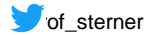
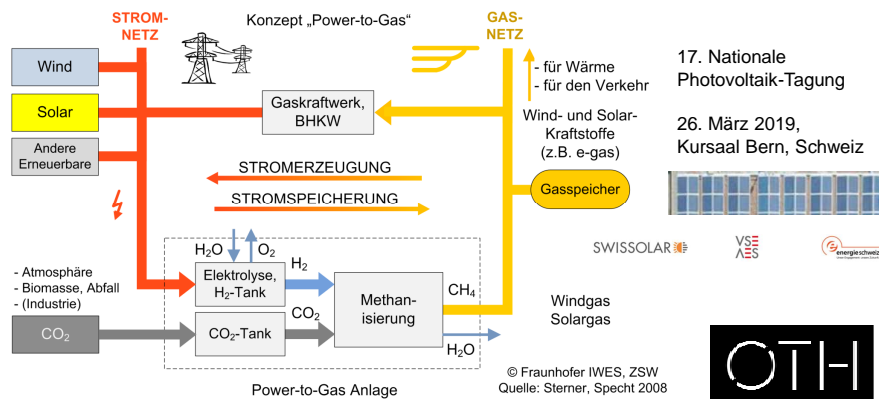


Sektorenkopplung mit Solarstrom: Theorie und Praxis

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



Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher FENES, OTH Regensburg



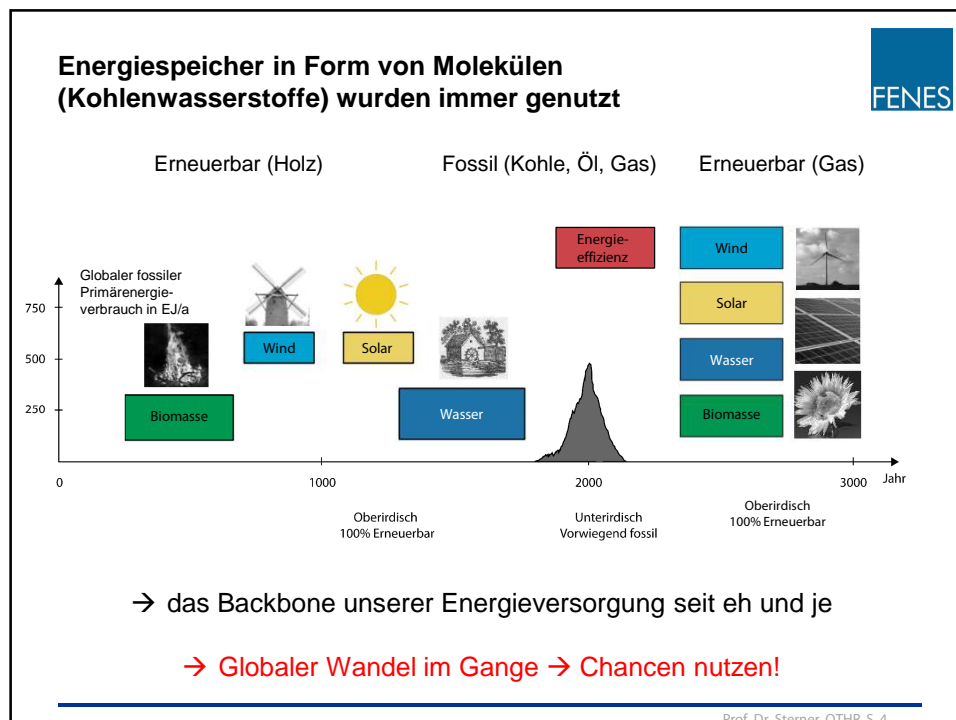
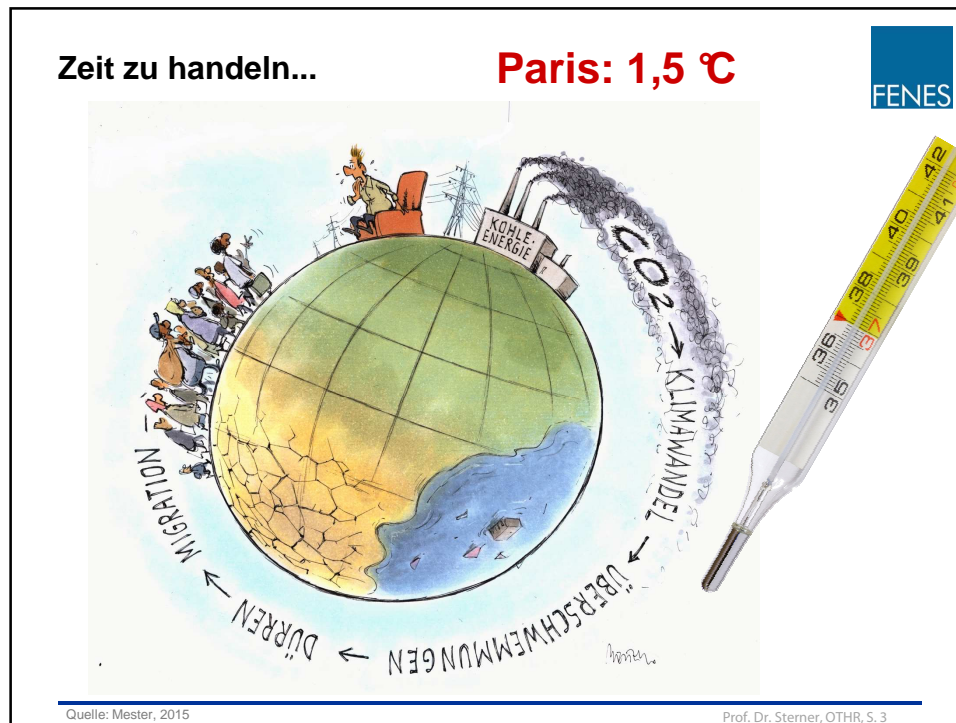
17. Nationale Photovoltaik-Tagung

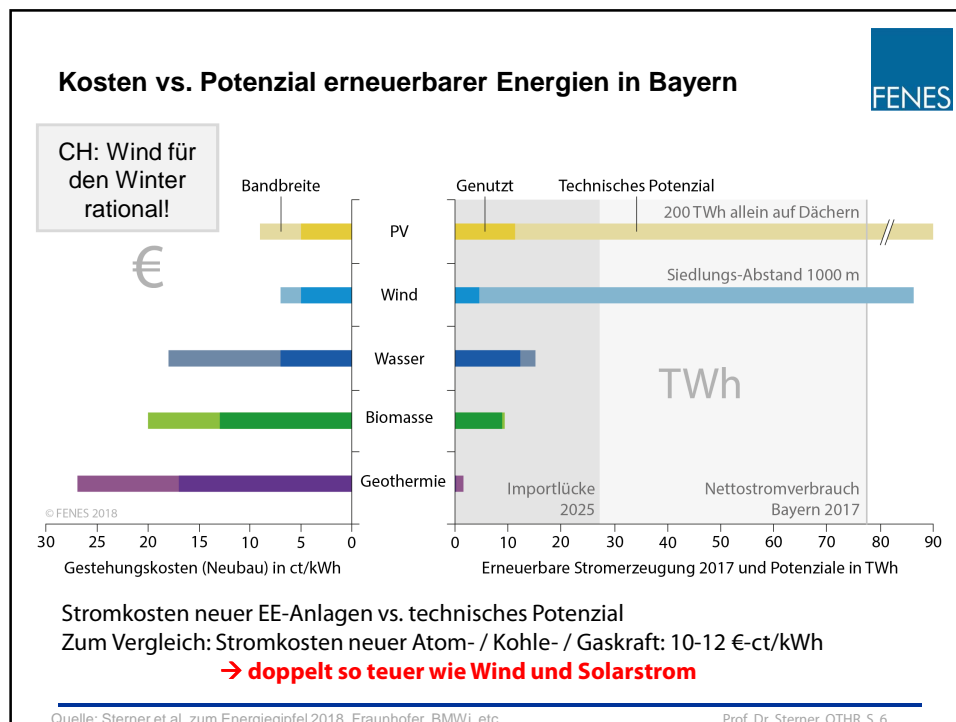
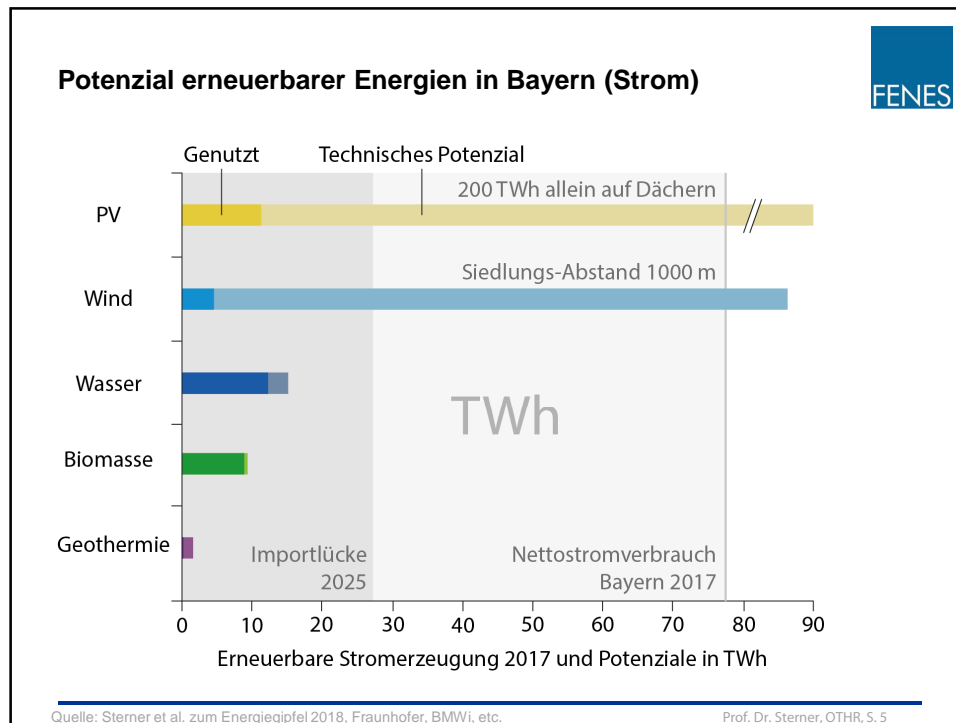
26. März 2019, Kursaal Bern, Schweiz

Inhalt

- 1) Sektorenkopplung
- 2) Strom
- 3) Wärme
- 4) Mobilität
- 5) Industrie
- 6) PtG in der Schweiz
- 7) Praxis @ Home







Wind & PV: Landschaft, Lärm, Vögel, Denkmalschutz
Beispiel Braunkohle in NRW: Immerrather Dom muss weg!

FENES



Quelle: Zauser, Energiereferent Mammendorf 2018

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 7

Braunkohle in NRW: Immerrather Dom
„Kirche im Weg → Muss der Energieversorgung weichen“

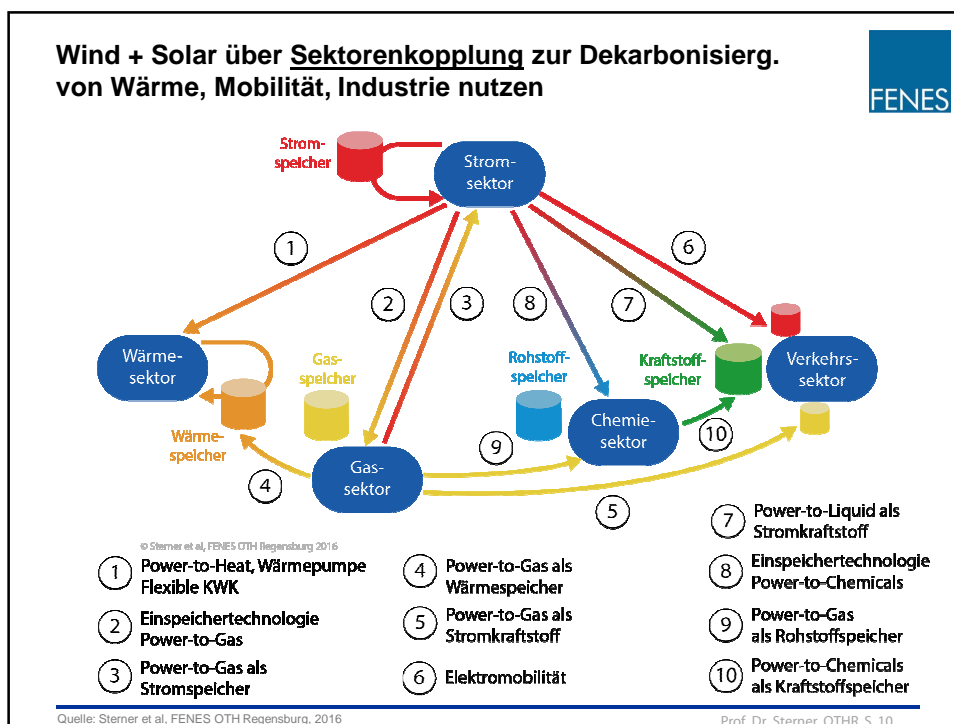
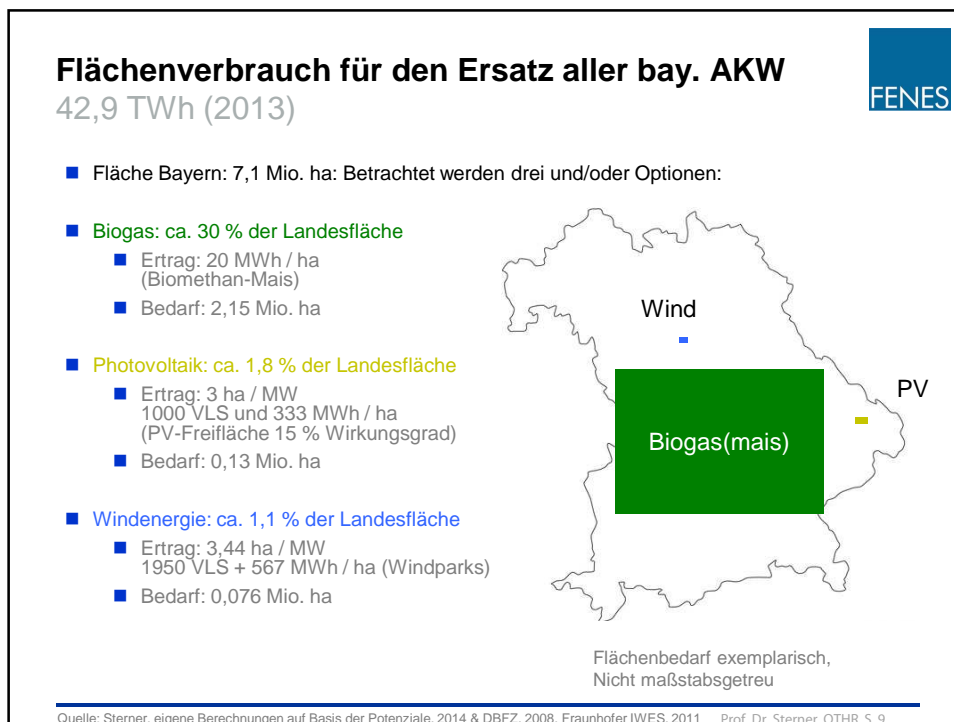
FENES



*** 1890**
† 2018

Quelle: Zauser, Energiereferent Mammendorf 2018

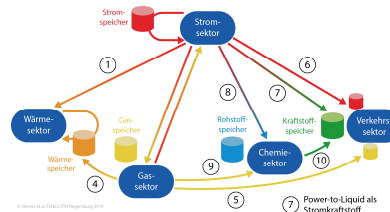
Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 8



3 Grundsätze der Sektorenkopplung



1. **Strombezug:** Erneuerbare
2. **Speicher:** überall benötigt
3. **Infrastruktur:** mehr als eine



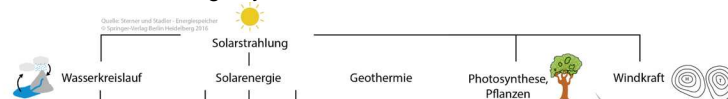
Sektorenkopplung erhöht EE-Ausbaubedarf → Ziele anpassen
Nutzung von EE-Strom senkt Primärenergiebedarf insgesamt

Quelle: Sterner et al, FENES OTH Regensburg, 2016

Prof. Dr. Sterner, OTH Regensburg, S. 11

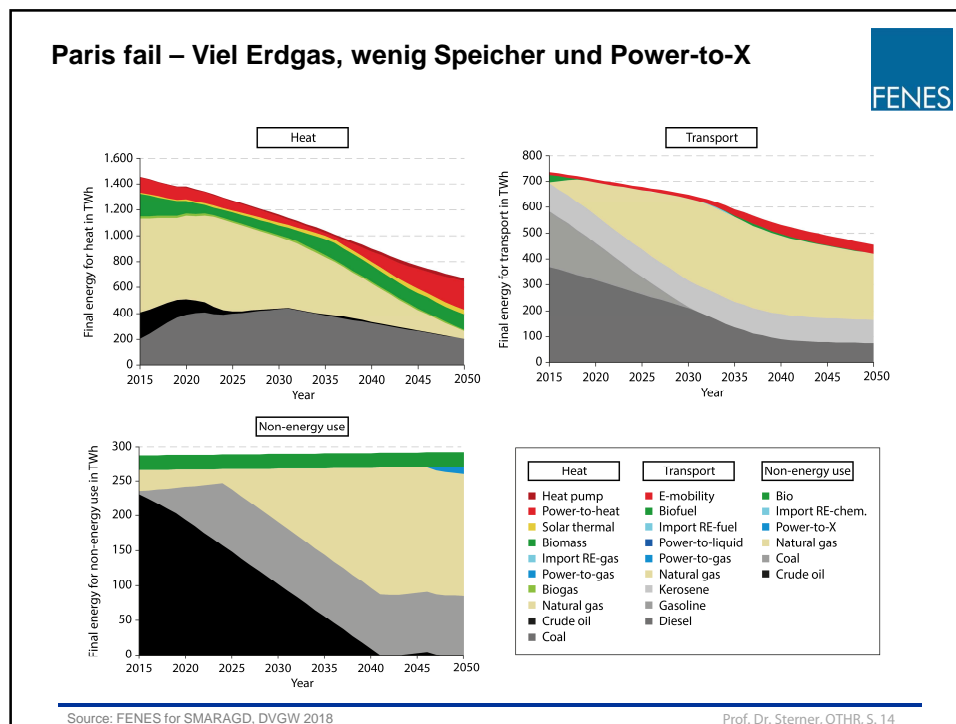
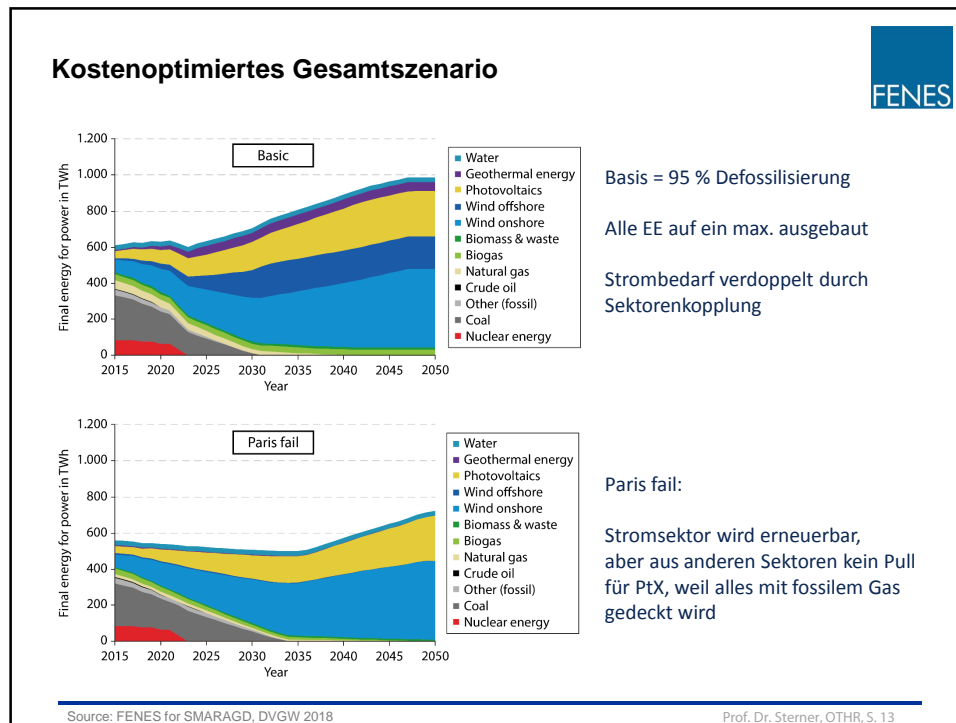
Infrastruktur (Netze, Speicher) ermöglicht Sektorenkopplung

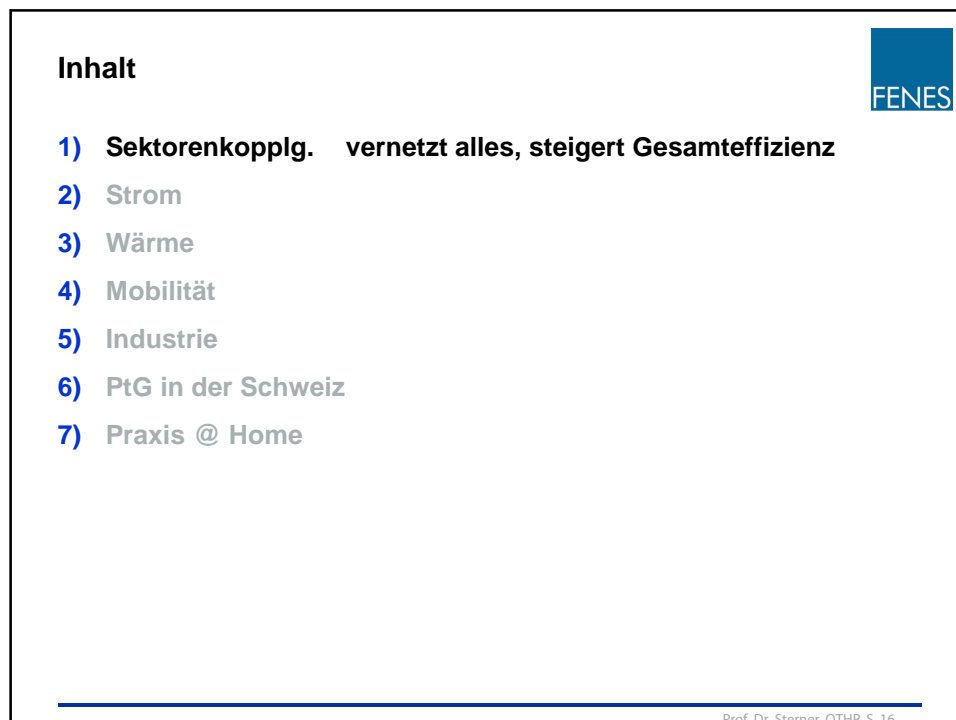
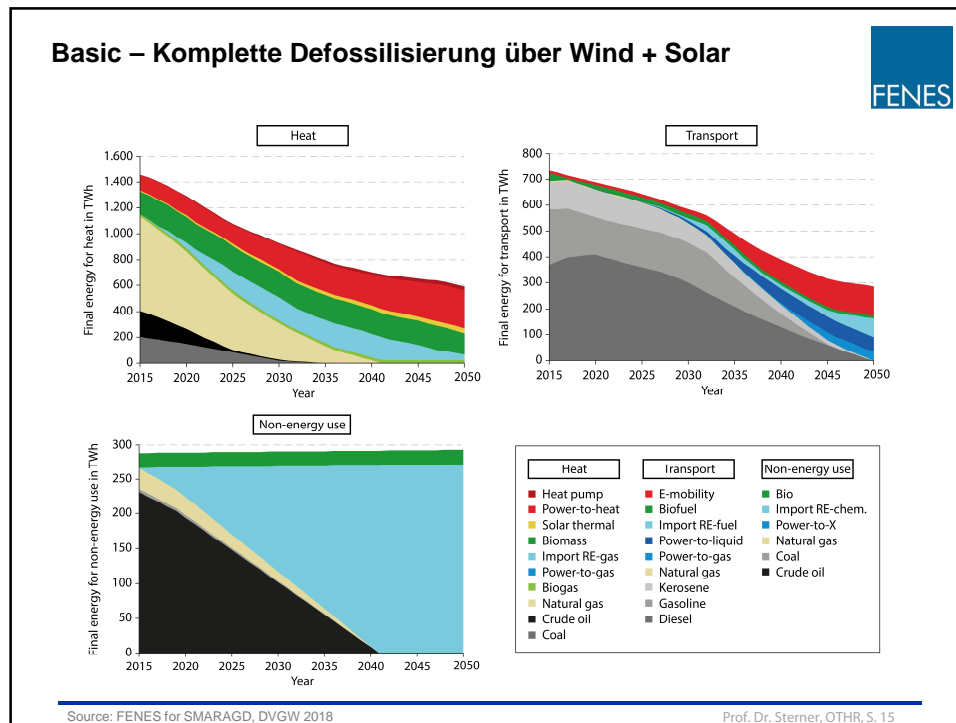
100 % erneuerbares Energiesystem in allen Sektoren

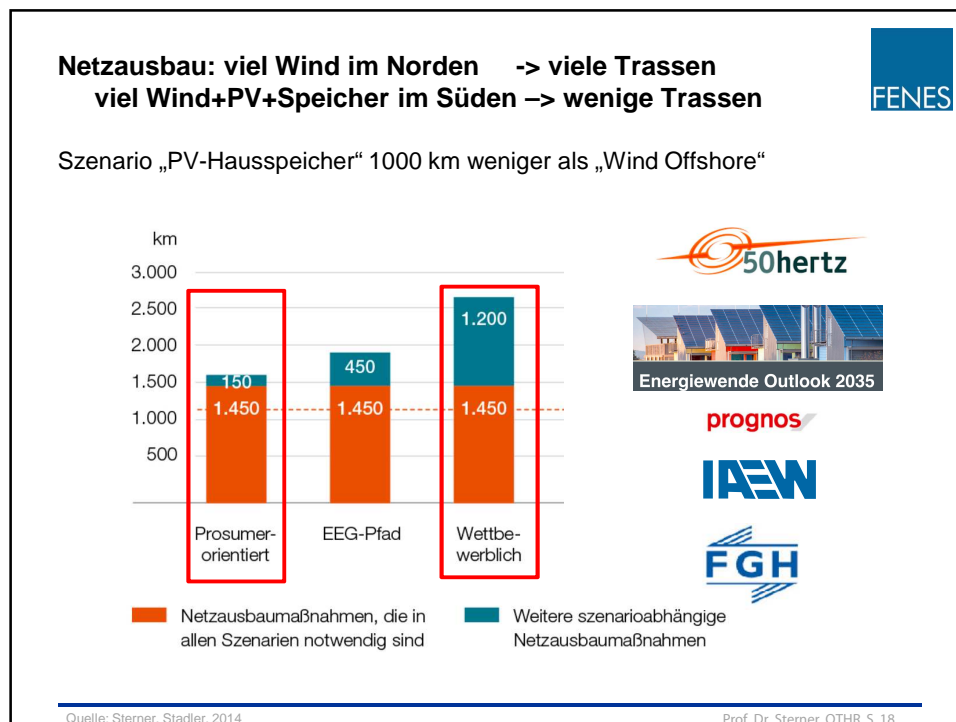
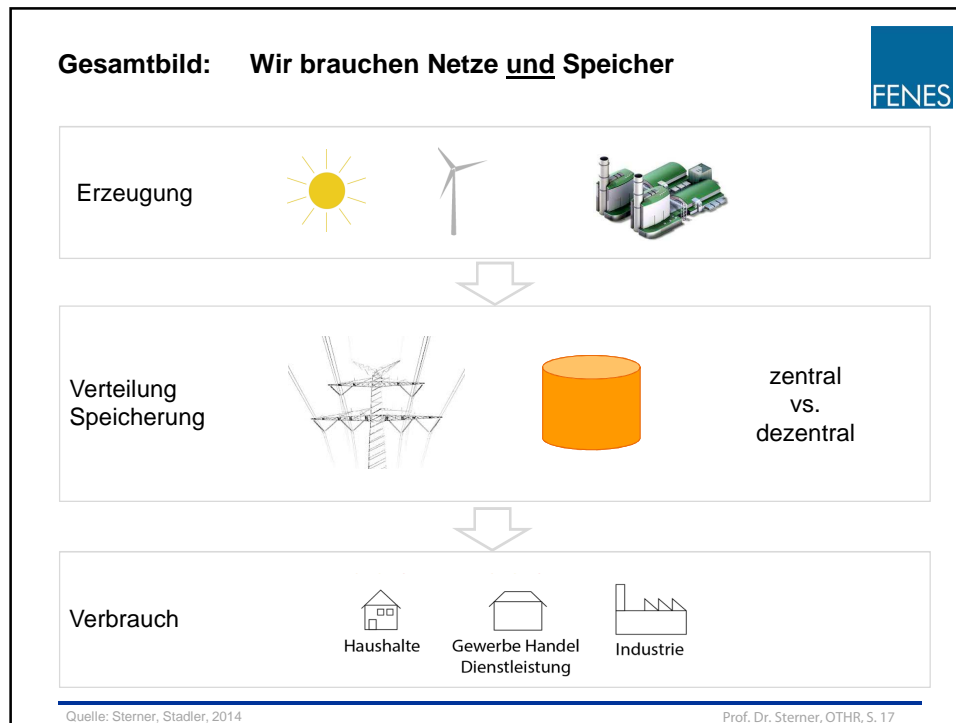


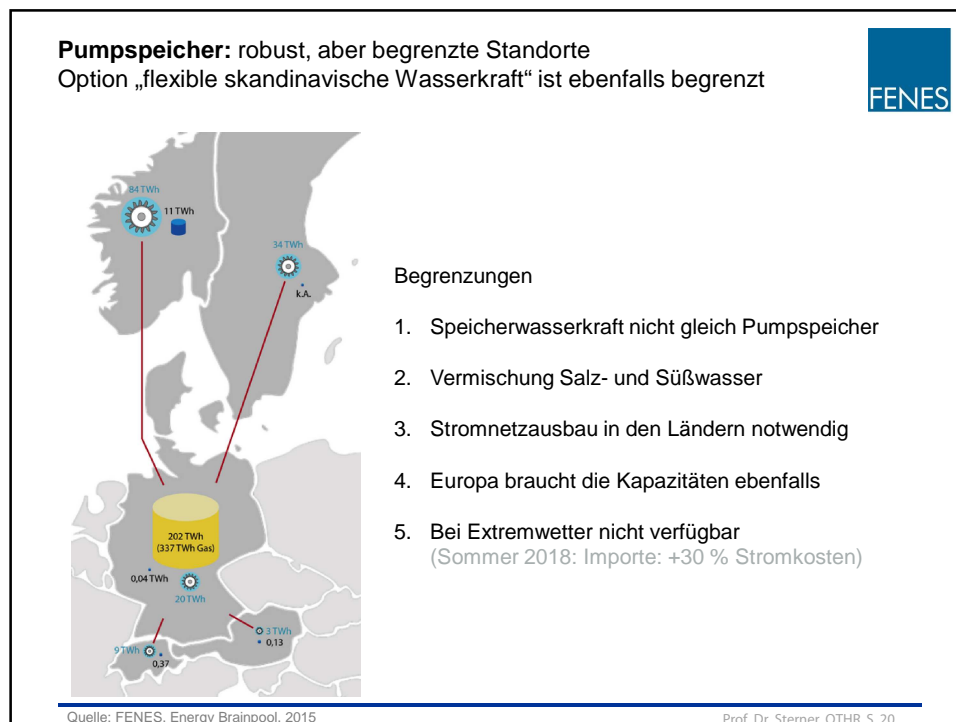
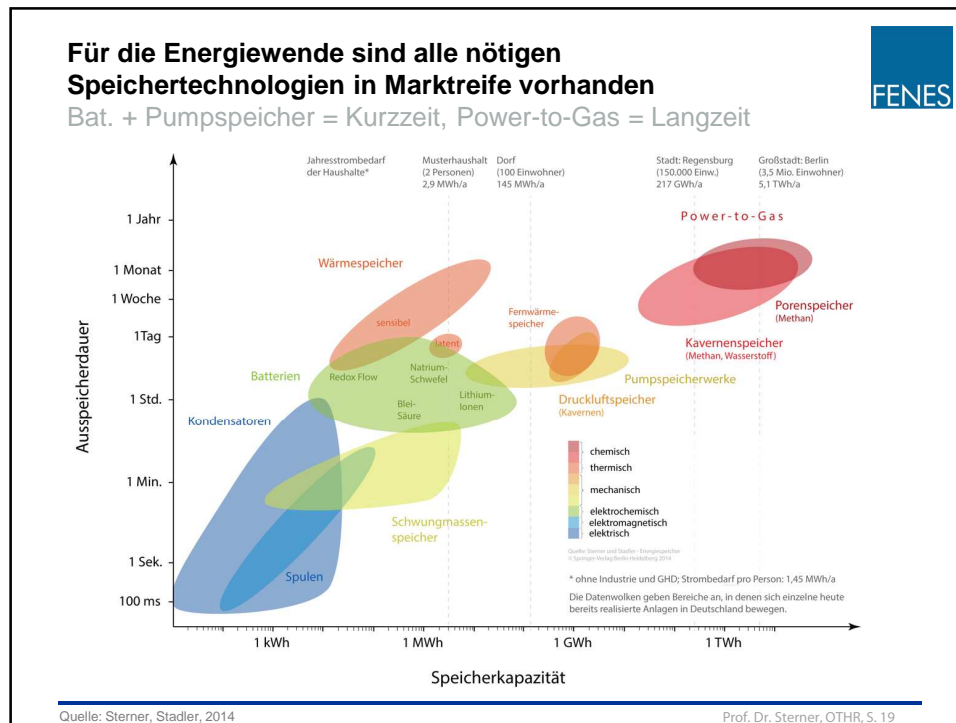
Quelle: Sterner, Stadler, 2014

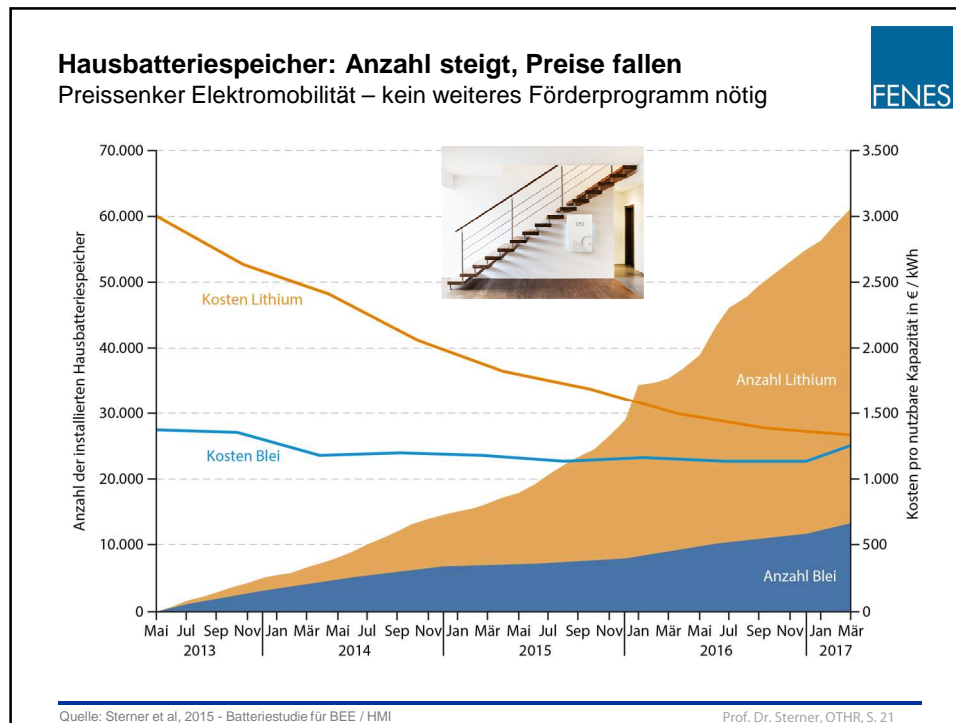
Prof. Dr. Sterner, OTH Regensburg, S. 12











Batteriekraftwerke für Netzstabilisierung & Kraftwerksflexibilität

FENES

- ca. 300 MW PRL in Planung / im Bau / in Betrieb
- Teilweise noch Doppelbesteuerung mit Netznebenentgelten

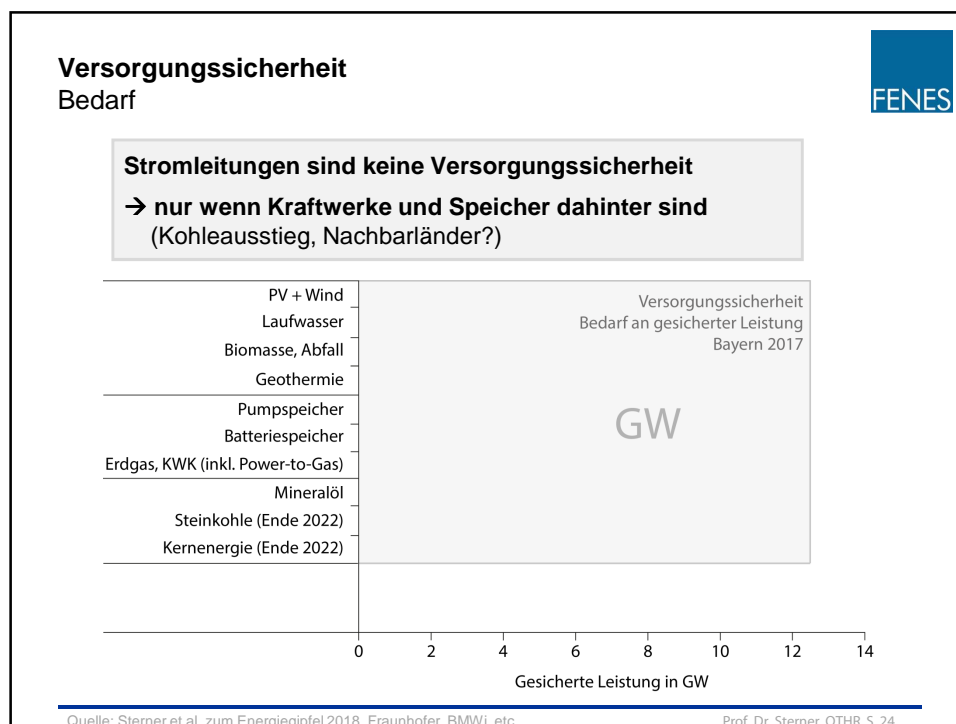
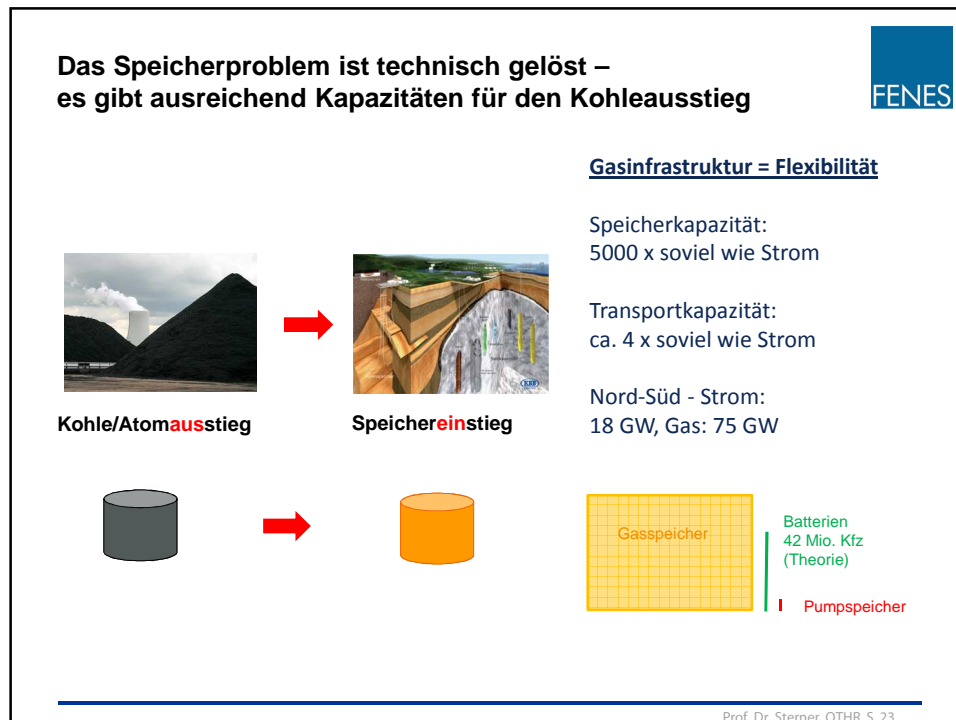
Erster modularer 2,5 MW Batteriespeicher in Bayern seit 2017 in Betrieb

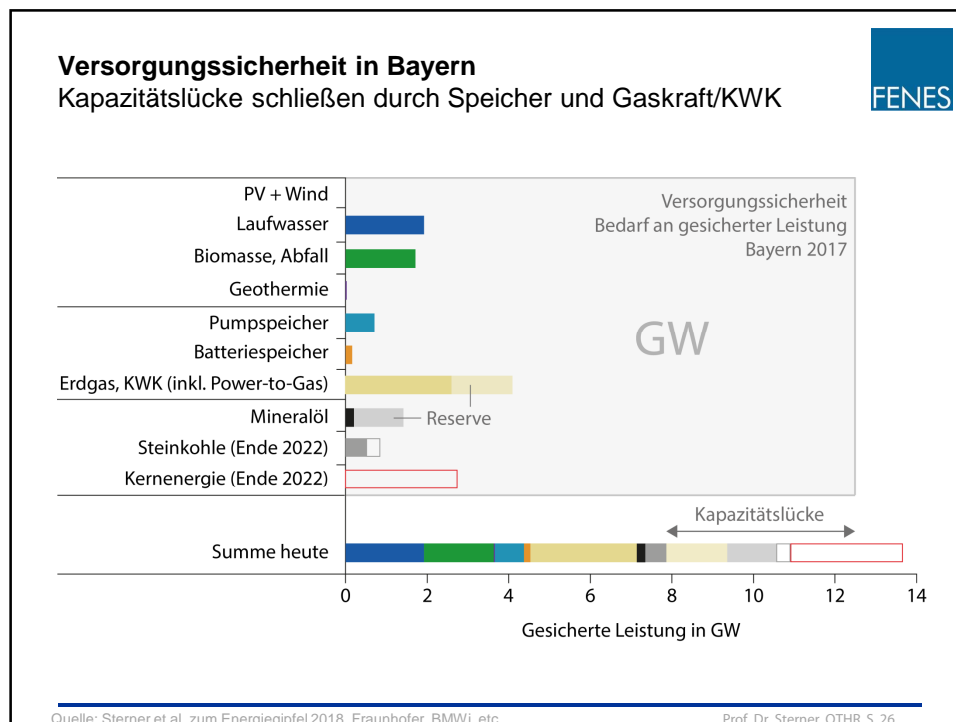
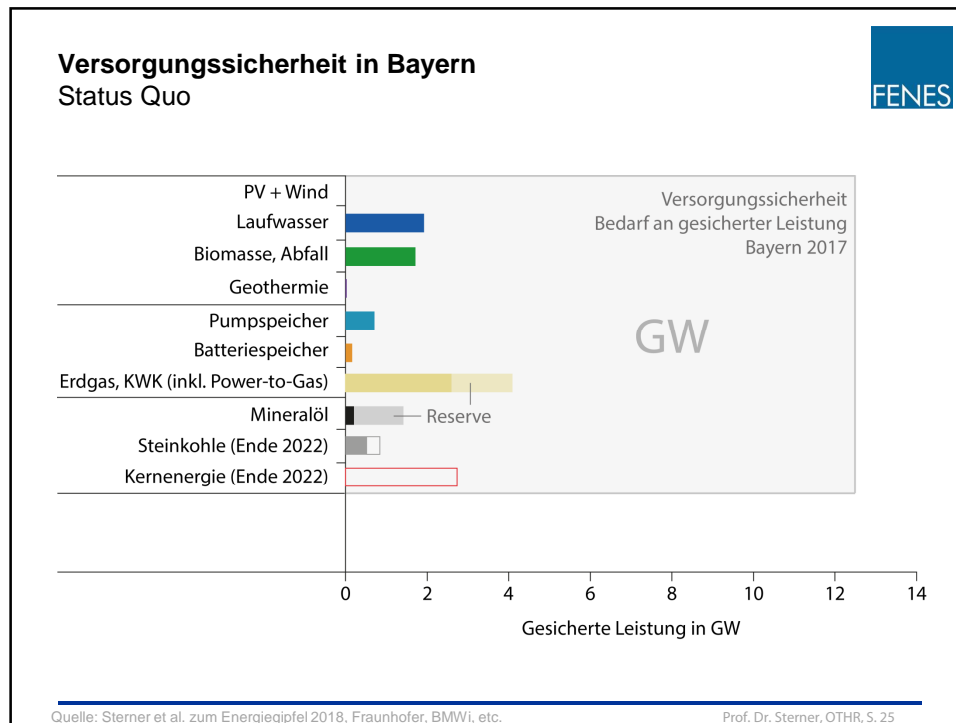
Pfennig Elektroanlagen

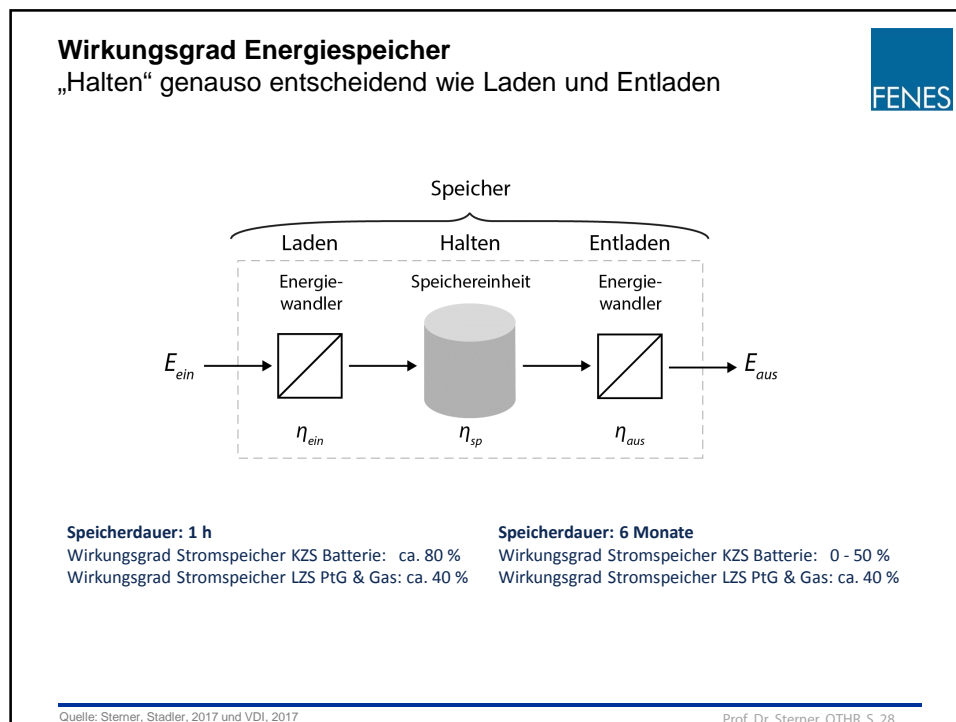
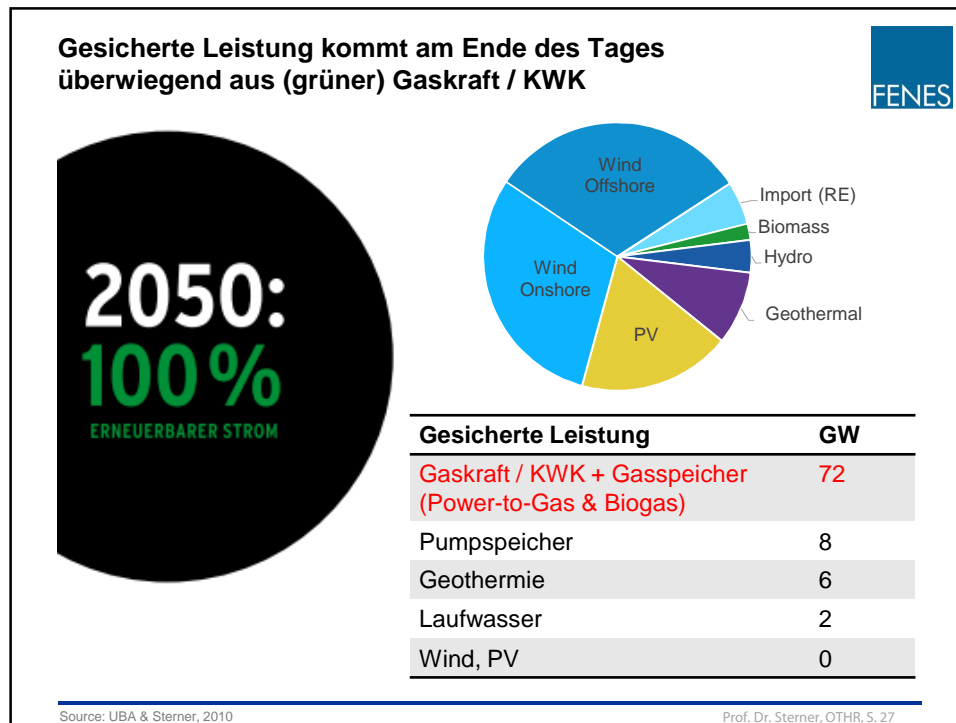
- ⑩ Technik: Vollautomatisierte SDL, Leitstandanbindung, Einzelzellüberwachung
- ⑩ Vermarktung PRL: WVV-Würzburg, Einbindung in virtuelles KW im Heizkraftwerk WÜ
- ⑩ Möglichkeiten: Blindleistung mit Leistungsfaktor 0,02; Schwarzstart Absicherung KRIS

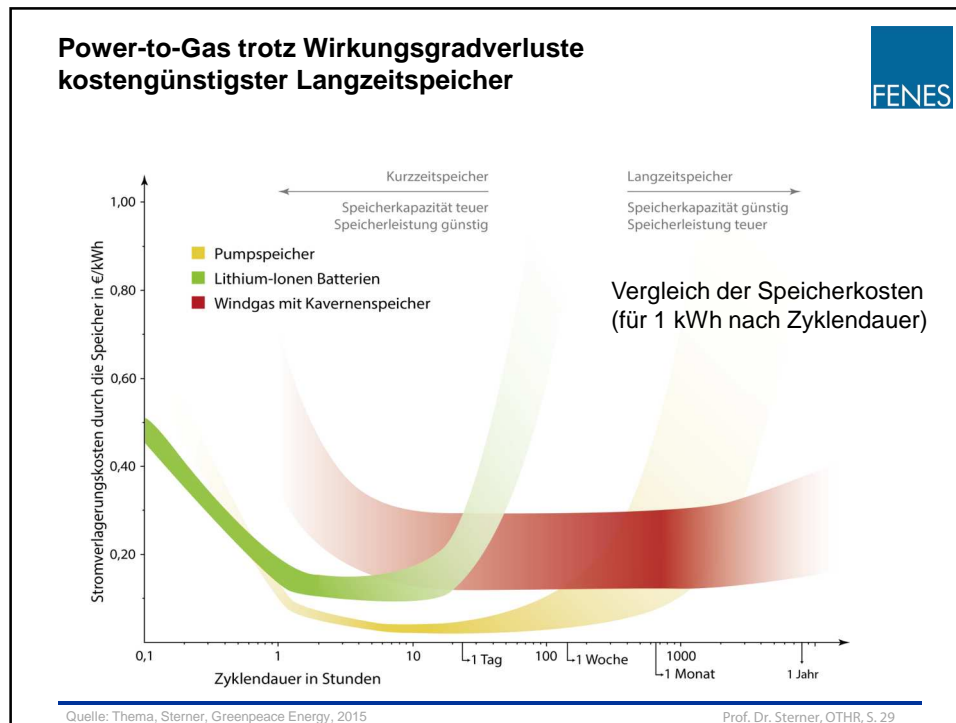
Quelle: Pfennig Elektroanlagen GmbH, Ochsenfurt 2018

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 22







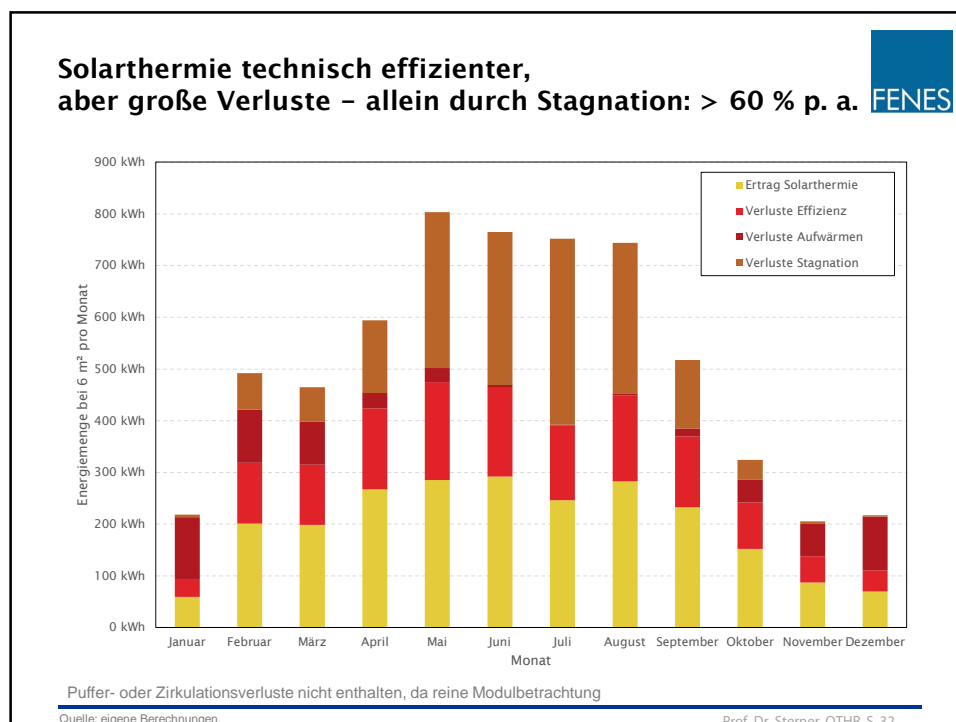
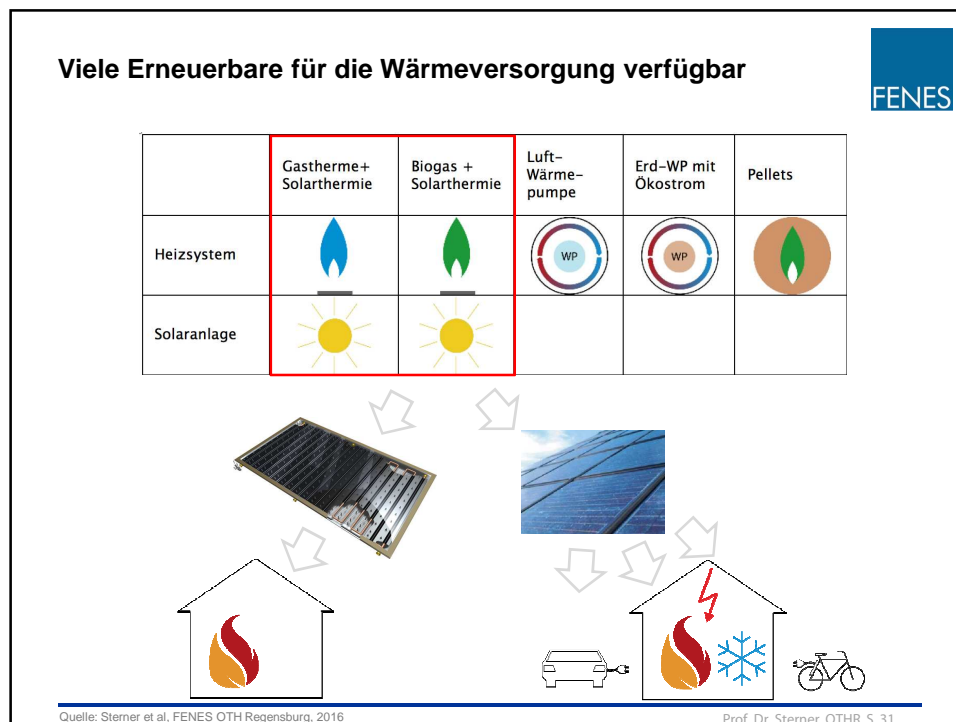


Inhalt

FENES

1) Sektorenkopplg.	vernetzt alles, steigert Gesamteffizienz
2) Strom	Speicherproblem gelöst; PV → Bat
3) Wärme	
4) Mobilität	
5) Industrie	
6) PtG in der Schweiz	
7) Praxis @ Home	

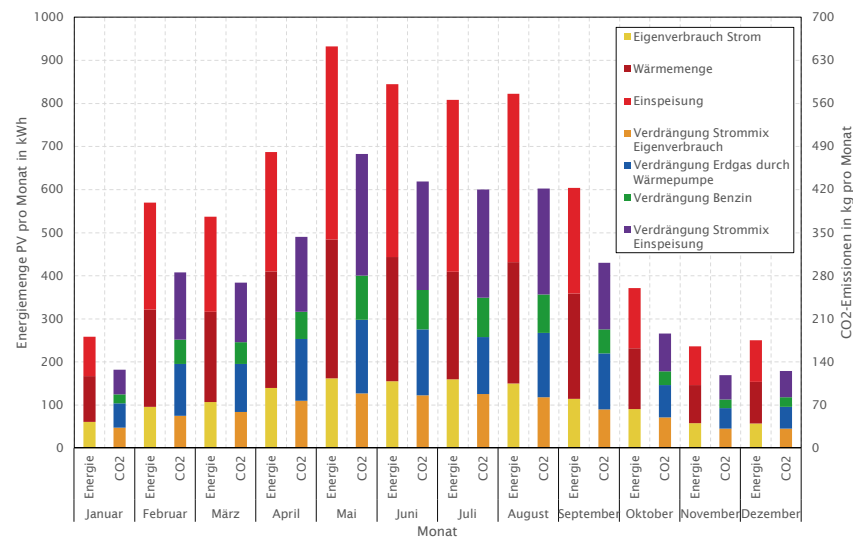
Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 30



PV kann 3 Sektoren defossilisieren

→ mehr CO₂-Vermeidung & Rendite als rein über Solarthermie

FENES



Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 33

Fazit PtG als Stromspeicher & PtG für Wärme

FENES

Mehrwöchige Dunkelflaute? Saisonale Energiespeicherung?

→ **SK notwendig** - über **Power-to-Gas** durch vorhandene Infrastruktur und geringer Selbstentladung die **effizienteste** und **kostengünstigste Lösung**

→ **Speicher** als **4. Element** im **Strom** analog zu Gas

Power-to-Heat (v. a. Wärmepumpen): Efficiency 1st, aber:

- Nicht in allen Bereichen nutzbar (**Hochtemperatur**)
- Saisonale Verfügbarkeit von Wärmesenken
- Austausch alter Heizungssysteme im Bestand? (**Vorlauftemp.**)

→ **Notwendigkeit für grünes Gas (PtG & Biogas) gegeben**

KWK in hochverdichteten Räumen, Prozesswärme

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 34

Inhalt



- 1) **Sektorenkopplg.** vernetzt alles, steigert Gesamteffizienz
- 2) **Strom** Speicherproblem gelöst; PV → Bat
- 3) **Wärme** PV über PtH, WP und PtG samt Speicher
- 4) **Mobilität**
- 5) **Industrie**
- 6) **PtG in der Schweiz**
- 7) **Praxis @ Home**

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 35



Nationales Forum Diesel Bericht der Expertengruppe IV – Optimierung von Antriebstechnologien und alternative Kraftstoffe

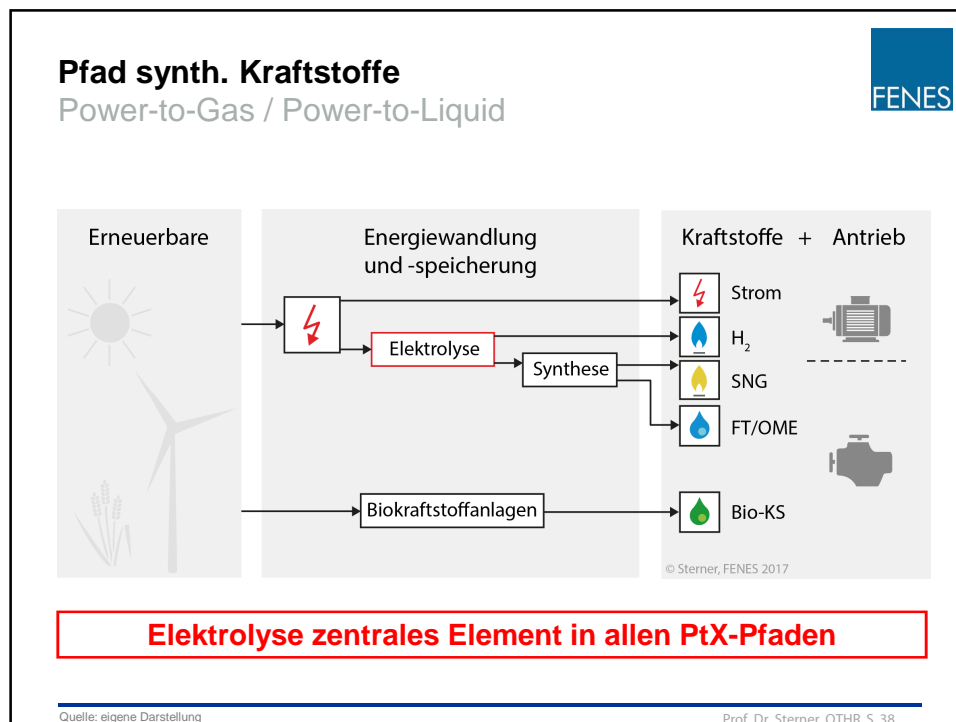
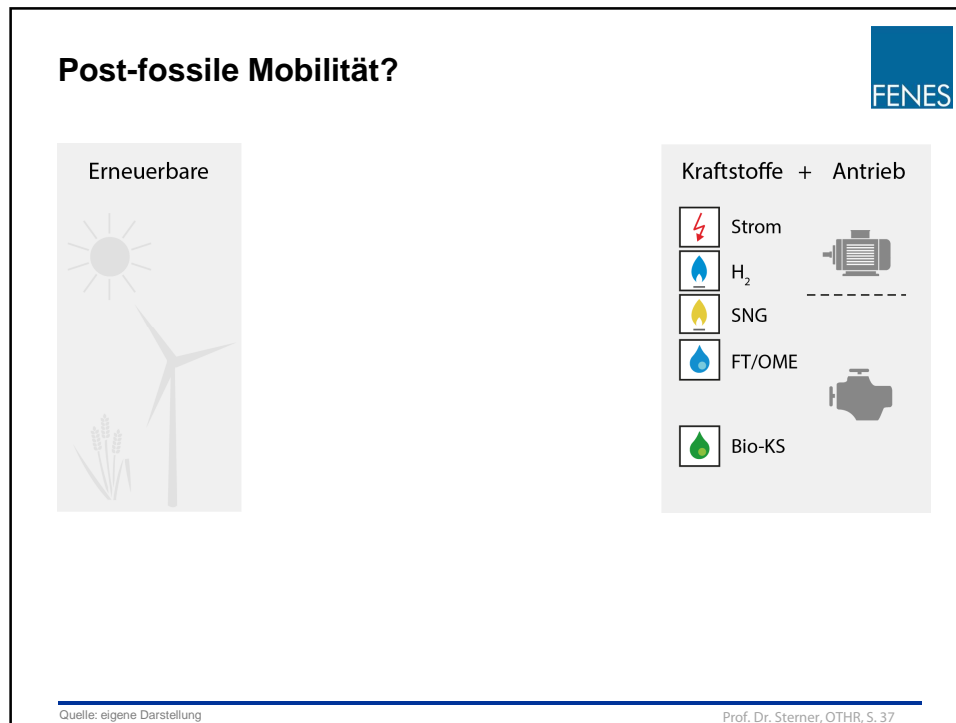
1.12.2017

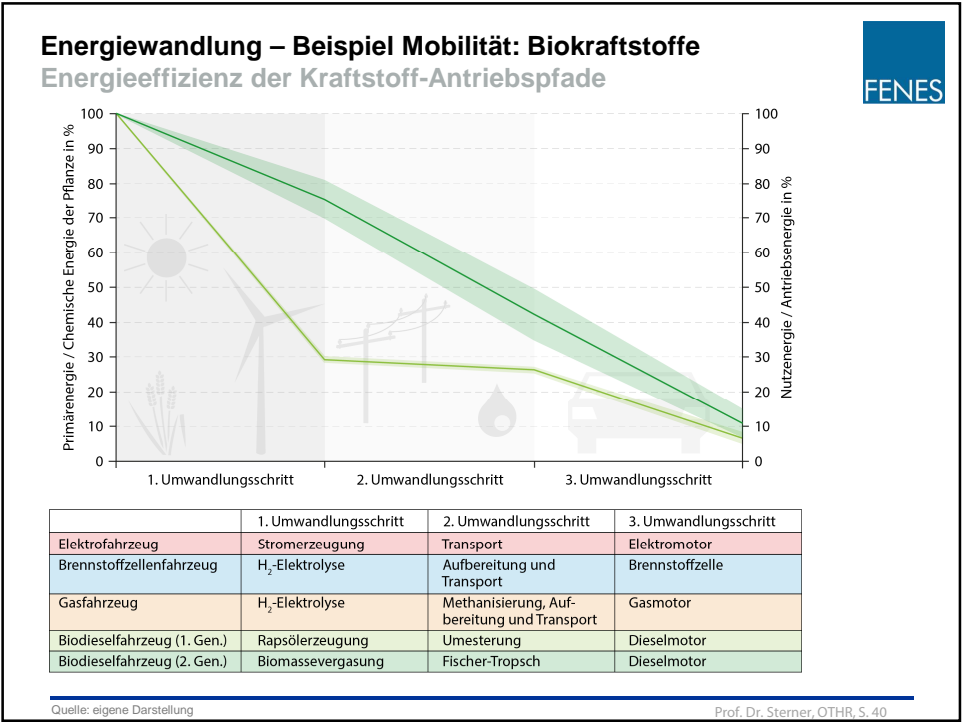
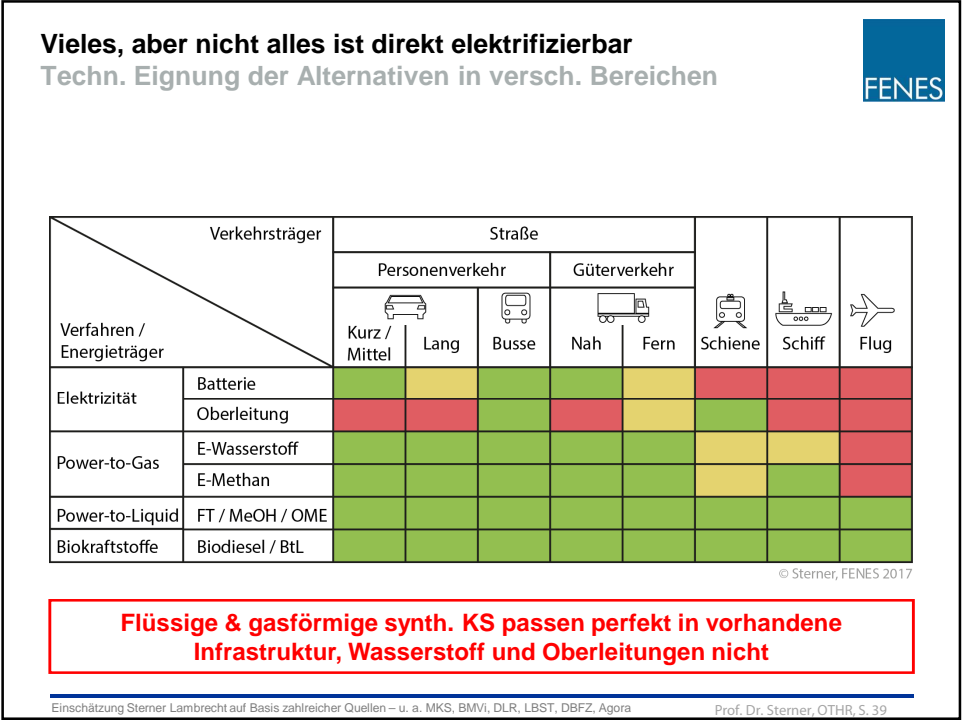
Inhalt

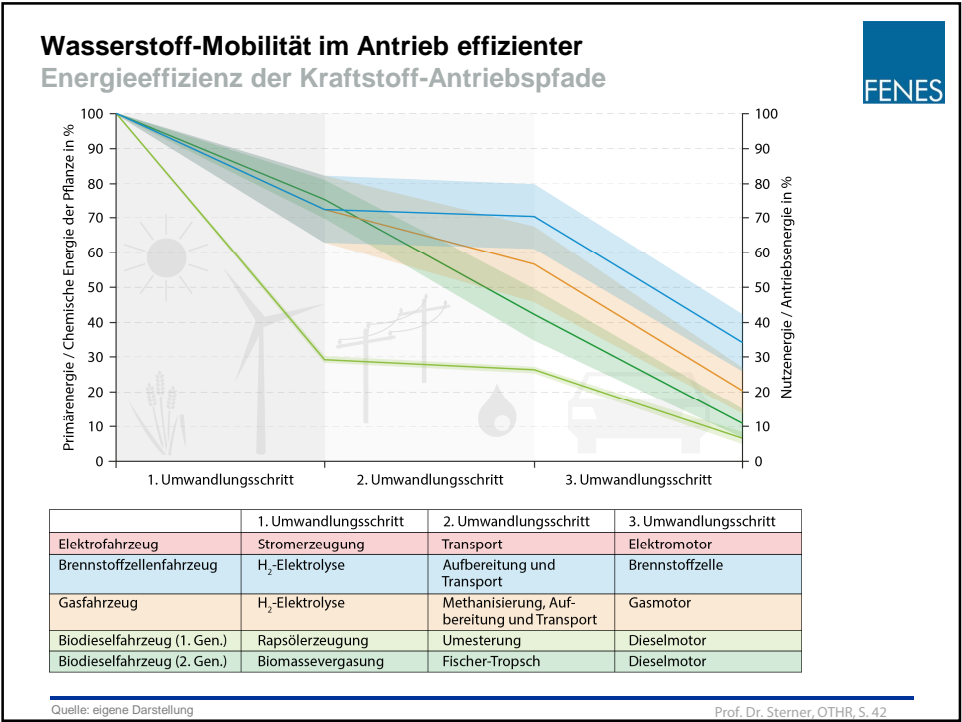
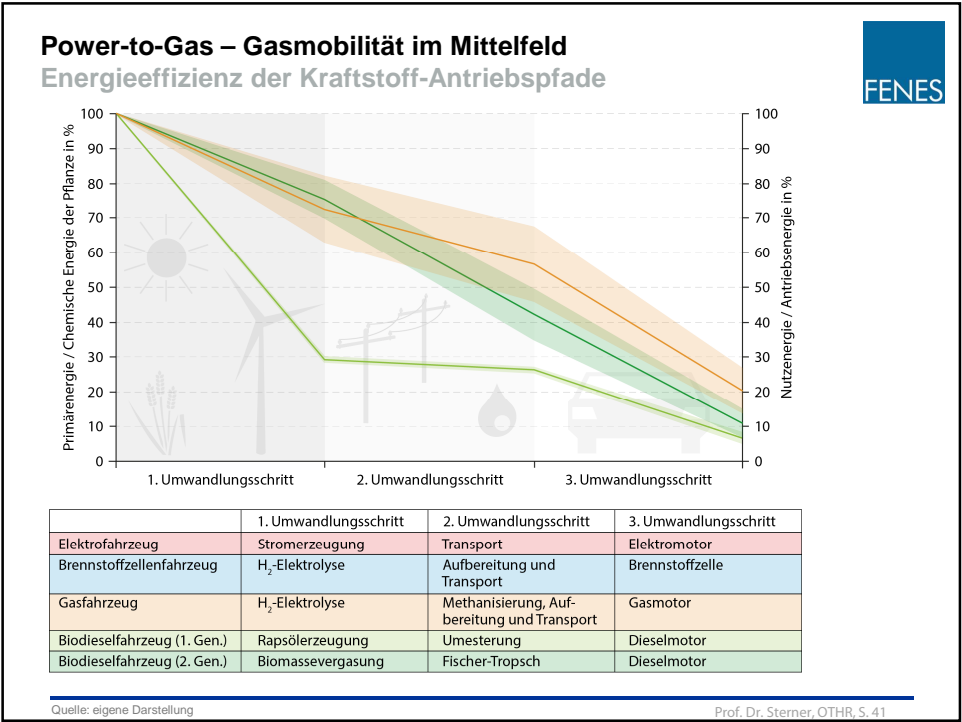
I. Zur Arbeit der Expertengruppe	2
II. Ausgangslage	4
III. Potenziale zur Emissionsminderung	11
A. Optimierung von Antriebstechnologien	12
B. Alternative Kraftstoffe	21
C. Gesamtbetrachtung	25
IV. Grundsätze und Handlungsoptionen für einen erfolgreichen Strukturwandel	37
A. Grundsätze	37
B. Handlungsfelder und Maßnahmenoptionen	38
Anhang A: Mitglieder der Experten AG IV	47
Anhang B: Quellenangaben	48

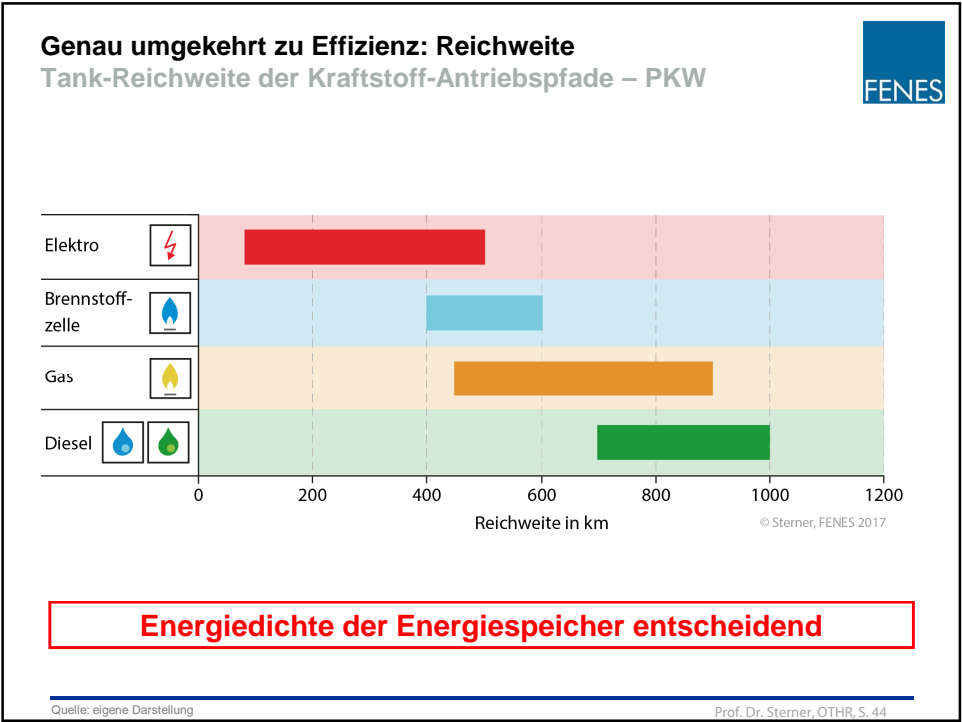
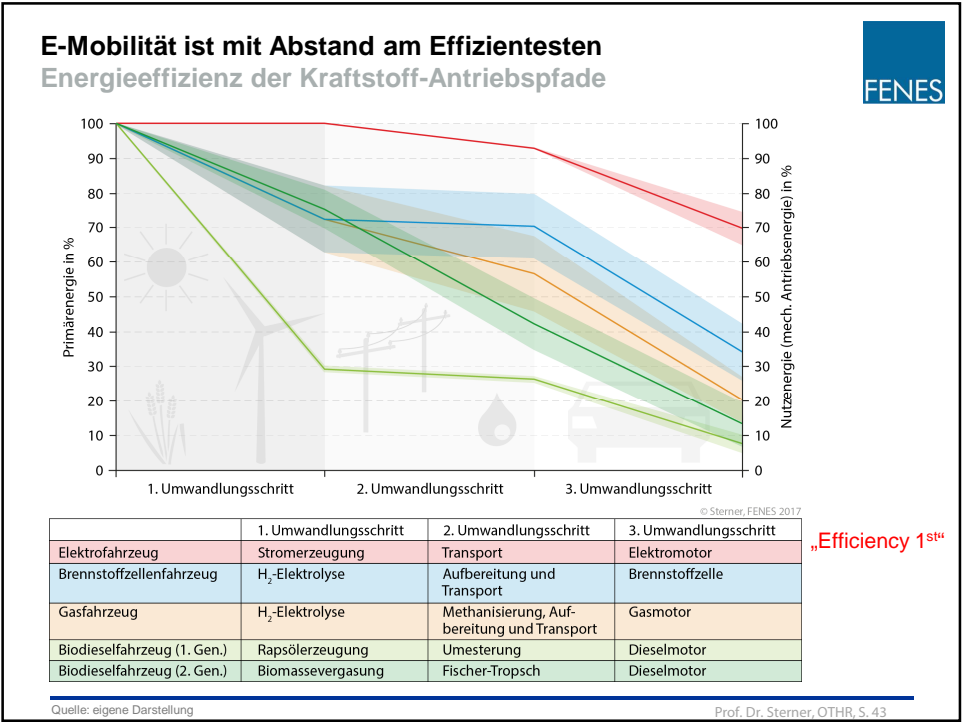
Quelle: Energieagentur NRW, BMWi

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 36







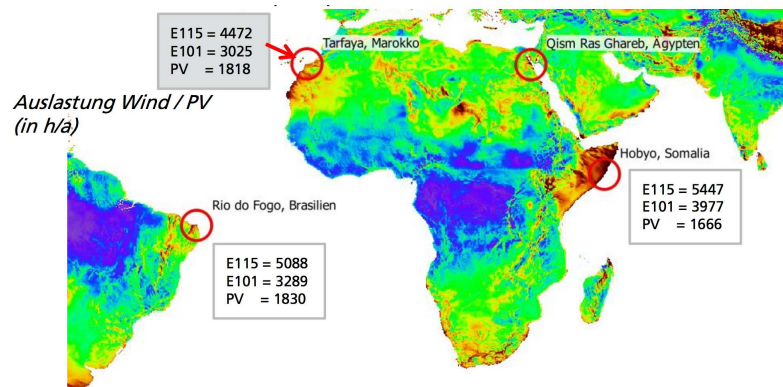


Woher kommt der Strom?

FENES

National: Technisch möglich, aber Akzeptanz?

Int.: FT-Diesel mit CO₂ aus der Luft + Meerwasser für **1,20 €/l**



Quelle: Gerhardt, 2017

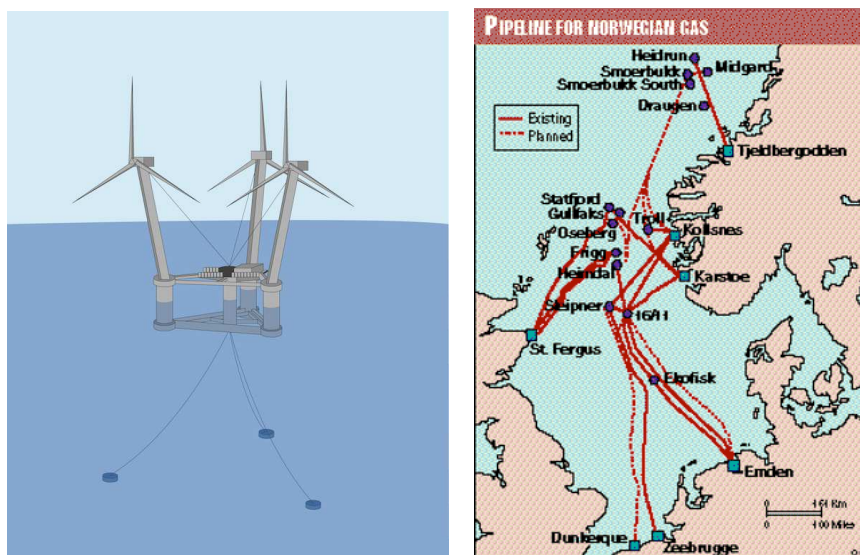
Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 45

Strombezug entscheidend für € und Ökologie

Offshore Plattformen oder Küstennähe für Windgas

hohe Auslastung, hohe Akzeptanz, hohe Wirkungsgrade

FENES

Source: www.segelenergie.de

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 46

Mobilität braucht Power-to-Gas und PtX



E-Mobilität (Batterie, Oberleitung): Efficiency 1st, aber:

- Nicht in allen Bereichen nutzbar (Flug, Schiff, Schwerlast)
- Herausforderungen: Rohstoffe und Recycling, Ladeinfrastruktur, Emissionen Herstellung
- Strombezug für Klimawirkung entscheidend → Erneuerbare

Biokraftstoffe in nachhaltigem Potential und Akzeptanz begrenzt

→ **Notwendigkeit für synth. Kraftstoffe gegeben**

Herausforderungen: Entwicklungsstand und Kosten

→ Branchen- und ressortübergreifender Ansatz
Energie – Chemie – Mineralöl & Gas - Automotive – Minist.

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 47

Inhalt



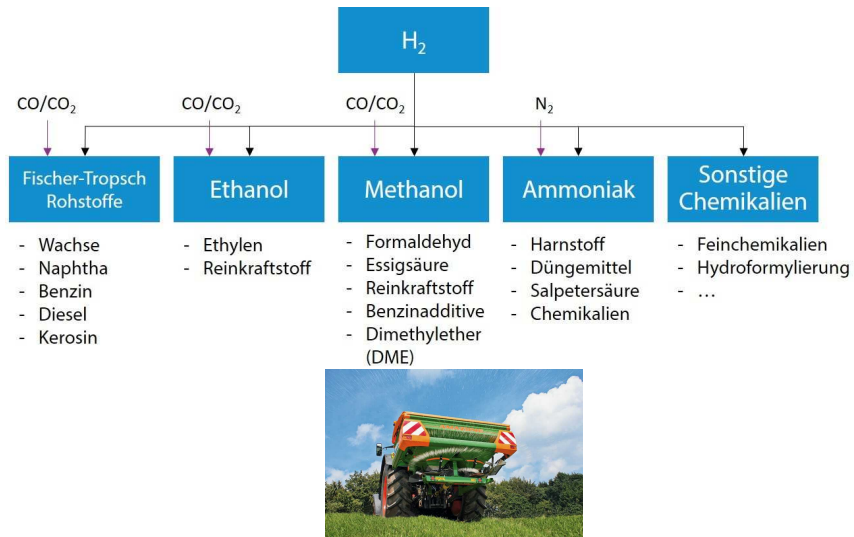
- | | |
|-----------------------|--|
| 1) Sektorenkopplg. | vernetzt alles, steigert Gesamteffizienz |
| 2) Strom | Speicherproblem gelöst; PV → Bat |
| 3) Wärme | PV über PtH, WP und PtG samt Speicher |
| 4) Mobilität | Solarmobilität: E-Mob. + Solarkraftstoffe |
| 5) Industrie | Dünger + Plastik aus EE + Luft + Wasser |
| 6) PtG in der Schweiz | |
| 7) Praxis @ Home | |

Power-to-X =
Power-to-Gas
Power-to-Liquid
Power-to-Chemicals

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 48

Power-to-X zentral für die Grundstoffchemie + Dekarbonisierung „nicht-energetischer fossilen Verbrauch“

FENES



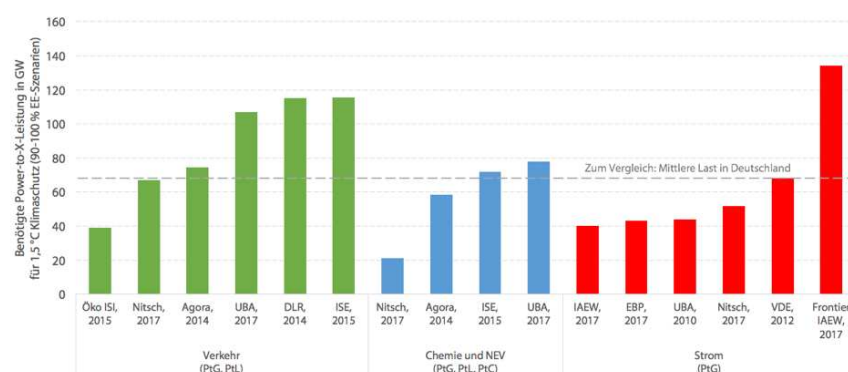
Quelle: Sterner, Bauer et al, 2016

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 49

Notwendigkeit für PtX in Strom / Verkehr / Chemie

Strom: Dunkelflaute; Wärme: BHKW; Chemie: Grundstoffe

FENES



Bedarf an PtX (ohne PtH) für 2050 aus verschiedenen 1,5 °C konformen Studien (95 % - 100 % THG-Minderung).

Kerntechnologie für alle: Elektrolyse → Markteinführung

Quelle: eigene Darstellung, Sterner PtX Allianz, 2017

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 50

Inhalt



- 1) **Sektorenkopplg.** vernetzt alles, steigert Gesamteffizienz
- 2) **Strom** Speicherproblem gelöst; PV → Bat
- 3) **Wärme** PV über PtH, WP und PtG samt Speicher
- 4) **Mobilität** Solarmobilität: E-Mob. + Solarkraftstoffe
- 5) **Industrie** Dünger + Plastik aus EE + Luft + Wasser
- 6) **PtG in der Schweiz**
- 7) **Praxis @ Home**

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 51

Keine Einordnung von Speichern als 4. Element im EnWG

→ Power-to-Gas derzeit nicht wirtschaftlich in der BRD



→ Schweiz attraktiv für PtG-Projekte!

Ideale Annahmen:

- Invest: 0 €
- Wirkungsgrad: 100 %

Wirtschaftlichkeit **dennoch nicht** gegeben,
aufgrund Belastung durch Abgaben und Steuern
da Einstufung als Letztverbraucher

§ = ?

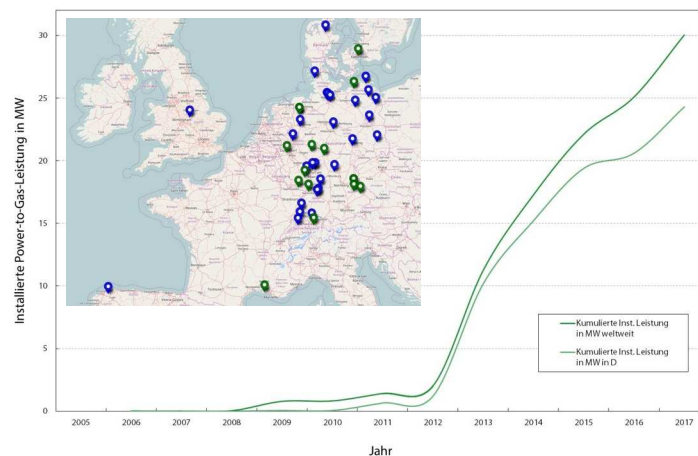
Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 52

Paris umsetzen = Power-to-X wird Weltmarkt

BRD ist führend, Entwicklung aber zunehmend international



→ **Technologievorreiterschaft sichern, damit F&E Invest auch in Wertschöpfung & Arbeitsplätze in BRD fruchtet**



Quelle: Bauer, Sterner, 2016, WBGU Dekarbonisierungsszenario 2050 – ohne Biomasse & CCS

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 53

Power-to-Gas in der Schweiz

Beispiel Solothurn – EU-Projekt Store & Go



700 kW
Elektrolyse
Biologische
Methanisierung
CO₂ aus
Kläranlage
Strom: PV +
Hydro
Gas-Verteilnetz

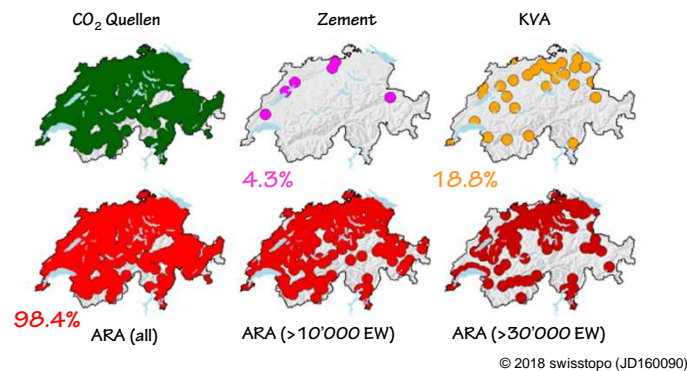
Quelle: Schirmeister, 2019

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 54

CO₂-Quellen in CH



- Müllverbrennung (KVA)
- Kläranlagen (ARA)
- Zementwerke (CEM)
- Biogas
- Industrie
- Luft (Climeworks)



Quelle: Teske, Rüdisüli, 2019

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 55

PtG-Standort: Strom, CO₂, Gas zusammenbringen



Bei der CO₂ Quelle

- Stromnetzentgelte (~4.5 Rp/kWh)
- Kein CO₂ Transport
- Nähe zum Gasnetz (Einspeisung)
- **Potential: 7 GW_{el}**



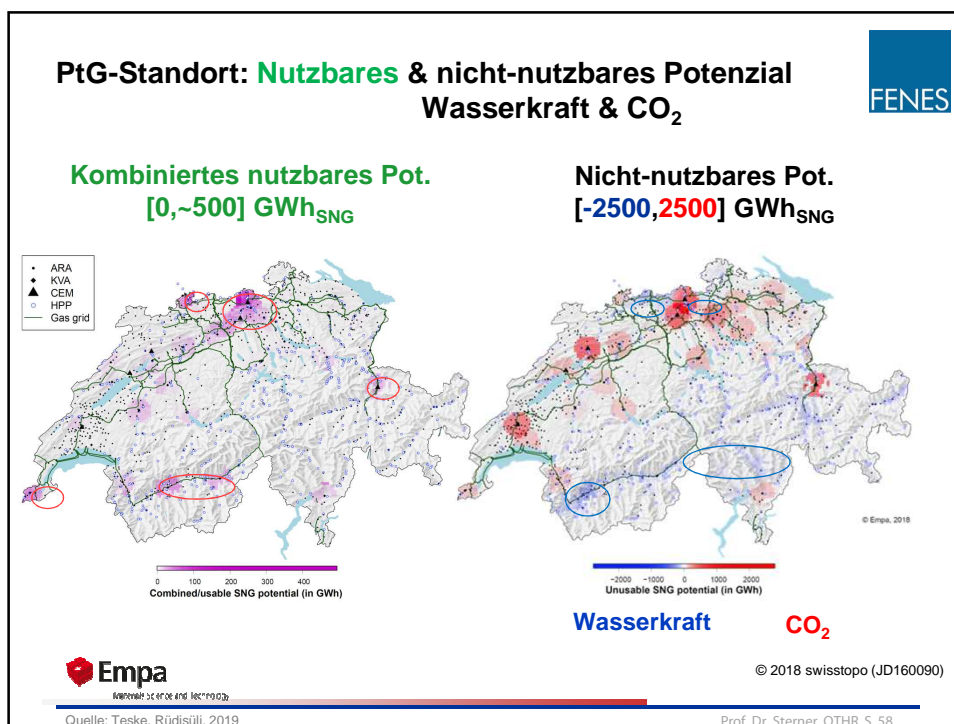
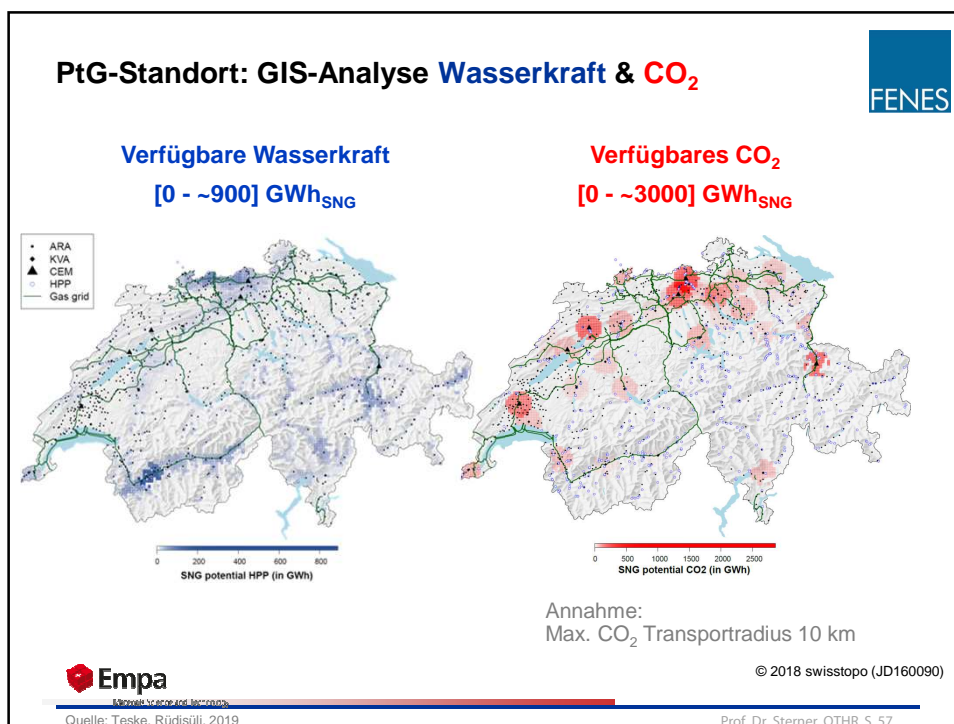
Bei der Wasserkraft

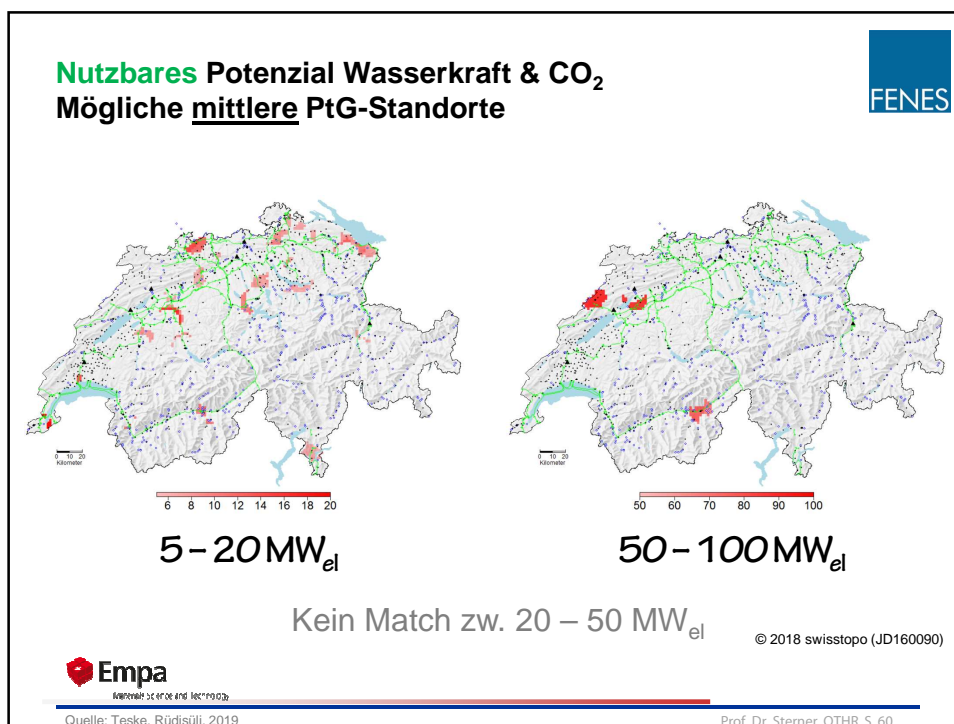
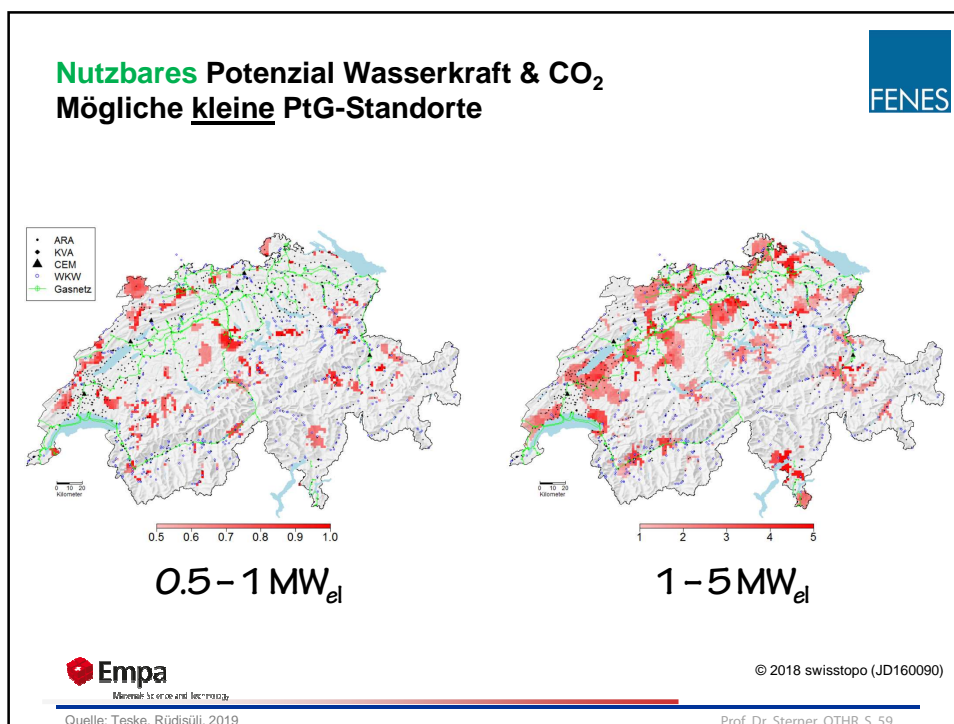
- Große inst. Leistung (> 100 MW)
- Direkter Stromverbrauch
→ Keine Übertragungsverluste
- Keine Stromnetzentgelte (Eigenverbrauch)
- Braucht CO₂ Transport (Flüssig etc.)
- Kein Gasnetz in den Bergen
- **Potential: 1 GW_{el}**

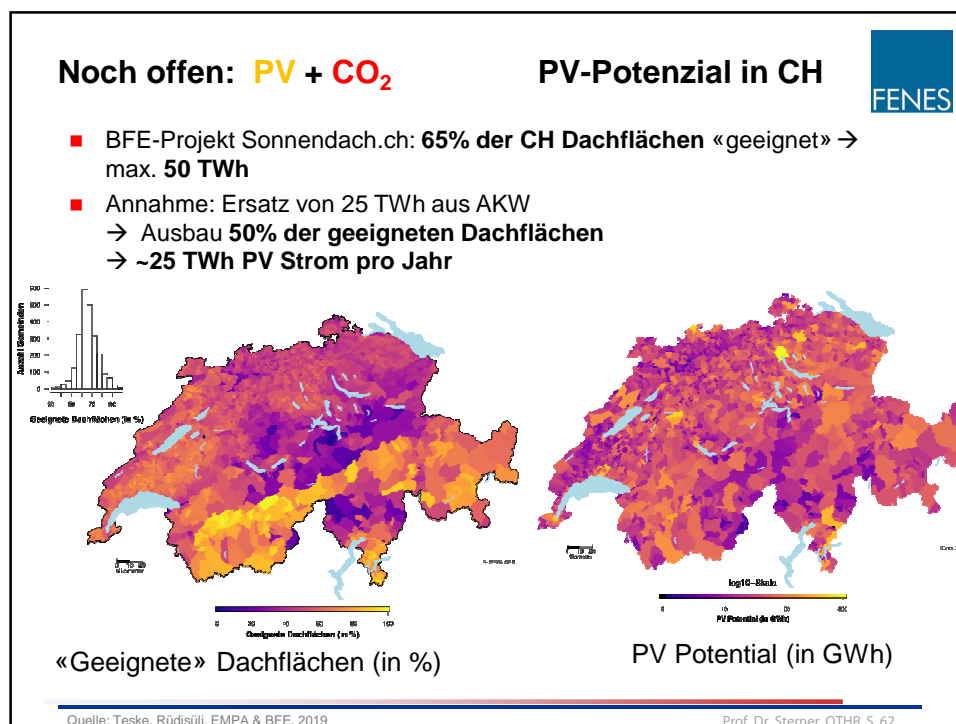
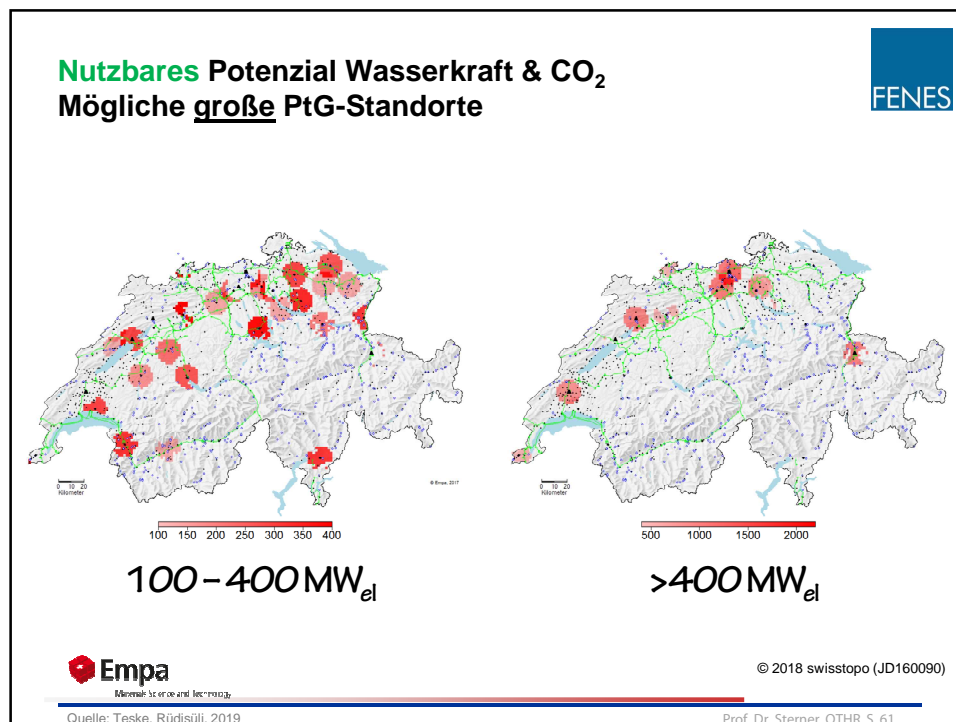


Quelle: Teske, Rüdisüli, 2019

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 56







Inhalt



- 1) **Sektorenkopplg.** vernetzt alles, steigert Gesamteffizienz
- 2) **Strom** Speicherproblem gelöst; PV → Bat
- 3) **Wärme** PV über PtH, WP und PtG samt Speicher
- 4) **Mobilität** Solarmobilität: E-Mob. + Solarkraftstoffe
- 5) **Industrie** Dünger + Plastik aus EE + Luft + Wasser
- 6) **PtG @ Schweiz** Lohnend mit PV + Wasserkraft
- 7) **Praxis @ Home**

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 63

Sektorenkopplung @ Home

PV-Wärme/Kältepumpe-Naturwärmespeicher-Batterie-E-Mobil

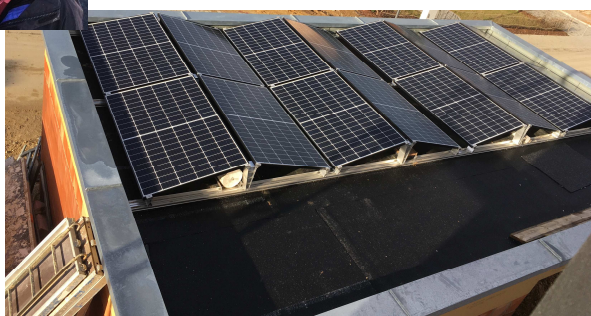


Quelle: Privat

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 64

Sektorenkopplung @ Home**PV-Wärme/Kältepumpe-Naturwärmespeicher-Batterie-E-Mobil**

Autarkie durch PV
Strom 70-80 %



Quelle: Privat

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 65

Sektorenkopplung @ Home**PV-Wärme/Kältepumpe-Naturwärmespeicher-Batterie-E-Mobil**

Quelle: IDM, Privat

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 66

Sektorenkopplung @ Home**PV-Wärme/Kältepumpe-Naturwärmespeicher-Batterie-E-Mobil**

Jahresarbeitszahl Heizen 4,5 – 5
 Jahresarbeitszahl Kühlen 6 – 10

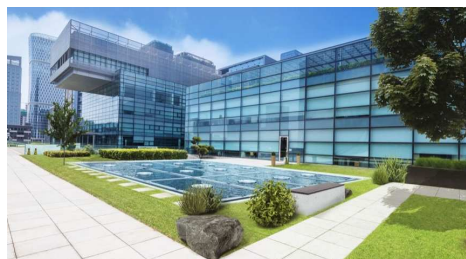
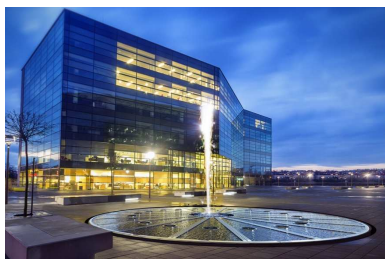


Quelle: Naturwärmespeicher, 2018

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 67

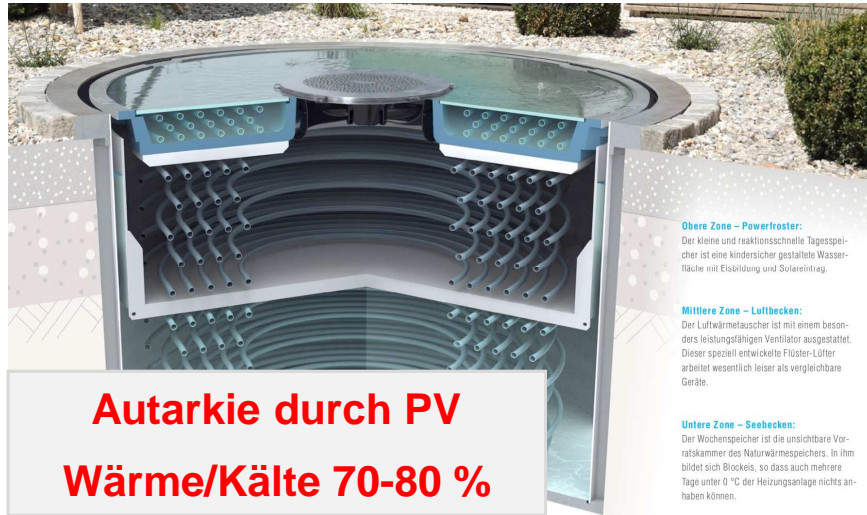
**Naturwärmespeicher = Speicher + Solarkollektor in einem
 Luft / Wasser / Erde als kombinierte Wärmequelle & –senke**


- ⑩ Ökologische und effiziente Wärmequelle für Solewärmepumpen
- ⑩ Geschlossenes genehmigungsfreies System
- ⑩ Attraktives Gestaltungselement in der Außenanlage

Quelle: www.naturspeicher.de, 2016

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 68

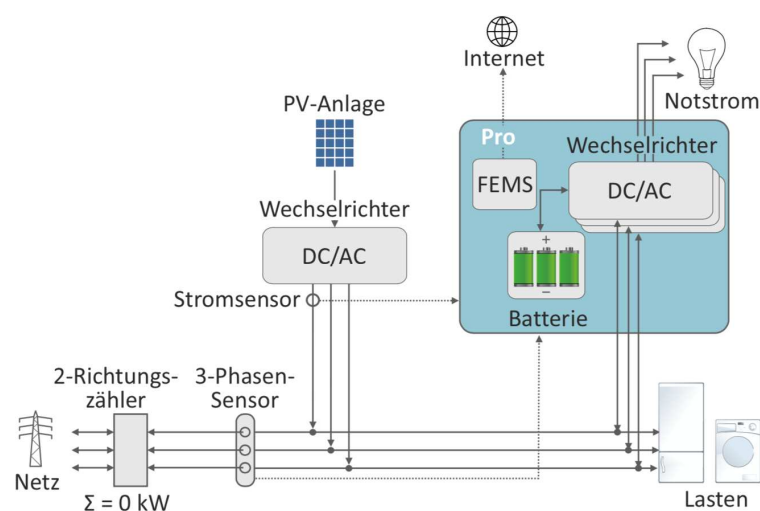
Sektorenkopplung @ Home PV-Wärme/Kältepumpe-Naturwärmespeicher-Batterie-E-Mobil



Quelle: Naturwärmespeicher, 2018

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 69

Sektorenkopplung @ Home PV-Wärme/Kältepumpe-Naturwärmespeicher-Batterie-E-Mobil



Quelle: FENECON, 2018

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 70

Sektorenkopplung @ Home

PV-Wärme/Kältepumpe-Naturwärmespeicher-Batterie-E-Mobil





Autarkie durch PV

Mobilität 50-60 %



Quelle: Getty Images, Autobahnkreuz Deggendorf 2013

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 71

Kein Klimaschutz führt zur Zerstörung von Lebensgrundlagen und geopolitischen Verwerfungen – weltweit und auch in CH

→ wesentlich teurer als die Energiewende



Die Sturm-Katastrophe im Landkreis Passau:

22.08.2017 70 - 100 Millionen Euro Waldschäden - 40 Millionen Euro Schaden an Gebäuden und Infrastruktur

Hagelsturm verwüstet Furth im Wald

Nach den bisherigen Erkenntnissen geht das Schadensausmaß in die zweistellige Millionenhöhe, sagt Bürgermeister Sandro Bauer.

Trotz Finanzhilfen Keine Komm

Dürresommer sorgt für 2,5 Milliarden Euro Schaden bei Landwirten

14. Januar 2019 um 07:57 Uhr | Lesedauer: Eine Minute



Immer mehr tödliche Hitzewellen weltweit

Die globale Temperatur steigt, damit auch Hitzerekorde und die Zahl der Todesopfer. Nach einer Studie sind bei anhaltenden CO2-Emissionen 74 Prozent der Weltbevölkerung im Jahr 2100 von tödlichen Hitzewellen betroffen.

Gesundheit

Landwirtschaft

Verkehr

Wirtschaft

Quelle: Getty Images, Autobahnkreuz Deggendorf 2013

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 72

„Warum lernen, wenn wir keine Zukunft haben?“
Klimaschutz = Generationen- & Gerechtigkeitsfrage



Den Jugendlichen reicht's



Auch in München treffen sich die Jugendlichen inzwischen freitags zum D Klimaschutz. (Foto: Florian Peljak)

FRIDAYS FOR FUTURE
 GEMEINSAM GEGEN DIE KLIMAKRISE



Quelle: SZ, Zeit, 2019

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 73

Kontakt



FORSCHUNGSSTELLE
 ENERGIENETZE UND
 ENERGIESPEICHER

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner

+ 49 – (0) 941 – 943 9888

michael.sterner@oth-regensburg.de

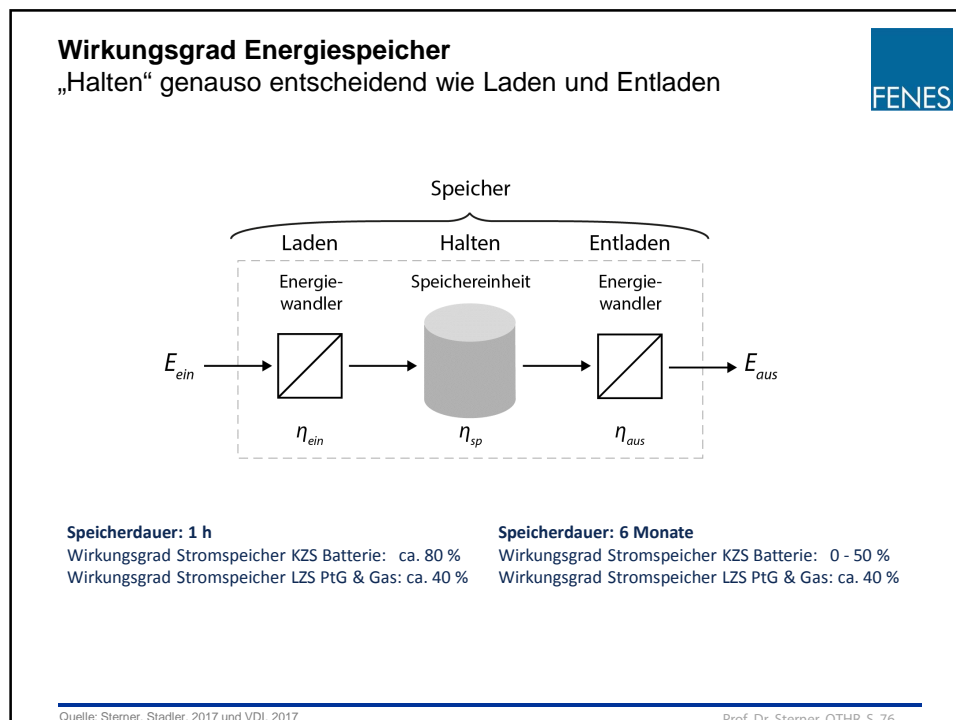
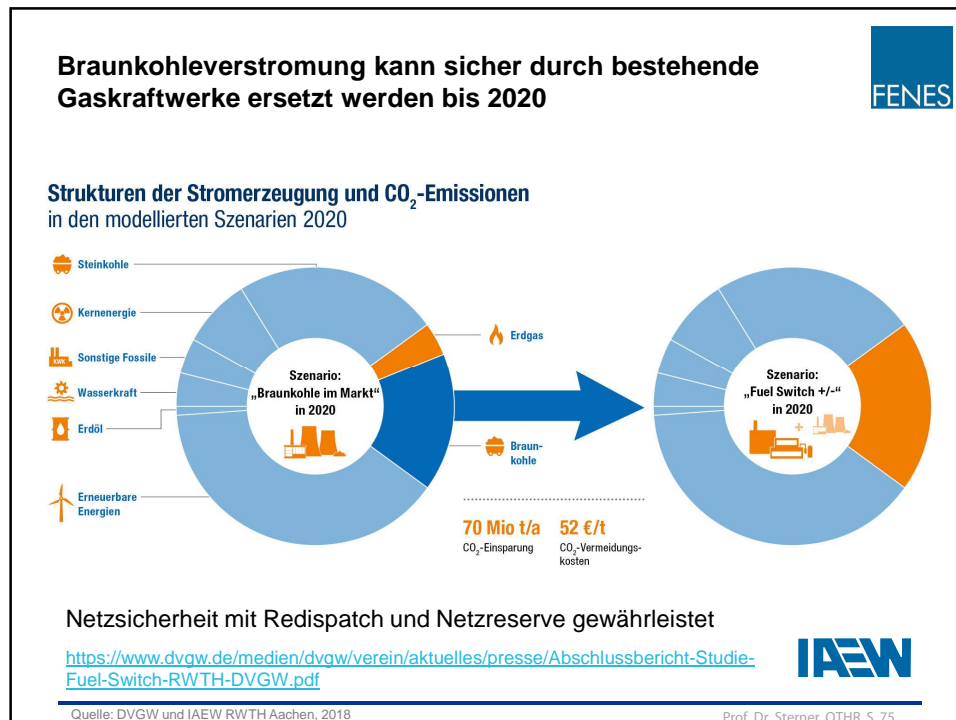
www.fenes.net

www.power-to-gas.de

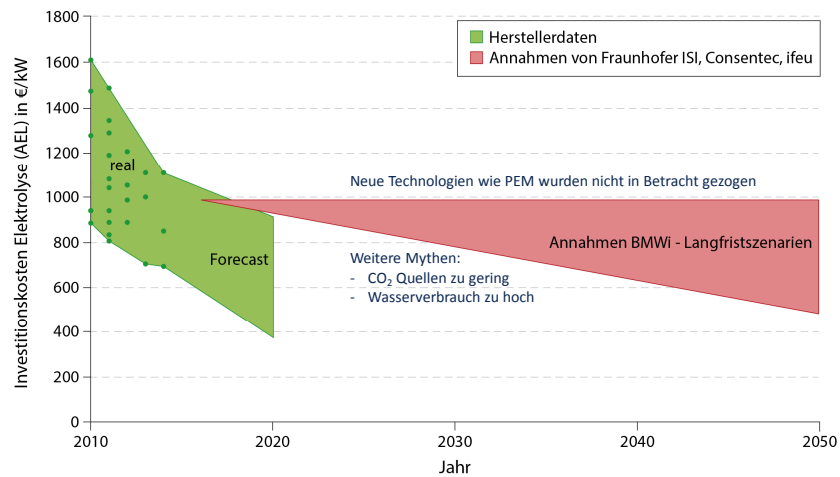


Vielen Dank

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 74



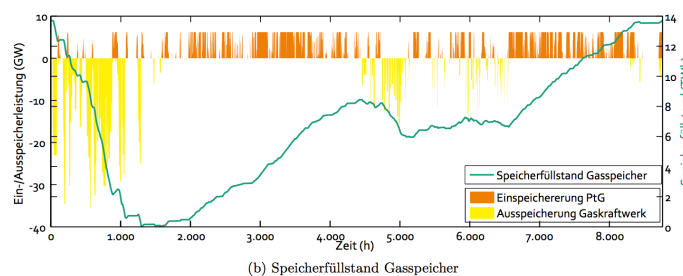
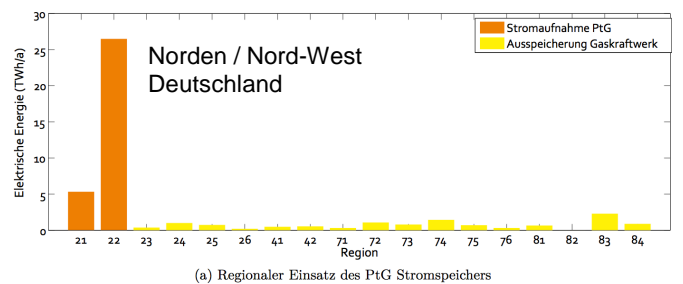
BMW Leitstudie 2017: Power-to-Gas: „zu ineffizient, zu teuer“



Quelle: grün: Bandbreite reale Daten aus FENES Datenbank, 2017; rot: ISI, Consenec, ifeu, 2017

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 78

6-16 GW PtG als Stromspeicher wirtschaftlich (85 % Szen.) Bei hinkendem Netzausbau: 5-30 GW netzbedingt in 2030



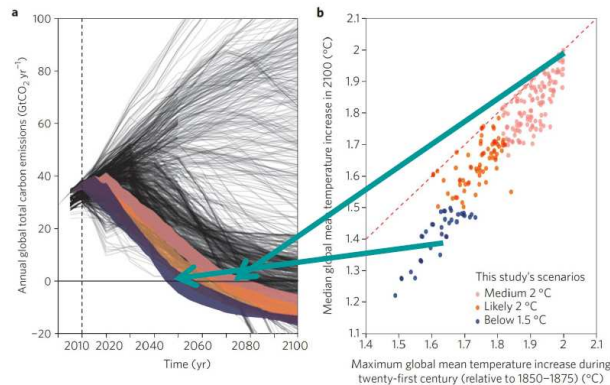
Quelle: Jentsch, Dissertation 2014

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 79

**Pariser Klimaschutzziele nur
mit massiven Maßnahmen erreichbar**



- Wir sollten in ca. 30 Jahren auf NULL Emissionen
- Viel mehr Aufforstung, Erneuerbare, Energieeinsparung
- Wind + Sonne für Strom, Wärme, Mobilität nutzen



J. Rogelj et al.: Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5 °C. Nature Climate Change 5, 519–527 (2015)

Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 80