Die Wende unserer Energiewende

woher kommt die saubere Energie von morgen?

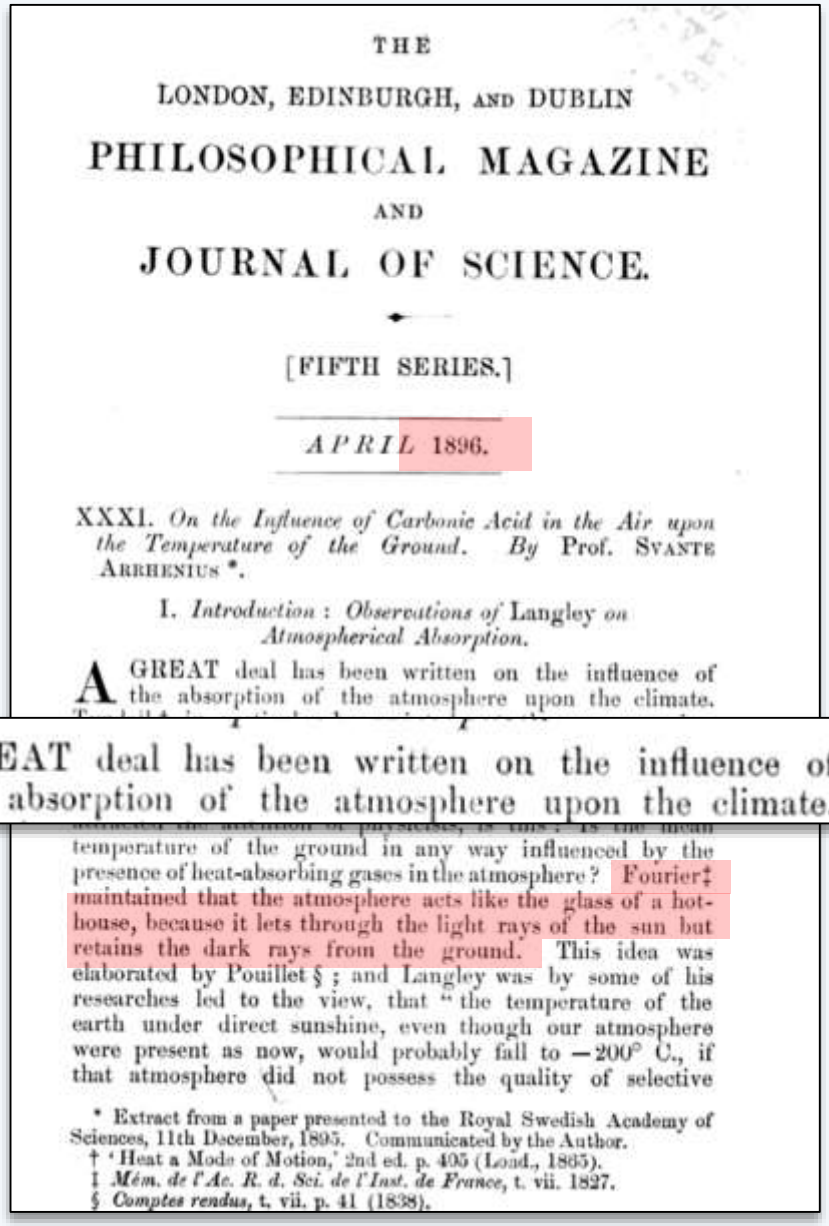
www.vhs-daheim.de, 3.7.2020

Jürgen Karl

Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Germany

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT



THE

LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN

PHILOSOPHICAL MAGAZINE

AND

JOURNAL OF SCIENCE.

[FIFTH SERIES.]

APRIL 1896.

XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.* By Prof. SVANTE ARRHENIUS *.

I. *Introduction: Observations of* Langley *on Atmospherical Absorption.*

A GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate.

temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? Fourier‡ maintained that the atmosphere acts like the glass of a hot-house, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. This idea was elaborated by Pouillet§; and Langley was by some of his researches led to the view, that "the temperature of the earth under direct sunshine, even though our atmosphere were present as now, would probably fall to −200° C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.
† 'Heat a Mode of Motion,' 2nd ed. p. 405 (Lond., 1865).
‡ *Mém. de l'Ac. R. d. Sci. de l'Inst. de France*, t. vii. 1827.
§ *Comptes rendus*, t. vii. p. 41 (1838).

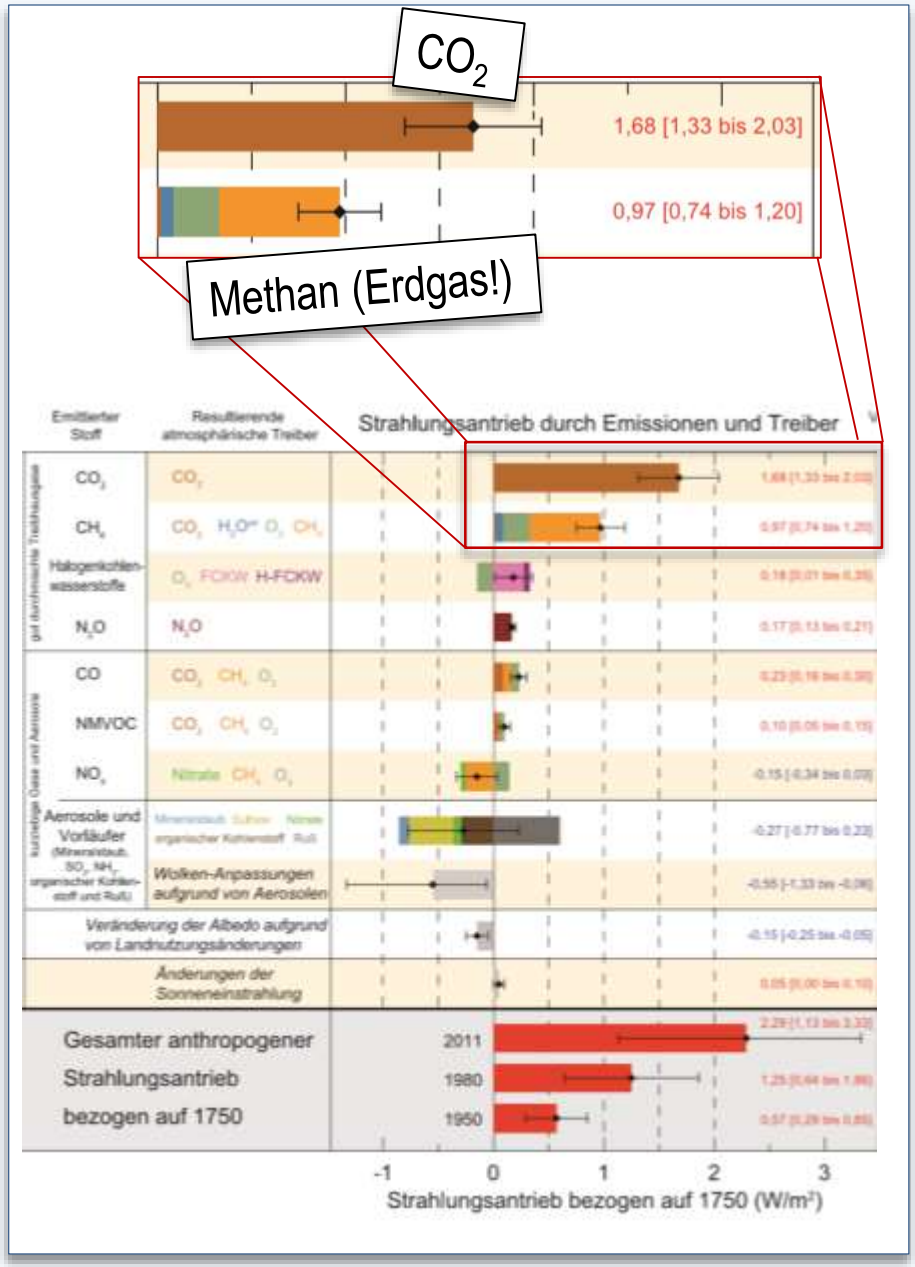
GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate.

Jean-Baptiste-Joseph Fourier (1768 - 1830) französischer Mathematiker und Physiker

Svante August Arrhenius (1859 - 1927) schwedischer Physiker und Chemiker, 1905 Nobelpreisträger für Chemie.

Brennpunkt: Klimawandel

Teilbericht der IPCC Work Group I, chapter 2:



Jean-Baptiste-Joseph Fourier (1768 - 1830) französischer Mathematiker und Physiker

Svante August Arrhenius (1859 - 1927) schwedischer Physiker und Chemiker, 1905 Nobelpreisträger für Chemie.

IPCC-Teilbericht „Naturwissenschaftliche Grundlagen"

- „Radiative Forcing" beschreibt die Erhöhung der Solarkonstante (1367 W/m²) seit 1750
- Alle wichtigen Einflüsse sind heute quantifiziert

Wichtigste Einflüsse

- CO_2 und Methan

Das Medienecho:

„Klimaskeptiker“

Jean-Baptiste-Joseph Fourier (1768 - 1830) französischer Mathematiker und Physiker

Svante August Arrhenius (1859 - 1927) schwedischer Physiker und Chemiker, 1905 Nobelpreisträger für Chemie.

Donald J. Trump 45th president of the Great States of America

IPCC-Teilbericht „Naturwissenschaftliche Grundlagen”

- „Radiative Forcing“ beschreibt die Erhöhung der Solar-konstante (1367 W/m²) seit 1750
- Alle wichtigen Einflüsse sind heute quantifiziert

Wichtigste Einflüsse

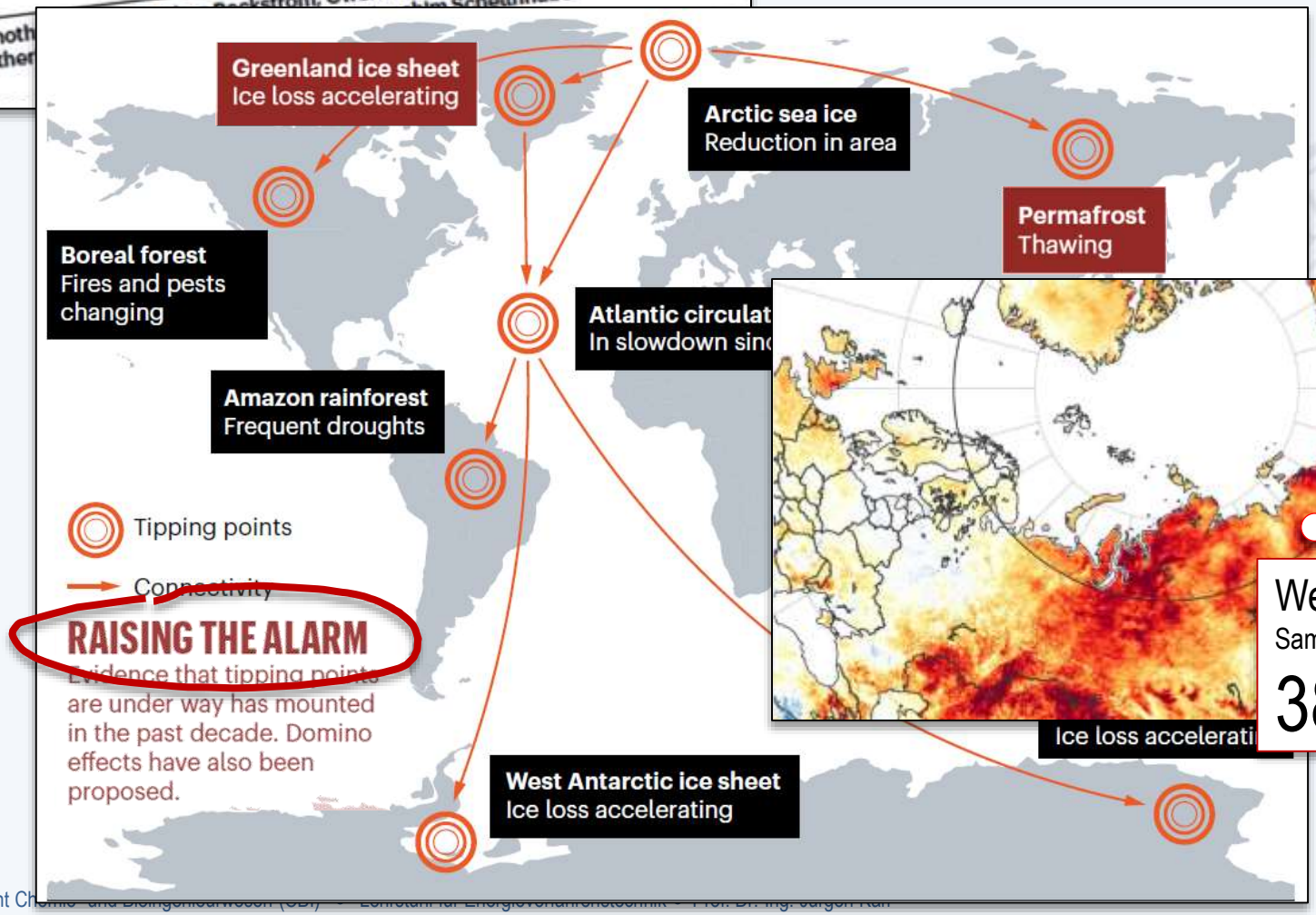
- CO_2 und Methan

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Nature | Vol 575 | 28 November 2019 | 595

Climate tipping points — too risky to bet against

- Die Wissenschaft beobachtet immer mehr „Kipp-Punkte“ / „Tipping points“ (= abrupte Änderungen klimabestimmender Effekte)



Werkojansk, Sibirien
Samstag, 20. Juni 2020
38° Celsius

Quelle: www.zdf.de/nachrichten/panorama/sibirien-klimawandel-wetter-rekord-100.html

+1,1 °C
2017

1850

„Der Klimawandel bedroht die natürlichen Lebensgrundlagen. … Also können und müssen wir auch alles Menschenmögliche unternehmen, um diese Menschheitsherausforderung wirklich in den Griff zu bekommen…“

Bundeskanzlerin Angela Merkel,
Commencement speech
Harvard University May 30st 2019

1. Aus der Geschichte der Energiewirtschaft

- Faktencheck Energiewende
- Die Wende der Wende

2. Schlüsseltechnologien für die Energiewende

- Stromsektor gestern und heute
- Sektorenkopplung für die Wärme- und Mobilitätswende
- Speicher für die Dunkelflaute und die Mobilität

3. Zur Wirtschaftlichkeit Erneuerbarer Energien

- Kosten (und Preise) Erneuerbarer Energien
- Was die Energiewende wirklich kostet

4. Warum wir unsere Chance jetzt nutzen müssen

- Unsere Energiewirtschaft im Jahr 2030
- Kernproblem Innovation und Markteinführung
- Unsere Chance kommt Freitags …

1. Aus der Geschichte der Energiewirtschaft

- Faktencheck Energiewende
- Die Wende der Wende

Der Blick zurück: neunzehn Jahre Energiewende

- EEG löste beispiellosen Boom der Erneuerbaren Energien aus
- Die mittlere Erzeugung betrug 2019 bereits 46%*) der Netto-Stromerzeugung

*) 43% der Bruttostromerzeugung bzw. 49% des Stromverbrauchs

installierte Leistung (kW)

9 x

41 x

51 x

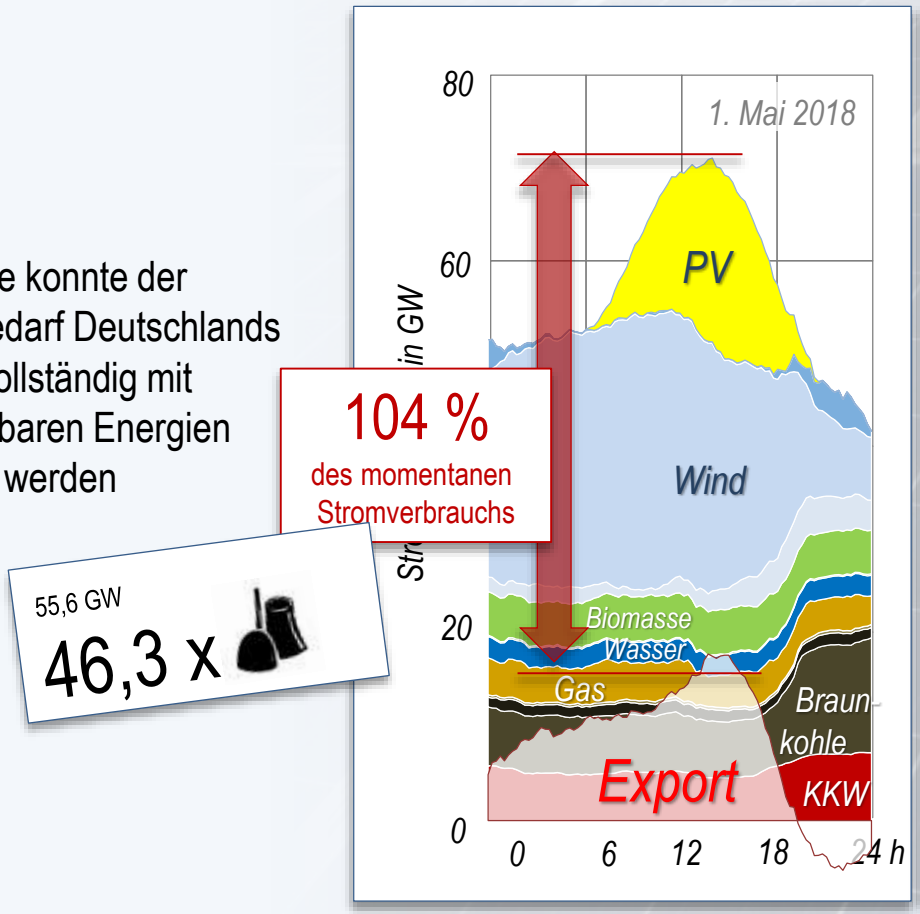
Der Blick zurück: neunzehn Jahre Energiewende

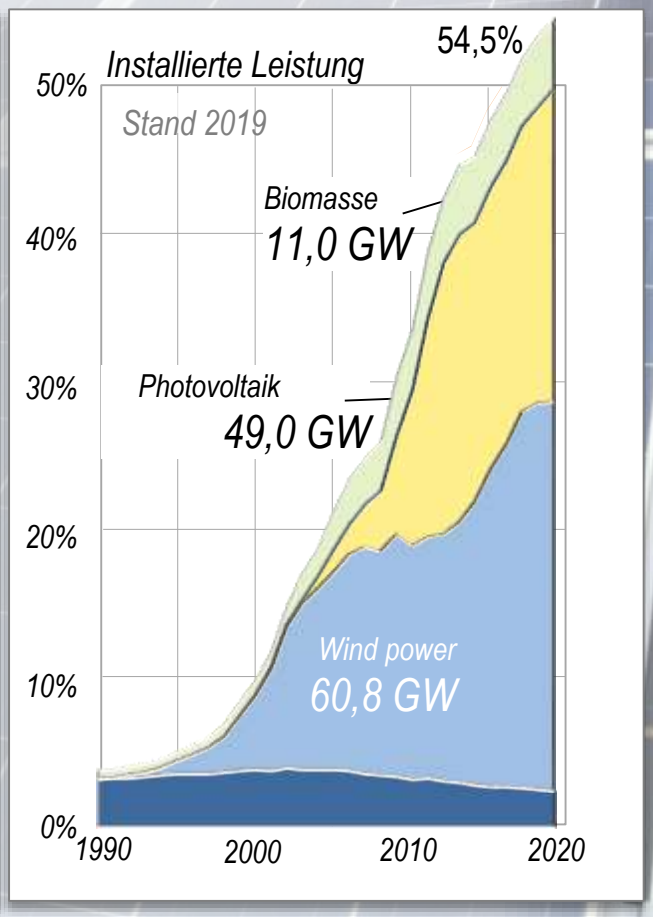
Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

- EEG löste beispiellosen Boom der Erneuerbaren Energien aus
- Die mittlere Erzeugung betrug 2019 bereits 46%*) der Netto-Stromerzeugung

*) 43% der Bruttostromerzeugung bzw. 49% des Stromverbrauchs

- zeitweise konnte der Strombedarf Deutschlands schon vollständig mit Erneuerbaren Energien gedeckt werden



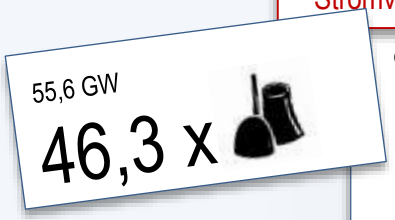


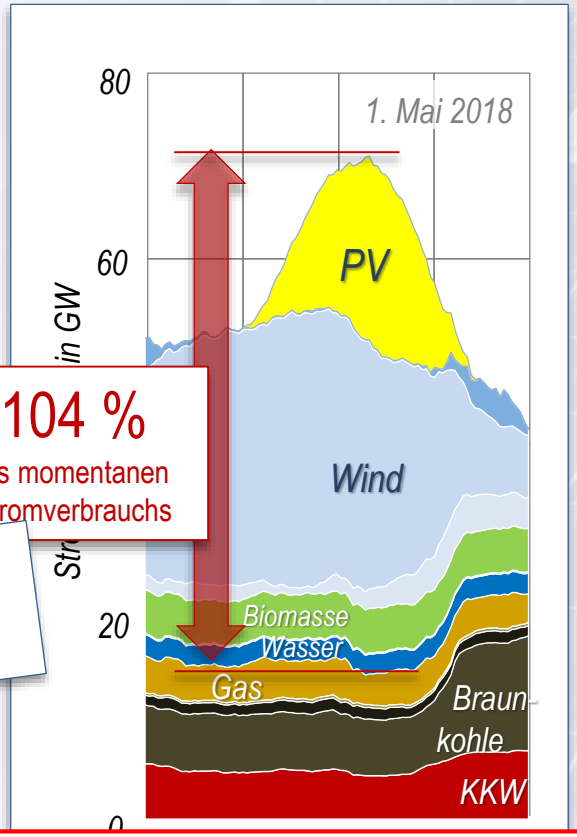
Der Blick zurück: neunzehn Jahre Energiewende

- EEG löste beispiellosen Boom der Erneuerbaren Energien aus
- Die mittlere Erzeugung betrug 2019 bereits 46%*) der Netto-Stromerzeugung

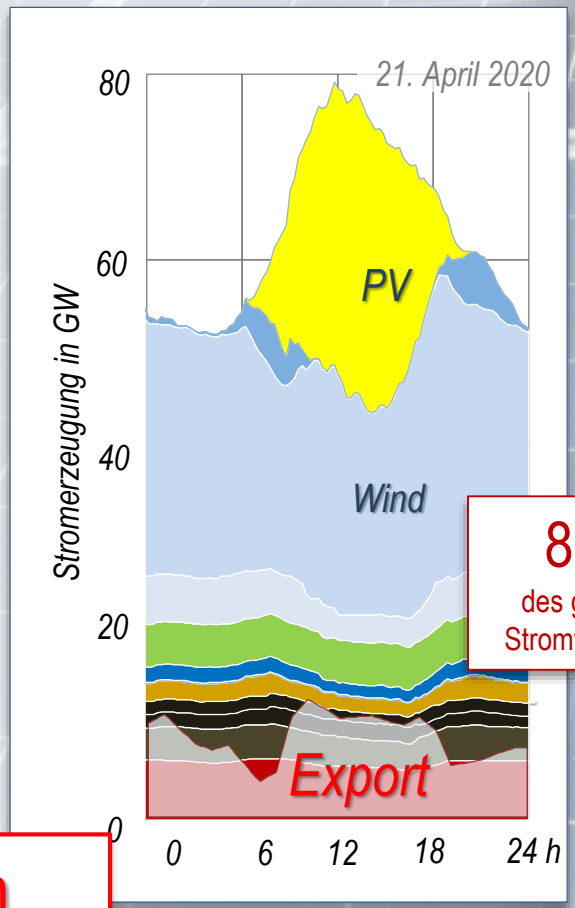
*) 43% der Bruttostromerzeugung bzw. 49% des Stromverbrauchs

- zeitweise konnte der Strombedarf Deutschlands schon vollständig mit Erneuerbaren Energien gedeckt werden





104 %
des momentanen Stromverbrauchs



89 %
des gesamten Stromverbrauchs

EEG hat alle Erwartungen übertroffen…

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Der Blick zurück: neunzehn Jahre Energiewende

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

- Das EEG war extrem erfolgreich…

aber:

„Die Energiewende wird gemobbt“

Prof. Dr. Claudia Kemfert,
Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin)
Ludwig-Erhard-Symposium, Nürnberg, 6.11.2015

Will Germany face the
total desaster?

Kritikpunkte gegen die „Energiewende“

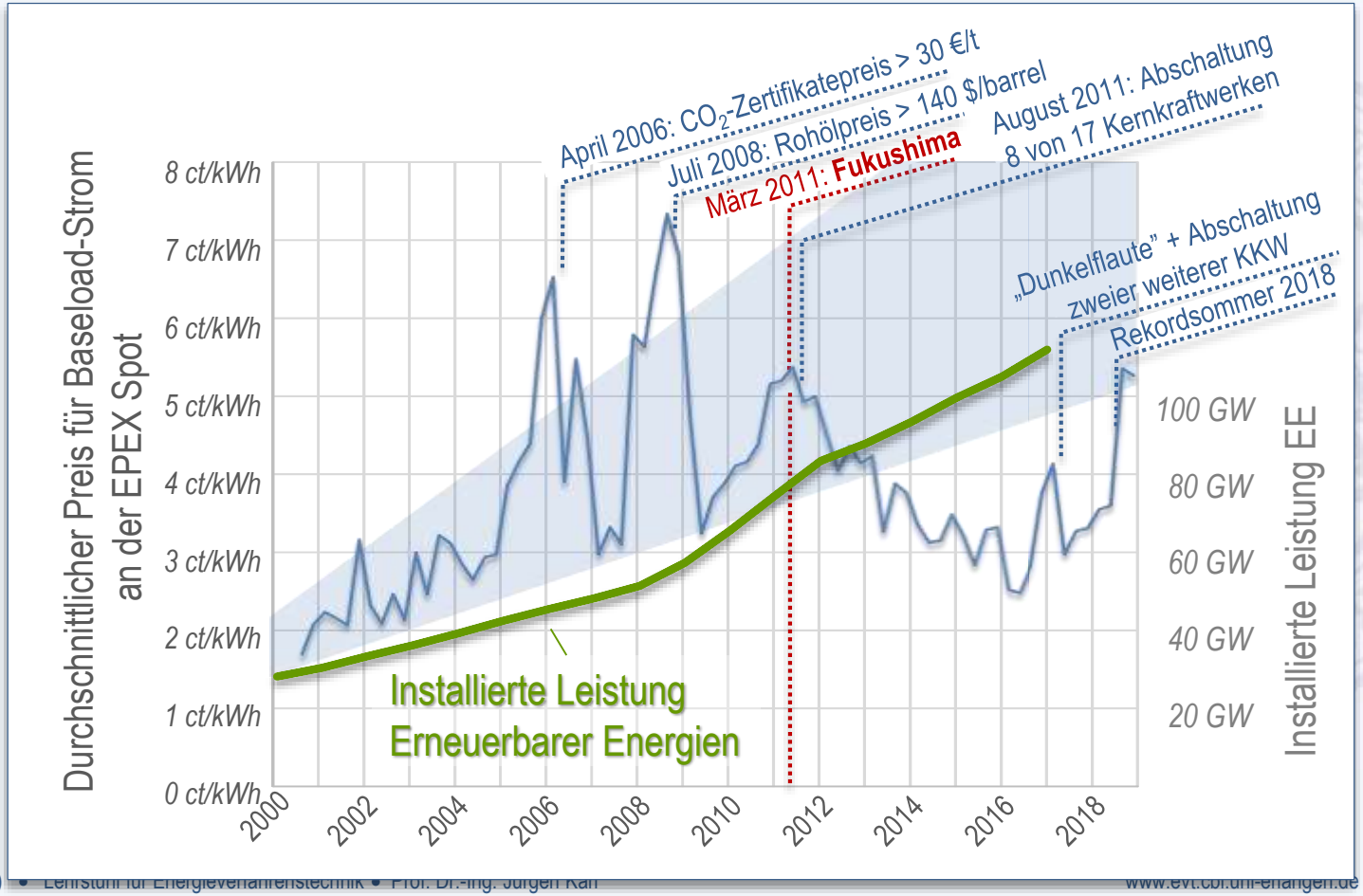
	facts	alternative facts
1. Erneuerbare Energien sind teuer	☐	☐
2. Erneuerbare gefährden die Netzstabilität	☐	☐
3. Erneuerbare kosten Arbeitsplätze	☐	☐
4. Erneuerbare gefährden die Versorgungssicherheit	☐	☐

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Entwicklung der Strompreise der letzten Jahre

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

- Großhandelspreise brachen drastisch ein
- Grund waren sinkenden Börsenstrompreise in Folge des hohen Angebots von Wind und Photovoltaik („Merit-Order-Effekt“).



- Deutschlands „privilegierte Verbraucher“ *) genossen die niedrigsten Strompreise Europas

*) ca. 25% des deutschen Stromverbrauchs

Kritikpunkte gegen die „Energiewende“

	facts	alternative facts
1. Erneuerbare Energien sind teuer	✓ 1,2	
2. Erneuerbare gefährden die Netzstabilität		
3. Erneuerbare kosten Arbeitsplätze		
4. Erneuerbare gefährden die Versorgungssicherheit		

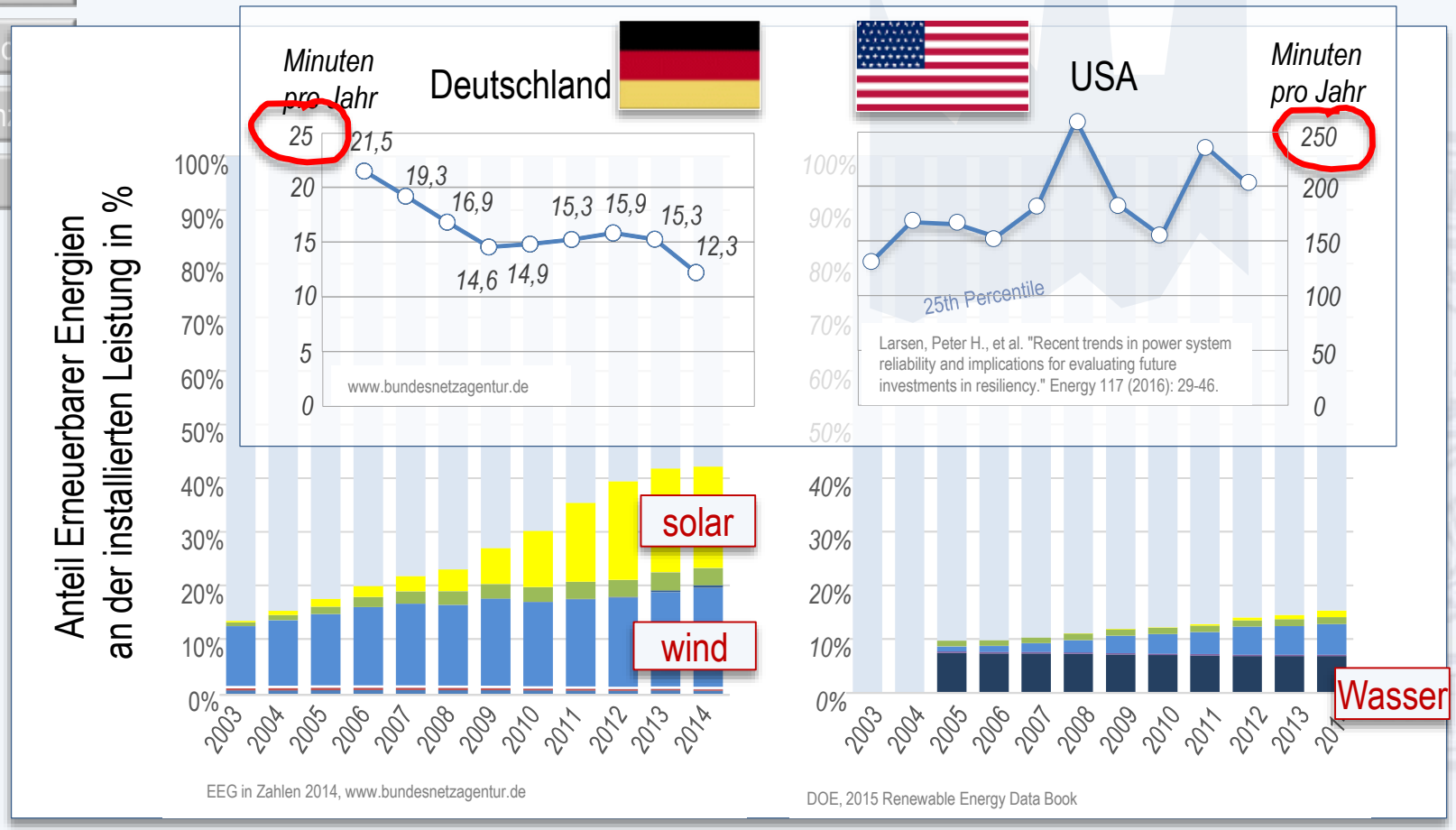
[1] Nur für Privatkunden und Kleinverbraucher

[2] die Alternative wär auch nicht billiger gewesen

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

System Average Interruption Duration – SAIDI Index

- der SAIDI/SAIFI Indizes beschreiben die Zuverlässigkeit der Stromversorgung



Kritikpunkte gegen die „Energiewende“

	facts	alternative facts
1. Erneuerbare Energien sind teuer	✓ [1,2]	
2. Erneuerbare gefährden die Netzstabilität		✓
3. Erneuerbare kosten Arbeitsplätze		
4. Erneuerbare gefährden die Versorgungssicherheit		

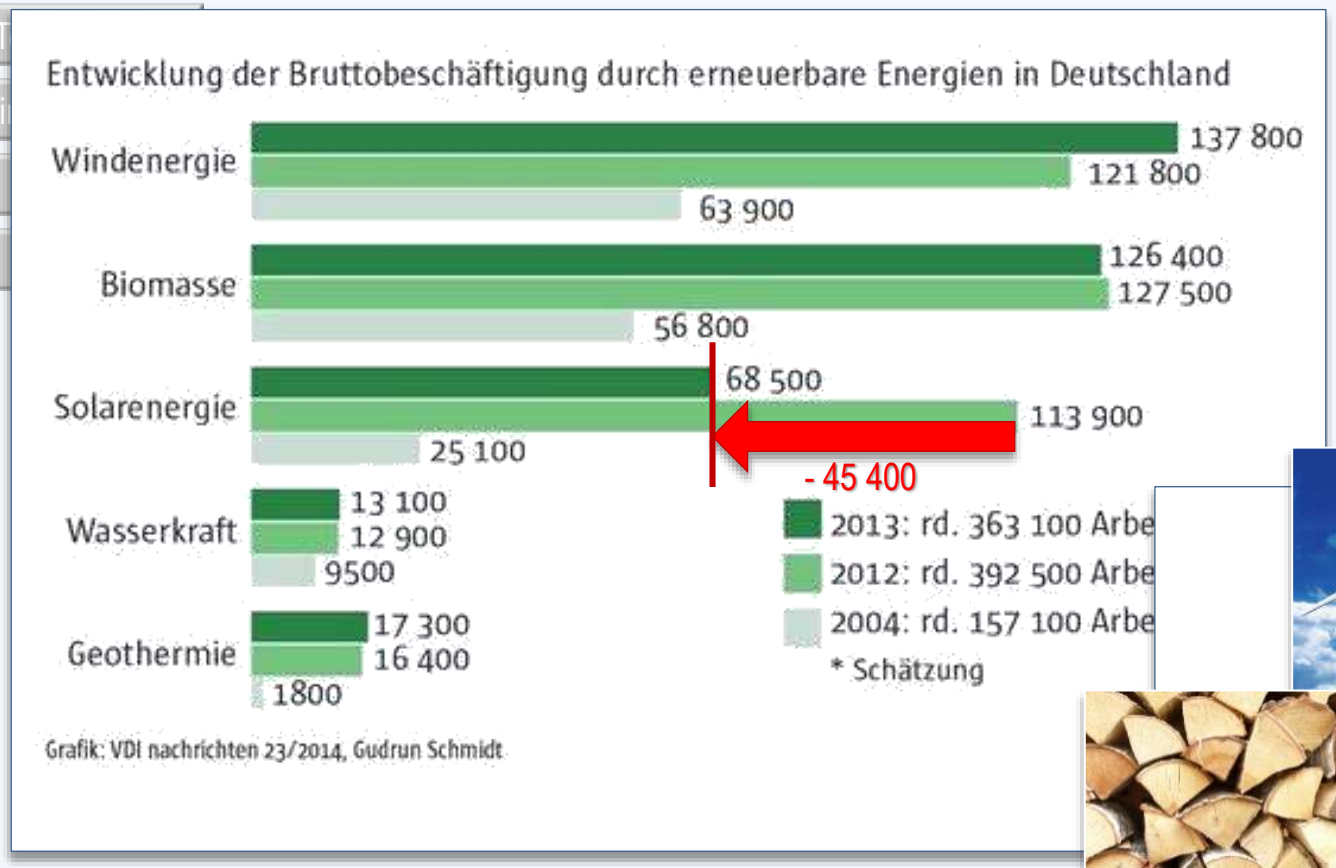
[1] Nur für Privatkunden und Kleinverbraucher

[2] die Alternative wär auch nicht billiger gewesen

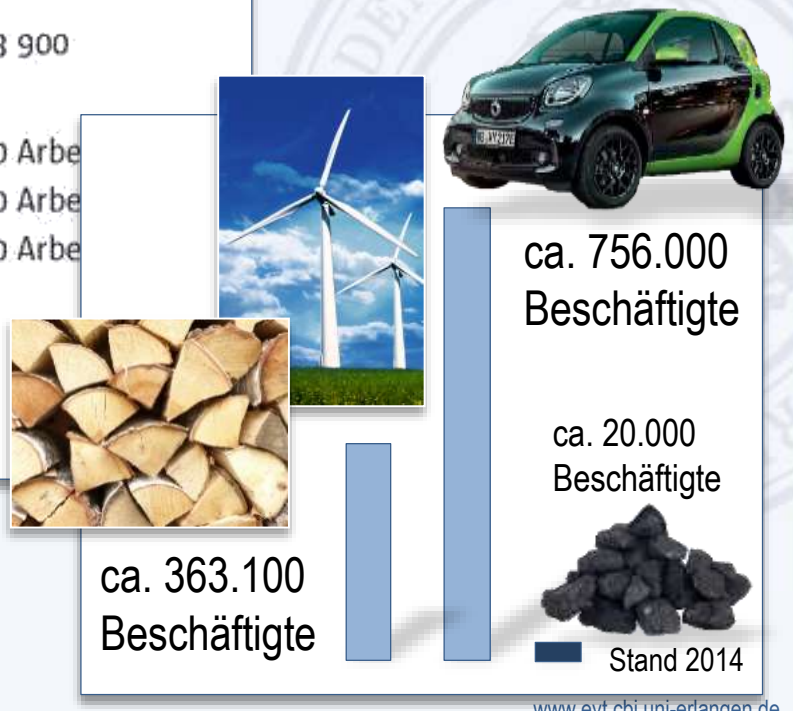
FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Volkswirtschaftliche Auswirkungen des EEG: Arbeitsplätze

Historisches



- Die Erneuerbaren Energien beschäftigen in Deutschland bereits ähnlich viele Arbeitnehmer wie die Automobil-Industrie
- aber: volatile Märkte sorgen für große Unsicherheiten…



Kritikpunkte gegen die „Energiewende“

	facts	alternative facts
1. Erneuerbare Energien sind teuer	✓ [1,2]	
2. Erneuerbare gefährden die Netzstabilität		✓
3. Erneuerbare kosten Arbeitsplätze		✓
4. Erneuerbare gefährden die Versorgungssicherheit		

[1] Nur für Privatkunden und Kleinverbraucher

[2] die Alternative wär auch nicht billiger gewesen

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

Unsere 2. Herausforderung: Die Altersstruktur unseres Kraftwerksparks

geschätztes Defizit 350 TWh in den nächsten 10 Jahren?

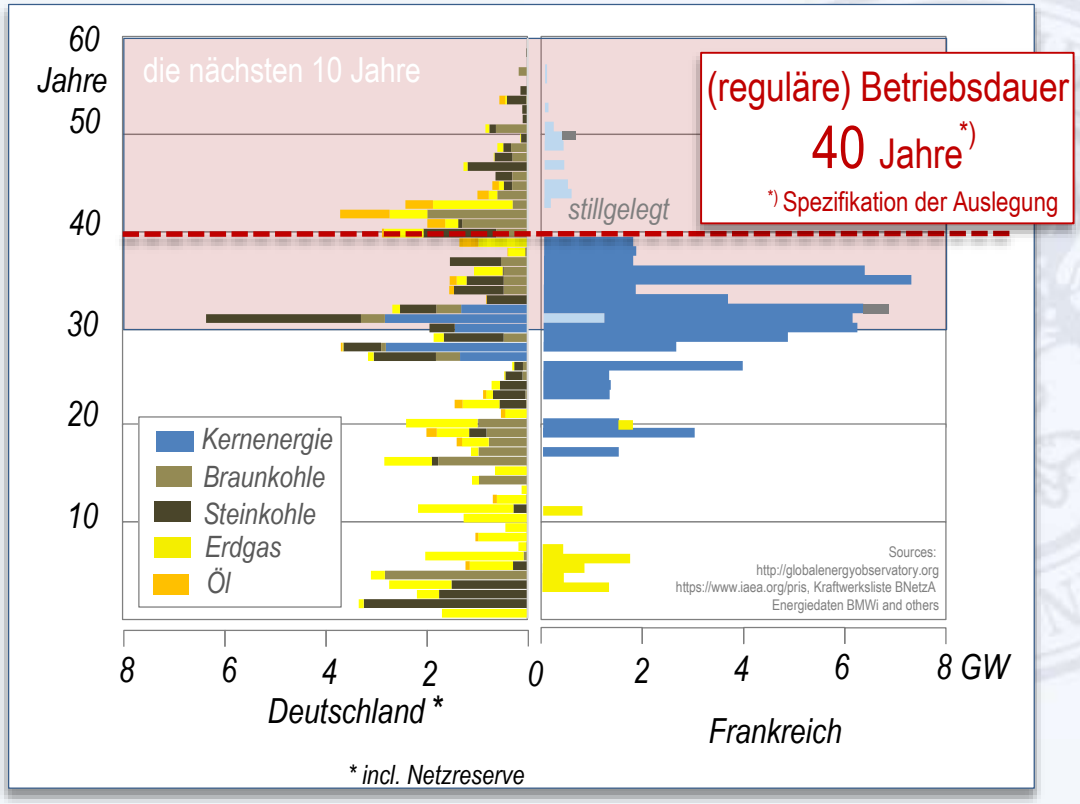
Defizite aufgrund von regulären Stilllegungen in den nächsten 10 Jahren:

- Deutschland - 207 TWh (32%)
- Frankreich - 280 TWh (53%)
  (bei 6000 Vollaststunden)

in Bau (Gas, Kohle, Kernenergie)

- Deutschland ca. + 9 TWh
- Frankreich ca. + 10 TWh
  (bei 6000 Vollaststunden)

- „Ausbaukorridor“ erneuerbare Energien + 120 TWh (18%)



Kritikpunkte gegen die „Energiewende“

	facts	alternative facts
1. Erneuerbare Energien sind teuer	✓ [1,2]	
2. Erneuerbare gefährden die Netzstabilität		✓
3. Erneuerbare kosten Arbeitsplätze		✓
4. Erneuerbare gefährden die Versorgungssicherheit		✓

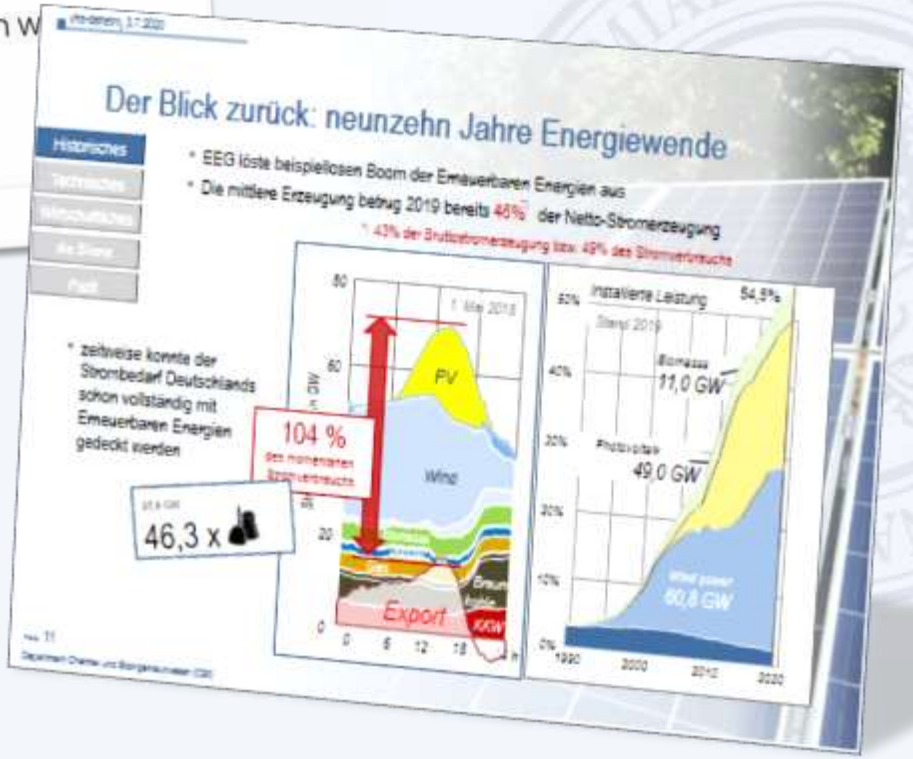
[1] Nur für Privatkunden und Kleinverbraucher

[2] die Alternative wär auch nicht billger gewesen

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Warum war die Energiewende so erfolgreich?

Historisches
Techn
Wirtscha
die Bi
Faz



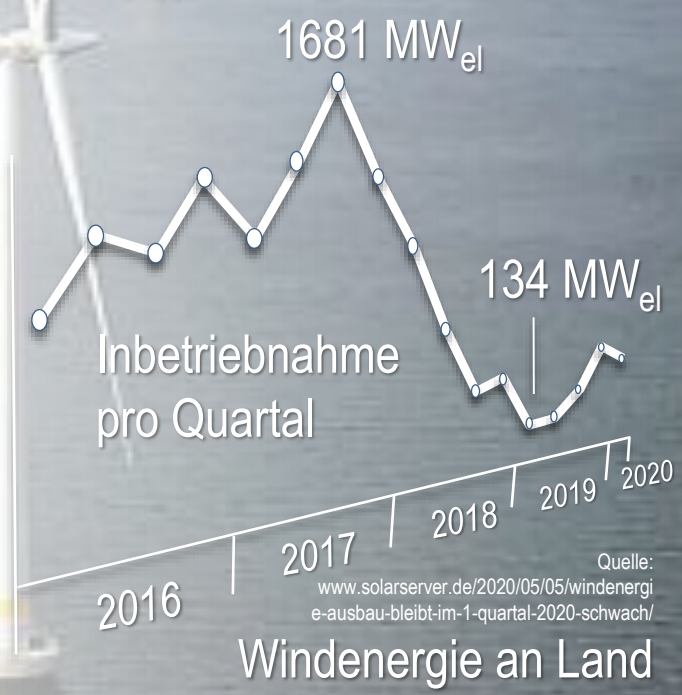
Warum war die Energiewende bis vor Kurzem so erfolgreich?

- Historisches
- Technisches
- Wirtschaftliches
- die Bilanz
- Fazit

Beispiel: Windenergie gestern..

„Wir brauchen Growian (Große Windanlage) um zu beweisen, daß es nicht geht“
Günther Klätte, Vorstandsmitglied RWE

- Inbetriebnahme 1983
- Abriss 1987 nach 420 Betriebsstunden



… 40 Jahre später

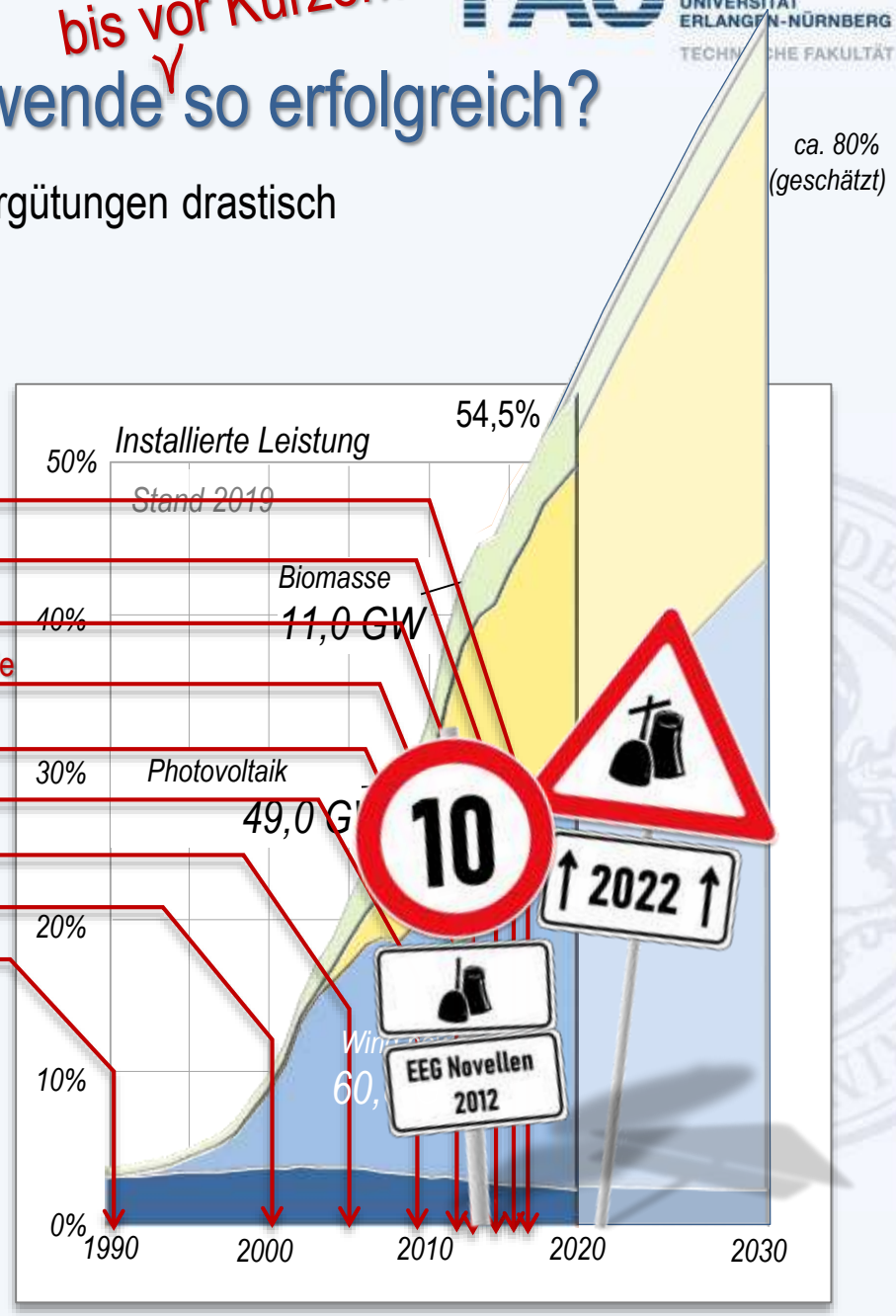
FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Warum war die Energiewende bis vor Kurzem so erfolgreich?

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

- Im EEG 2012 reduzierte Einspeisevergütungen drastisch
- Im EEG 2014 definiert die Bundesregierung einen Ausbaupfad für Erneuerbare Energien

2019 Energiesammelgesetz
2017 5. Novelle
2014 4. Novelle
2012 Anpassung der 3. Novelle
2012 3. Novelle des EEG
2009 2. Novelle des EEG
2004 1. Novelle des EEG
2000 Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)
1991 Stromeinspeisegesetz



Und wie geht's weiter?

- Die letzten Kernkraftwerke gehen 2022 vom Netz
- Etwa die Hälfte unserer Kohle-Kraftwerke erreicht in den nächsten 10 Jahren das Rentenalter

Fazit

1. Die Energiewende war unerwartet erfolgreich und wird derzeit massiv ausgebremst…

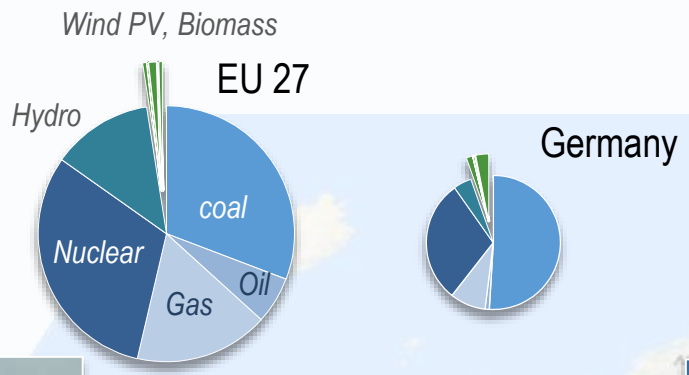
2. Schlüsseltechnologien für die Energiewende

- Stromsektor gestern und heute
- Sektorenkopplung für die Wärme- und Mobilitätswende
- Speicher für die Dunkelflaute und die Mobilität

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Stromerzeugung in Europa

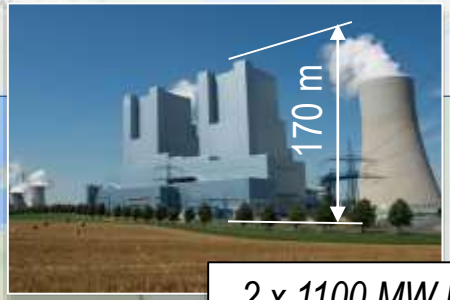
2000



- Großkraftwerke dominieren die Stromerezeugung
- Deutschland repräsentiert 19% der europäischen Stromerzeugung

1300 MW Kernkraftwerk Biblis

545 MW Erdgas GUD-Kraftwerk Irsching
el. Wirkungsgrad 60.75%



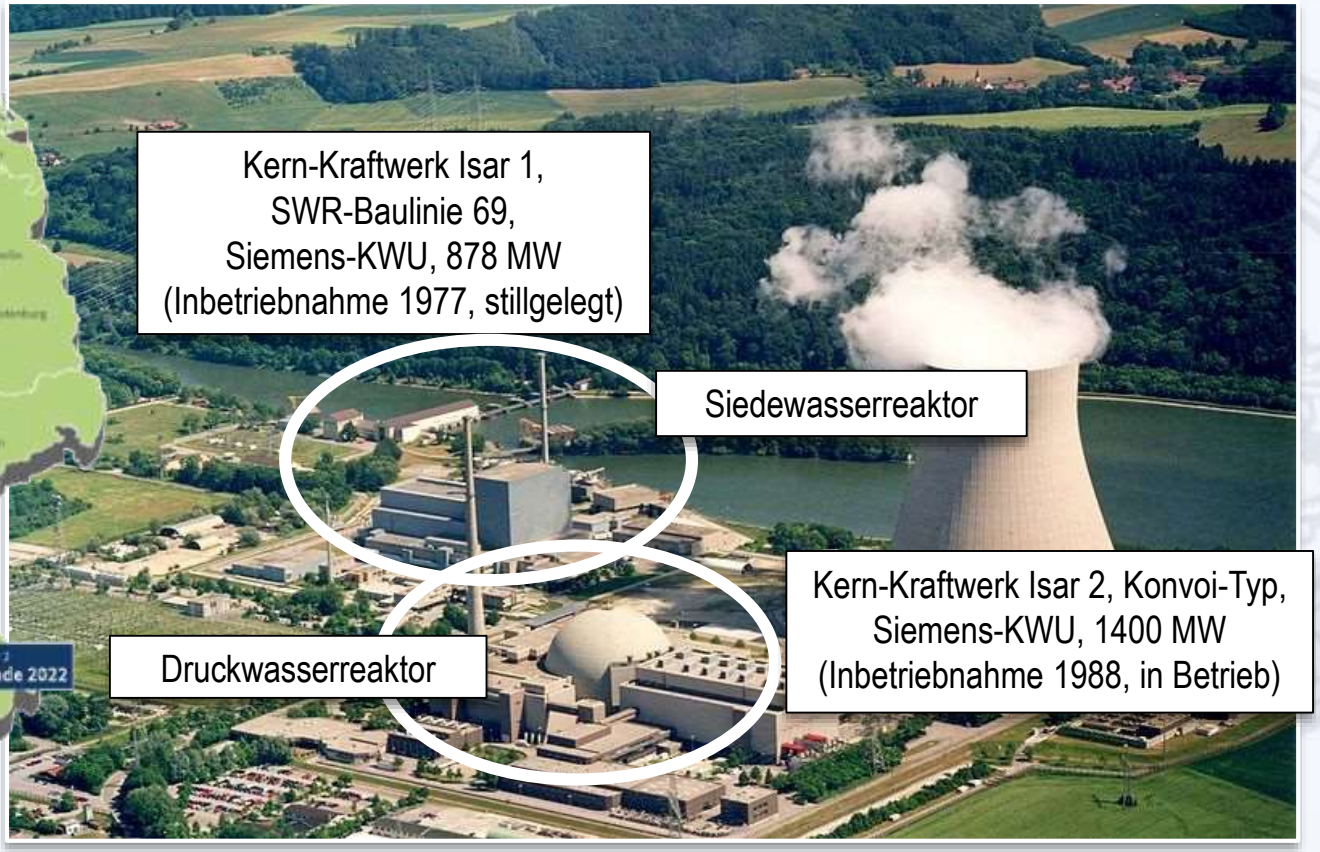
2 x 1100 MW Braunkohle-kraftwerk Neurath

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Kernkraftwerke in Deutschland

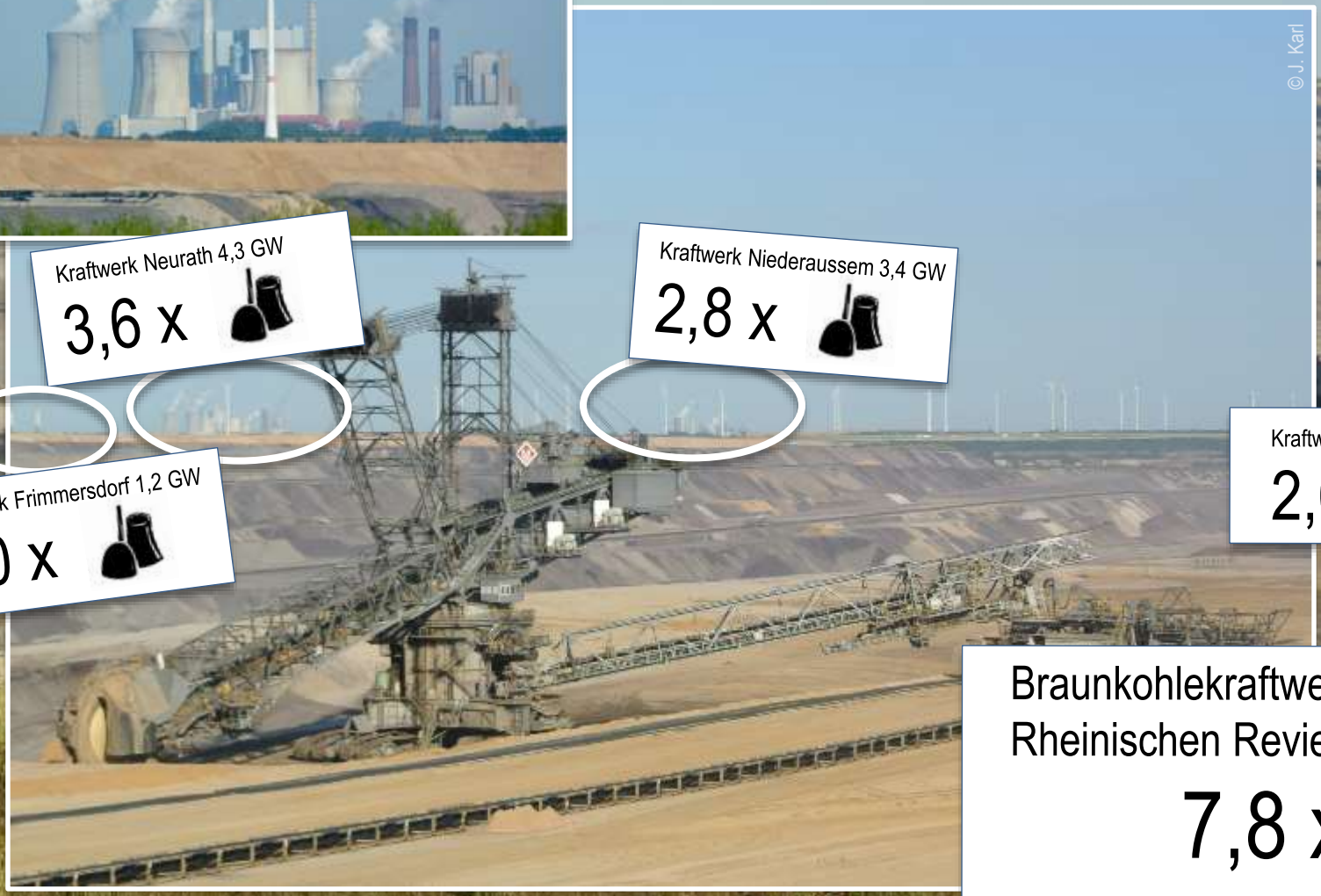
- Die ersten deutschen KKW gingen 1966 in Betrieb
- 2011 (vor Fukushima) waren 17 Kernkraftwerke in Betrieb
- ~~2012~~ 2020 (nach Fukushima) sind noch ~~9~~ 6 Kernkraftwerke in Betrieb
- die letzten KKW werden 2022 abgeschaltet

Beispiel:
Kernkraftwerk Isar 1 und 2



Braunkohlekraftwerke in Deutschland

(Rheinisches Revier, NRW)



Kraftwerk Neurath 4,3 GW

3,6 x

Kraftwerk Niederaussem 3,4 GW

2,8 x

Kraftwerk Frimmersdorf 1,2 GW

1,0 x

Kraftwerk Weisweiler 2,4 GW

2,0 x

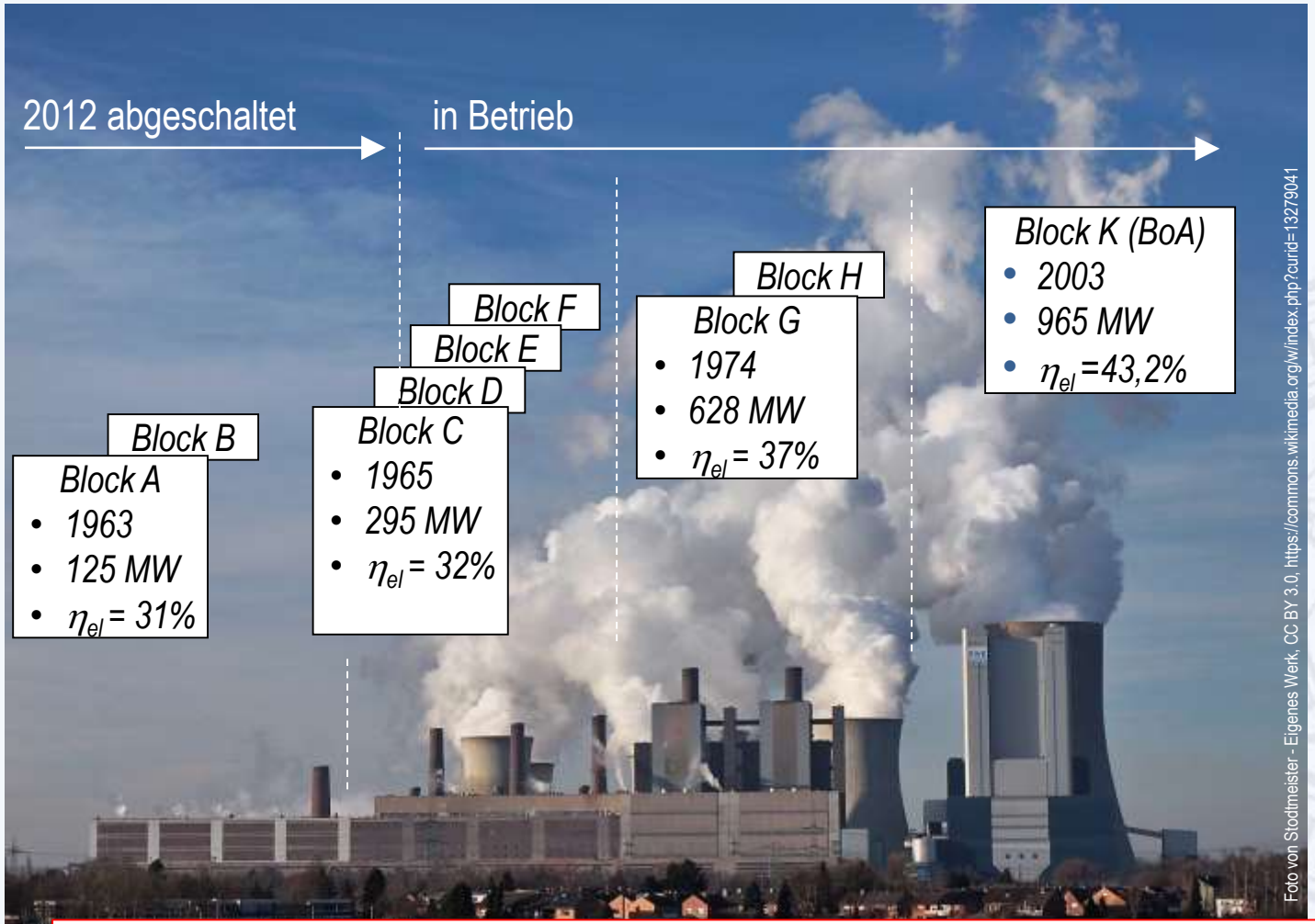
Braunkohlekraftwerke im Rheinischen Revier

7,8 x

© J. Karl

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Beispiel: Braunkohlekraftwerk Niederaußem



Die meisten deutschen Kohlekraftwerke sind hoffnungslos veraltet…

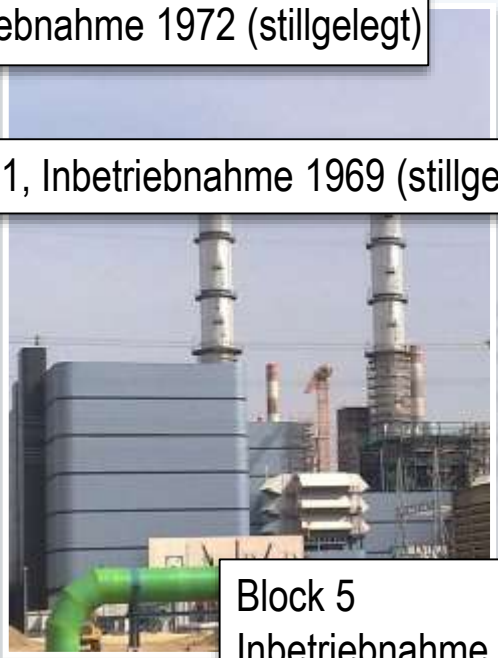
FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Beispiel Erdgaskraftwerke

Block 3
Inbetriebnahme 1974
(Netzreserve)

Block 2 Inbetriebnahme 1972 (stillgelegt)

Block 1, Inbetriebnahme 1969 (stillgelegt)



Block 4
Inbetriebnahme 2011
Einwellen-GUD, 545 MW
η_{el} = 60,75% (Weltrekord)

Block 5
Inbetriebnahme 2010
Dreiwellen-GUD, 845 MW
η_{el}= 59,7%

Standort Irsching:

- Block 1 - 3: Dampfkraftwerke (Erdgas/Öl), Inbetriebnahme: 1969-1974
- Block 4 und 5: GuD-Kraftwerke, Inbetriebnahme: 2010 und 2011

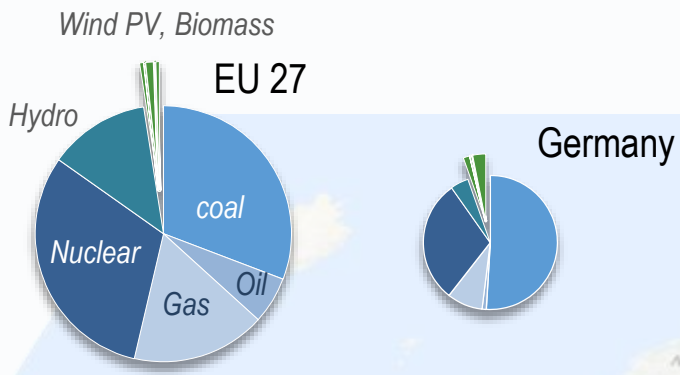
Stilllegung beantragt / untersagt…

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Stromerzeugung in Europa

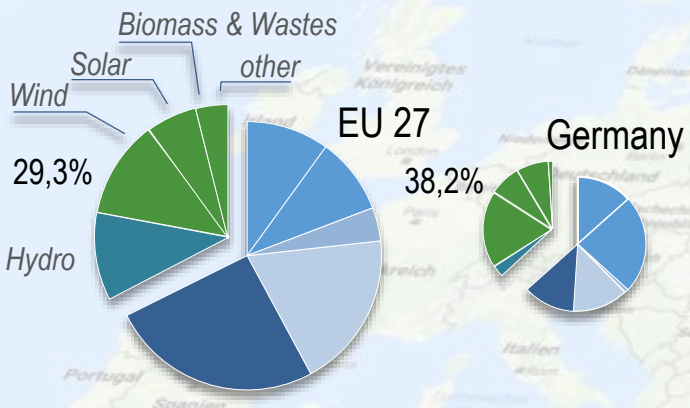
Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

2000



- Großkraftwerke dominieren die Stromerezeugung
- Deutschland repräsentiert 19% der europäischen Stromerzeugung

2018

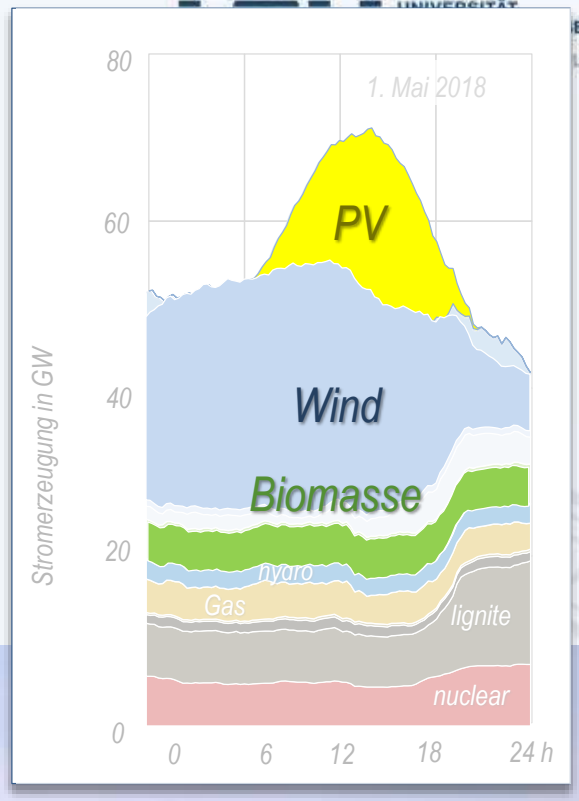


- Wind, PV und Biomasse stiegen europaweit auf das 18-fach in nur 18 Jahren
- Stromversorgung basiert noch immer maßgeblich auf Großkraftwerken…

Surce: BMWi energiedaten 2019, Agora Energiewende, The European Power Sector in 2018

Erneuerbare Energien in Deutschland

- EEG 2000 initiierte vor allem den Bau von Windkraftanlagen
- mit dem EEG 2004 entstanden vor allem viele Biogasanlagen
- gefallene Anlagenkosten initiierten 2009 einen Boom für PV-Anlagen



FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Der Weg zu mehr Erneuerbarer Energien: Sektorenkopplung

Endenergieverbrauch Deutschland 2019
(Quelle: BMWi Energiedaten)

Wärme und Klimatisierung 49 %

Öl, Gas, sonstige

Erneuerbare 11,8%

Schlüsseltechnologie Wärmepumpen

4.6 % Strom aus Erneuerbaren

7.2 % Biomasse, Solarthermie Geothermie

Mobilität 27 %

Schlüsseltechnologie Elektromobilität

1,7%

0.2 % Elektromobilität mit Strom aus Erneuerbaren

1.5 % Biotreibstoffe

Strom 24%

9,9%

9.9 % Strom aus Erneuerbaren*)

*) entspricht 42.1% des dt. Bruttostromverbrauchs

- Potentiale zur Erhöhung der Erzeugung Erneuerbarer Energien gibt es vor allem im Stromsektor

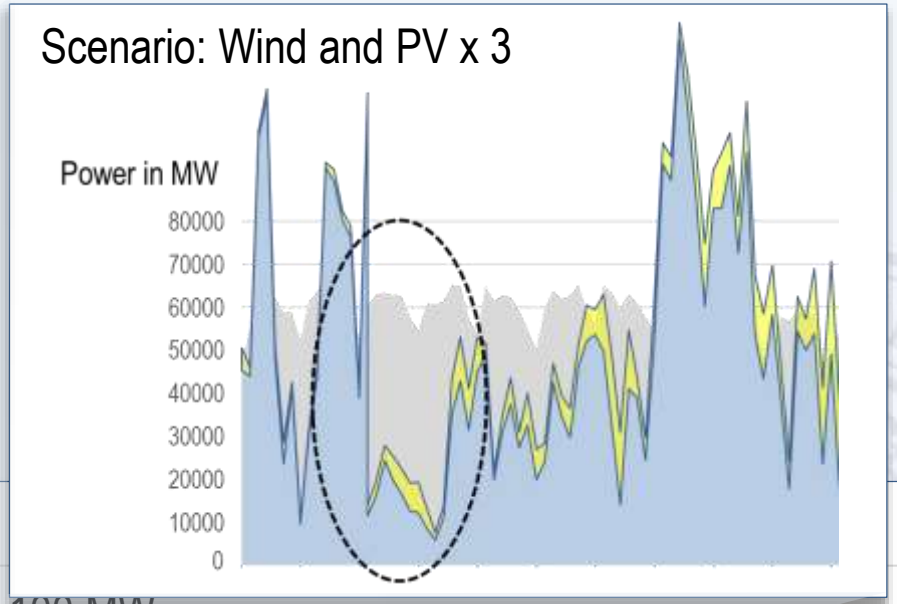
Strom bringt Erneuerbare Energien auch in den Wärme und Mobilitätssektor…

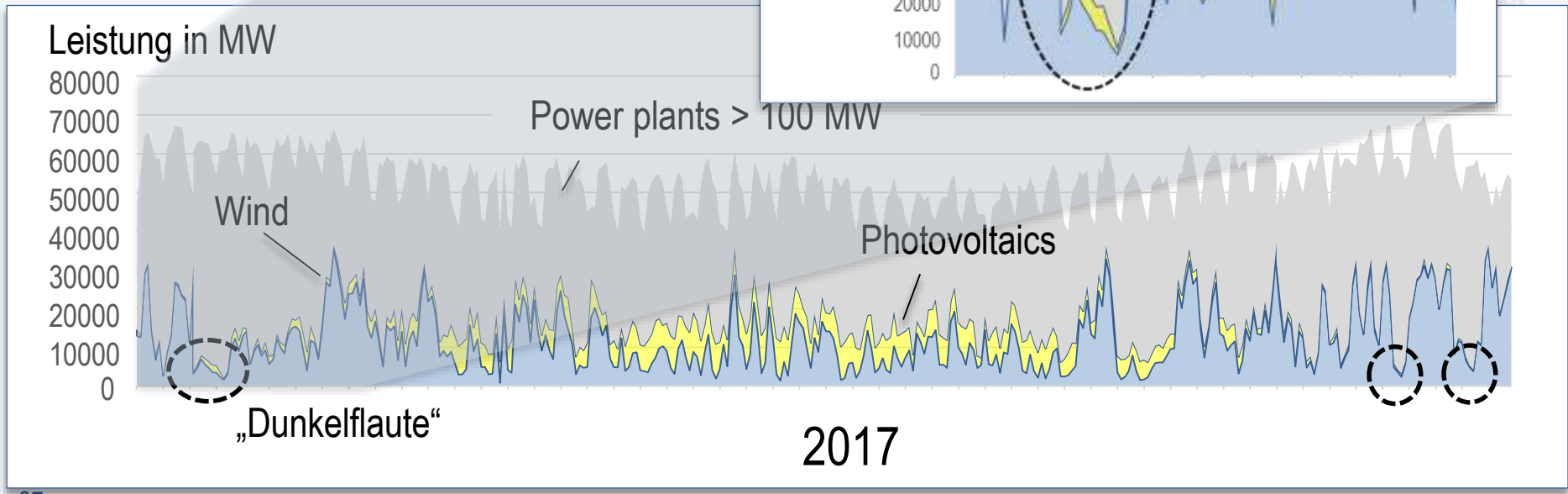
FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Schlüsseltechnologie
Speicher

Kernproblem „Dunkelflaute“

- Photovoltaik liefert im Winter nur einen geringen Beitrag
- Problematisch werden mehrtägige Perioden mit wenig Wind



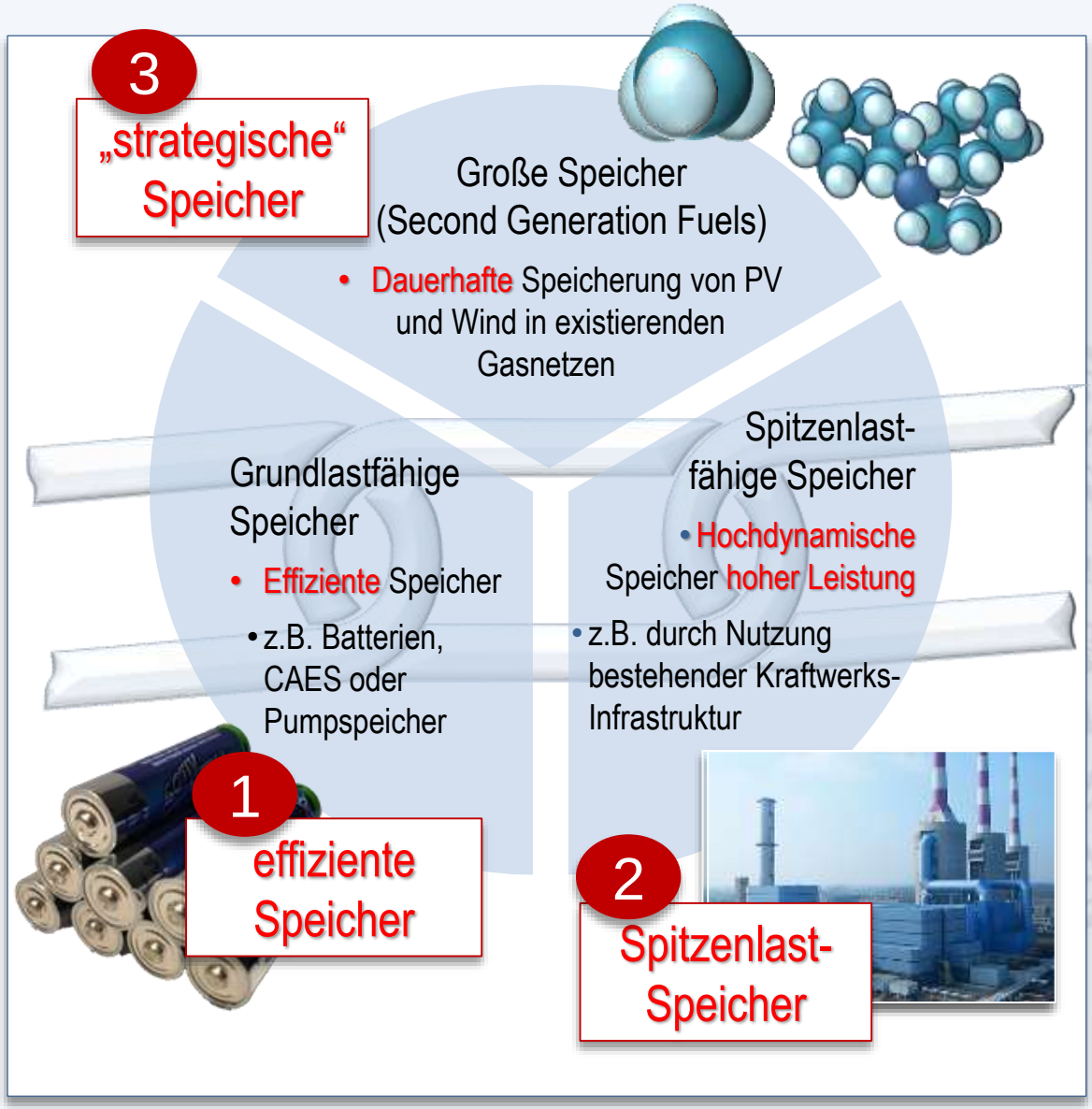


FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Speicher-technologien

gebraucht werden…

- … Grundlastfähige Speicher (z.B. Batterien)
- … Spitzenlastfähige Speicher (z.B. Hochtemperaturspeicher, Pumpspeicherkraftwerke)
- … Systeme mit großen Speicherkapazitäten (Second Generation Fuels bzw. Chemische Speicher)

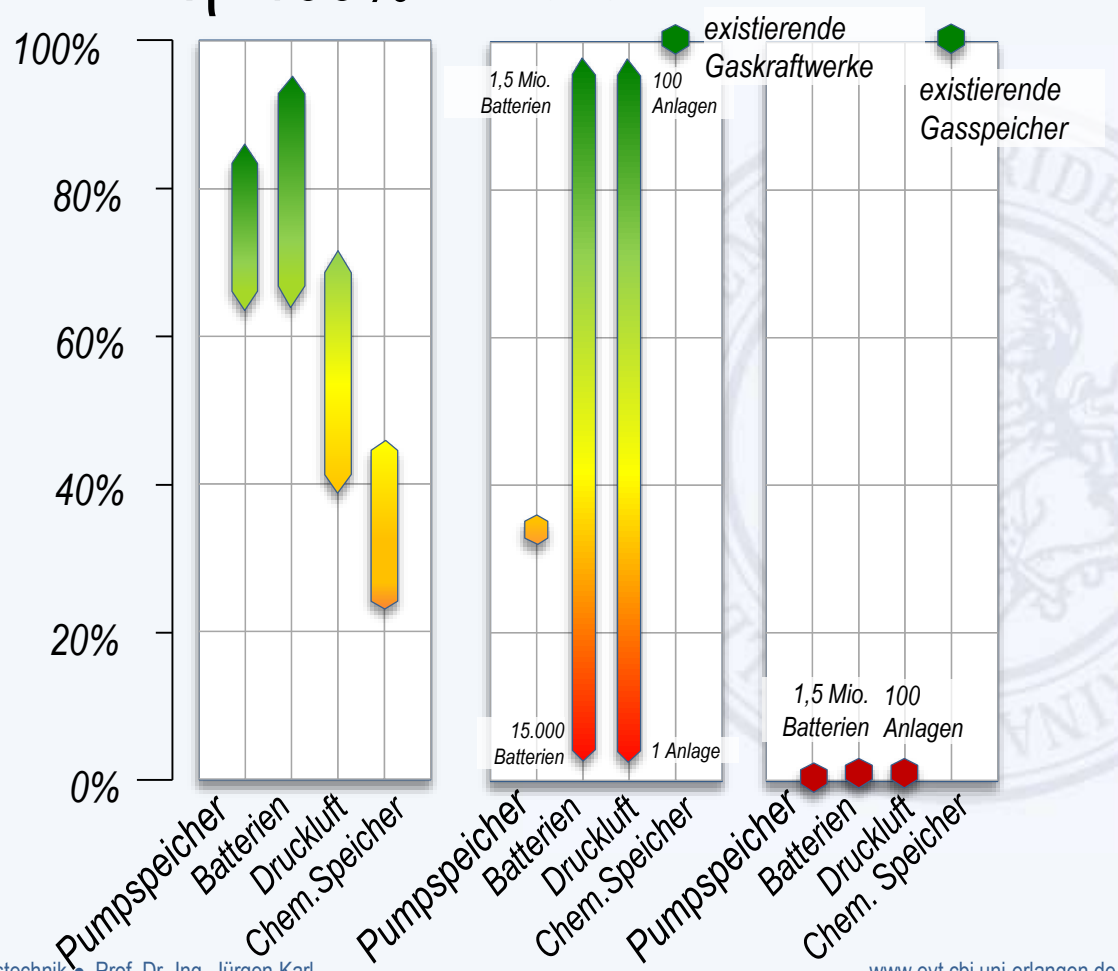


FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Speicher-technologien

1 effiziente Speicher | 2 Spitzenlast-Speicher | 3 strategische Speicher

Zielgröße: η=100% | Zielgröße: 20 GW | Zielgröße: 20 TWh



gebraucht werden…

- … Grundlastfähige Speicher ✓ (z.B. Batterien)
- … Spitzenlastfähige Speicher ✓ (z.B. Hochtemperaturspeicher, Pumpspeicherkraftwerke)
- … Systeme mit großen Speicherkapazitäten (Second Generation Fuels bzw. Chemische Speicher) *fehlen noch!*

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Vergleich der Speicherkapazitäten

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

1 Mio. Elektroautos
10 GWh

Referenz: Pumpspeicher-kraftwerke in Deutschland
40 GWh

Erdgas-Speicher
227 TWh

flüssige Treibstoffe
250 TWh

Quelle: M.Specht, Kraft-Wärme-Kopplung mit Biomasse, Augsburg, 10.03.2010

- Besonders hohe Speicherkapazitäten bietet die bestehende Infrastruktur für flüssige und gasförmige Treibstoffe
- Ziel: Umwandlung regenerativer Energien in Second Generation Fuels

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Power-to-X für Stromspeicherung und Mobilität

Schlüsseltechnologie Wasserstoff?

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

- Power-to-X-Treibstoffe sind synthetische Treibstoffe

1. Step:
Elektrolysis

Power-to-Hydrogen

$$H_2O \xrightarrow{\text{Strom}} H_2 + \tfrac{1}{2} O_2$$

2. Step:
Sabatier-Reaktion

Power-to-Gas

$$CO_2 + 4\,H_2 \xrightarrow{\text{Katalysator}} CH_4 + 2\,H_2O$$

Power-to-Liquids

$$CO + 2{,}2\,H_2 \longrightarrow \text{Fischer-Tropsch Diesel} + H_2O$$

$$2\,CO\ \text{syngas} + 4\,H_2 \longrightarrow \text{Dimethylether (DME) } CH_3\text{-}O\text{-}CH_3 + 2\,H_2O$$

$$\text{LOHCs} + H_2 \longrightarrow \text{hydrierte LOHCs}$$

- Alle Prozessketten beginnen mit Wasserstoff aus der Elektrolyse…

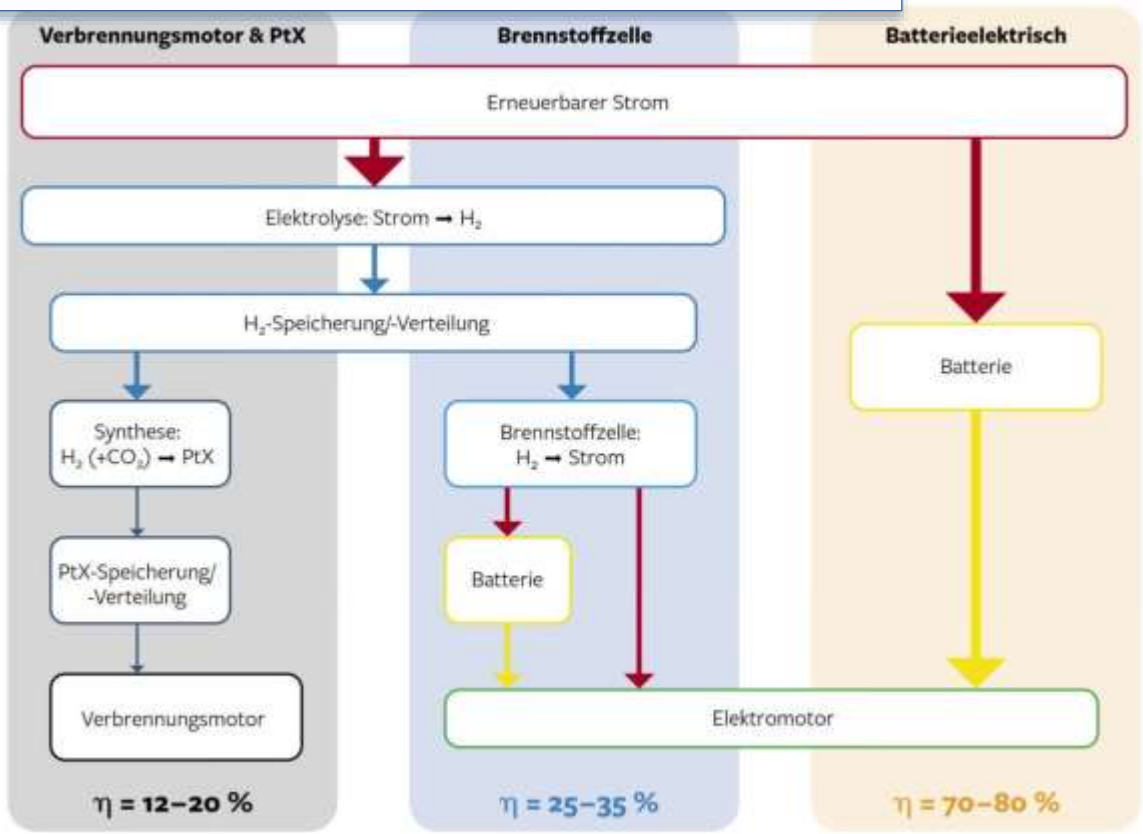
FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Hist
Tech
Wirts
die Bilanz
Fazit

Claudia Kemfert @CKemfert · Nov 5

Zum Thema #Wasserstoff für #Mobilität: Brennstoffzellen-Fahrzeuge haben ein paar Vorteile (Wenig Emissionen, längere Reichweite) sind aber ineffizient, da geringer Wirkungsgrad: bis zu sieben mal soviel Strom zur Herstellung notwendig. (1/5)

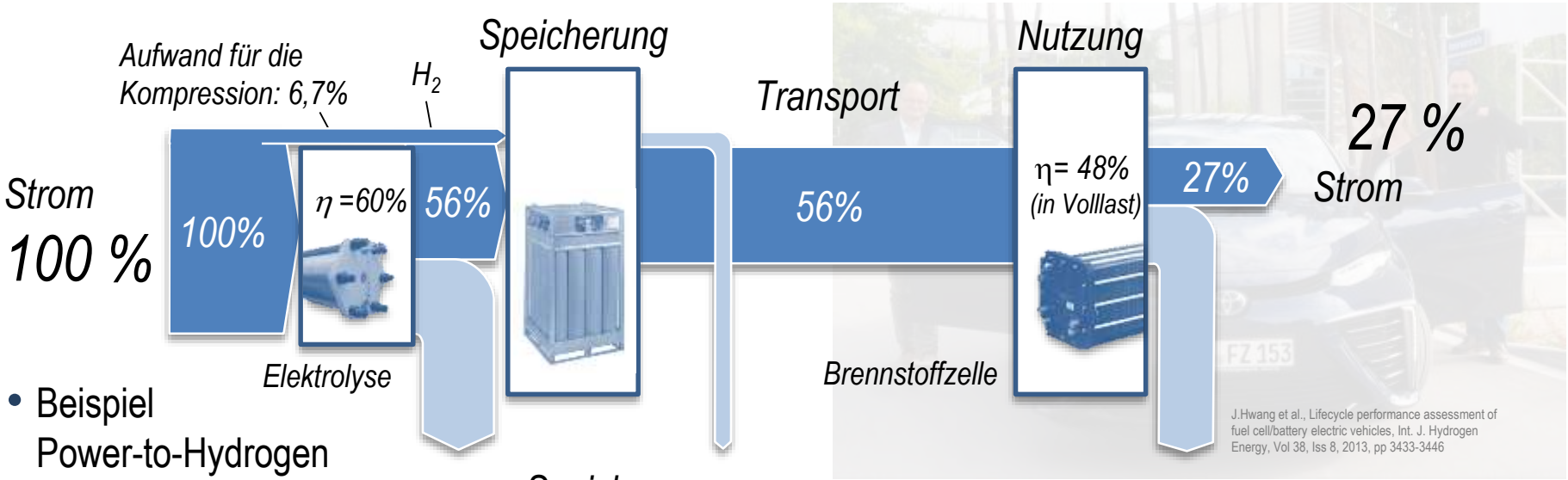
Schlüsseltechnologie Wasserstoff?



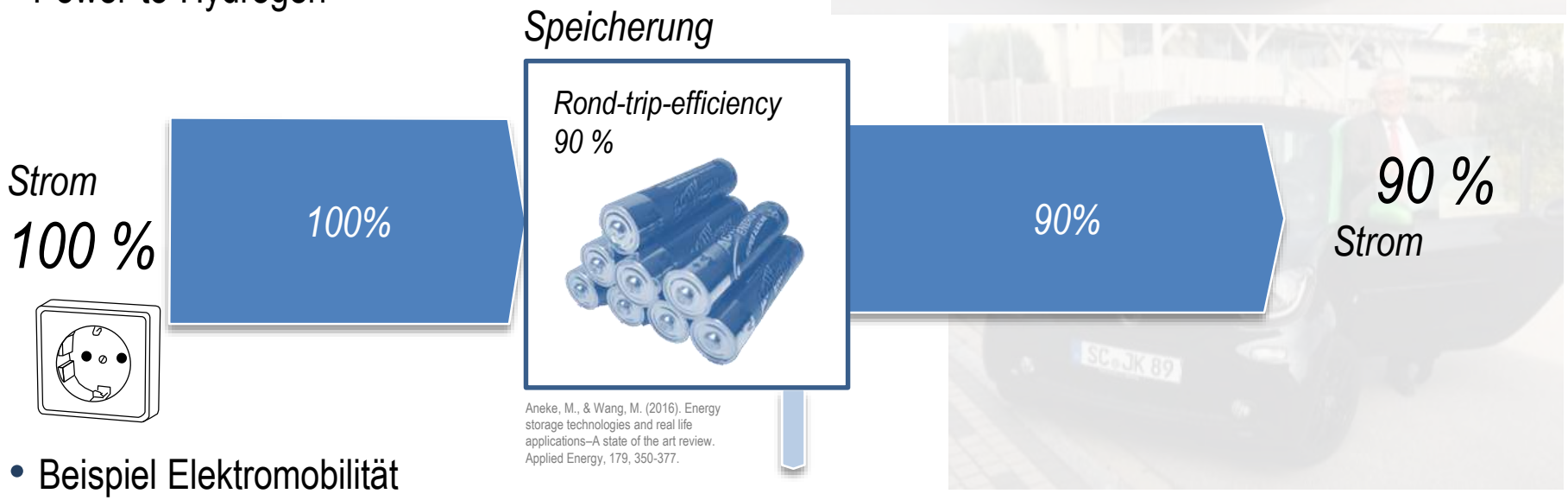
Energetischer Gesamtwirkungsgrad (η) verschiedener Antriebsoptionen – Grafik: SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) 2017: Umsteuern erforderlich: Klimaschutz im Verkehrssektor. Berlin, S. 86

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Der Vorteil der Batterie: Power-to-Power-Wirkungsgrad



- Beispiel Power-to-Hydrogen



- Beispiel Elektromobilität

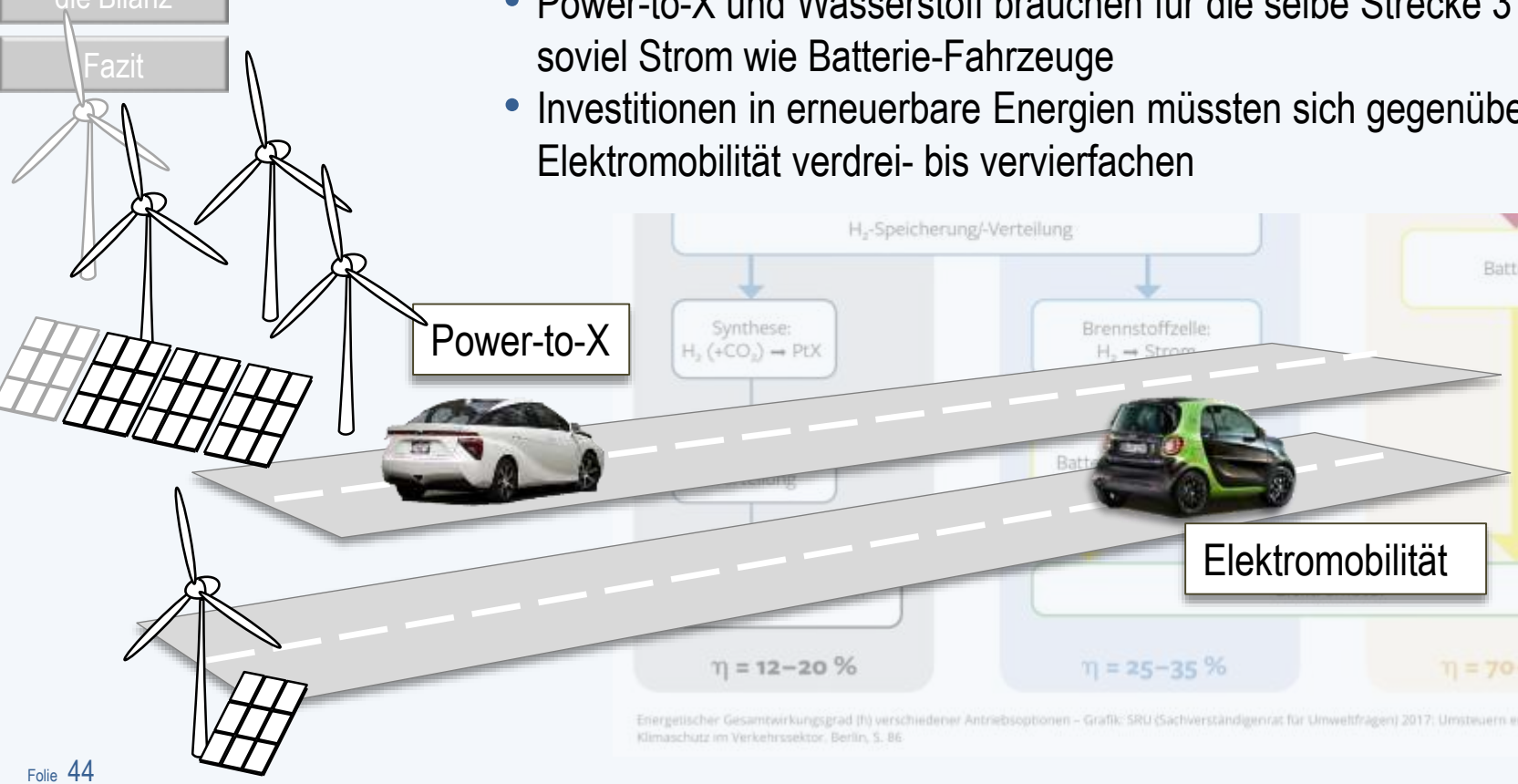
FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Claudia Kemfert @CKemfert · Nov 5

Zum Thema #Wasserstoff für #Mobilität: Brennstoffzellen-Fahrzeuge haben ein paar Vorteile (Wenig Emissionen, längere Reichweite) sind aber ineffizient, da geringer Wirkungsgrad: bis zu sieben mal soviel Strom zur Herstellung notwendig. (1/5)

Schlüsseltechnologie Wasserstoff?

- Power-to-X und Wasserstoff brauchen für die selbe Strecke 3 bis 4 mal soviel Strom wie Batterie-Fahrzeuge
- Investitionen in erneuerbare Energien müssten sich gegenüber der Elektromobilität verdrei- bis vervierfachen



Energetischer Gesamtwirkungsgrad (η) verschiedener Antriebsoptionen – Grafik: SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) 2017: Umsteuern erforderlich: Klimaschutz im Verkehrssektor. Berlin, S. 86

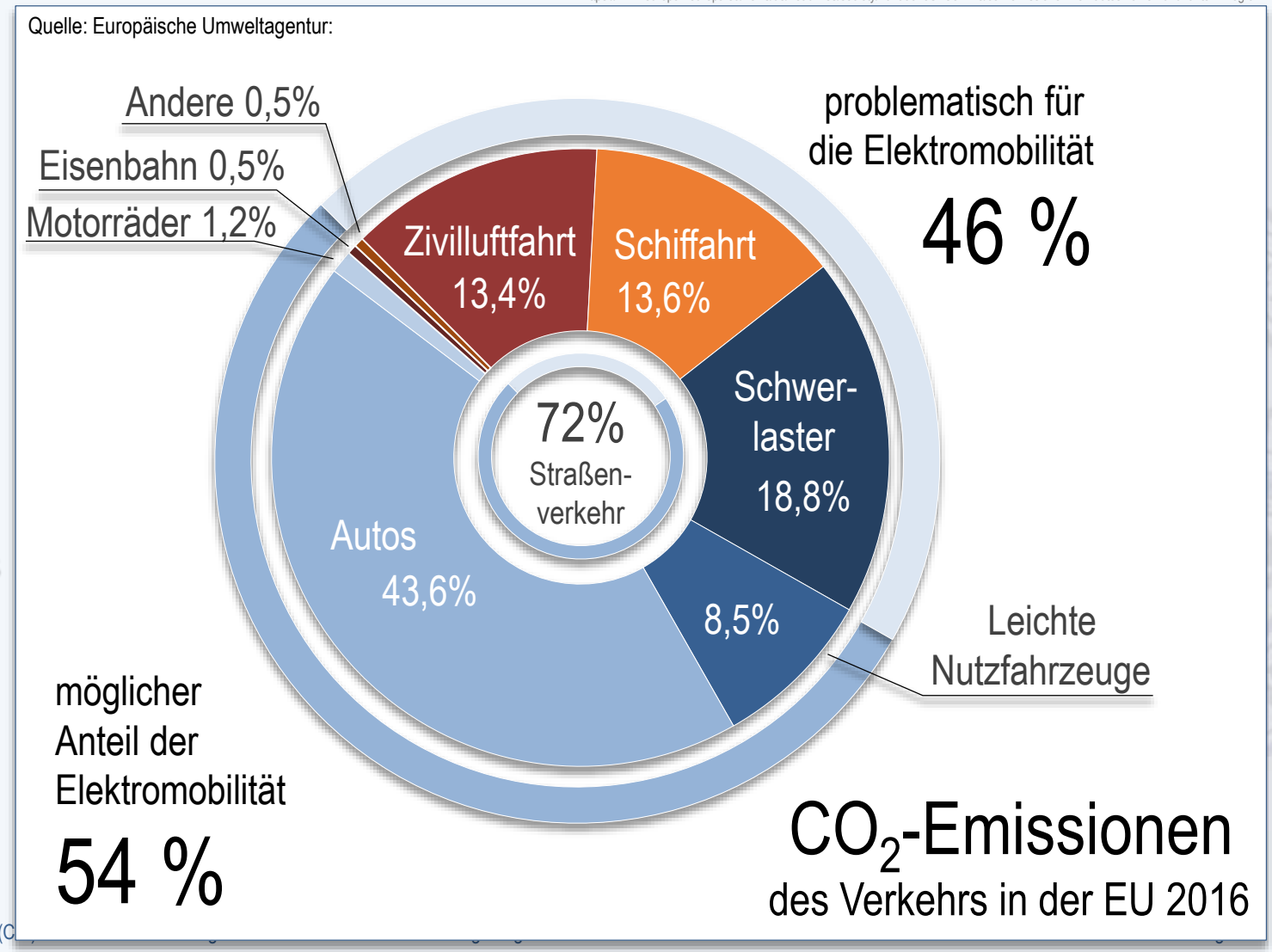
FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Gründe für die weitere Nutzung flüssiger und gasförmiger Energieträger

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissionen-von-autos-zahlen-und-fakten-infografik

Quelle: Europäische Umweltagentur:



- etwa **die Hälfte des Transportsektors** wird weiterhin auf flüssige oder gas-förmige Treibstoffe angewiesen sein

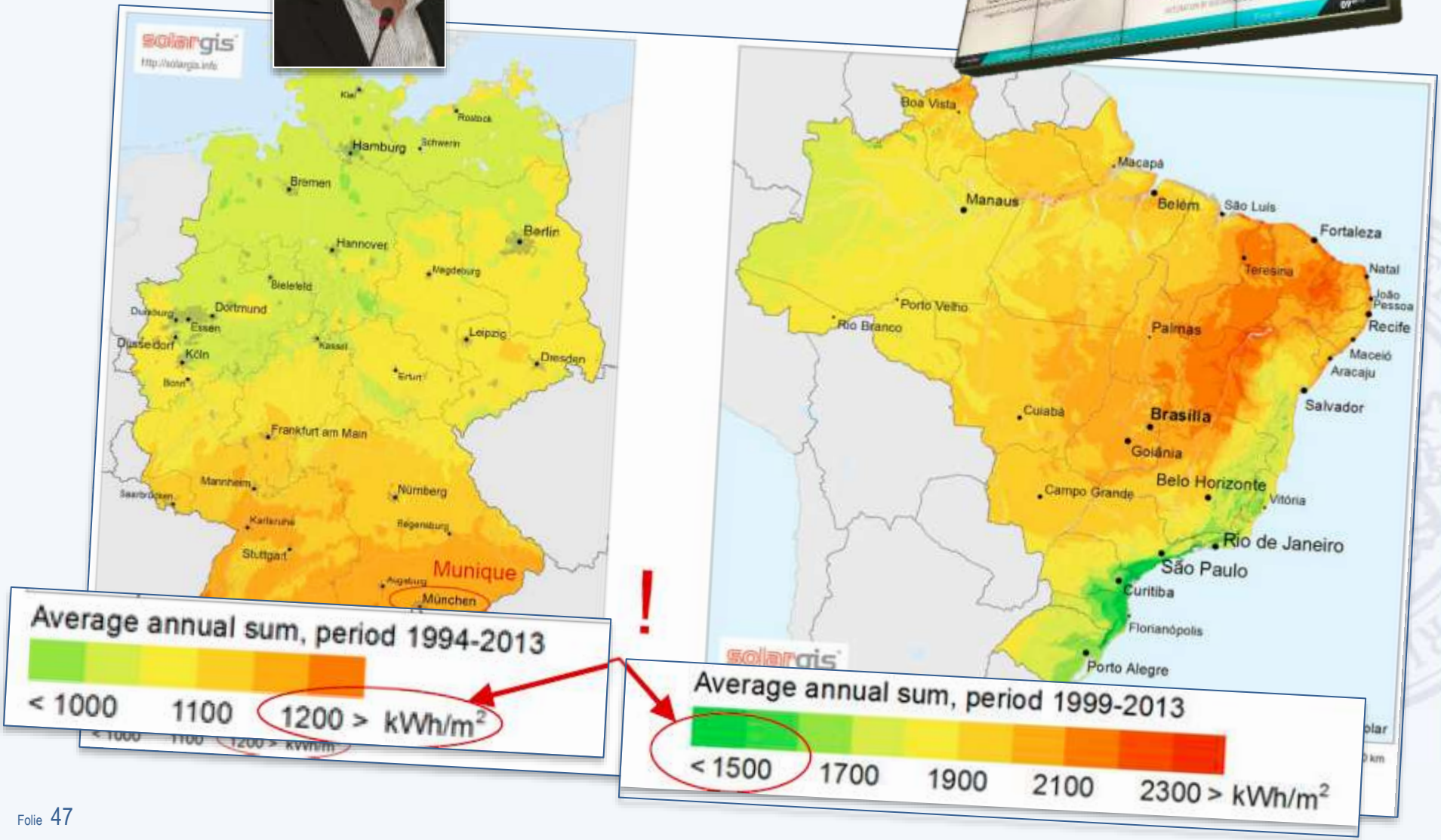
Kern-Problem:

- Substitute Natural Gas, Wasserstoff und chemische Energiespeicher sind notwendig, um große Mengen Erneuerbarer Energien speichern zu können
- Die „strategische“ Speicherung großer Energiemengen wird (im Bilanzkreis Deutschland) wohl nie wirtschaftlich

Die Lösung:

… chemische Speicher machen Erneuerbare Energien transportierbar !

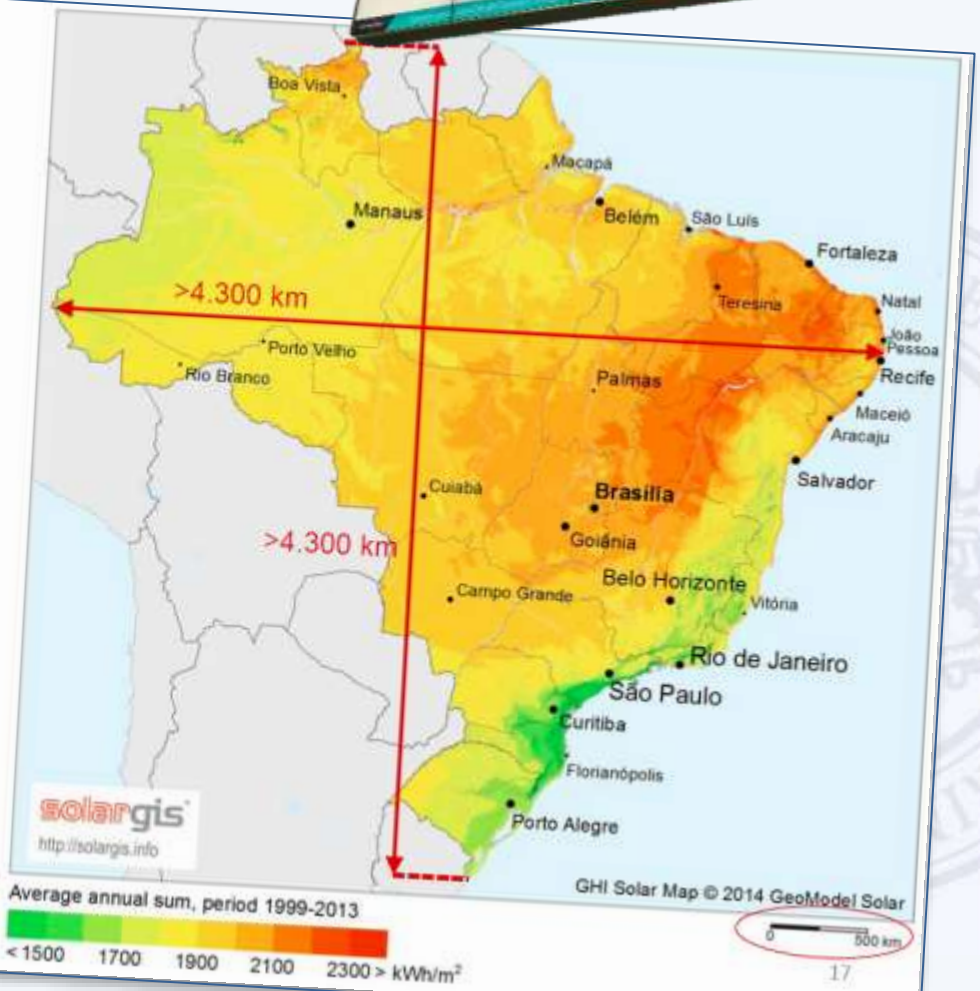
- Prof. Gilberto Jannuzzi,
- iSEneC, RLS Session, Nürnberg 12.7.2016



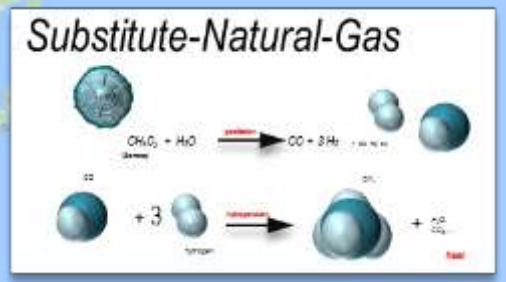
- Prof. Gilberto Jannuzzi, São Paolo
- iSEneC, RLS Session, Nürnberg 12.7.2017

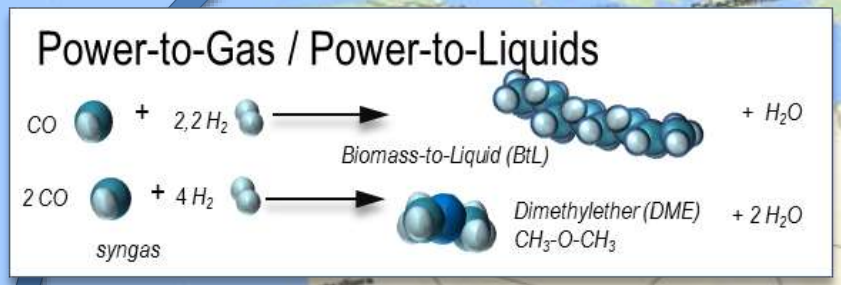
Germany and Brazil

- Comparison



Sources: http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI; www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/





Die Lösung:

… chemische Speicher machen Erneuerbare Energien transportierbar !

Fazit

1. Die Energiewende war unerwartet erfolgreich und wird derzeit massiv ausgebremst…

2. Die Schlüsseltechnologien der Energiewende nutzen gespeicherten Strom aus Wind und PV (nicht nur aus Deutschland)

3. Zur Wirtschaftlichkeit Erneuerbarer Energien

- Kosten (und Preise) Erneuerbarer Energien
- Was die Energiewende wirklich kostet

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Können wir uns die Energiewende noch leisten?

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

Corona-Schutzschild der Bundesregierung

1.173 Mrd. €

in einem Jahr

EEG-Umlage

330 Mrd. €

in 20 Jahren (bzw. 16,5 Mrd. € pro Jahr)

haushaltswirksamen Maßnahmen 353,3 Milliarden Euro, Garantien 819,7 Milliarden Euro.

CORONA SOFORTHILFE DES BUNDES

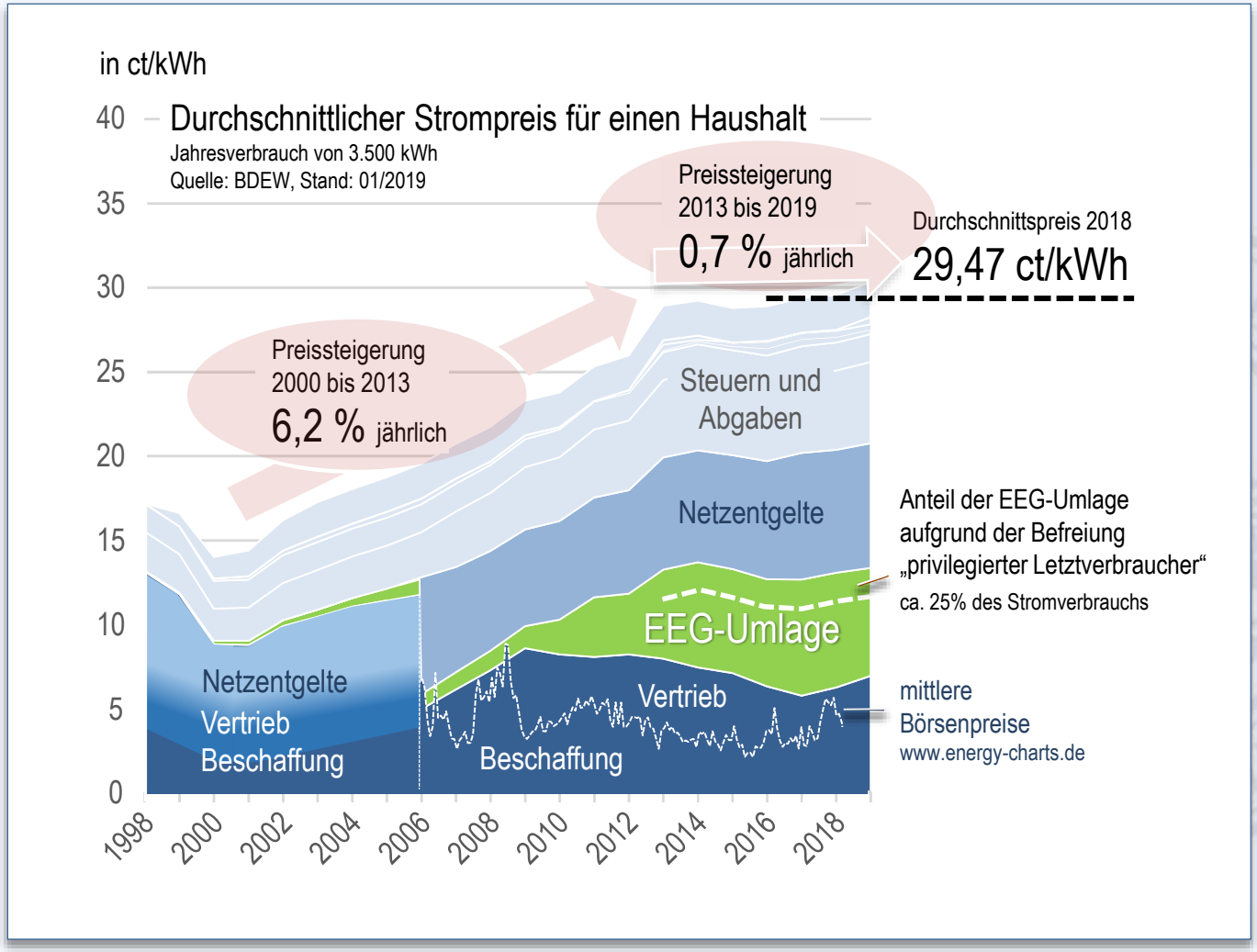
Quelle https://www.bundesfinanzministerium.de

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Unsere Strompreise ≠ Stromerzeugungskosten

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

- Strompreise für Endverbraucher stiegen seit 2000 steil an
- Die Energiewende bremste seit 2012 den Preisanstieg

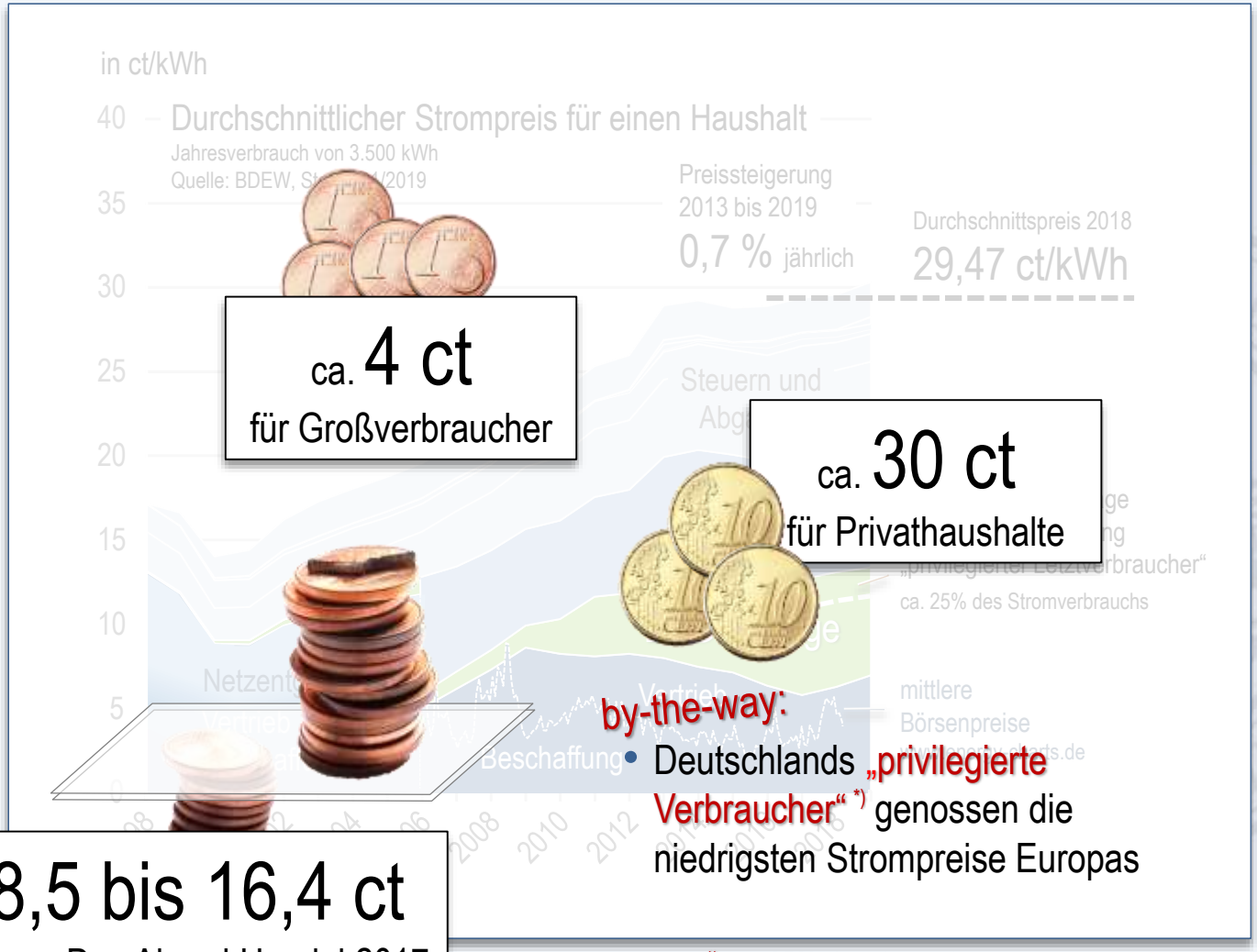


FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Unsere Strompreise ≠ Stromerzeugungskosten

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

- Strompreise für Endverbraucher stiegen seit 2000 steil an
- Die Energiewende bremste seit 2012 den Preisanstieg



ca. 4 ct
für Großverbraucher

ca. 30 ct
für Privathaushalte

-8,5 bis 16,4 ct
Börse: Day Ahead Handel 2017

by-the-way:
- Deutschlands „privilegierte Verbraucher“ *) genossen die niedrigsten Strompreise Europas

*) ca. 25% des deutschen Stromverbrauchs

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

FAU Strompreisstudie 2019

Historisches

Technisch

Wi

Motivation der FAU Strompreisstudien 2015 und 2019

- Öffentliche Diskussion unterstellt, dass Strompreise einzig aufgrund des Ausbaus Erneuerbarer Energien steigen
- Preisentwicklung im Großhandel wird nicht wahrgenommen…

Kernfrage: Wie hätten sich Großhandel ohne Wind und PV entwickelt?

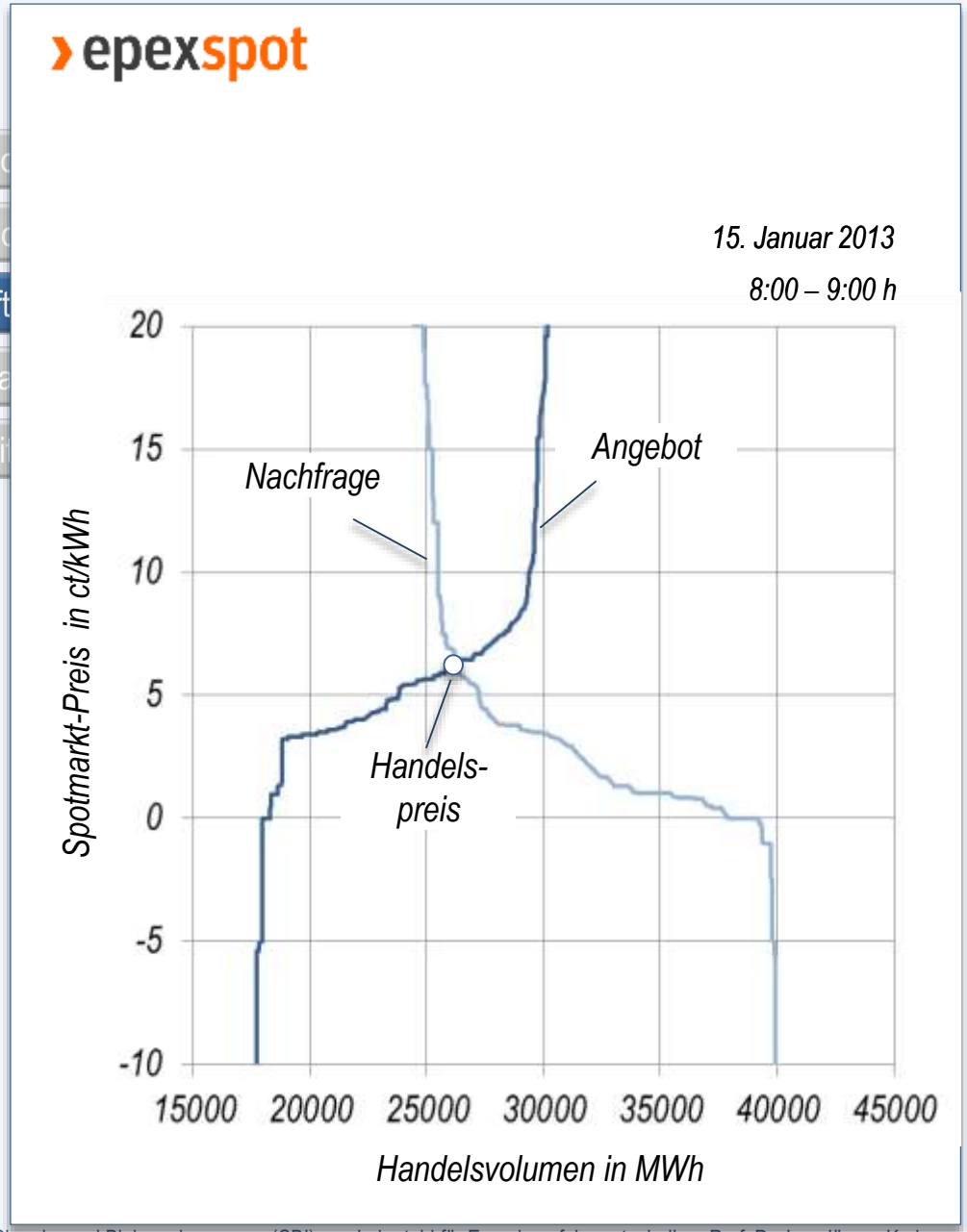
by-the-way:

- Deutschlands „privilegierte Verbraucher" *) genossen die niedrigsten Strompreise Europas

*) ca. 25% des deutschen Stromverbrauchs

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

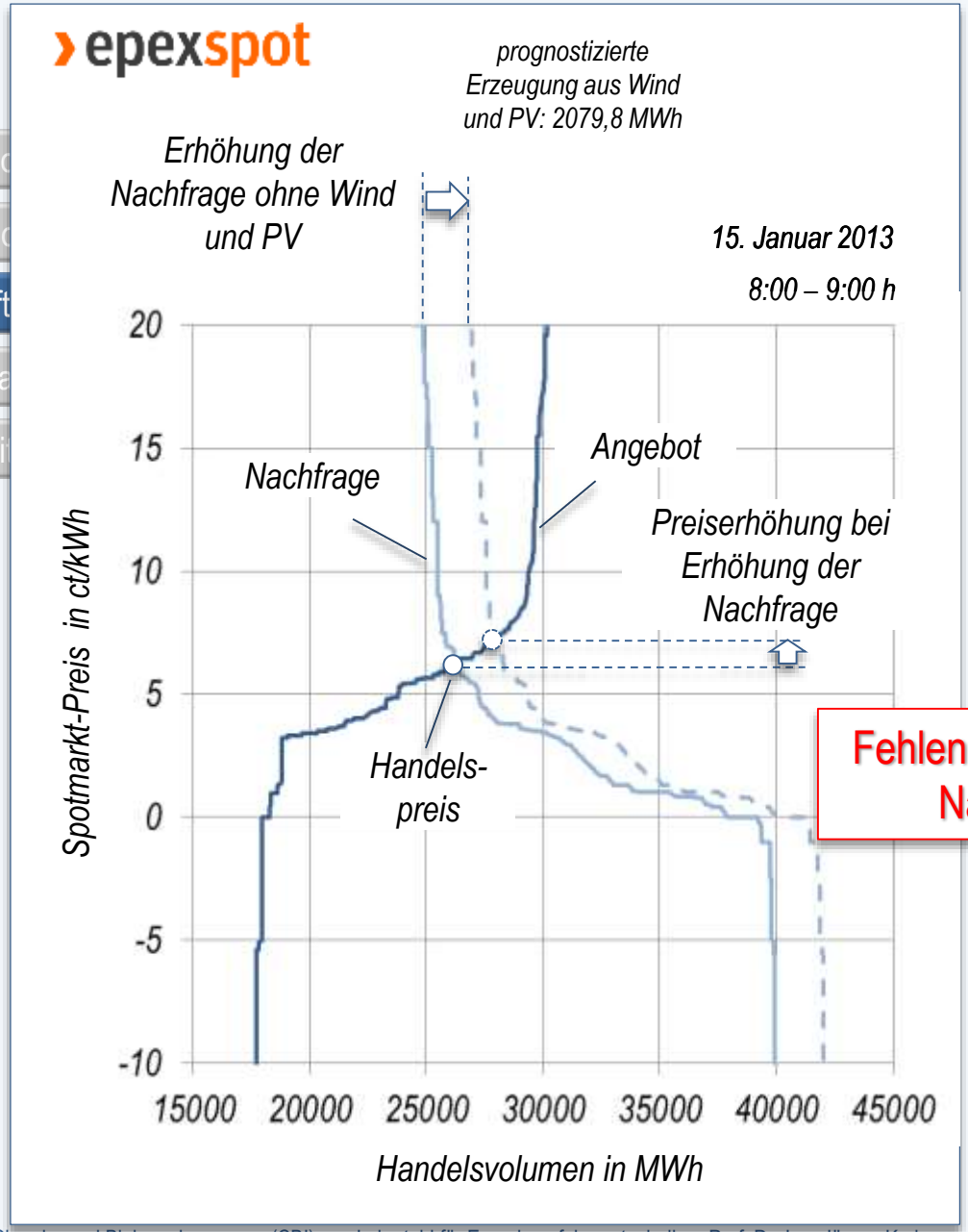
Methodischer Ansatz



- Auktionen liefern stündliche Angebots- und Nachfragekurven
- stündlicher Handelspreis ergibt sich aus Angebot und Nachfrage

Bildung der Strompreise an der Leipziger Strombörse („European Energy Exchange“)
Quelle: www.eex.de

Methodischer Ansatz



- Auktionen liefern stündliche Angebots- und Nachfragekurven
- stündlicher Handelspreis ergibt sich aus Angebot und Nachfrage

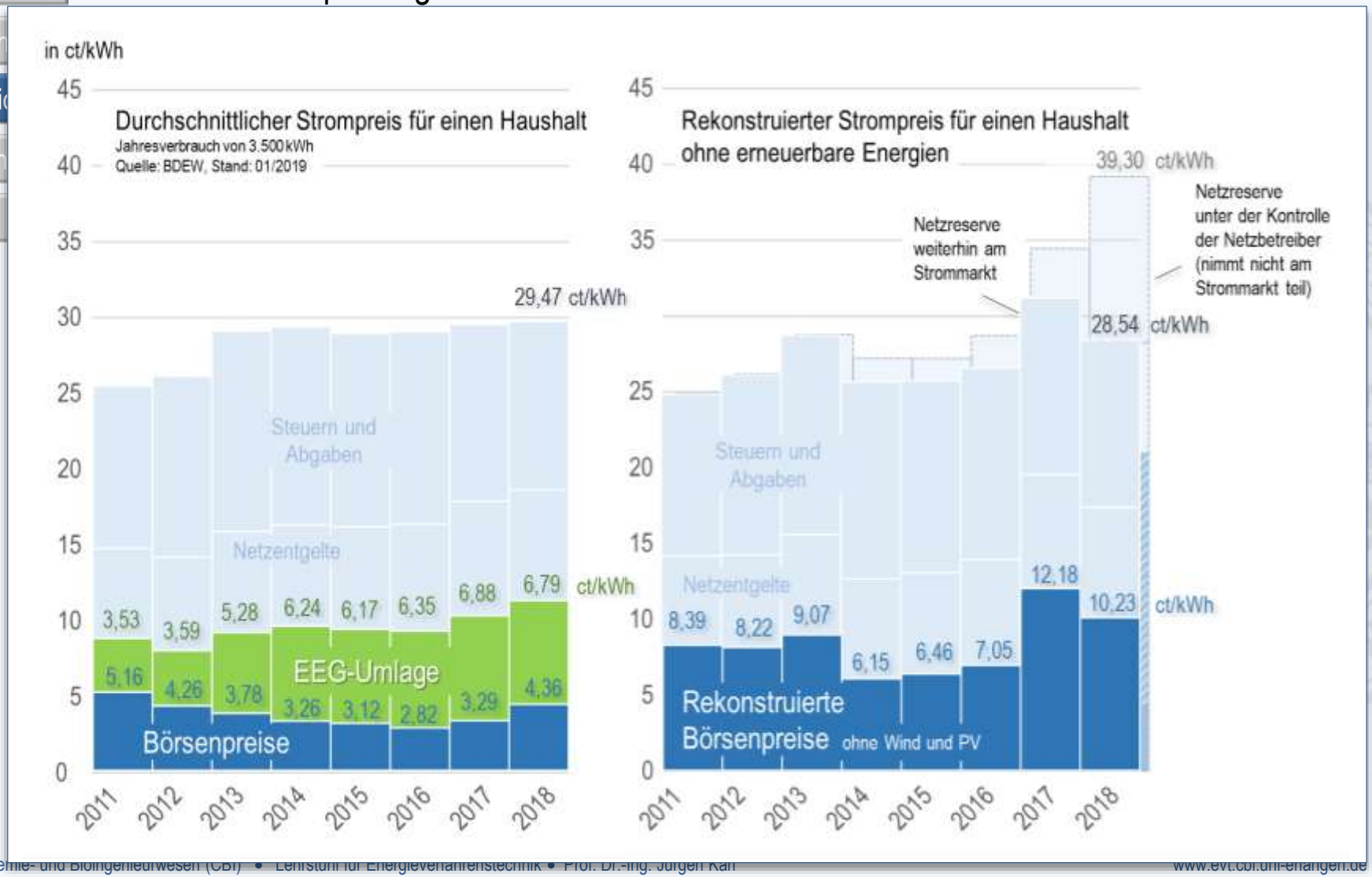
Fehlen von Wind und PV hätte Nachfrage erhöht …

Bildung der Strompreise an der Leipziger Strombörse („European Energy Exchange“)
Quelle: www.eex.de

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Ergebnisse: rekonstruierte Börsenpreise ohne Wind und PV

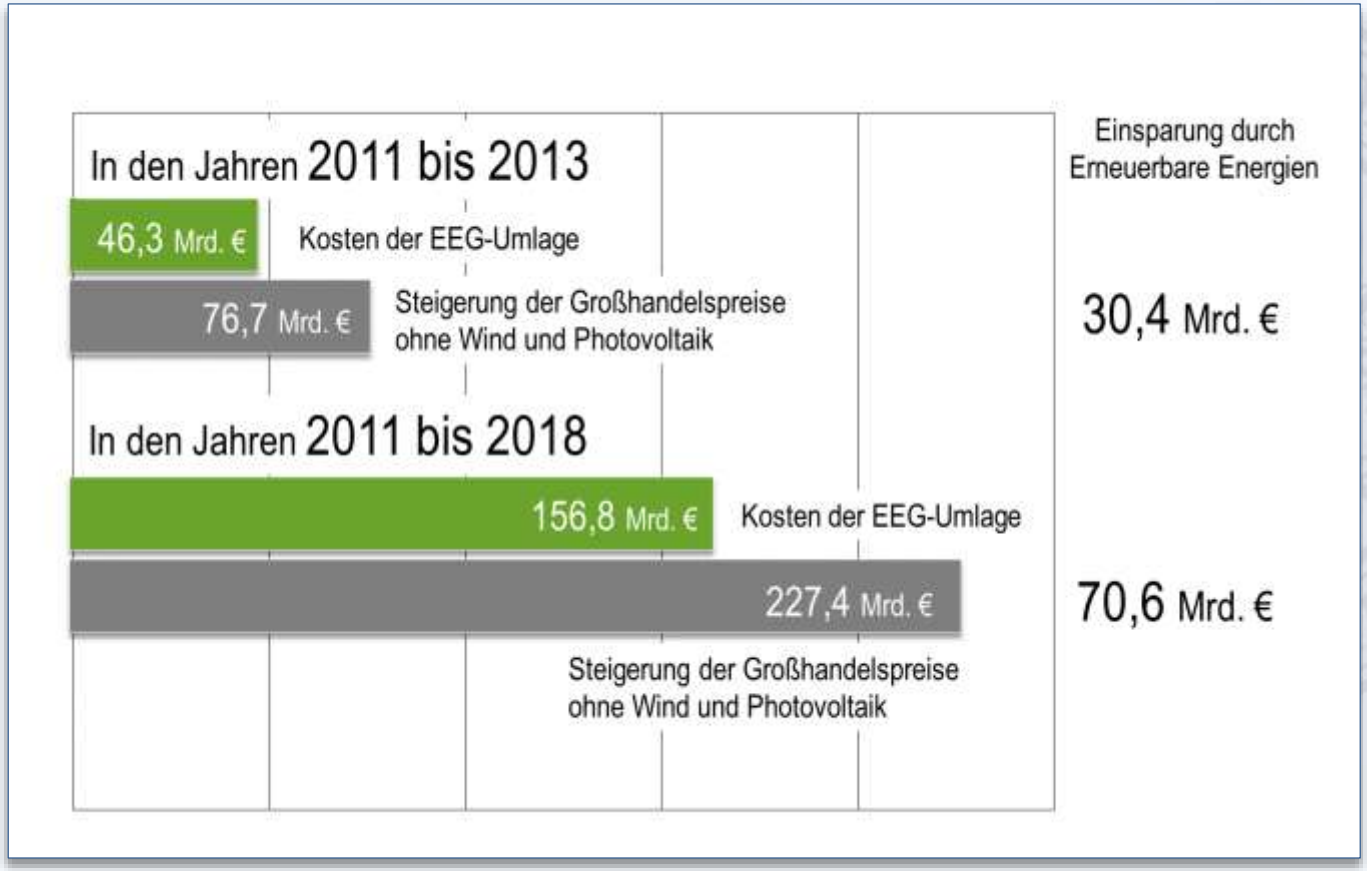
- Nach Fukushima hätte sich der Börsenstrompreis ohne die Einspeisung von Wind und Photovoltaik wesentlich erhöht



FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Ergebnisse: rekonstruierte Börsenpreise ohne Wind und PV

- Nach Fukushima hätte sich der Börsenstrompreis ohne die Einspeisung von Wind und Photovoltaik wesentlich erhöht
- Die Einsparungen für die deutschen Letztverbraucher betrugen in diesem Zeitraum (2014-2018) etwa 40 Mrd. Euro.
- Insgesamt sparten erneuerbare Energien seit 2011 etwa 70 Mrd. Euro.



FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Können wir uns die Energiewende noch leisten?

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

Corona-Schutzschild der Bundesregierung

1.173 Mrd. €

in einem Jahr

EEG-Umlage

330 Mrd. €

in 20 Jahren

(bzw. 16,5 Mrd. € pro Jahr)

haushaltswirksamen Maßnahmen 353,3 Milliarden Euro, Garantien 819,7 Milliarden Euro.

CORONA SOFORTHILFE DES BUNDES

Quelle https://www.bundesfinanzministerium.de

Einsparungen durch die Energiewende

400 Mrd. €

(bzw. 20 Mrd. € pro Jahr)

Fazit

1. Die Energiewende war unerwartet erfolgreich und wird derzeit massiv ausgebremst…

2. Die Schlüsseltechnologien der Energiewende nutzen gespeicherten Strom aus Wind und PV (nicht nur aus Deutschland)

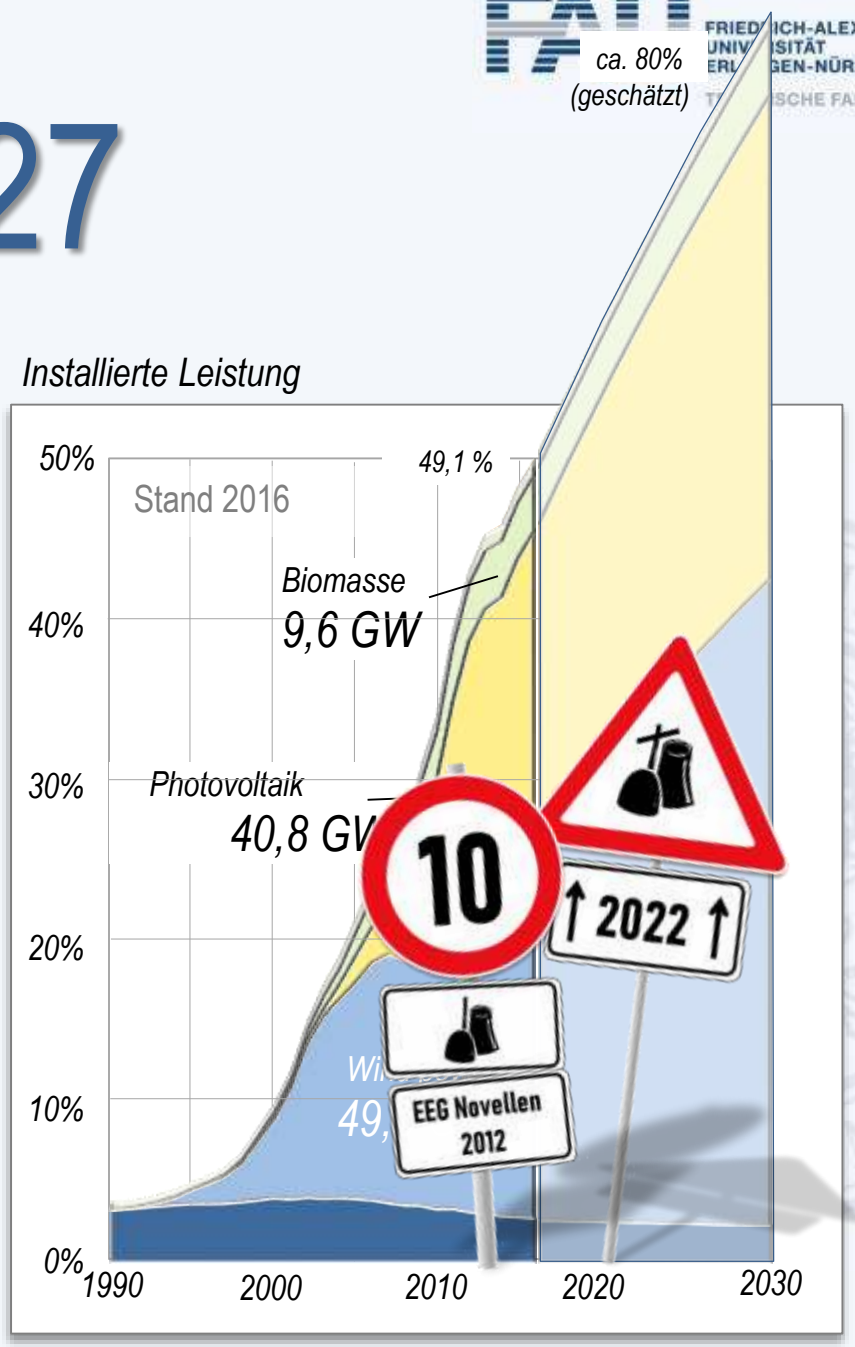
3. Erneuerbare Energien sind heute wirtschaftlich, konkurrenzfähig und sparen Milliarden

4. Warum wir unsere Chance jetzt nutzen müssen

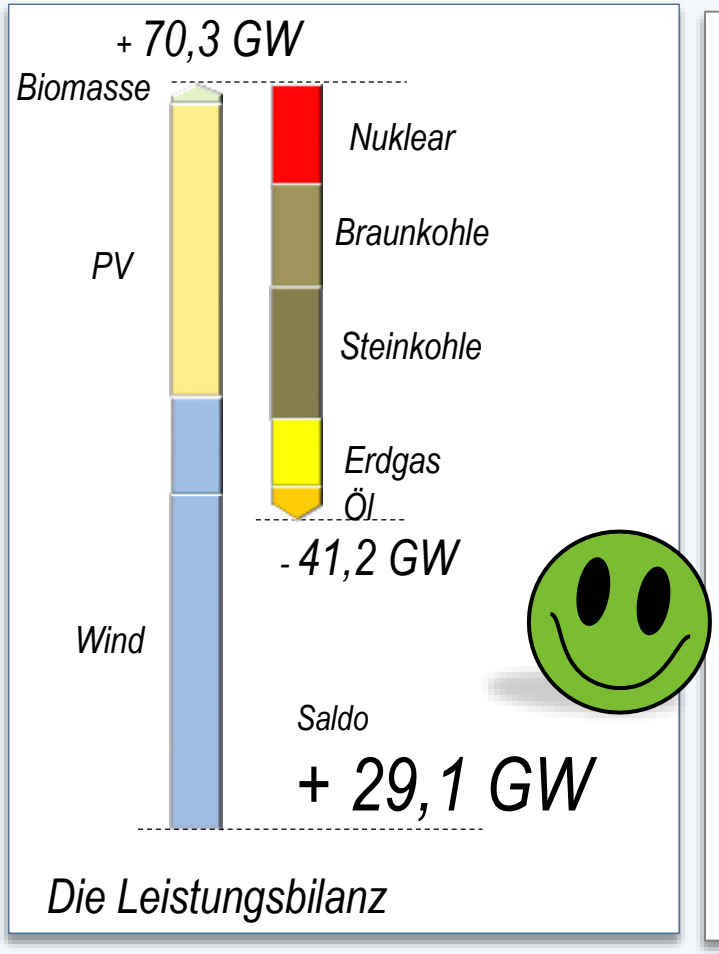
- Unsere Energiewirtschaft im Jahr 2030
- Kernproblem Innovation und Markteinführung
- Unsere Chance kommt Freitags …

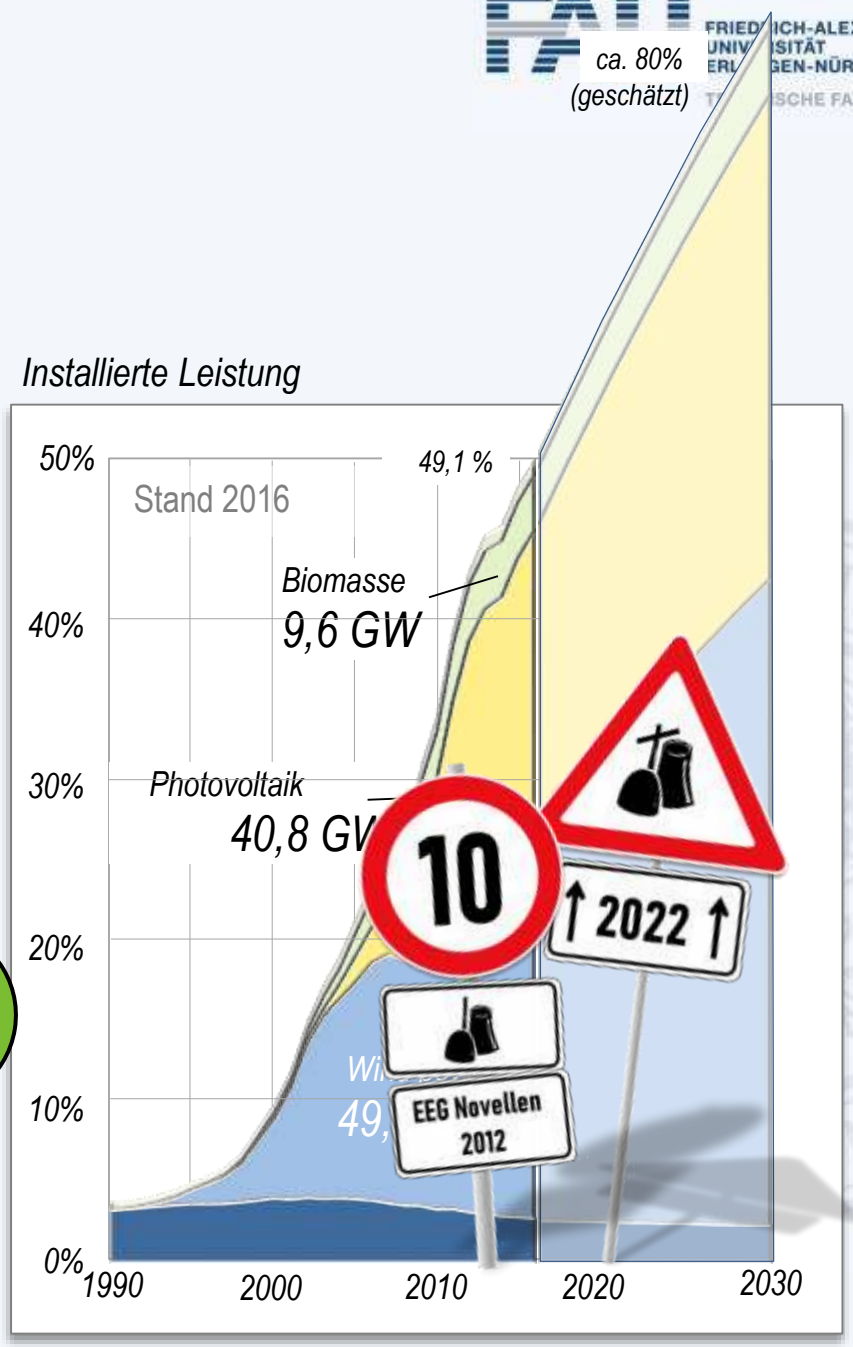
Prognose 2027

- Der Ausbaupfad für Erneuerbare Energien soll wegfallende Kernkraftwerke und Kohlekraftwerke kompensieren…



Leistungsbilanz und Energiebilanz 2027





Kilowatt

kW

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Leistungsbilanz und Energiebilanz 2027

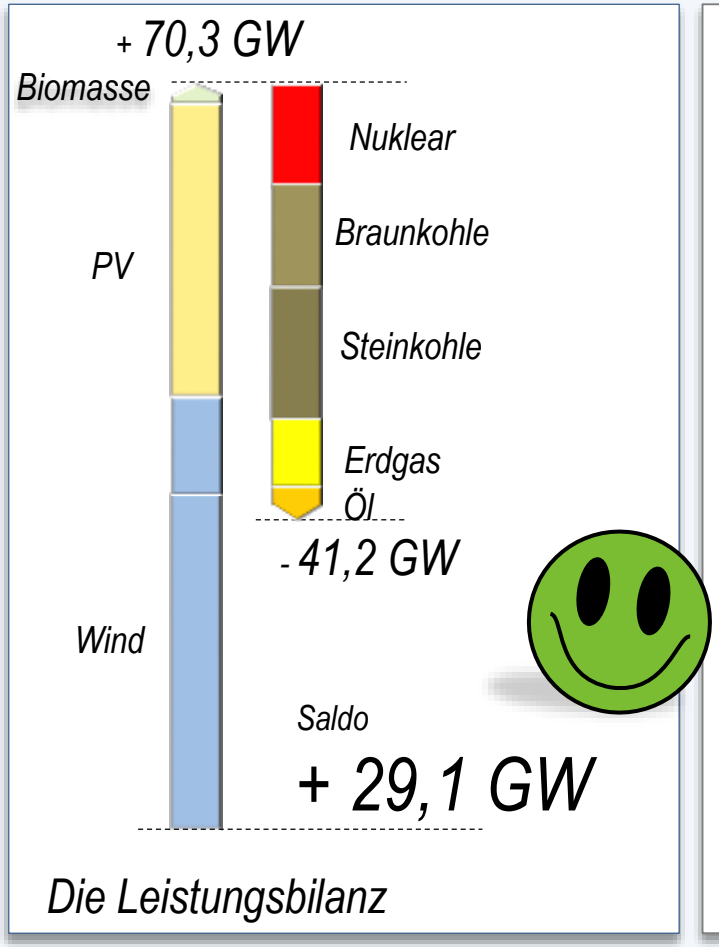
Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

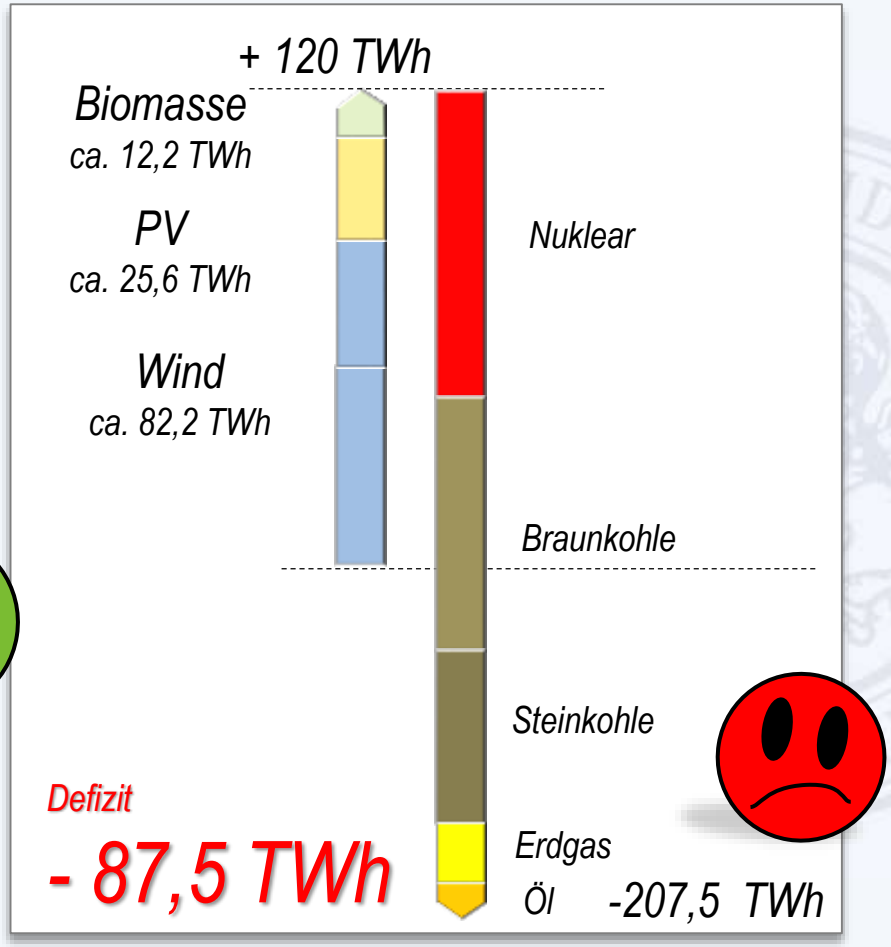
Kilowattstunden

kWh

Kilowatt

kW





https://www.br.de/nachrichten/bayern/soeder-brauchen-einen-neuanfang-beim-klimaschutz,RMJzqJM

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Innovation in der Energiewirtschaft

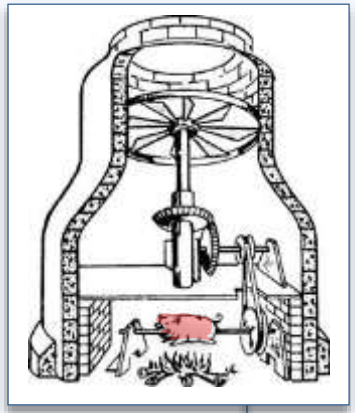
- Historisches
- Technisches
- Wirtschaftliches
- die Bilanz

(extrem erfolgreiche) Dampfturbine

Heron von Alexandria: Heronsball

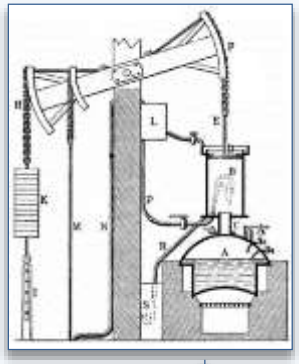
Gasturbine

Leonardo da Vinci „Windrad“



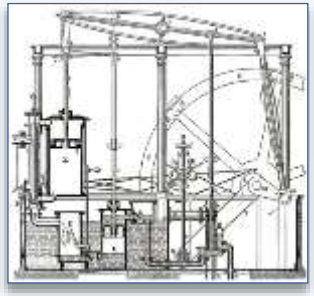
(erfolglose) Dampfmaschine

Thomas Newcomen Atmosphärische Dampfmaschine



(erfolglose) Dampfmaschine

James Watt Niederdruck-dampfmaschine



(erfolgreiches) Business-Konzept…

(erfolgreiches) Dampfkraftwerk

Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg Dreifach-Expansions-Dampfmaschine

Erfolgsfaktoren

- Wirtschaftlichkeit
- Wirkungsgrad
- Neuheit

?

1. Jahrhundert n. Chr.

$\eta_{th} = 0\%$

um 1500

$\eta_{th} \approx 0\%$

1712

$\eta_{th} \approx 0{,}5\%$

1769

$\eta_{th} = 2\text{-}3\%$
ca. 10 kW
1, 5 bar

um 1900

$\eta_{th} = 15\text{-}20\%$
bis ca. 5 MW
bis ca. 15 bar

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Innovation in der Energiewirtschaft

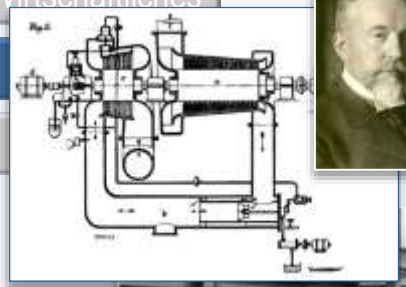
Historisches
Technisches
Wirtschaftliches

- Innovation war in der Energiewirtschaft schon immer besonders schwer

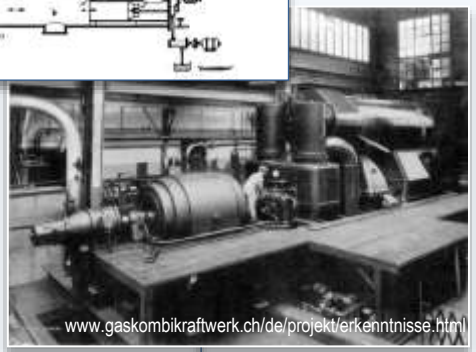
Erfolgsfaktoren

- ~~Wirtschaftlichkeit~~
- ~~Wirkungsgrad~~
- ~~Neuheit~~

!



Aurel Stodola



Erste Gasturbine, Neuchâtel, Switzerland

1972 Erstes IGCC-Kraftwerk von Siemens 163 MW, Lünen $\eta_{el} \approx 35\%$

Juergen Karg, IGCC experience and further developments to meet CCS market needs
Siemens AG, Energy Sector, Fossil Power Generation Division, 2009

Siemens
GUD-Kraftwerk
Irsching 545 MW

1900 — 1939 — 1960 — 1972 — 11.5.2011 — 2013

(Stillgelegung beantragt)

Weltrekord η_{th} = 60.75%

$\eta_{th} \approx 17{,}4\%$
4 MW

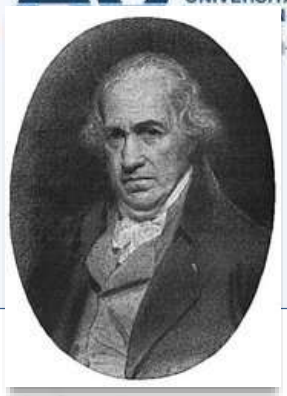
1960 Erstes Gas-Dampf-Kombikraftwerk von Alstom *früher BBC /ABB Kraftwerke AG*
75 MW, Korneuburg/Österreich $\eta_{th} \approx 32{,}5\%$

www.young.evn.at/lernwelten/Kapitel7.htm
www.energie-cluster.ch/Bilder/NL_55/NL_2007_55_06a_Alstom_GT%20Neuenburg_Flyer_de.pdf

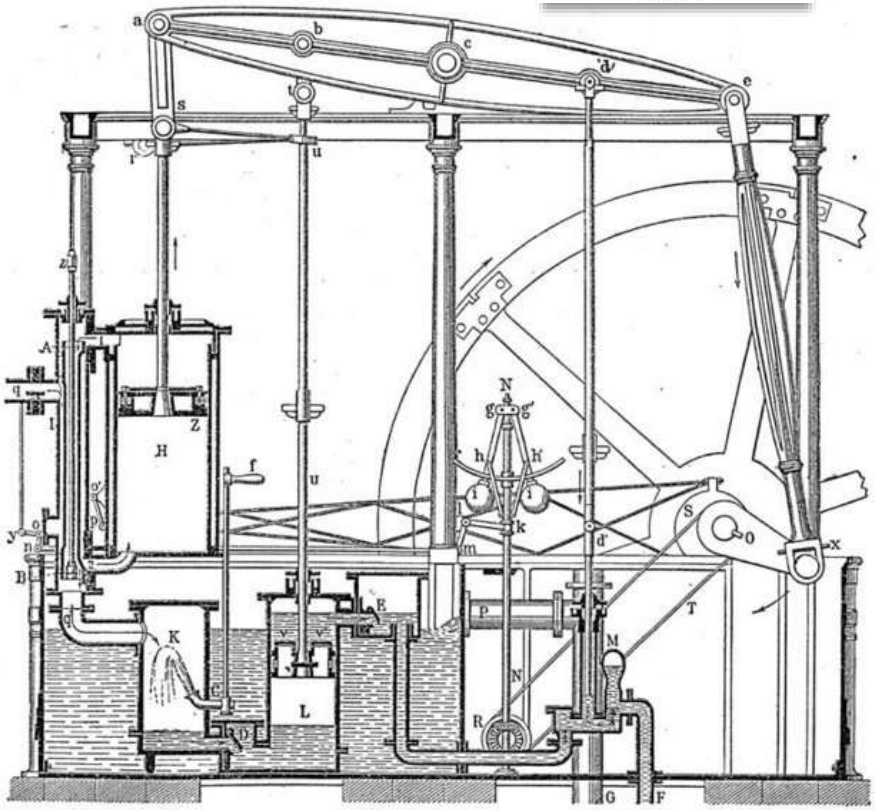
Was James Watt wirklich erfand:

Contracting

James Watt
(1736–1819)



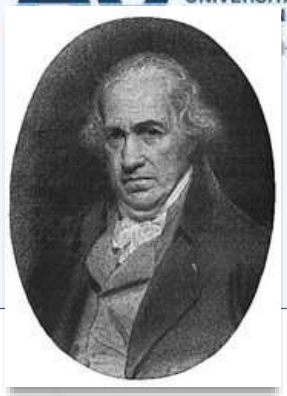
„Wir werden Ihnen kostenlos eine Dampfmaschine überlassen. Wir werden diese installieren und für fünf Jahre den Kundendienst übernehmen. Wir garantieren Ihnen, dass die Kohle für die Maschine weniger kostet, als Sie gegenwärtig an Futter (Energie) für die Pferde aufwenden müssen, die die gleiche Arbeit tun. Und alles, was wir von Ihnen verlangen, ist, dass Sie uns ein Drittel des Geldes geben, das Sie sparen."



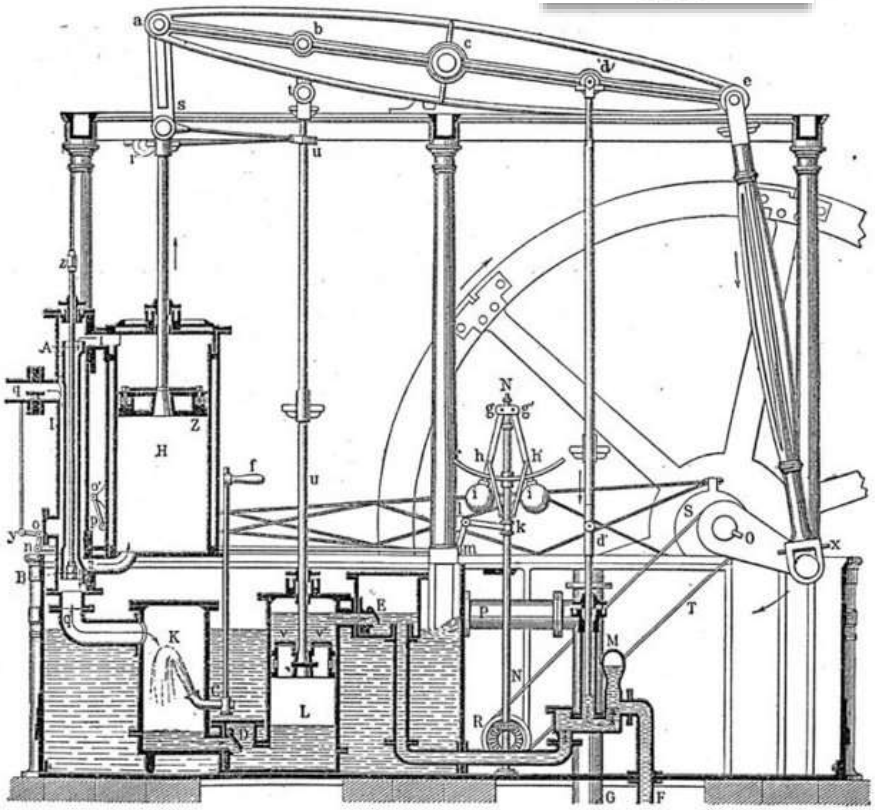
Was James Watt wirklich erfand:

Contracting

James Watt
(1736–1819)



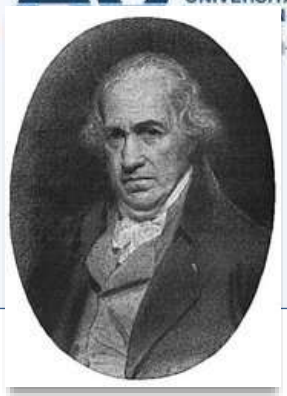
Businesskonzept	Fertigung und Vertrieb von Dampfmaschinen
Produkt	• stinkende, laute Maschine, die keiner wirklich verstand
Zielkunden	• Burn-out-gefährdete Unternehmer
Kundennutzen / Alleinstellungs-merkmal (USP)	• Ressourceneinsparung (*Futter für die Pferde*)



Was James Watt wirklich erfand:

Contracting

James Watt
(1736–1819)



Businesskonzept	Fertigung und Vertrieb von Dampfmaschinen	Contracting (Fertigung und Betrieb von Dampfmaschinen)
Produkt	• stinkende, laute Maschine, die keiner wirklich verstand	• Rundum-sorglos-Dienstleistungspaket mit garantiertem Produktionskostenvorteil
Zielkunden	• Burn-out-gefährdete Unternehmer	• Burn-out-gefährdete Unternehmer
Kundennutzen / Alleinstellungs-merkmal (USP)	• Ressourceneinsparung (*Futter für die Pferde*)	• Outsourcing der Energieversorgung • Zielkunden konnten sich auf ihr eigentliches Kerngeschäft konzentrieren • Konzentration von Unternehmensressourcen auf Geschäftsbereiche mit maximaler Wertschöpfung durch Nutzung eigener Kernkompetenzen

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Die drei Kernprobleme neuer Technologien für die Energiewirtschaft sind…

- … zu geringe technische Verfügbarkeit
- … problematische Kostensituation

- … schwierige Markteinführung

Einschub:
Business-Plan(ung) für Einsteiger

Quelle: Goscinny et al., „Obélix et Compagnie“, Dargaud Verlag, Bd. XXIII, 1976

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Einschub:
Business-Plan(ung) für Einsteiger

Folie 74

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Marktanalyse Erneuerbarer Energien

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

Kunden kaufen…

a) Nützliches

b) Bequemes

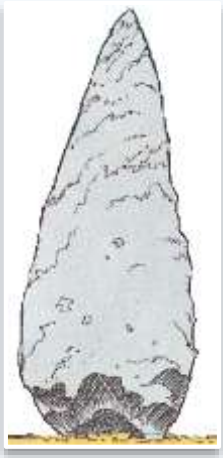
c) Amüsantes

d) „Was den Nachbarn neidisch macht“

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

Marktanalyse Erneuerbarer Energien



Kunden kaufen…

a) Nützliches	+	+*) wenn alles funktioniert
b) Bequemes	+	○
c) Amüsantes	+	--
d) „Was den Nachbarn neidisch macht“	++	++

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

d) „Was den Nachbarn neidisch macht“

mein Haus

meine Jacht

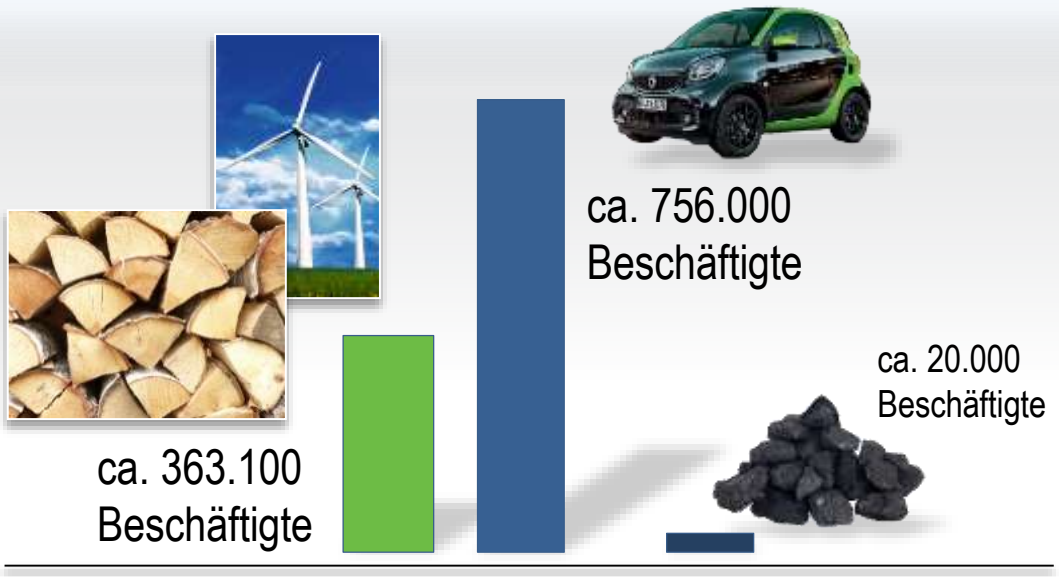
meine Solaranlage

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

d) „Was den Nachbarn neidisch macht“

„…Erneuerbare Energien schaffen Arbeitsplätze“

- Erneuerbare Energien geben in Deutschland bereits 363.100 Menschen Arbeit (Stand 2014)
- zum Vergleich: Automobilindustrie 756.000 Beschäftigte (Stand 2014)



FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Die Chance für Erneuerbare Energien

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

„Erfolgsfaktoren“

Die Kundennutzen die selten funktionieren…

- Wirtschaftlichkeit
- Wirkungsgrad
- Neuheit

Beispiele:

- Irsching
- GobiGas
- Growian
- …

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Die Chance für Erneuerbare Energien

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

„Erfolgsfaktoren“

Die Kundennutzen die selten funktionieren…

- Wirtschaftlichkeit
- Wirkungsgrad
- Neuheit

Die Kundennutzen die immer funktionieren…

- Sichtbarkeit
- (Versorgungs-) Sicherheit
- Steuerliche Vorteile

Was den Unterschied macht:

Die Kunden…

Vorstandsvorsitzender RWE Vorstandsvorsitzender e.on

- (skeptische) Energieversorger
- Stadtwerke und kommunale Betreiber
- Industriebetriebe

- (trendbewusste) End-Consumer

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Die Chance für Erneuerbare Energien

Historisches
Technisches
Wirtschaftliches
die Bilanz
Fazit

„Erfolgsfaktoren“

Die Kundennutzen die selten funktionieren…

- Wirtschaftlichkeit
- Wirkungsgrad
- Neuheit

Die Kundennutzen die immer funktionieren…

- Sichtbarkeit
- (Versorgungs-) Sicherheit
- Steuerliche Vorteile

#…

#Schnitzel-Scham
#SUV-Scham
#Flug-Scham

Was den Unterschied macht:

… und der richtige Zeitpunkt

SPIEGEL +

Klimaschutz im Alltag

Die Welt retten, ohne sich einzuschränken - geht das?

#...
#Schnitzel-Scham
#SUV-Scham
#Flug-Scham

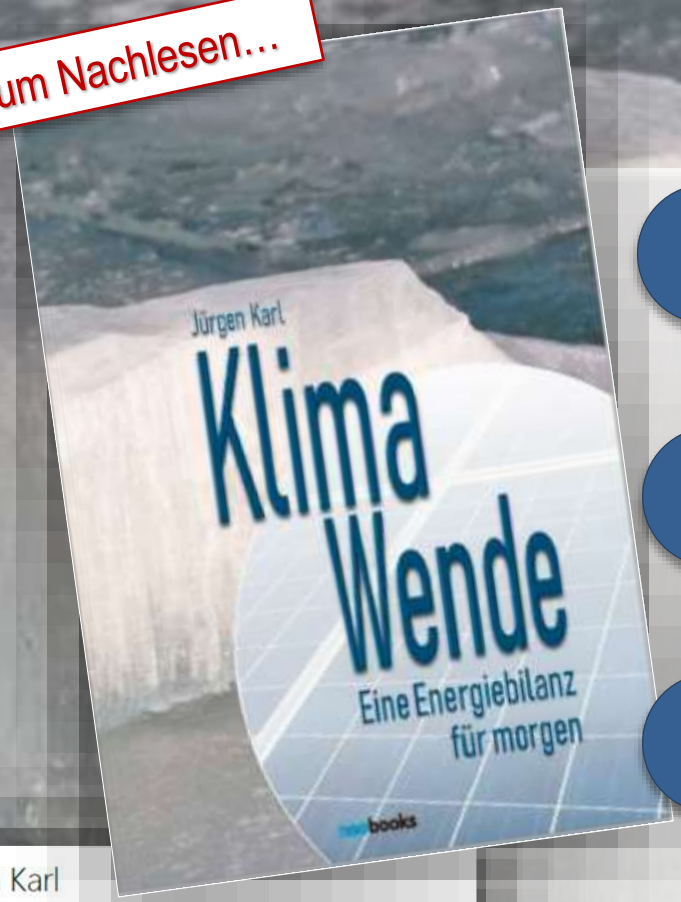
... auch der
Versuch zählt und hilft!

... machen Sie Ihre
Nachbarn neidisch!

„Verkaufe alles, was du hast, und gib's den Armen…“ Lk 18,25

Fazit

zum Nachlesen…



Jürgen Karl

Klimawende

Eine Energiebilanz für morgen

in allen Online-Shops
und im Buchhandel

1. Die Energiewende war unerwartet erfolgreich und wird derzeit massiv ausgebremst…

2. Die Schlüsseltechnologien der Energiewende nutzen gespeicherten Strom aus Wind und PV (nicht nur aus Deutschland)

3. Erneuerbare Energien sind heute wirtschaftlich, konkurrenzfähig und sparen Milliarden

und:

4. Mit einer guten Nachbarschaft (und kleinen Incentives) gelingt jede Energiewende!