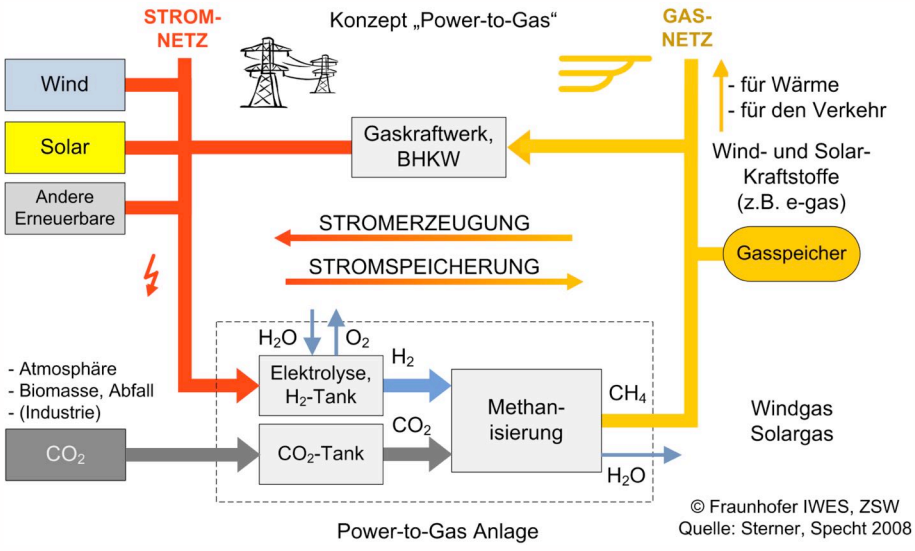
Power-to-X und Sektorkopplung
Einordnung, Technologien, Potenziale

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner et al.
Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher FENES, OTH Regensburg



Faktencheck „Speicher in der Energiewende“

Bürgerforum Energieland Hessen

Gießen
29. November 2016

Inhalt

1) Überblick Energiewende und Sektorkopplung
2) Optionen zur Flexibilisierung
3) Strom-Wärme
4) Strom-Mobilität
5) Strom-Gas
6) Strom-Chemie
7) Sektorkopplung eröffnet große industriepol. Chancen

Definition Power-to-X / Sektorkopplung

„Power-to-X beschreibt die Wandlung von Strom als Primärenergie in einen Energieträger, Wärme, Kälte, Produkt, Kraft- oder Rohstoff.

Es ist ein Sammelbegriff für Power-to-Gas, Power-to-Liquid, Power-to-Fuel, Power-to-Chemicals, Power-to-Product und auch Power-to-Heat.“

Quelle: Sterner, Stadler, 2014

Sektor(en)kopplung =

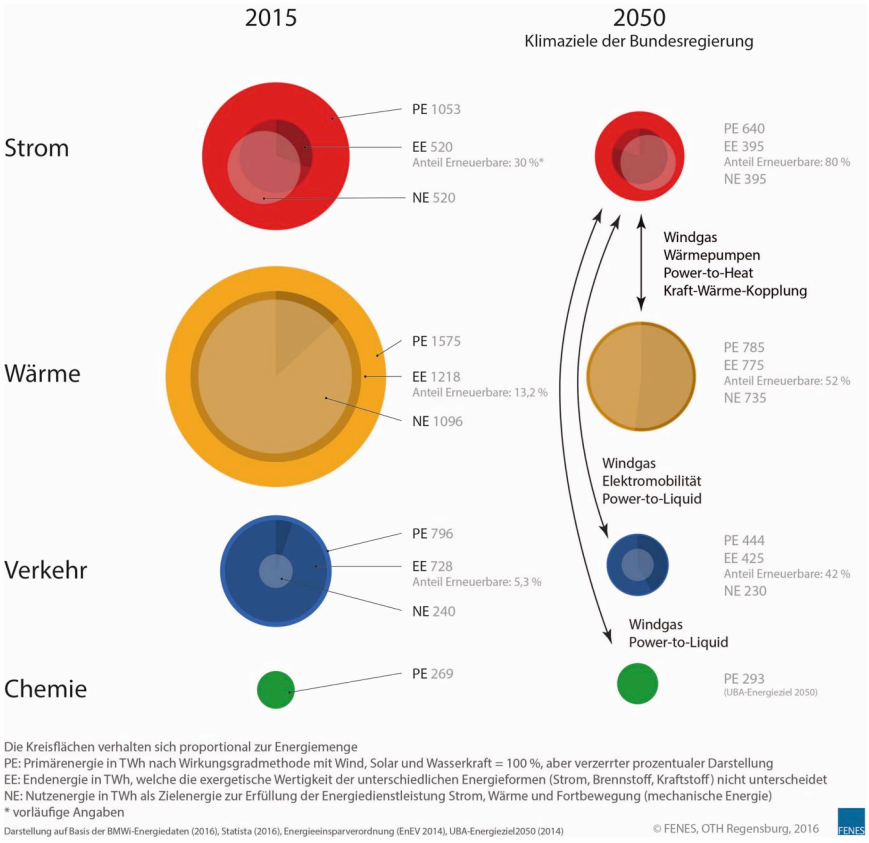
Strom-Wärme

+ Strom-Verkehr

+ Strom-Gas

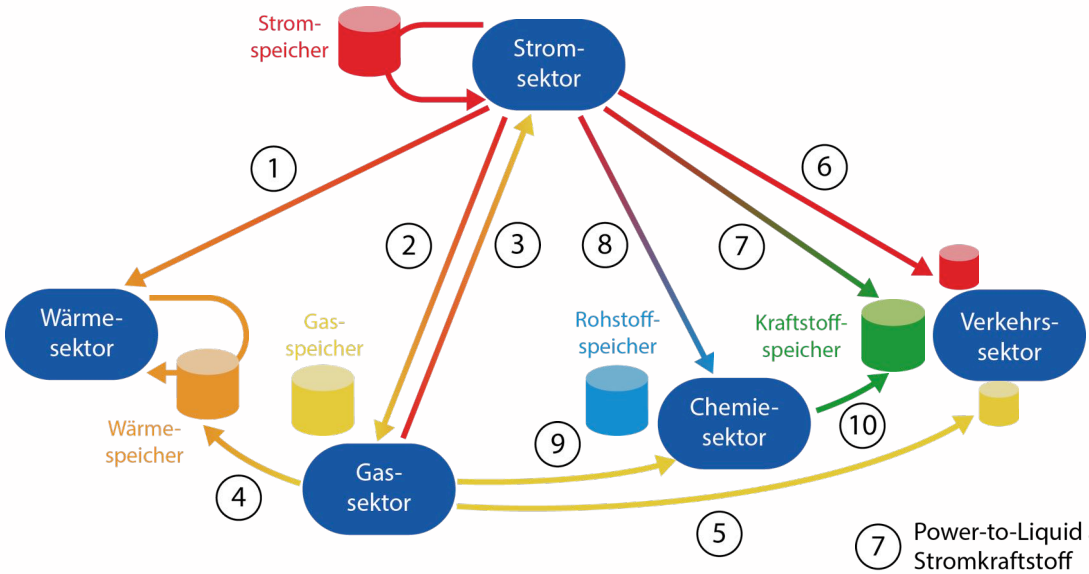
+ Strom-Chemie (NEV)

Sektorkopplung → Erneuerbarer Strom wird zur Primärenergie

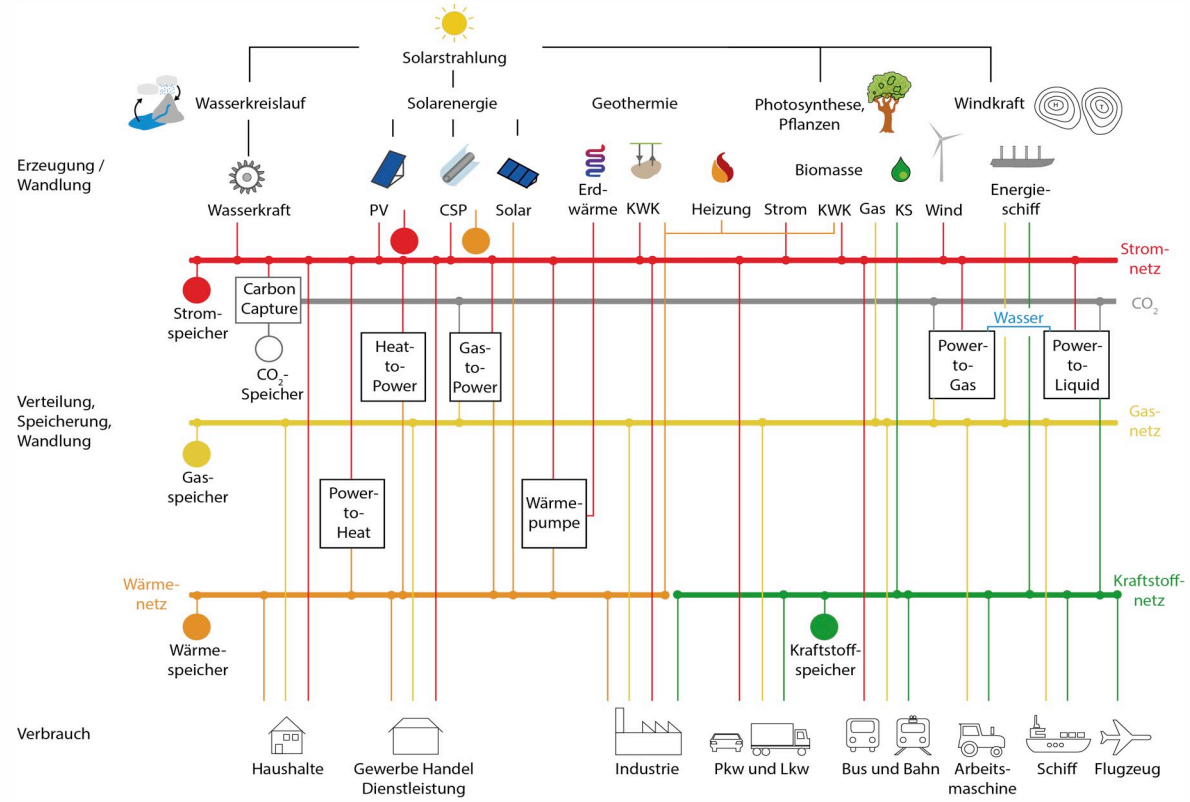


Quelle: Sterner, Stadler, 2016 – 2. Auflage Speicherbuch

Definition Sektorkopplung & Energiespeicher
Keine Sektorkopplung ohne Energiespeicher



Quelle: Sterner et al, FENES OTH Regensburg, 2016

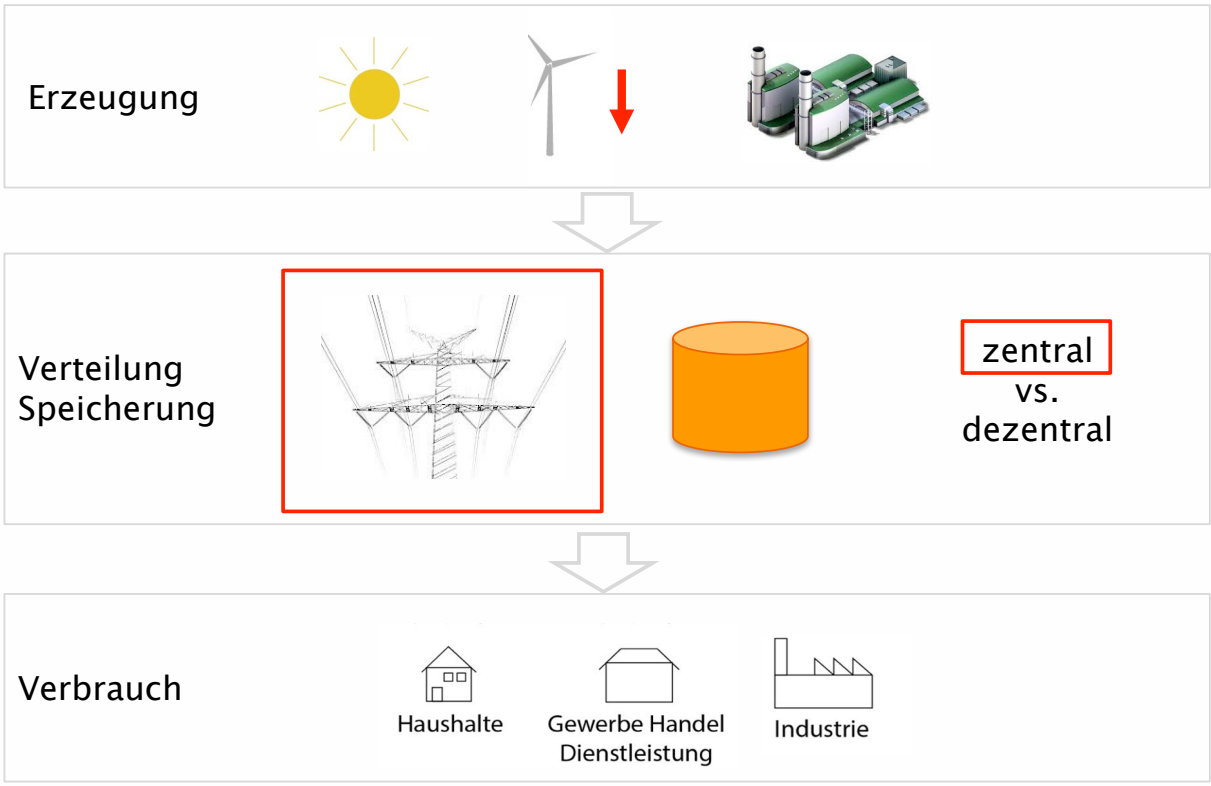


Quelle: Sterner, Stadler, 2014

Inhalt

1) Überblick Energiewende und Sektorkopplung
2) **Optionen zur Flexibilisierung**
3) Strom–Wärme
4) Strom–Mobilität
5) Strom–Gas
6) Strom–Chemie
7) Sektorkopplung eröffnet große industriepol. Chancen

Gesamtbild: Wir brauchen alle Optionen
Flex. Kraftwerke, Netze und Speicher und DSM



Quelle: Sterner, Stadler, 2014

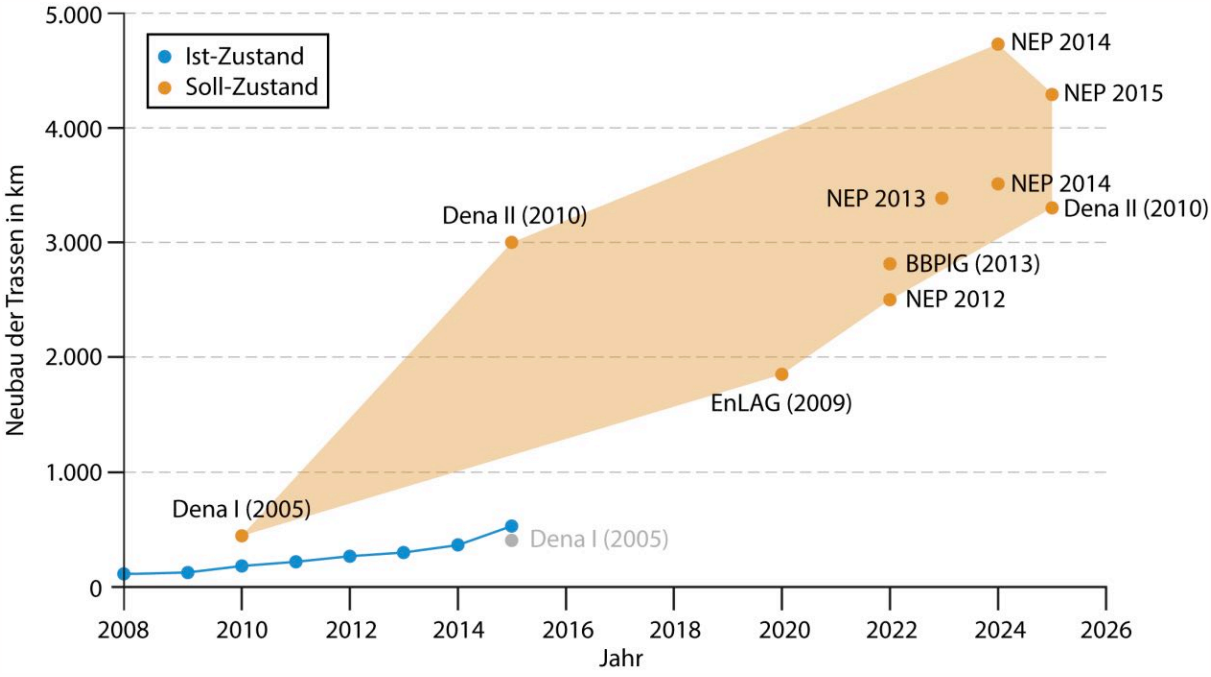
~~Wir brauchen keine Speicher~~

~~Wir brauchen keine Stromspeicher~~

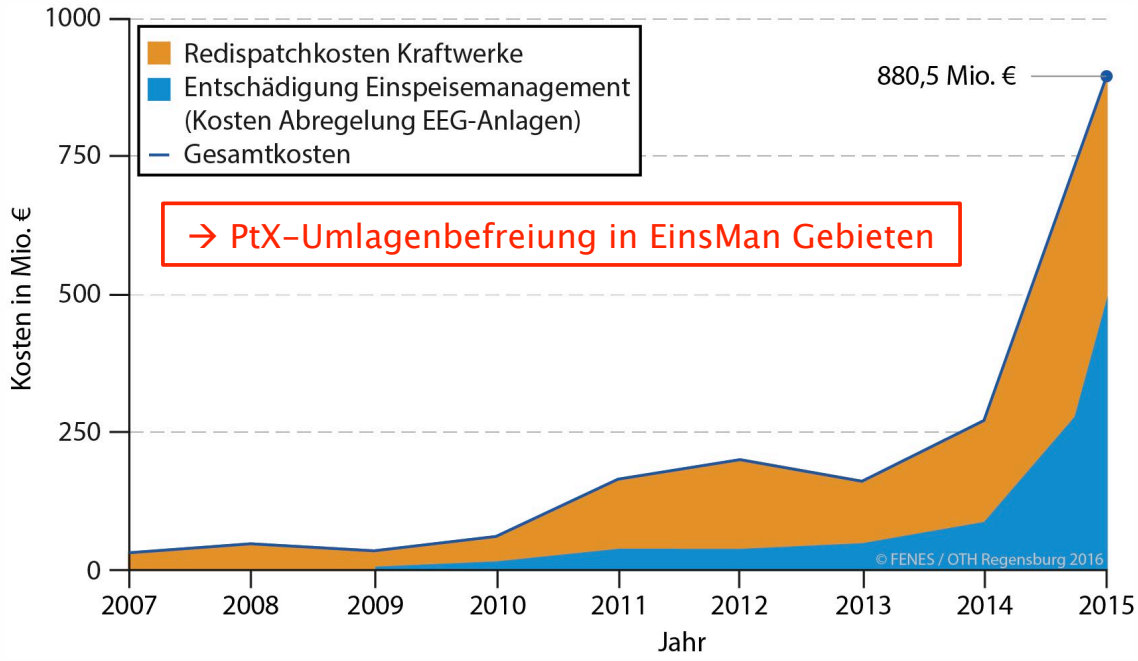
Wir brauchen vorerst keine Stromspeicher,
weil wir vollen Netzausbau annehmen
und verfügbare alternative Flexibilitäten

Gültiger Grundsatz:
Netze = räumlicher Ausgleich
Speicher = zeitlicher Ausgleich

Gegenüberstellung des geplanten Netzausbaus und der bis dato umgesetzten Trassenkilometer

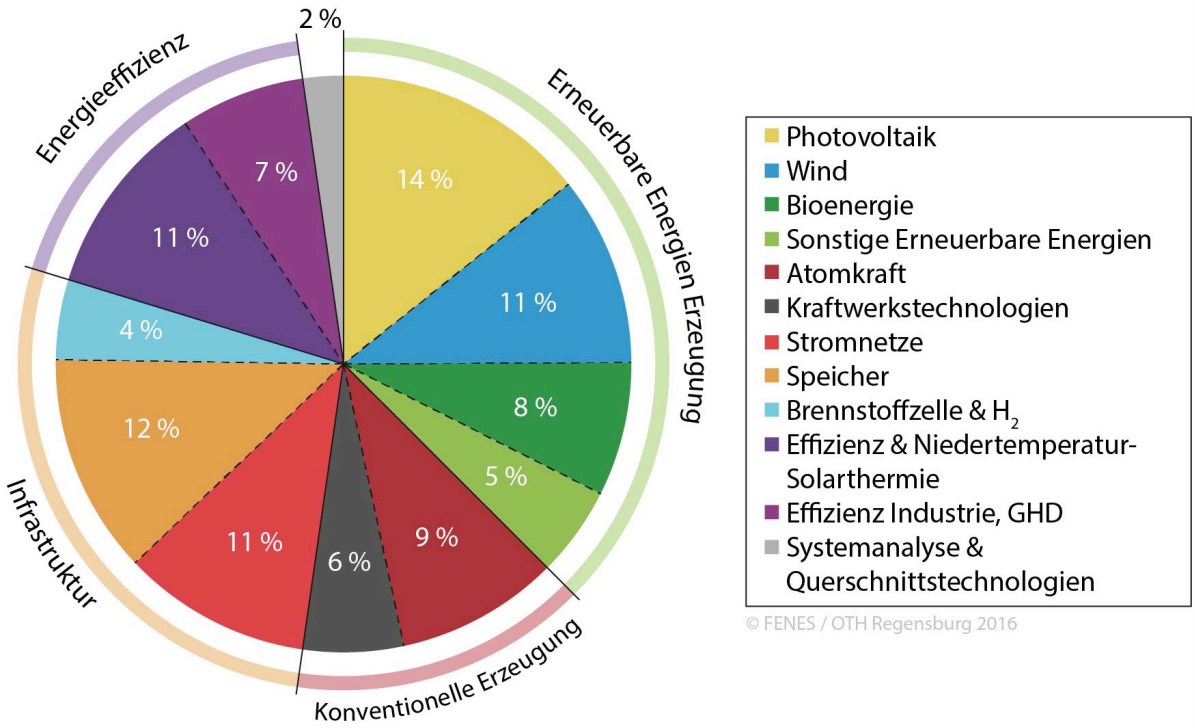


Stark ansteigende Netzengpasskosten (Redispatch, EinsMan) → Sektorkopplung als Redundanz angehen



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

Aufteilung der Energieforschung (Bund, 2015)
→ Sektorkopplung nur geringfügig erforscht



© FENES / OTH Regensburg 2016

Quelle: Sterner, Bauer, Eckert, Hofrichter, 2016 – Metastudie für dena

Inhalt

1) Überblick Energiewende und Sektorkopplung
2) Optionen zur Flexibilisierung
3) **Strom–Wärme**
4) Strom–Mobilität
5) Strom–Gas
6) Strom–Chemie
7) Sektorkopplung eröffnet große industriepol. Chancen

Wärmespeicher über Power-to-Heat und KWK als kostengünstige Flexibilität (Strom → Wärme)

Flexibilisierung der KWK
- Betrieb Fernwärmenetz über Speicher ohne HKW an Sommerwochenenden

Flexibilisierung Stromnachfrage
- Einsatz von 2 x 25 MW PtH Elektro-Heizkesseln
- Direkte Anbindung Generator → keine Netzdurchleitungsgeb.
- SDL über Pooling

Invest
- 17 Mio. €, 3-4 Mio. € gefördert

Zeitliche und räumliche Begrenzung:
Saisonale Verfügbarkeit / Wärmesenken

Quelle: N-Ergie 2015

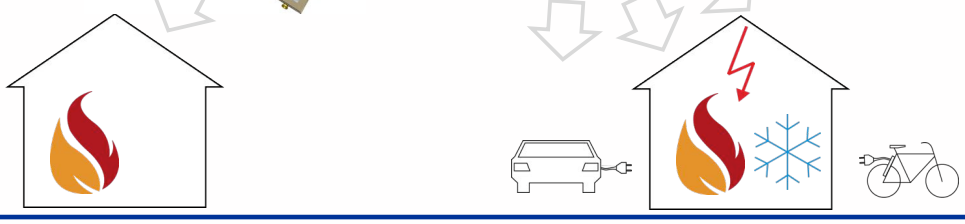
Sektorkopplung konkret @ Home

EEWärmeG nicht technologieneutral, da PV-Wärme nicht zugelassen

	Gastherme+ Solarthermie	Biogas + Solarthermie	Luft-Wärme-pumpe	Erd-WP mit Ökostrom	Pellets
Heizsystem			WP	WP	
Solaranlage					

„Nutzung von Solarstrahlung“ = Solarthermie

Sektorkopplung Solarstrom – Wärme nicht möglich



Quelle: Sterner et al, FENES OTH Regensburg, 2016

Vergleich Photothermie (PV-Wärme) vs. Solarthermie
→ Solarthermie technisch effizienter,
PV(-Wärme) ökonomisch und ökologisch effizienter

Ausgangsbasis: ca. 65 % des Warmwasserbedarfs sollen solar gedeckt werden

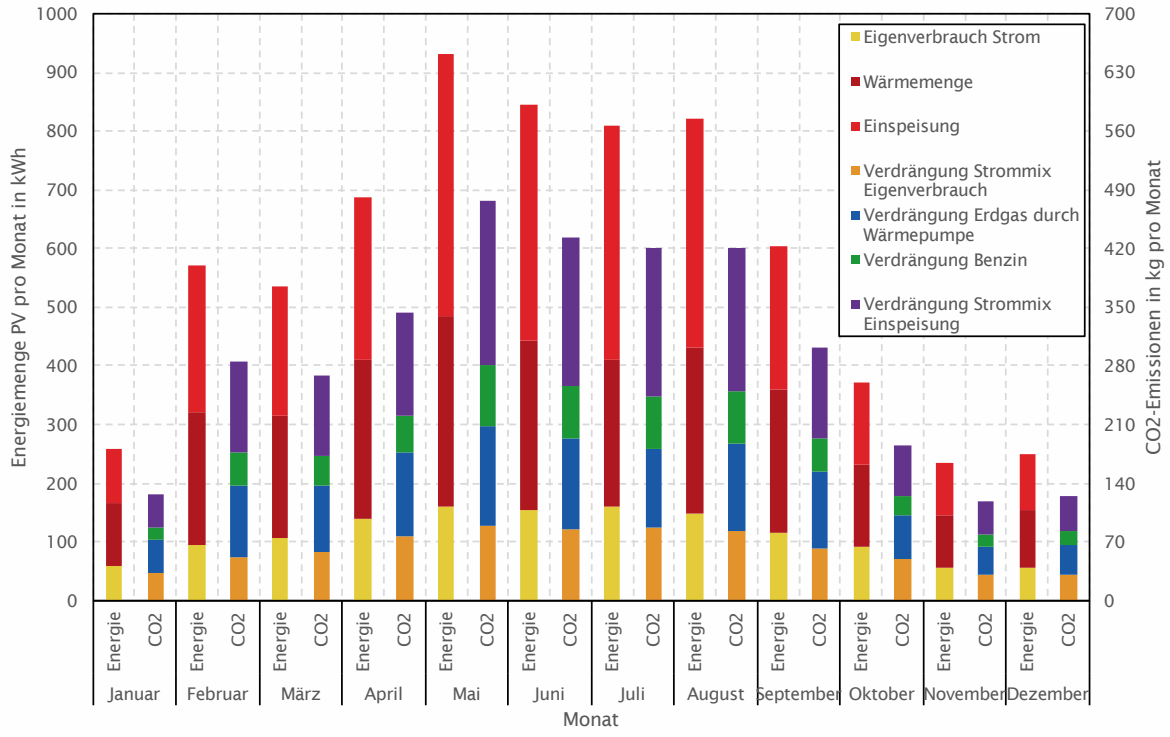
Datenbasis	PV	ST
Strombedarf Vierpersonenhaushalt	3500 kWh/a	
Warmwasserbedarf Vierpersonenhaushalt	2966 kWh/a	
Speichervolumen Warmwasserpuffer	300 l	
Flächenbedarf am Dach	33 m² (5 kW_p) (5,5 m² anteilig für PV-Wärme)	6 m²
Solaranteil an Warmwasserbereitstellung	68 %	65 %
Wärmepumpenleistung	550 W (COP=2,98)	-
Verdrängung von Strom (Strommix) ... Wärme (Gastherme η 70 %) ... Benzin (Ottomotor η 25 %)	Strom: 550 g $CO_{2-eq.}$/kWh Wärme: 371 g $CO_{2-eq.}$/kWh Verkehr: 832 g $CO_{2-eq.}$/kWh	- 371 g $CO_{2-eq.}$/kWh -

Ergebnisse

Flächenertrag für Solarstrahlung (Nutzungsgrad über 1 Jahr)	15 % (inkl. Wärmepumpe 20 %)	39 %
Investitionskosten	PV-Anlage 6.500 € Wärmepumpe 2.000 €	4.000 €
Interner Zinsfuß (inkl. Betriebskosten und Wechselrichtertausch nach 10 Jahren)	3,9 %	-0,32 %
Jährliche CO_2-Einsparungen (Strom 20 % Eigenverbrauch, 80 % Einspeisung; Verkehr 20 % Eigenverbrauch für E-Mob.)	Strom: 740 kg $CO_{2-eq.}$ + Wärme: 900 kg $CO_{2-eq.}$ + Verkehr: 490 kg $CO_{2-eq.}$	- 880 kg CO_{2-eq} -

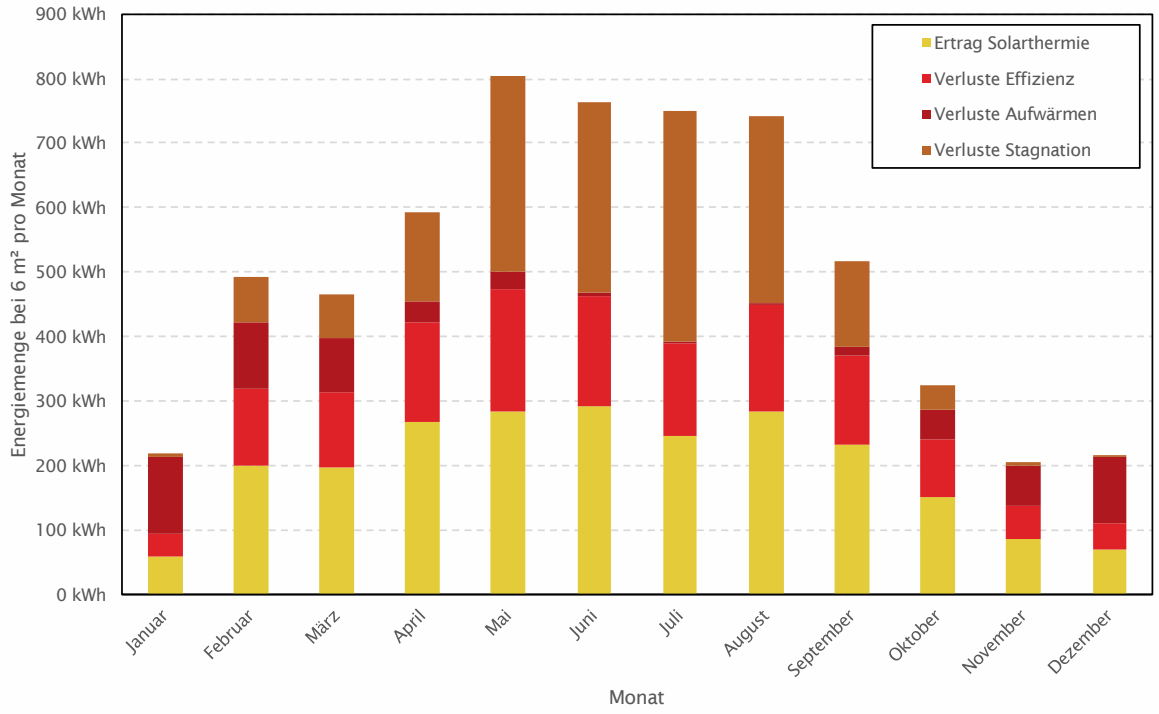
Quelle: eigene Berechnungen.

PV kann 3 Sektoren dekarbonisieren
→ mehr CO_2-Vermeidung als rein über Solarthermie



Quelle: eigene Berechnungen.

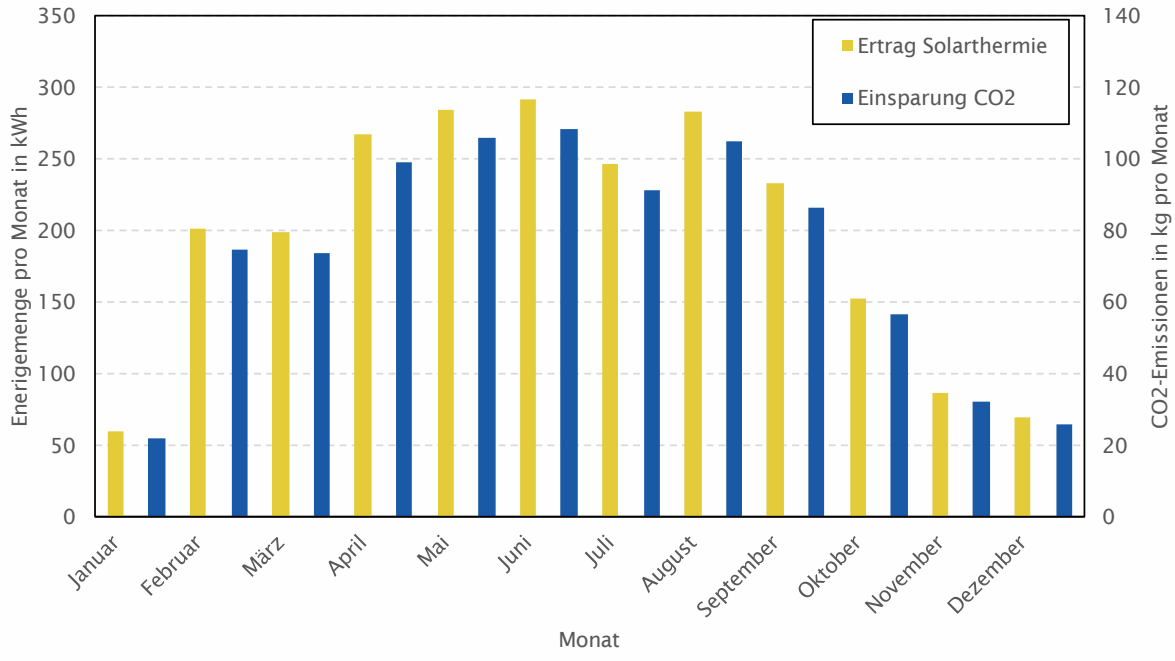
Solarthermie technisch effizienter, aber große Verluste - allein durch Stagnation: 61 % p. a.



Puffer- oder Zirkulationsverluste nicht enthalten, da reine Modulbetrachtung

Quelle: eigene Berechnungen.

Solarthermie: Energieertrag & CO_2Einsparung → geringer als mit PV bei gleicher Ausgangsbasis



Quelle: eigene Berechnungen.

PV vs. Solarthermie

Efficiency first! Technische vs. Kosten- vs. CO_2-Effizienz

- Solarthermie ist über das Jahr gesehen effizienter als PV, aber nicht so effizient wie weitläufig angenommen: PV 15 % (mit WP 20 %) vs. Solarthermie 39 %

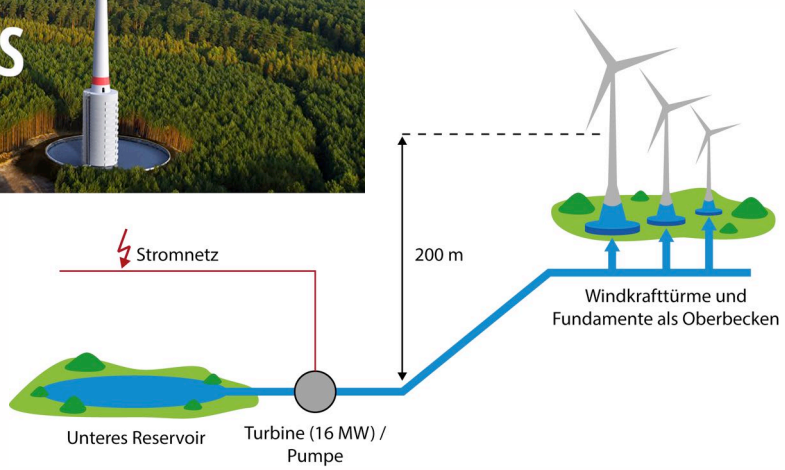
- Überdimensionierung von PV schadet der Effizienz nicht, eine Überdimensionierung von Solarthermie schon -> ST hat stark limitiertes Potenzial

- PV könnte größeren Beitrag zur Dekarbonisierung aller Sektoren leisten, wenn regulatorische Rahmenbedingungen geändert werden (EEG-Umlage ab 10 kW_p bzw. USt auf eigenverbrauchten PV-Strom in WP entfällt und im EEWärmeG wird PV-Wärme als solare Strahlungsenergie nutzbar)
  → PV ohne Wärmepumpe derzeit wirtschaftlicher als mit Wärmepumpe

- PV ist aber wirtschaftlicher als Solarthermie durch multiplere Nutzung
  → „PV trägt sich selbst“, Solarthermie zahlt sich meist nicht innerhalb der Lebensdauer von 20 Jahren ab.

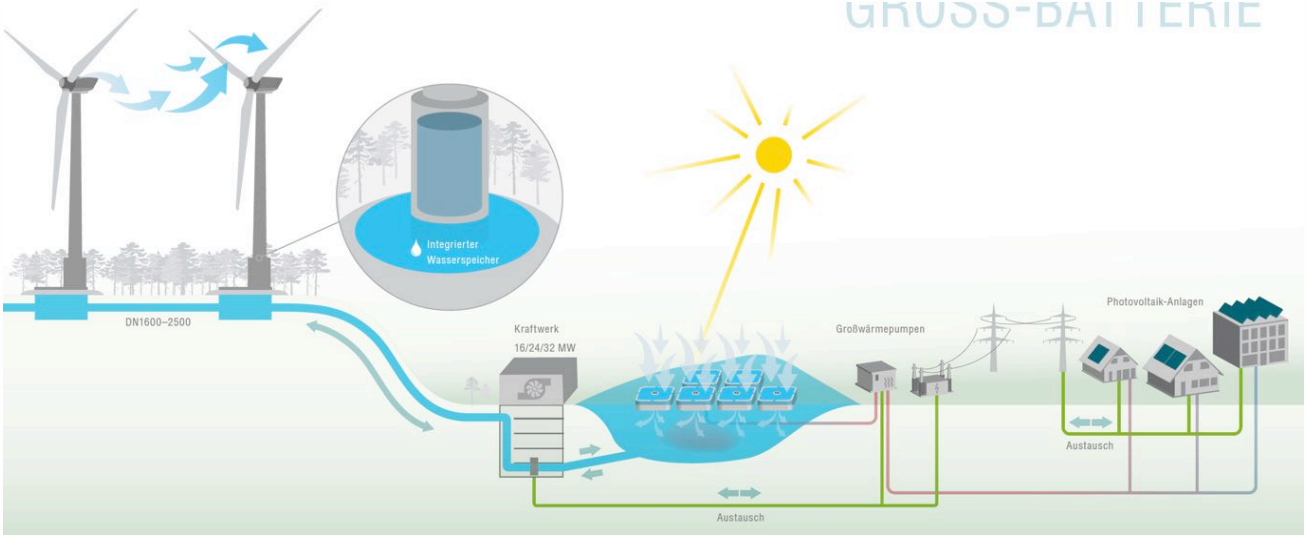
→ technologieneutrale Nutzung von Solarstrahlung anstreben

Kraft-Wärme-Kopplung mit Windkraft + Pumpspeicher + Wärmespeicher



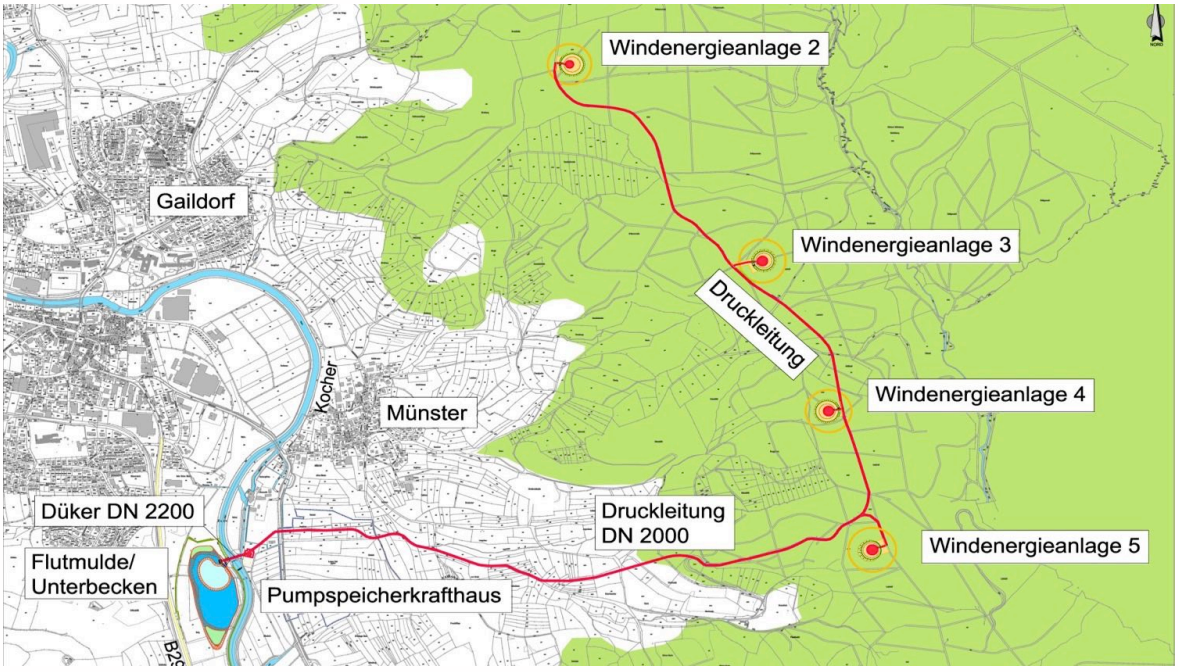
Quelle: Schluchseewerke, 2010

Kommunale Strom- und Wärmeversorgung über Wind-KWK
„Naturspeicher“ = Pump– und Wärmespeicher – läuft allein mit Wind



Quelle: Schluchseewerke, 2010

Kommunale Strom- und Wärmeversorgung über Wind-KWK
„Naturspeicher“ = Pump– und Wärmespeicher – läuft allein mit Wind



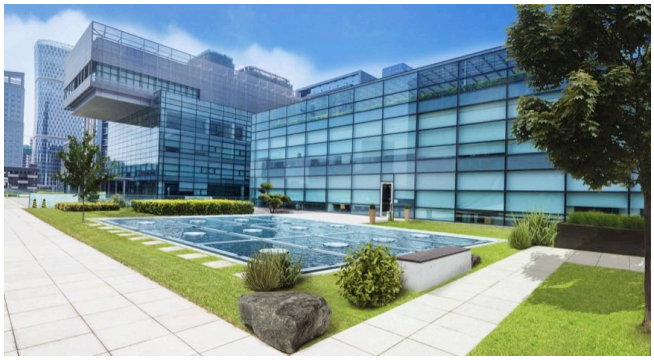
Quelle: Schluchseewerke, 2010

Kommunale Strom- und Wärmeversorgung über Wind-KWK
„Naturspeicher“ = Pump– und Wärmespeicher – läuft allein mit Wind

Quelle: Schluchseewerke, 2010

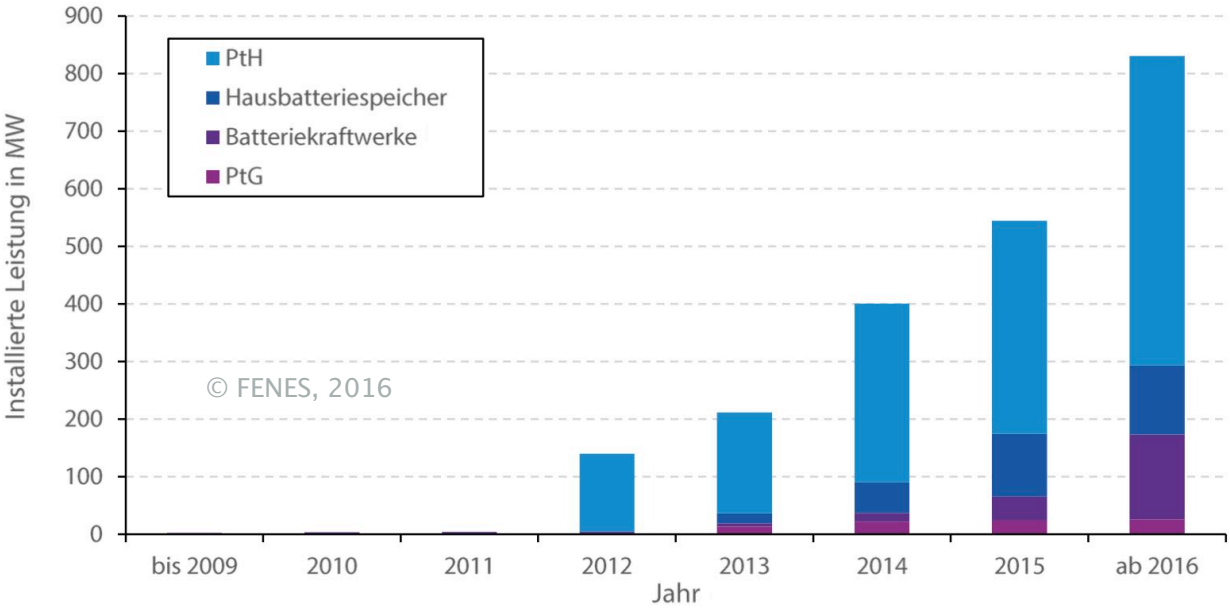
Naturwärmespeicher – besser als Luft-WP (Lärm) und Erd-WP (Kosten)
Innovation aus der Oberpfalz

- Ökologische und effiziente Wärmequelle für Solewärmepumpen
- Kleines offenes Gewässer als Wärmequelle (mit Flüsterlüfter zum schmelzen des Eises)
- Geschlossenes genehmigungsfreies System
- Attraktives Gestaltungselement in der Außenanlage



Quelle: www.naturspeicher.de, 2016

Speicherausbau Status Quo: neue Speicher in Deutschland
→ bisher nur **Sektorkopplung Strom-Wärme** gut etabliert



Quelle: Sterner et al – FENES Working Paper, 2016; Datenbasis: FENES-Datenbank

Hemmnisse Strom-Wärme

Abgaben Eigenverbrauch, EEWärmeG verhindert PV-PtH
→ PV-WP/Emob. unwirtschaftlicher als PV alleine

EEWärmeG nicht technologieneutral

§ 27a EEG-Förderung nur, wenn kein Eigenverbrauch
→ KWK mit Wind nicht möglich

EEG unterbindet weitgehend Sektorkopplung

→ 1 Endverbraucherabgabe für alles

Inhalt

1) Überblick Energiewende und Sektorkopplung
2) Optionen zur Flexibilisierung
3) Strom–Wärme
4) **Strom–Mobilität**
5) Strom–Gas
6) Strom–Chemie
7) Sektorkopplung eröffnet große industriepol. Chancen

Biokraftstoffe limitiert – E-mobilität kommt

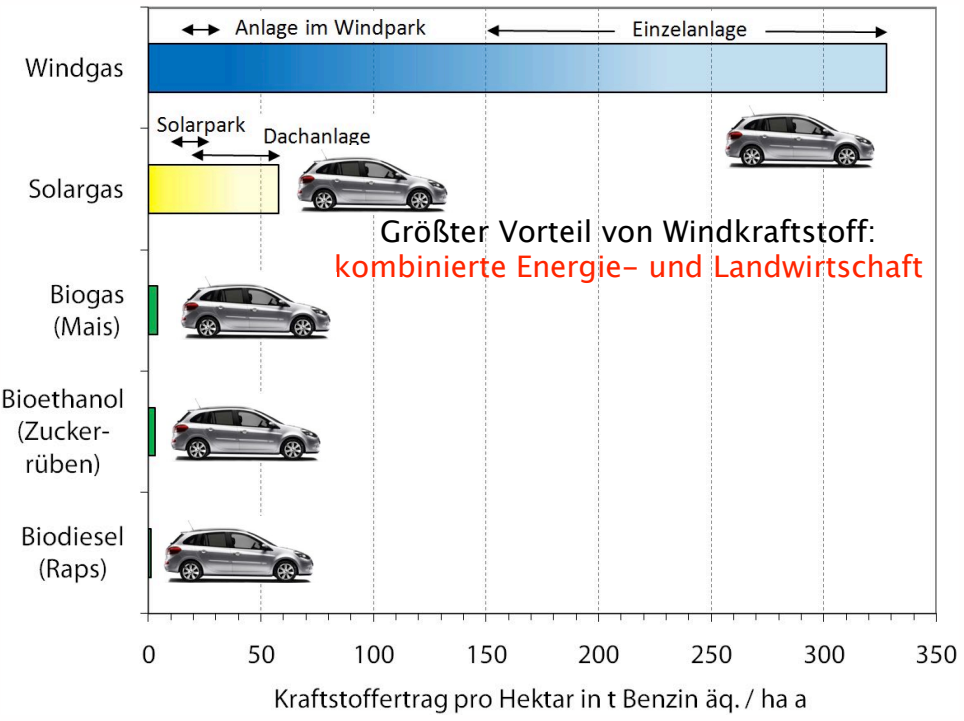
Zentrale Fragestellung für Zukunft der dt. Automobilbranche

Elektrifizierung
- LKW → Dejavu Netzausbau
- Bahn etc.

Quelle: Tesla, 2016

Dekarbonisierung Verkehr rein über Batteriemobilität nicht möglich
→ Stromkraftstoffe für Flug-, Schiff-, Langstrecke, Arbeitsmaschinen

Wind- und Solarkraftstoffe entschärfen Tank-Teller-Konflikt



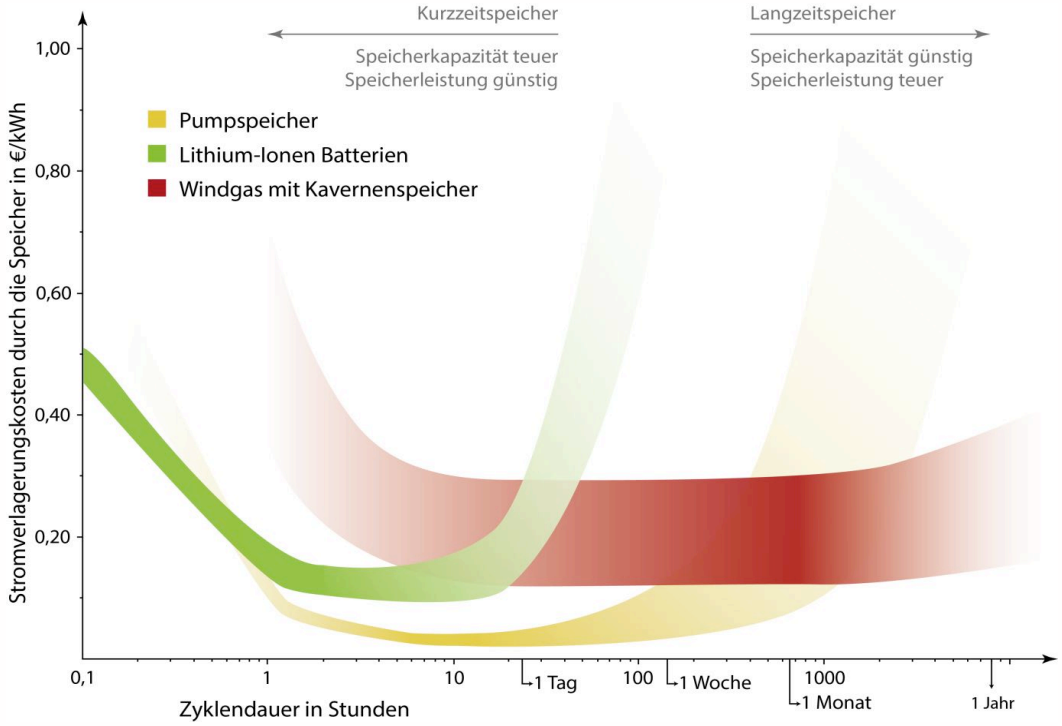
Quelle: IWES 2011, FNR 2011, DESTATIS 2011

Inhalt

1) Überblick Energiewende und Sektorkopplung
2) Optionen zur Flexibilisierung
3) Strom-Wärme
4) Strom-Mobilität
5) Strom-Gas
6) **Strom-Chemie**
7) Sektorkopplung eröffnet große industriepol. Chancen

Power-to-Gas trotz Wirkungsgradverluste kostengünstigster Langzeitspeicher

Vergleich der Speicherkosten (für 1 kWh nach Zyklendauer)

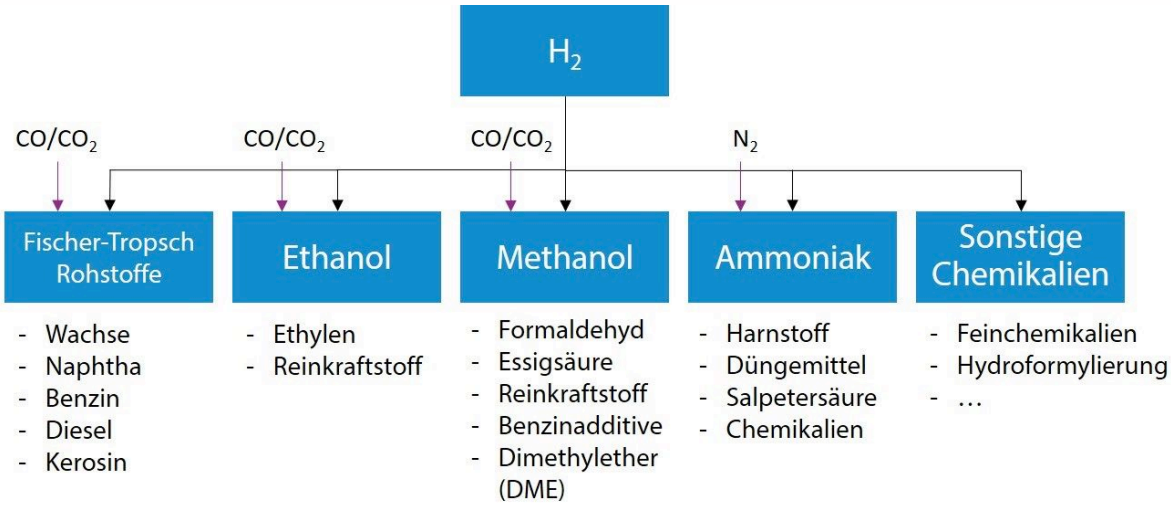


Quelle: Thema, Sterner, Greenpeace Energy, 2015

Power-to-Gas ~~= Stromspeicher~~

= Dekarbonisierung Mobilität & Chemie

Power-to-X als Ausgangsstoff
für einen Großteil **industriell genutzter Rohstoffe**



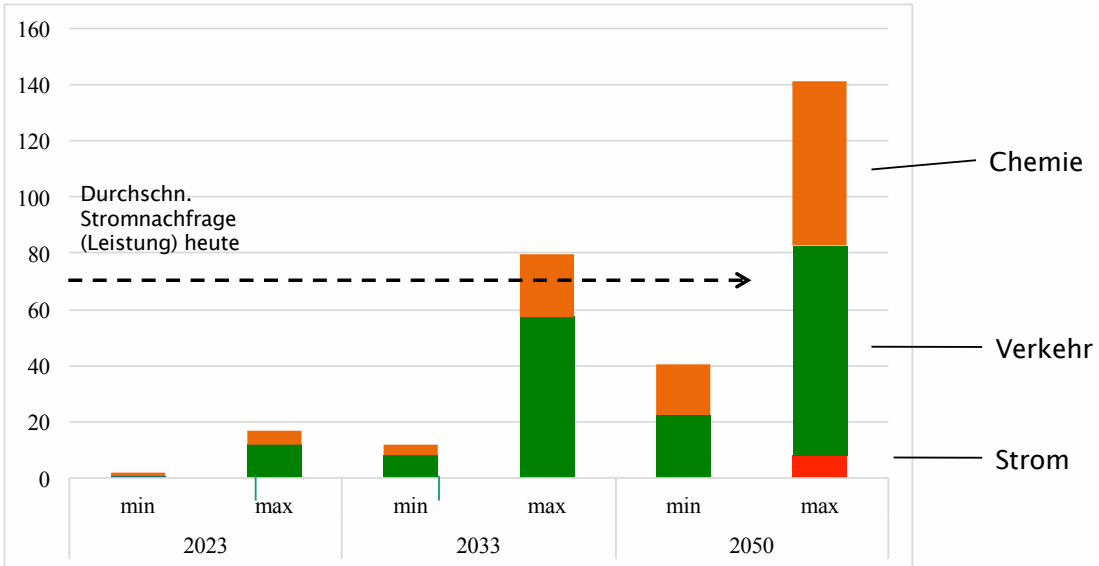
→ Startpunkt: PtX in Raffinerien

Quelle: Sterner, Bauer et al, 2016

Dekarbonisierung v. a. von Mobilität & Chemie erfordert **Power-to-X** (Gas, Liquid, Heat, Chemicals)

Abschätzung zukünftiger Märkte für PtG
in GW

Bedarf an Stromspeichern vorerst gering
→ Bedarf an PtX-Energiespeichern sehr hoch



Quelle: Sterner et al, 2014 – Agora Speicherstudie

Hemmnisse Strom-Gas/Chemie

Netzentgeltbefreiung nur bei Netzeinspeisung
Stromsteuerbefreiung nur im produz. Gewerbe
EEG-Umlage fällig, teilweise doppelt (Ausn. Stromspeicher)
Keine Anrechnung auf EE-Wärme, -Kraftstoff möglich
→ PtG / PtX derzeit nicht wirtschaftlich

§ 27a EEG-Förderung nur, wenn kein Eigenverbrauch
→ Kombination Windstrom & Windgas nicht möglich

EEG & System auf Stromspeicher zugeschnitten
→ unterbindet Sektorkopplung

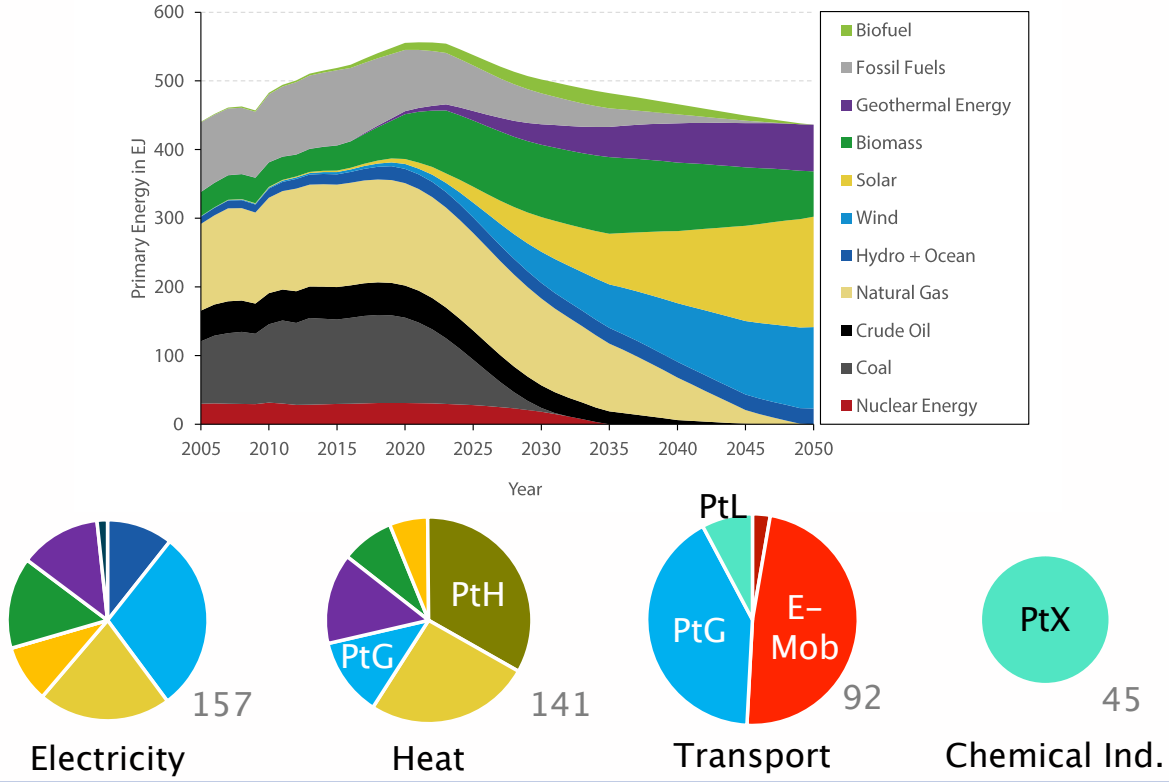
→ Barrieren zwischen den Sektoren beseitigen

Inhalt

1) Überblick Energiewende und Sektorkopplung
2) Optionen zur Flexibilisierung
3) Strom-Wärme
4) Strom-Mobilität
5) Strom-Gas
6) Strom-Chemie
7) **Sektorkopplung eröffnet große industriepol. Chancen**

COP21 global umsetzen → Sektorkopplung Weltmarkt

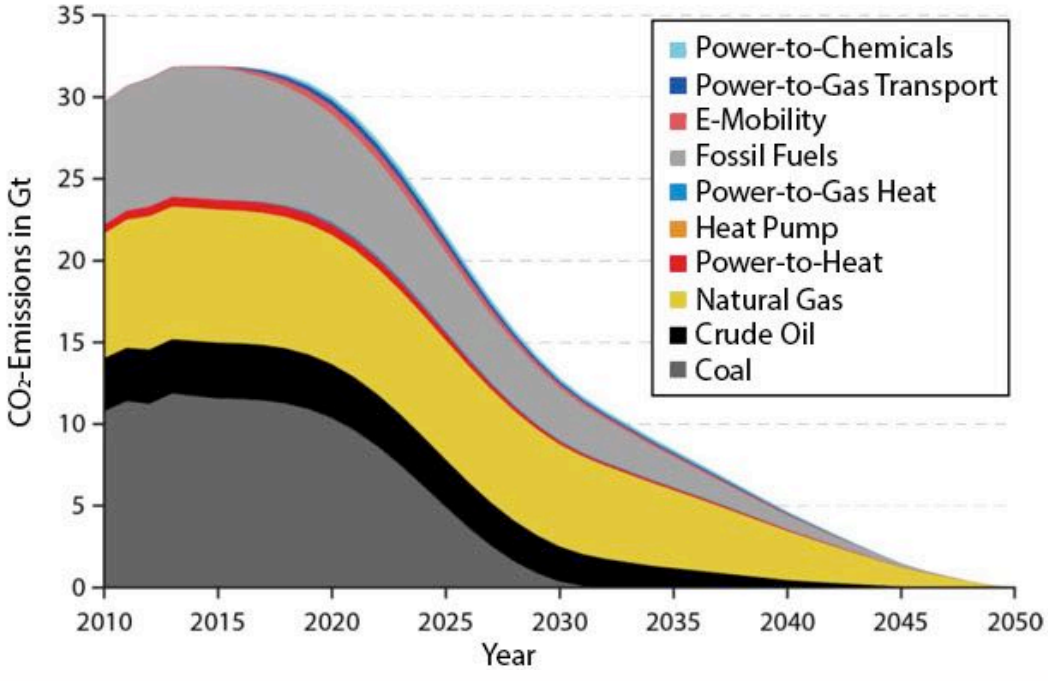
Neg. Emissionen (Biomass & CCS) vs. Speicher & PtX



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

Paris fulfilled → global role of PtX / Sektorkopplung

From CO_2-intensive to CO_2-neutral energy supply

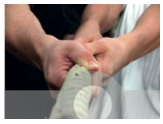


Source: Bauer, Sterner, 2016, WBGU Dekarbonisierungsszenario 2050 – ohne Biomasse & CCS

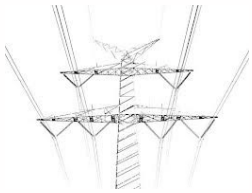
Inhalt

1) Keine Sektorkopplung ohne Energiespeicher
2) Keine 100 % Dekarbonisierung ohne Power-to-Gas/X
3) Einfache Betrachtungen zur EEG-Umlagen-Befreiung
4) Pro & Contra: Netzausbau vs. Speicher
5) Schlussfolgerungen

Vom Ende her denken + Wege öffnen



- **Power-to-X ist eine Schlüsseltechnologie für den Klimaschutz**
  - ... ermöglicht einen höheren EE-Anteil im Stromsystem
  - ... PtG einzige Speichertechnologie in Deutschland, die räumlich und zeitlich ausgleichen kann und genügend Speicherkapazitäten aufweist
  - ... ermöglicht Dekarbonisierung von Verkehr und Chemie
  - ... senkt die Kosten – Technik bereit zum Markteintritt → Exportschlager!
- **„Netze und Speicher" statt „erst Netze, dann Speicher"**
  - Explodierende Kosten im Redispatch -> Markt „funktioniert nicht"
  - Redundanz schaffen & Lösungsraum erweitern: Netze und Speicher
  - Gemeinsamer Ausbau und Planung Netze und Speicher
- **Nötige Rahmenbedingungen setzen**
  - Schlüsseltechnologie entwickeln → Industriepolitik!
  - CO_2 adäquat bepreisen
  - PtX trägt nur mit EE-Strom zur Dekarbonisierung bei → Übergang gestalten
  - langfristig eine Gesetzgebung für Strom-Wärme-Gas
  - Barrieren zwischen den Sektoren abbauen (eine Endverbraucherabgabe)



und

Lösungsraum erweitern

Technologieneutralität leben

Industriepol. Chancen nutzen

Kontakt

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

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

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

Vielen Dank

FENES FORSCHUNGSSTELLE FÜR ENERGIENETZE UND ENERGIESPEICHER