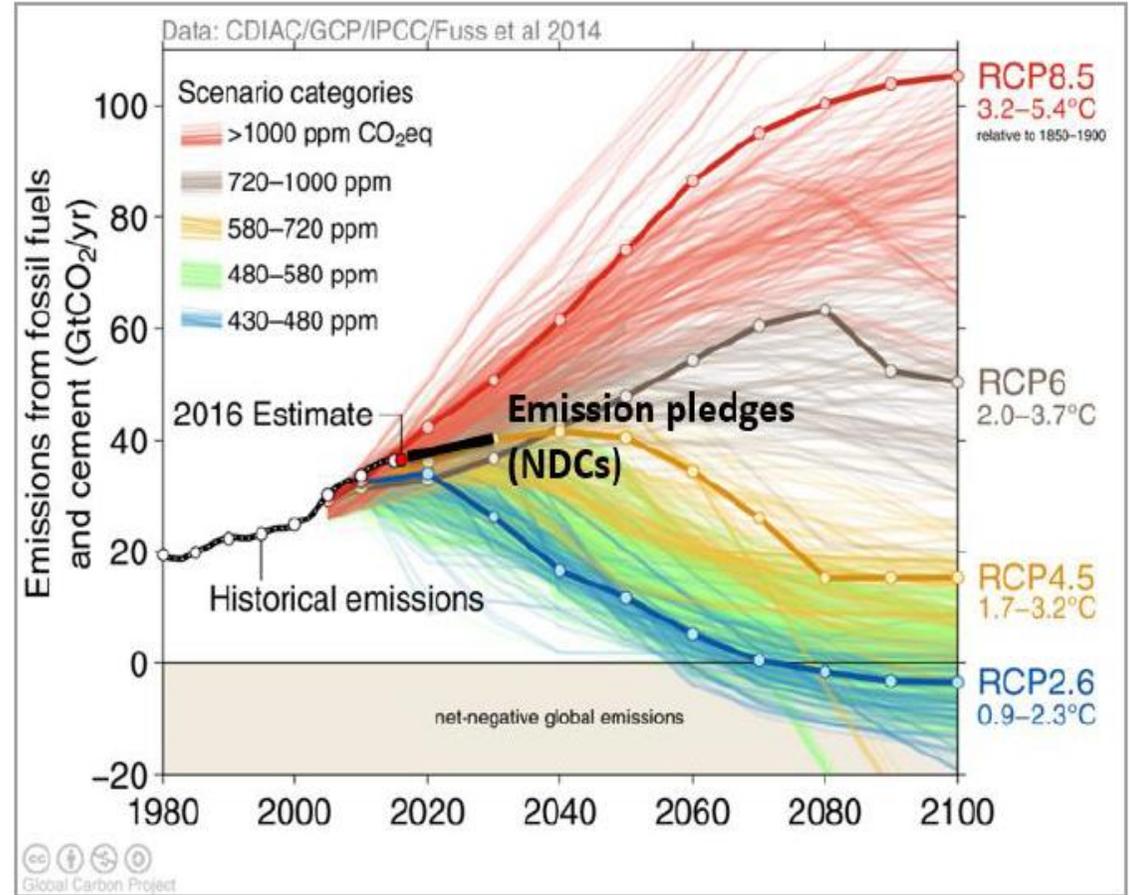
**Fehlannahmen:**

- **Neue konventionelle Funde**
- **Nachfrage stark schwankend**
- **Preise politisch**
- **steigende Preise ermöglichen unkonventionelle Quellen**

# Eine echte und harte Grenze: Knappheit in der Atmosphäre



Quelle Abb.: [1]



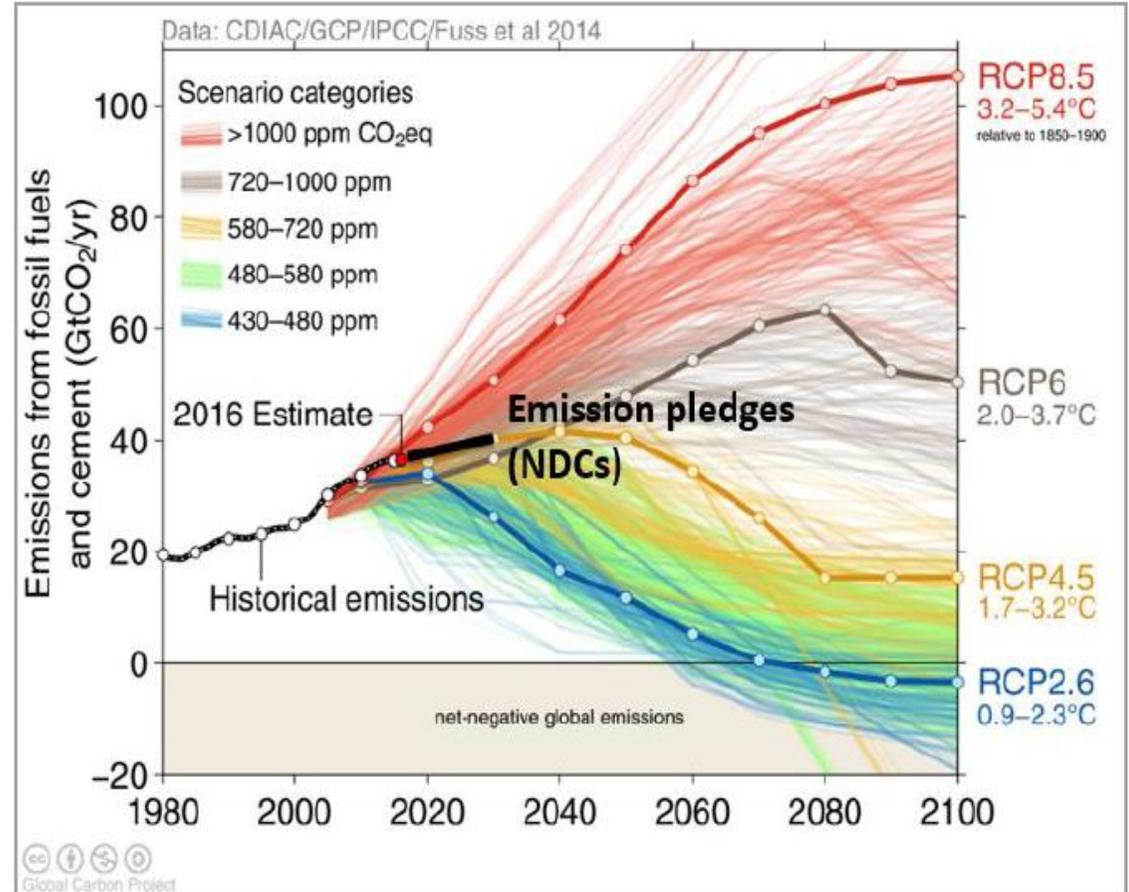
Quelle Abb.: [4]

# Eine echte und harte Grenze: Knappheit in der Atmosphäre



## „Peak CO<sub>2</sub>“

- Um einen gefährlichen anthropogenen Klimawandel zu verhindern ...
  - seit Paris 2015: +2°
- ... muss der globale CO<sub>2</sub>-Peak bald erreicht werden und eine Reduktion bis zur Klimaneutralität erfolgen
  - „Dekarbonisierung“ (gemeint: „Defossilisierung“)



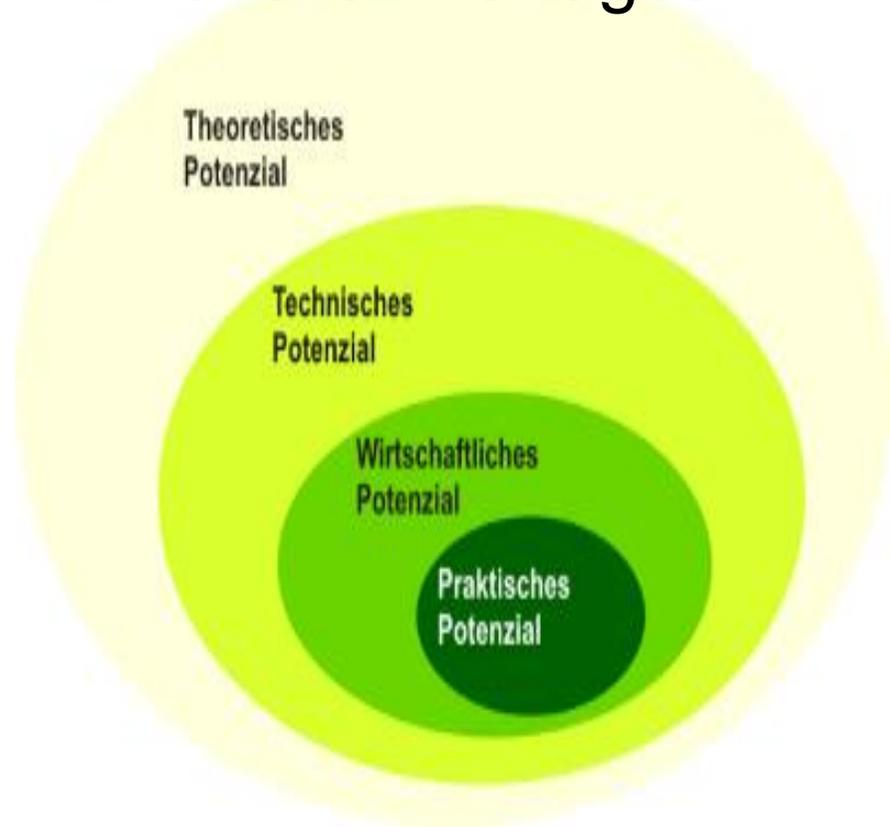
Quelle Abb.: [4]

# Lösungsansatz: erneuerbare Energien



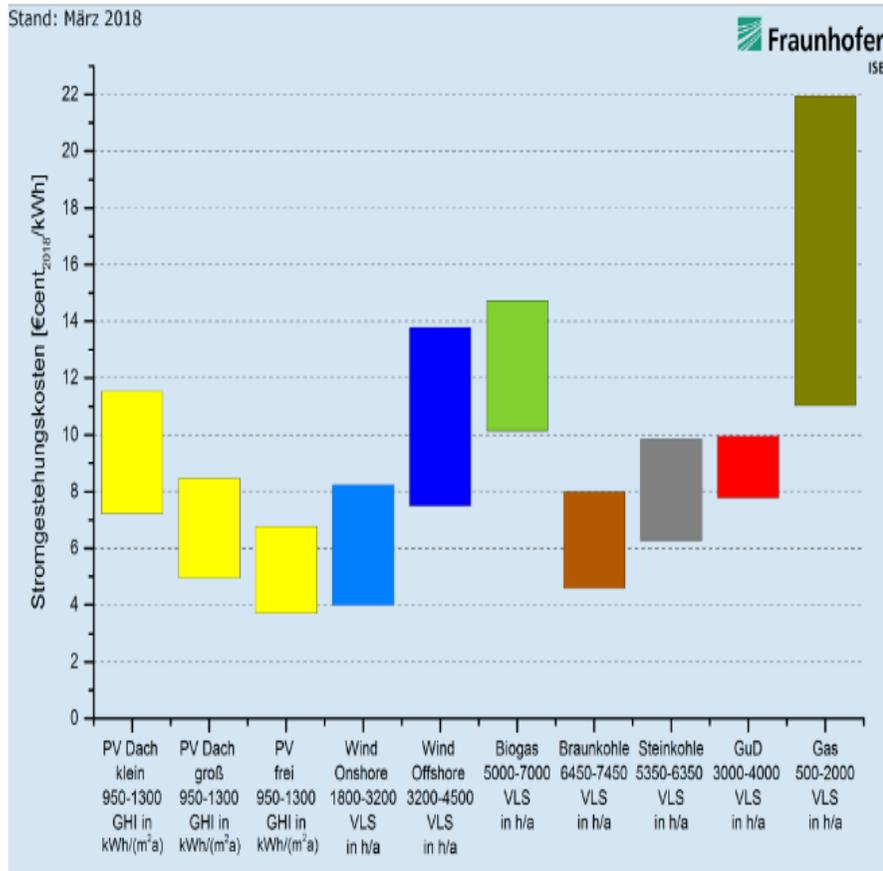
Quelle Abb.: [5]

## Unendlich verfügbar?

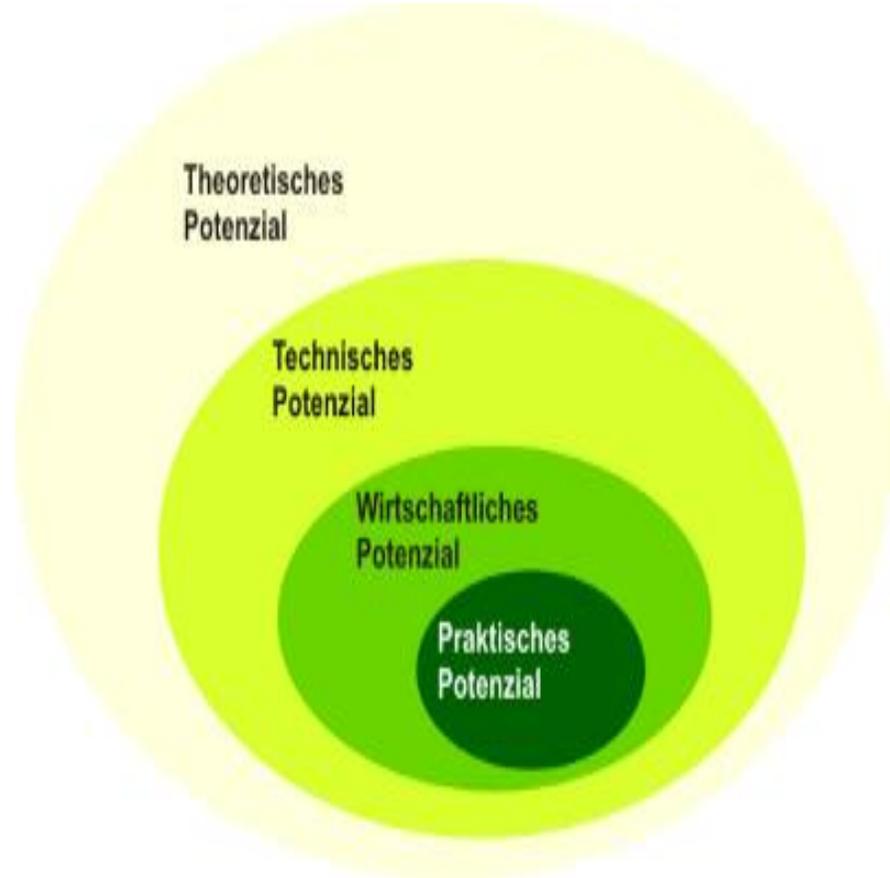


Quelle Abb.: [6]

# Lösungsansatz: erneuerbare Energien Heute schon z.T. günstiger

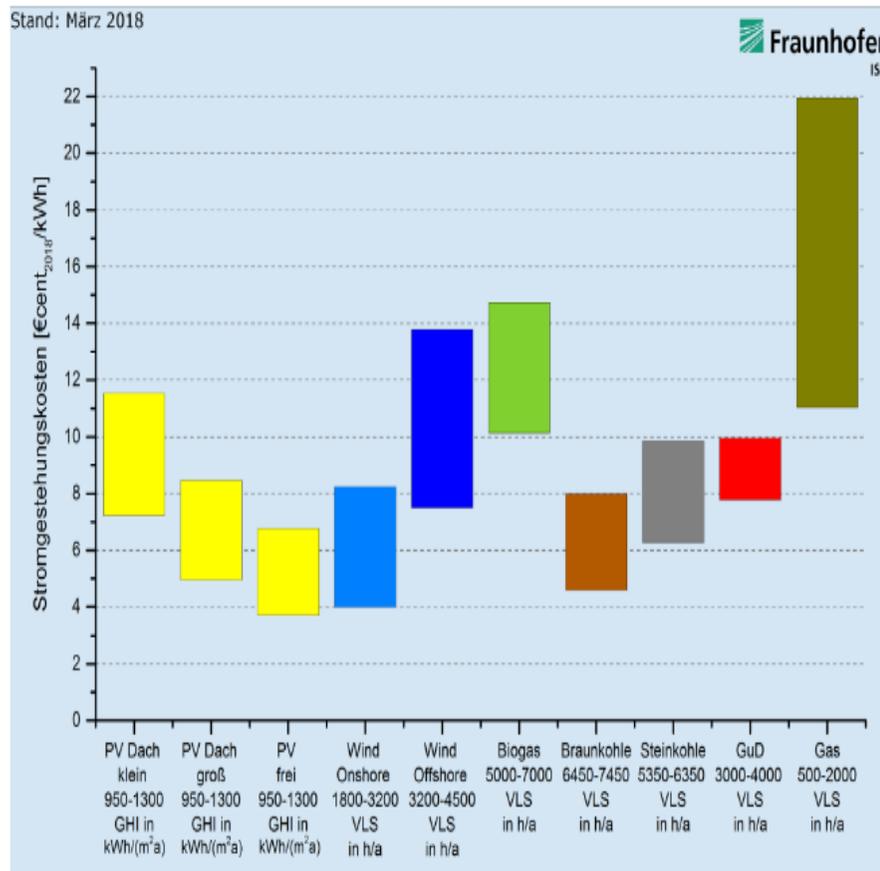


Quelle Abb.: [7]



Quelle Abb.: [6]

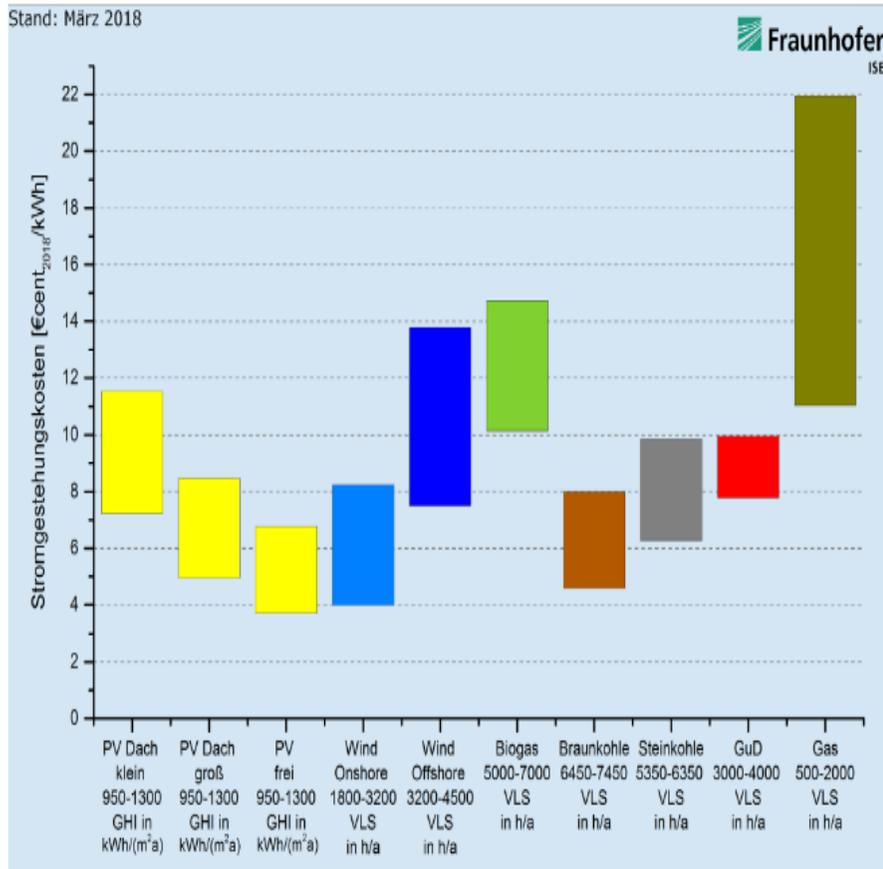
# Lösungsansatz: erneuerbare Energien Heute schon z.T. günstiger



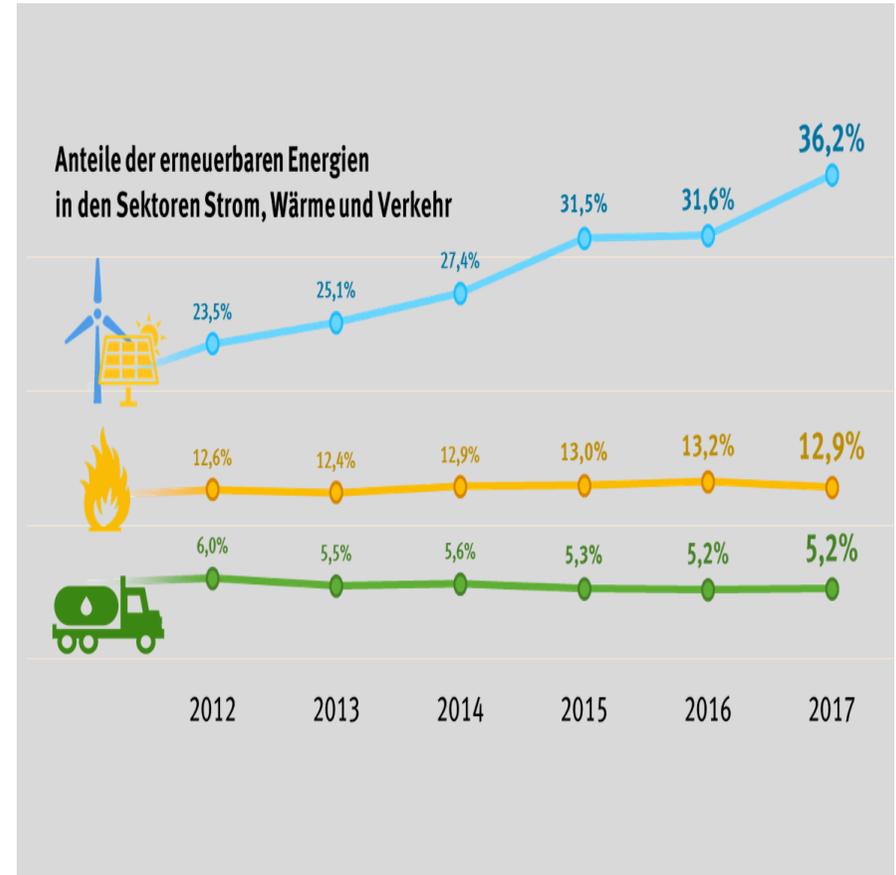
Quelle Abb.: [7]

- **Wind- und Solar werden ggf. noch günstiger**
  - Eigenverbrauch rechnet sich zudem gegenüber dem Strombezugspreis
- **Fossile Kraftwerke werden in jedem Fall aber noch (deutlich) teurer**
  - maßgeblich aufgrund steigender CO<sub>2</sub>-Preise und geringerer Volllaststd.
- **Wie sieht die Entwicklung aktuell aus?**

# Lösungsansatz: erneuerbare Energien Durchwachsene Entwicklungen



Quelle Abb.: [7]

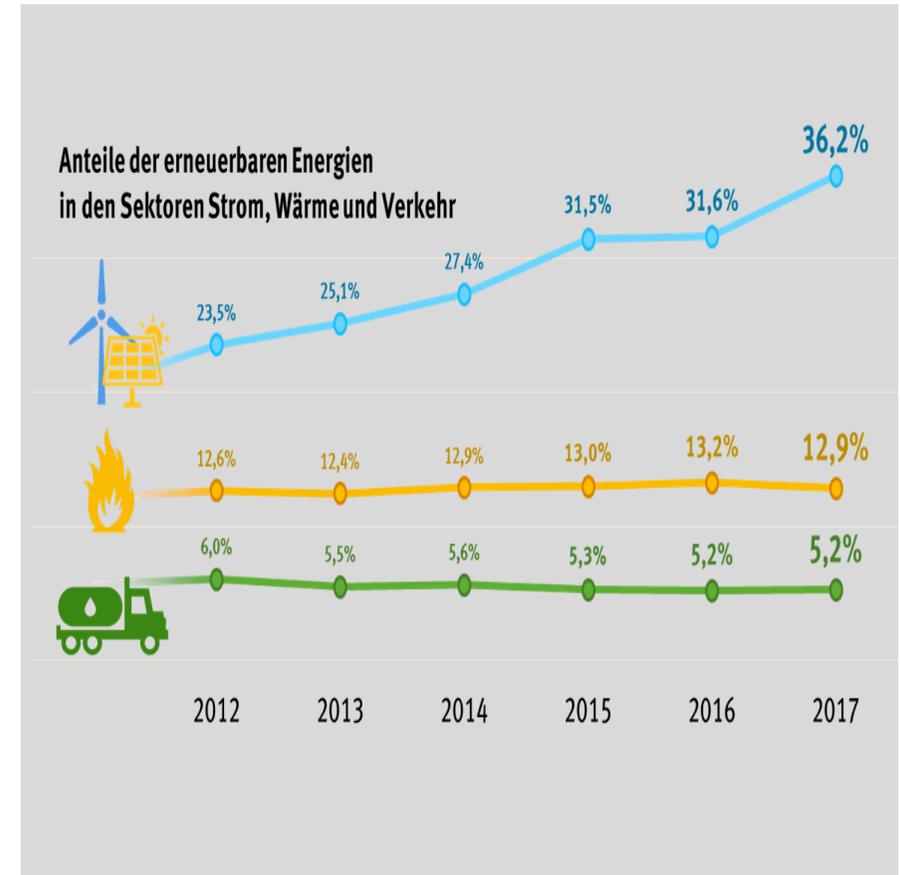


Quelle Abb.: [8]

# Lösungsansatz: erneuerbare Energien Durchwachsene Entwicklungen



- **Stromwende auf gutem Weg**
- **Wärme- und Verkehrswende stagniert**
  
- **Der Stromsektor kann dem Wärme- und Verkehrssektor als Puffer / Speicher helfen, und die zunehmenden, schwankenden Wind- und Sonnenstrommengen aufnehmen**
  - **Sektorkopplung**
  - **Power – to – X**

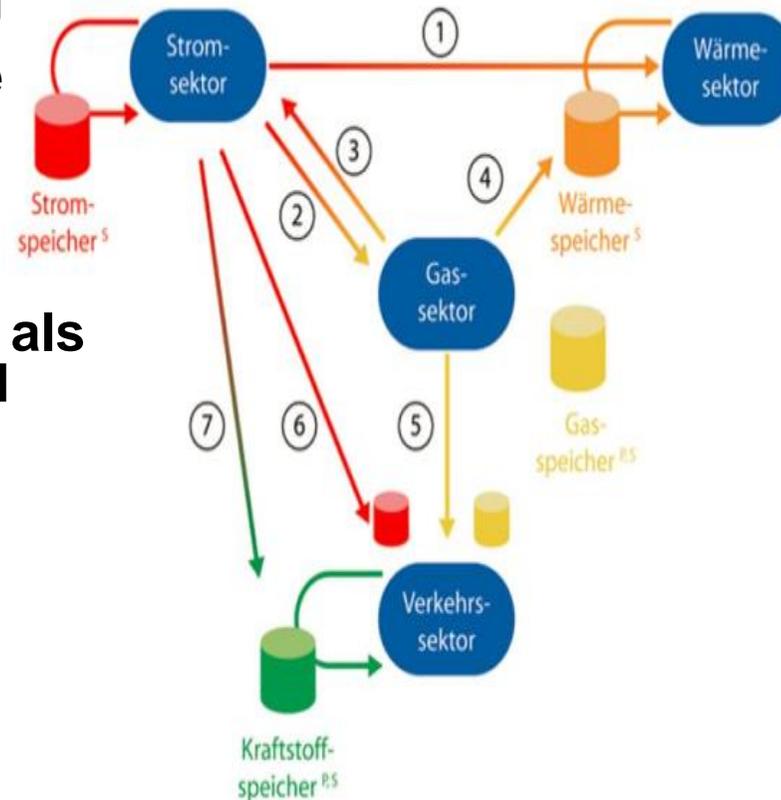


Quelle Abb.: [8]

# Lösungsansatz: erneuerbare Energien Sektorkopplung als Schlüssel



- **Stromwende auf gutem Weg**
- **Wärme- und Verkehrswende stagniert**
  
- **Der Stromsektor kann dem Wärme- und Verkehrssektor als Puffer / Speicher helfen, und die zunehmenden, schwankenden Wind- und Sonnenstrommengen aufnehmen**
  - Sektorkopplung
  - Power – to – X



- ① Power-to-Heat Flexible KWK
- ② Einspeichertechnologie Power-to-Gas
- ③ Power-to-Gas als Stromspeicher
- ④ Power-to-Gas als Wärmespeicher
- ⑤ Power-to-Gas als Stromkraftstoff
- ⑥ Elektromobilität
- ⑦ Power-to-Liquid als Stromkraftstoff
  
- P Primärer Energiespeicher
- S Sekundärer Energiespeicher

Quelle Abb.: [9]

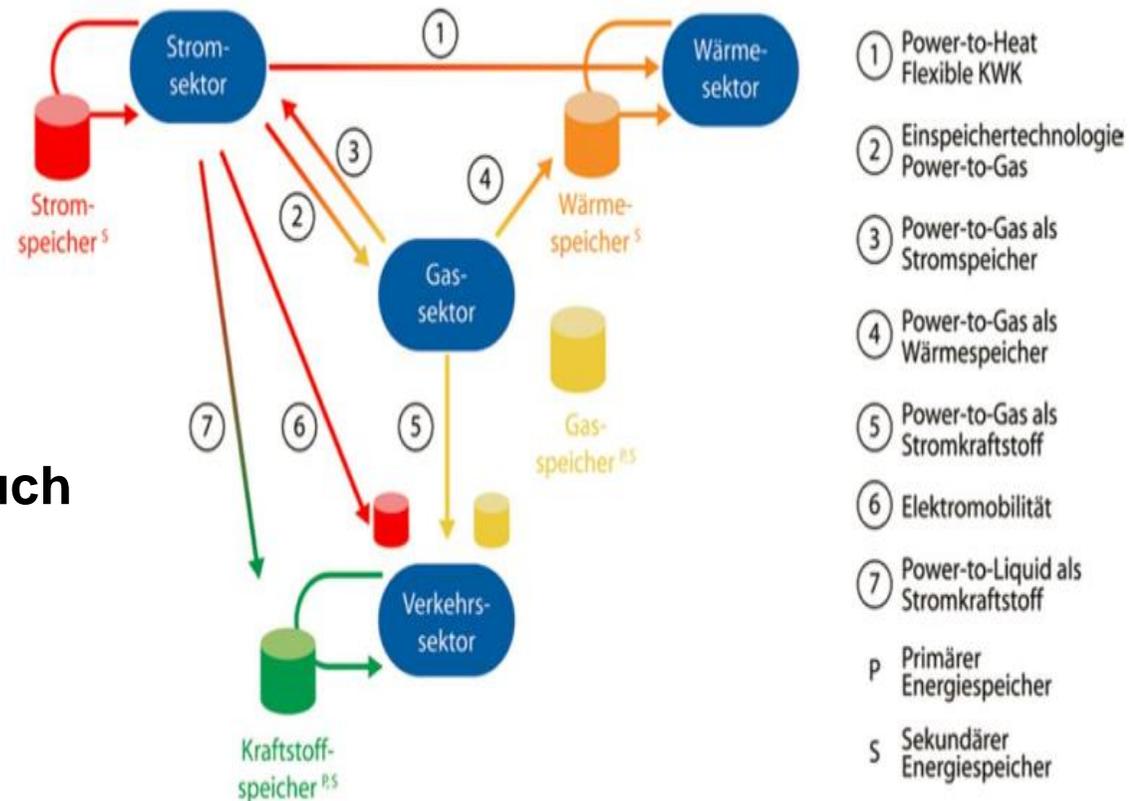
# Lösungsansatz: erneuerbare Energien Sektorkopplung als Schlüssel



## Komplexes Optimierungs- und Steuerungsproblem

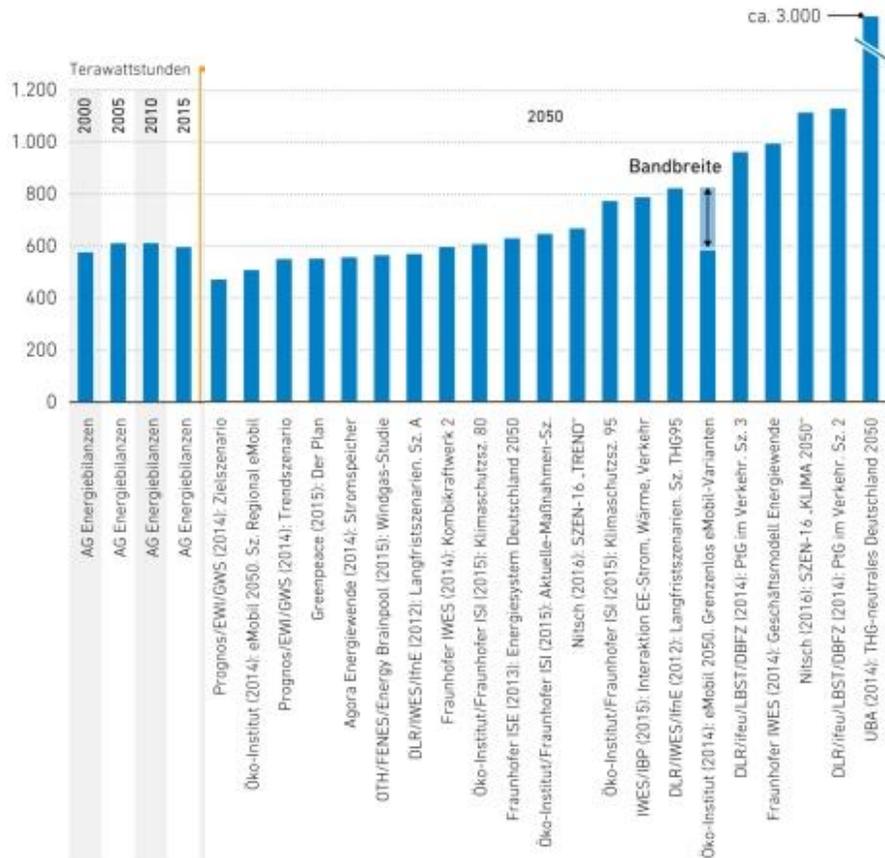
### Digitalisierung als enabler für

- bessere Verbrauchs- und Erzeugungsprognosen
- Effiziente Koordination von Erzeugung, Nachfrage und Systemdienstleistungen - auch bei (sehr) vielen Akteuren
- Plattformkonzepte
- p2p-Konzepte möglich (blockchain etc.) ...
- ...



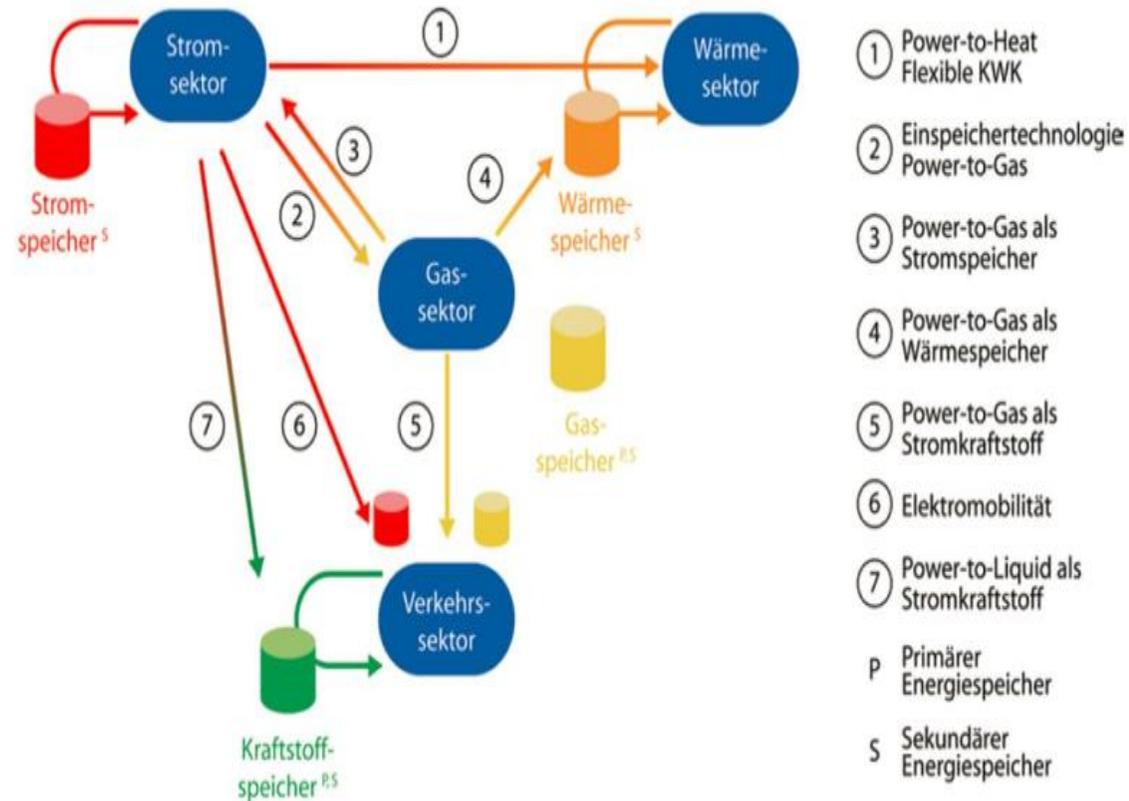
Quelle Abb.: [9]

# Wie viel Strom brauchen wir denn dann?



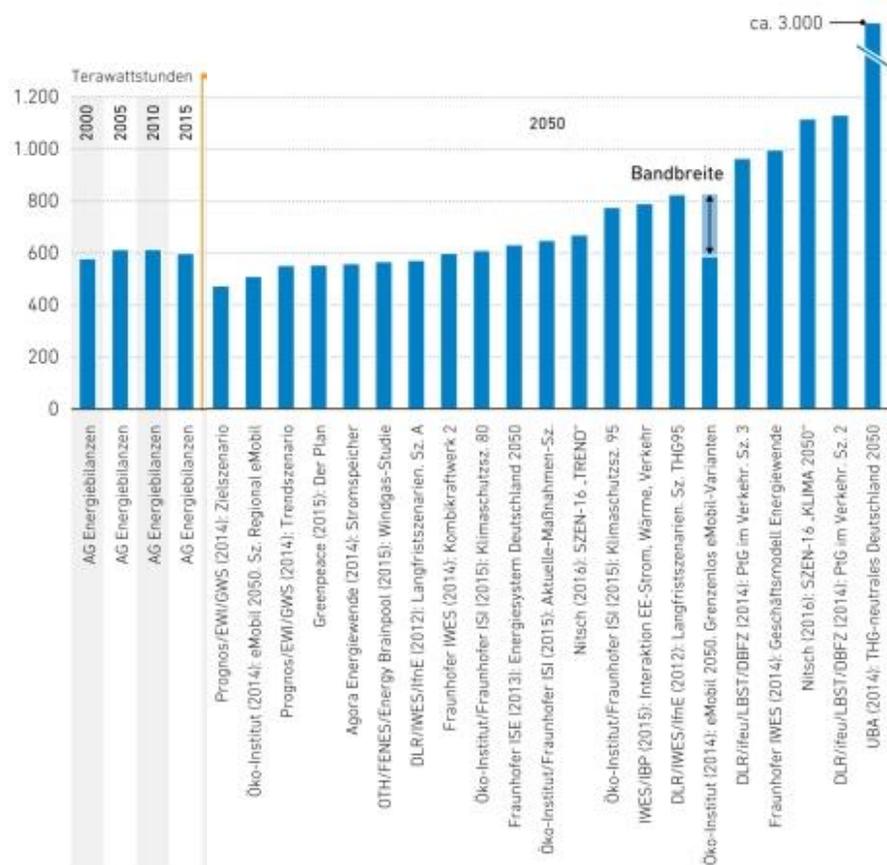
www.forschungsradar.de

Quelle Abb.: [10]



Quelle Abb.: [9]

# Wie viel Strom brauchen wir denn dann?

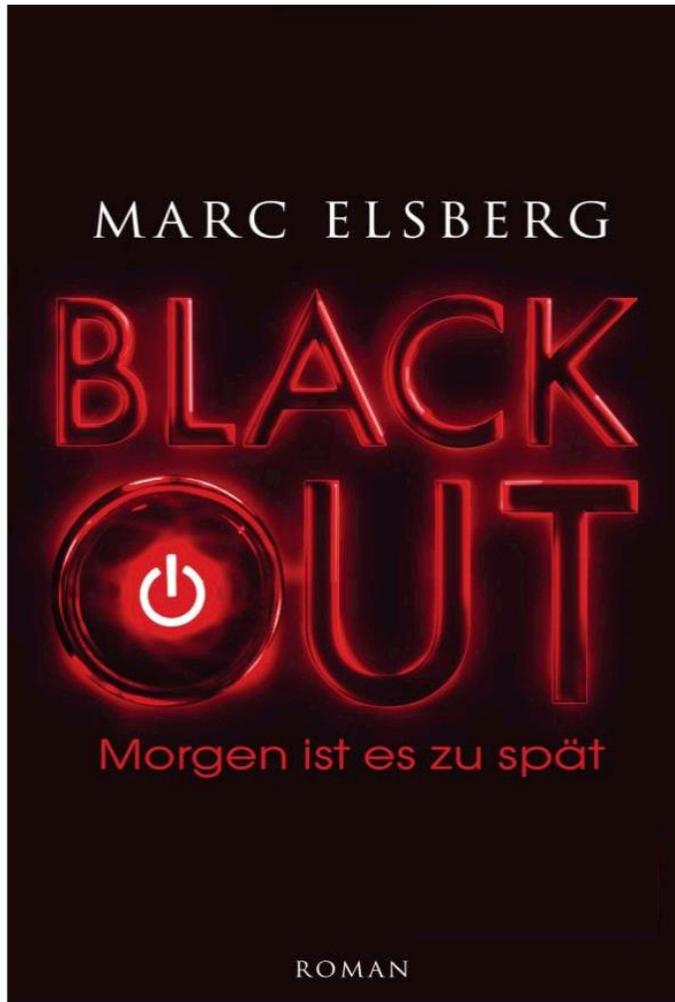


[www.forschungsradar.de](http://www.forschungsradar.de)

Quelle Abb.: [10]

- Je nach Grad der Sektorkopplung kann sich der Stromverbrauch deutlich erhöhen
  - „all electric world“ würde bedeuten: vervielfachen
- Dazu kommt noch der Mehrverbrauch der Digitalisierung ...
  - „Internet der Dinge“ – von Cloud-Konsum bis Online-Handel – verursacht massiven Stromverbrauch
- ... und die Risiken der Digitalisierung ...

# Ein digitales Energiesystem ist nötig - birgt aber hohe Risiken



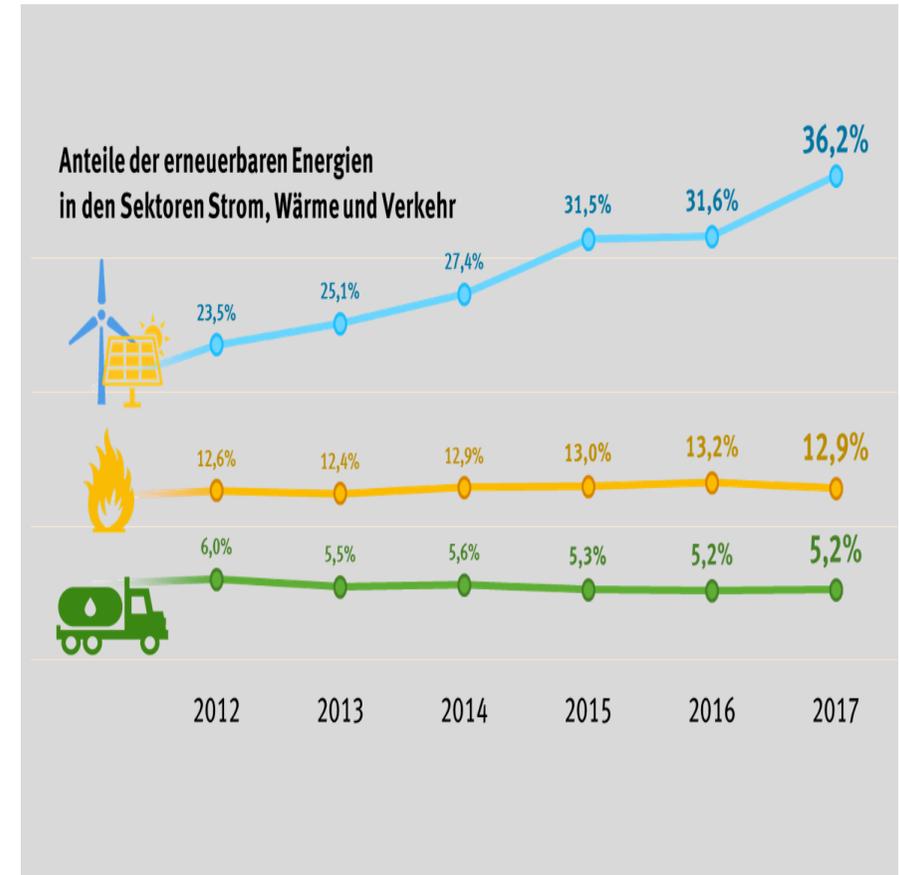
Quelle Abb.: [11]

Einen  
**großflächen,  
langanhaltenden  
blackout**  
würde unsere  
**Zivilisation**  
wie wir Sie heute kennen  
(und zu wenig wertschätzen)  
**nicht überleben**

# Wie viel EE-Strom brauchen wir denn nun?



- **Statt 80% EE-Strom (Ziel der Bundesregierung für 2050) werden wir 100% brauchen**
- **... oder eher: „200%“**
- **Hohe Zubauraten sind nötig!**
  - Z.B. 7-10 GWp PV / a

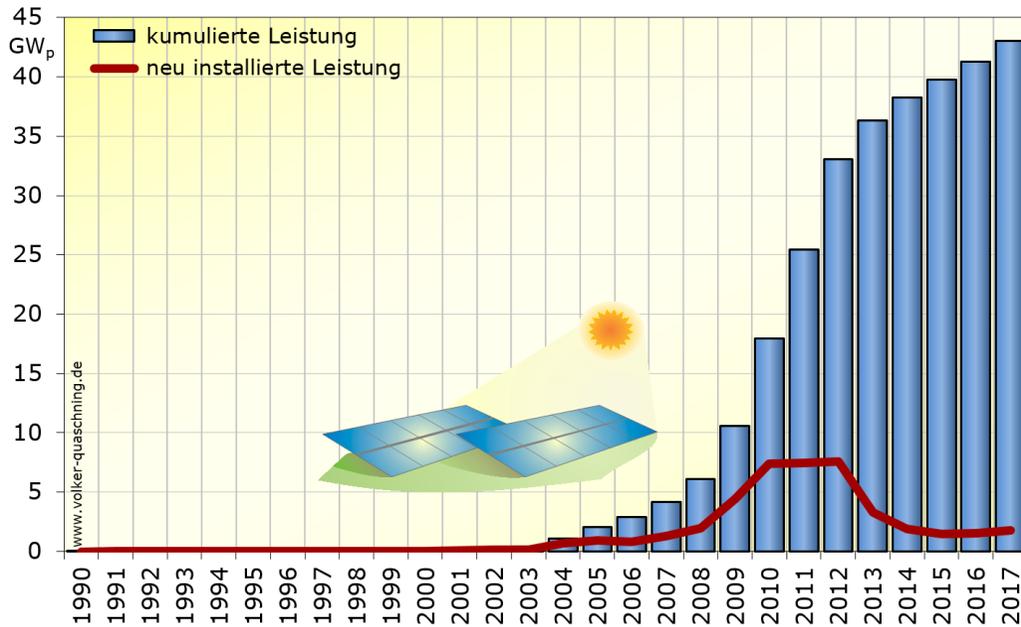


Quelle Abb.: [8]

# Wie viel EE-Strom brauchen wir denn nun?



- **Statt 80% EE-Strom (Ziel der Bundesregierung für 2050) werden wir 100% brauchen**
- **... oder eher: „200%“**
- **Hohe Zubauraten sind nötig!**
  - Z.B. 7-10 GWp PV / a
  - Heute: deutlich unter 2 GWp
- **Können die Netze so viel EE-Strom aufnehmen?**
  - Heute können Flexibilität & Sektorkopplung helfen
  - Morgen Flexibilität & Netzausbau



Quelle Abb.: [12]

# Was ist das Problem? Die neuen Knappheiten der Energiewende



Quelle Abb.: [13]

- **EE ursprünglich „Bürgerenergie“**
- **Neue Marktregeln (letzte EEG-Novellen) grenzen**
  - Bürgerenergieunternehmen
  - Eigenerzeugung und -verbrauch
  - Regionalstrom etc.
- systematisch aus**
- **Beteiligung wird nicht belohnt, ökonomische Teilhabe nimmt ab**
  - Folge der Umstellung auf Ausschreibungen

# Was ist das Problem? Die neuen Knappheiten der Energiewende



- Akzeptanz vor Ort nimmt dramatisch ab

Quelle Abb.: [13]

# Was ist das Problem? Die neuen Knappheiten der Energiewende



Quelle Abb.: [14]

- **Akzeptanz vor Ort nimmt dramatisch ab**
- **konfliktfreie / -arme Flächen nehmen ab**
- **ambitionierte Zubauziele sind außer Reichweite – wenn soziale Effekte nicht berücksichtigt werden**
- **ähnliche Fehlentwicklungen durch mangelnde Berücksichtigung sozialer Zielkonflikte in Bereichen wie Gebäudeenergieeffizienz, Einführung CO<sub>2</sub>-Preis, Verkehrswende, ...**

# So what? Eine Agenda

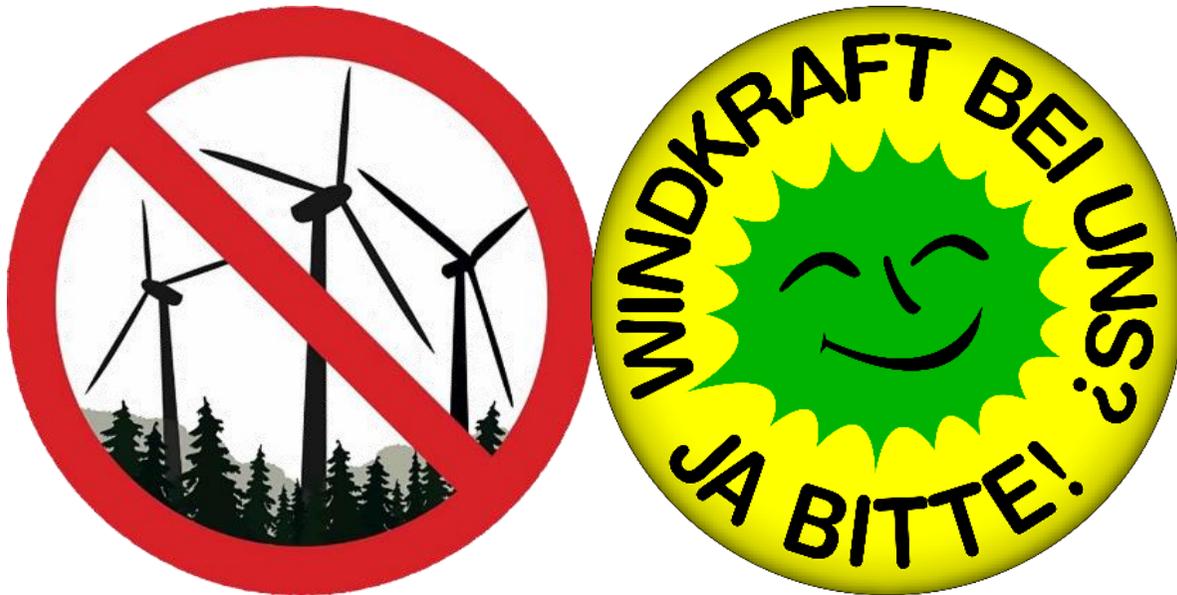


- **Ein viel stärkerer EE-Ausbau ist noch nötig – bei gleichzeitig hohen Einsparbemühungen in allen Sektoren**
- **Die neue Knappheiten und Grenzen der heutigen Energiewende sind:**
  - Akzeptanz (vor Ort)
  - Konfliktarme Flächen
  - Jederzeit ausreichend Flexibilität
  - Cybersicherheit
- **Akzeptanz durch Beteiligung und breite ökonomische Teilhabe vor Ort adressieren**
- **Flächendruck durch größere Verteilung im Land und bessere Planung mindern**
- **Lokale Flexibilitätspotenziale bereits heute erschließen**
- **Lokale Versorgungssicherheit durch erneuerbare Energien auch im Krisenfall sicherstellen (zellulare Systeme)**
- **Digitalisierung datensicher nutzen**
- **Wirksamen CO<sub>2</sub>-Preis einführen – inkl. Kompensation für einkommensschwache Haushalte und besonders betroffene Unternehmen**
- **Energiewende braucht mutige, systemische und soziale Politik(er)**

Vielen Dank.

Prof. Dr. Bernd Hirschl  
IÖW – Institut für ökologische  
Wirtschaftsforschung, Berlin  
und  
BTU Cottbus-Senftenberg

22.8.2018



# Verzeichnis der Quellen



- [1] Humboldt-Universität Berlin Sachbuchforschung (2018): Cover Meadows, Dennis. Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, Online unter: <http://www2.hu-berlin.de/sachbuchforschung/CONTENT/SBDB/pix/Cover/Meadows-Grenzen-Cover.jpg> (11.09.18).
- [2] Meadows et al. (1972): The Limits to Growth. A report of the Club of Rome's project on the predicament of mankind. Universe Books, New York, S. 70.
- [3] Booklooker (2018): Energie-Wende. Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran, Online unter: <https://www.booklooker.de/B%C3%BCcher/Angebote/isbn=3100077059> (11.09.18).
- [4] Global Carbon Project (2018): Carbon budget and trends 2017; Online unter: <http://www.globalcarbonproject.org> (11.9.2018)
- [5] Eurec.Agency/Eurosolar, WIP (1999): Power for the World – A Common Concept, zitiert nach: Liersch, Key Wind Energy GmbH (2012): Technik von Windkraftanlagen“ „Berufsbilder im Windenergiebereich“, Online unter: [https://sdtb.de/fileadmin/user\\_upload/\\_tem/02\\_Ausstellungen/02\\_Sonderausstellungen/2011\\_10\\_Windstaerken/Material/L\\_S\\_Material\\_Grundschule/2012\\_PRAESENTATION\\_WINDENERGIE\\_LEHRERFORTBILDUNG\\_JAN\\_LIERSCH\\_ZUR\\_NICHT\\_KOMMERZIELLE\\_N\\_NUTZUNG.pdf](https://sdtb.de/fileadmin/user_upload/_tem/02_Ausstellungen/02_Sonderausstellungen/2011_10_Windstaerken/Material/L_S_Material_Grundschule/2012_PRAESENTATION_WINDENERGIE_LEHRERFORTBILDUNG_JAN_LIERSCH_ZUR_NICHT_KOMMERZIELLE_N_NUTZUNG.pdf) (11.09.18).
- [6] FFE (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.) (2017): Verminderungskosten als Instrument zur Ermittlung von wirtschaftlichen CO2-Einsparpotenzialen, Online unter: <https://www.ffe.de/themen-und-methoden/erzeugung-und-markt/192-verminderungskosten-als-instrument-zur-ermittlung-von-wirtschaftlichen-co2-einsparpotenzialen> (11.09.18).
- [7] Kost et al. (2018): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, In: ISE (Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme) März 2018, S. 15.

# Verzeichnis der Quellen



- [8] UBA (Umweltbundesamt) (2018): Erneuerbare Energien in Zahlen, Online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen> (11.09.18).
- [9] Sterner, Stadler (2014): Definition und Klassifizierung von Energiespeichern, S. 25-46, In: Sterner, Stadler (2014): Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 30.
- [10] AEE (Agentur für Erneuerbare Energien) (2016): Metaanalyse – Flexibilität durch Kopplung von Strom, Wärme & Verkehr, Forschungsradar Energiewende April 2016, S. 4.
- [11] Verlagsgruppe Random House (2012): „Blackout“ (Cover, 2012), Online unter: [https://de.wikipedia.org/wiki/Blackout\\_%E2%80%93\\_Morgen\\_ist\\_es\\_zu\\_sp%C3%A4t#/media/File:Blackout\\_\(Marc\\_Elsberg,\\_2012\).jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Blackout_%E2%80%93_Morgen_ist_es_zu_sp%C3%A4t#/media/File:Blackout_(Marc_Elsberg,_2012).jpg) (05.10.18).
- [12] Volker Quaschnig (2018): Installierte Photovoltaikleistung in Deutschland, Online unter: <https://www.volker-quaschnig.de/datserv/pv-deu/index.php> (05.10.18).
- [13] Taunussteiner Energiewende (2018): Windkraft bei uns? Ja bitte!, Online unter: <http://taunussteiner-energie-wende.de/event/flashmob-pro-energie-wende-zur-sitzung-der-stadtverordneten-am-18-4-um-1800-uhr-auf-dem-nikolausplatz-in-taunusstein/#.W5eDgmMyXAU> (11.09.18).
- [14] Gegenwind Straubenhardt (2018): Windkraft ersetzt keine Atomkraftwerke, Online unter: <http://www.gegenwind-straubenhardt.de/>, (11.09.18).