

OST

Ostschweizer
Fachhochschule

Vortragsreihe «Faszination Energie»:

Wasserstoff und Power2X

Matthias Berthold, Institut für Energiesysteme (IES)
Donnerstag, 1. Juni 2023, Buchs SG

Zu meiner Person «Matthias Berthold»

- ❖ 1993-2001: Studium Elektrotechnik, TU Wien
Stzw. Regelungs- und Automatisierungstechnik
- ❖ 2002 bis 2007 Robert Bosch AG, Wien
SW-Entwicklung (Motorsteuergeräte – Audi Kundenteam)
- ❖ 2007 bis 2013: Vorarlberger Illwerke AG in der Energiewirtschaft:
EW-Analysen, KW-Einsatz und Optimierung, Schaltberechtigungen für 20kV...380kV Stromkreise,
Stromhandel (Stromhändlerberechtigungen für EXAA und Epex-Spot), Netzwiederaufbau-Trainings
- ❖ seit 2013: Institut für Energiesysteme (IES), Ost-Buchs
Technologie-Transfer, Lehrauftrag im Bereich elektrische Energiesysteme und MAS
(Schwerpunkte: Strommarkt und Wasserkraft, EE, Netze)



Agenda

1. Grundsätzliches zu Wasserstoff
2. Grundsätzliches zu Sektorkopplung (P2X, Speicherbedarf)
3. Weshalb benötigen wir H₂ & P2X? → Energiesystem «jetzt» und in Zukunft

Grundsätzliches zu Wasserstoff

Wasserstoff

- ist das häufigste Element auf der Erde -> keine «Knappheit»
- kann nachhaltig gewonnen werden («Grüner Wasserstoff»)
- saubere Verbrennung, da ausschliesslich Wasser entsteht
- hat die höchste gravimetrische Energiedichte [kWh/kg]
(aber nur sehr geringe volumetrische Energiedichte [kWh/Nm³])
- ist das Element mit der geringsten Dichte (14,4-mal weniger dicht als Luft)



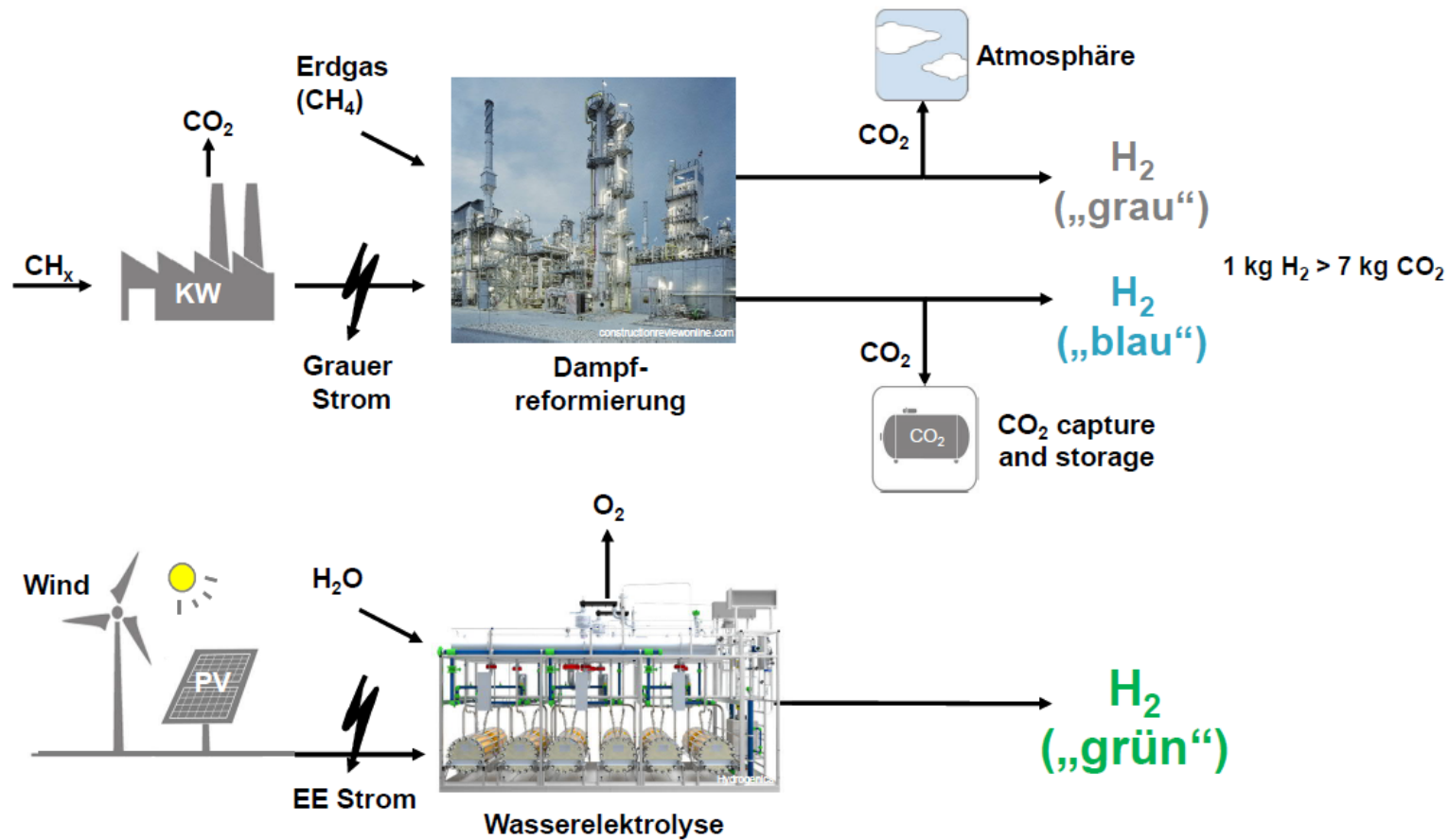
Eigenschaft	Wasserstoff	Vergleich
Dichte (gasförmig)	0.089 kg/m ³ (0°C, 1 bar)	1/10 von Erdgas, 1/14 von Luft
Dichte (flüssig)	70.79 kg/m ³ (-253°C, 1 bar)	1/6 von Erdgas
Siedepunkt	-252.76°C (1 bar)	90°C unterhalb von Flüssigerdgas
<u>Gravimetrische</u> Energiedichte (Heizw.)	33.3 kWh/kg	ca. 3-mal so hoch wie Benzin / Diesel
<u>Volumetrische</u> Energiedichte (Heizw.)	3 kWh/Nm ³	1/3'000 von Benzin / Diesel (p=1 bar)
Selbstzündtemperatur	585°C	220°C bei Benzin

Quelle: Sterner, Energiespeicher, 2017, Seite 353 u.ff.

Wasserstoff-Gewinnung: Grau, Blau und Grün

Grauer - Blauer - Grüner Wasserstoff

Dampfreformierung - Wasserelektrolyse



© SIZ-EGS . www.siz-egs.de . 8. PL Treffen Energiewende Bauen . 14.5.2020

4

Quelle: [\04 Recherche Datenblätter\2020_05 Esslingen West P2G2P 1MW AEL.pdf](#)

Vergleich der unterschiedlichen Technologien:

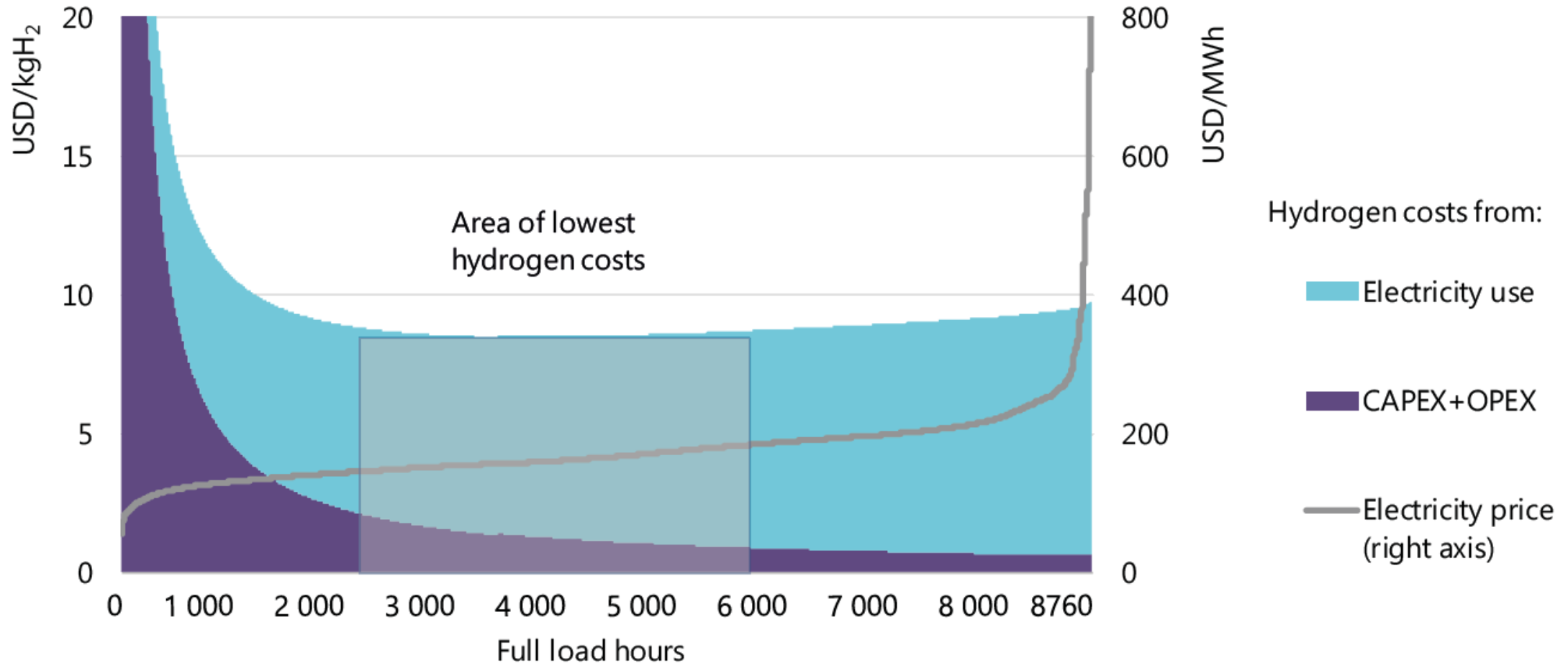
	<u>AEL</u> (Alkalische El.)	<u>PEM</u> (Proton Exchange M.)	<u>HTES</u> (Hochtemp. El.)
Betriebstemperatur [°C]	40-90	20-100	700-1000
Druck [bar]	1-30	(1)-30-50	ca. 30
Eta-.Elektrolyse [%] (Sterner ^a):	62-82 %	67-82 %	65-82 %
Eta-.Elektrolyse [%] (IEA ^b):	63-80 %	56-74 %	74-90 %
	61 % (Gesamt)	57% (Gesamt)	
Lastwechsel [%/s] ^a	< 1 %/s	ca. 10 %/s	ca. 0.05 %/s
Lastbereich / Nennlast [%] ^b :	10-110 %	0-160 %	
Stack-Lebensdauer ^b	60-90 Tsd. h	30-90 Tsd. h	
Kraftanlagen (2020):	80 Tsd. h	80 Tsd. h	
2014 Investitionskosten ^a [€/kW]	800-1'500 EUR/kW	2'000-6'000 EUR/kW	
2019 Investitionskosten ^b [\$/kW]	500-1'400 USD/kW	1'100-1'800 USD/kW	
Vorteile (AEL & PEM):	+ geringere Investkosten + etwas höhere Effizienz	+ hohe Leistungsgradienten + weniger Platzbedarf (ca. 1/2)	

Quellen:

a) Sterner, «Energiespeicher», 2017

b) [iea, „The future of hydrogen - Seizing today's opprotunities,“ International Energy Agency, June 2019](#)

Gestehungskosten-Abhängigkeit von Volllaststunden & Strompreis



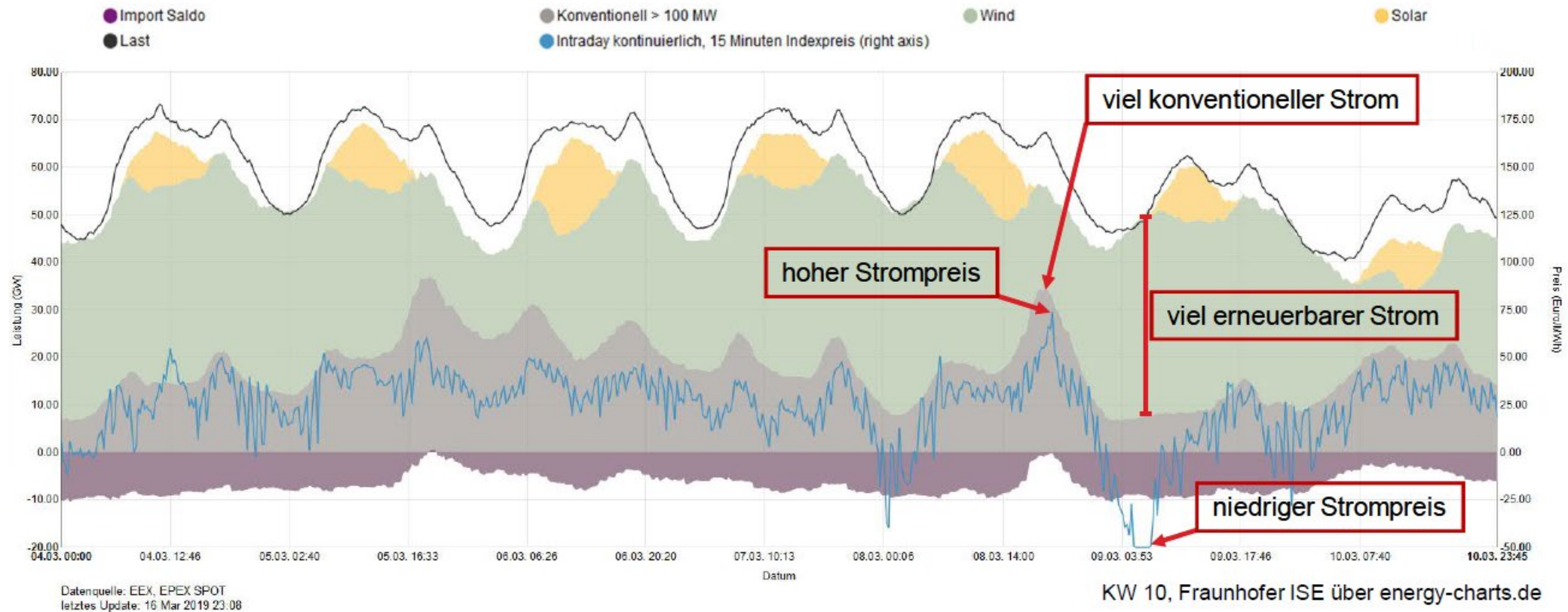
Quelle: [iea, „The future of hydrogen - Seizing today's opportunities,“ International Energy Agency, June 2019](#)

Generelle Elektrolyse Betriebsweise «Energiewendenedienlich»

→ Speichermöglichkeit für nEE-Einspeisung !!!

Günstiger Strom **korreliert** mit **nEE-Einspeisung**

→ **Energie-Wende**-Dienlicher Einsatz der Elektrolysen aus „Kostengründen“ (2'500...6'000 Volllaststunden angestrebt)!



Quellen: [\04 Recherche Datenblätter\2020_05 Esslingen West P2G2P 1MW AEL.pdf](#)

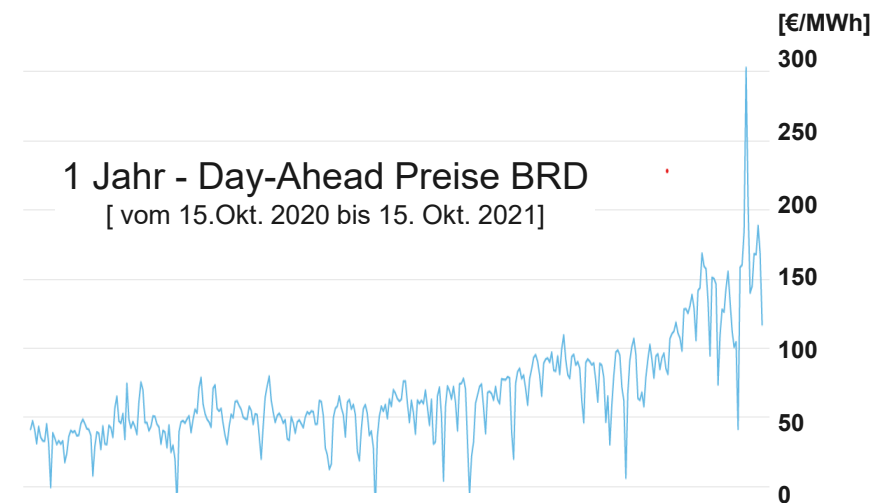
KVA-Buchs - Gestehungskosten (2.5 MW PEM & 5 MW AEL)

		2.5 MW PEM		5 MW AEL	
Stromversorgung	Mio. CHF	1		1	
Lebensdauer Stromvers.	a	50		50	
Leistung Elektrolysier	MW	xxx		xxx	
Gesamkosten für Anlage	Mio. €	xxx		xxx	
Gesamkosten für Anlage	Mio. CHF				
spez. Betriebskosten	OPEX % CAPEX	xxx		xxx	
Anlagen-Kosten pro W	CHF/W	1.xx		1.xx	
	€/W	1.xx		1.xx	
Effizienz Elektrolyseur (* / Heizwert)	kWh/Nm ³	5.3	57%	4.9	61%
Energiebedarf - Peripherie	% des Elekt	xxx		xxx	
Volllaststunden	h/a	xxx		xxx	
Energiepreis	Rp/kWh	xxx		xxx	
Kapitalzins	%	xxx		xxx	
Lebensdauer Betriebsstd.		80'000		80'000	
Lebensdauer Anlage	a	20		20	
		Gesamt-Anlage		Gesamt-Anlage	
spez. Investitionskosten	CAPEX CHF/a	xxx	35%	xxx	32%
spez. Betriebskosten	OPEX CHF/a	xxx	10%	xxx	10%
Energiekosten:	CHF/a	xxx	50%	xxx	56%
20 kV Anschlusskosten	CHF/a	xxx	5%	xxx	3%
Gesamtkosten:	CHF/a	xxx	100%	xxx	100%
Gestehungskosten H2	CHF/Nm ³	xxx		xxx	
	CHF/kg	xxx		xxx	
bezogen auf Heizwert	Rp./kWh	xxx		xxx	
	Rel_Preis	xxx		xxx	
Gestehungskosten in €/kg	€/kg	xxx		xxx	

Aufteilung der Gestehungskosten:

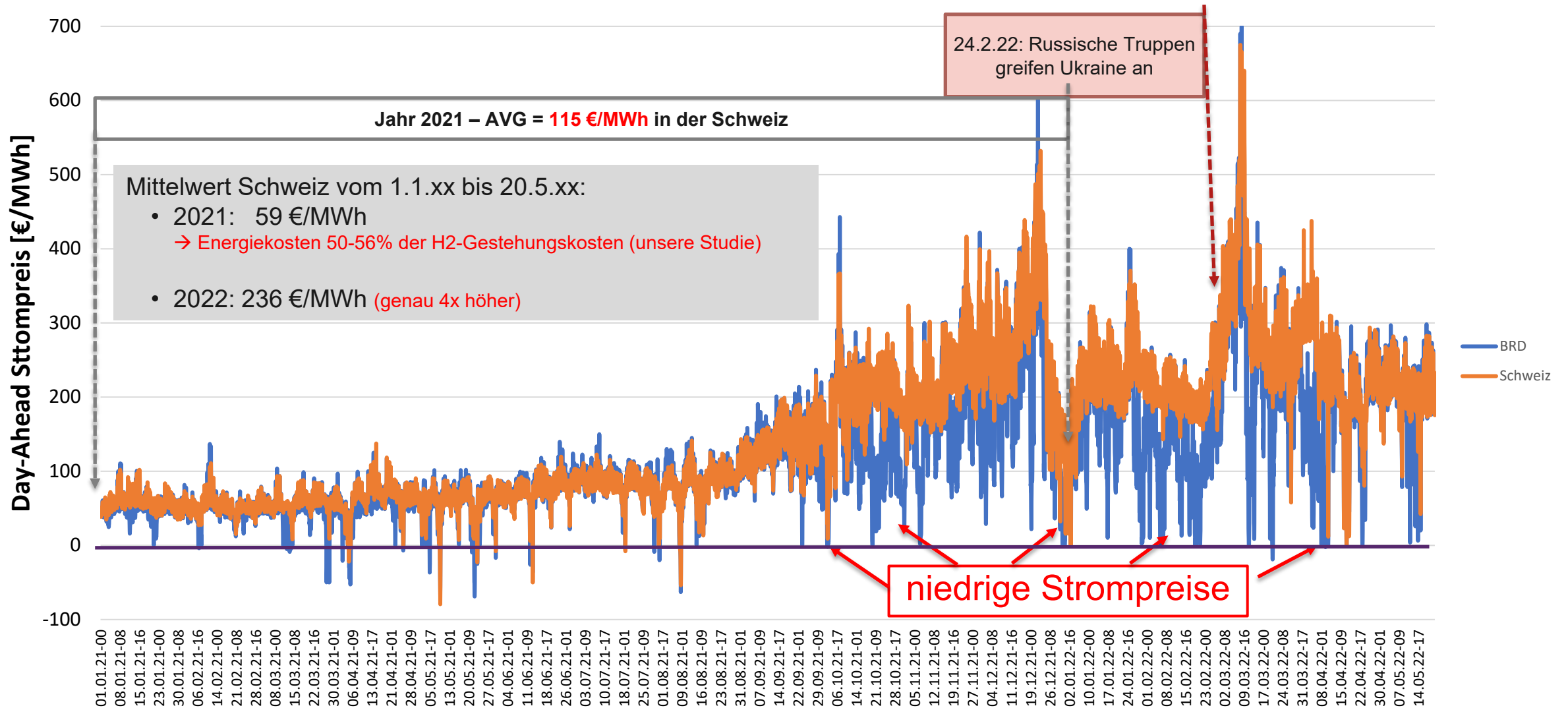
- **Energiekosten-Anteil: 50%...56%**
- **CAPEX: 32%...35%**
- **spez. Betriebskosten: 10%**
- **elektr. Anschlusskosten: 3%...5%**

=> Herausforderung: steigende Strompreise!



Aktuelle Herausforderung: „Hohe Strompreise“ (Energie > 50% der H2-Gestehungsk.)

Lösung: Ausbau der PV- und Windeinspeisung



Datenquelle: <https://www.smard.de/home/downloadcenter>, Expex-Spot, abgerufen am Fr 20.5.2022

Aktuelle Strompreise: Europa heute (1.6.23) & Schweiz letzte Woche

Base-Preise Europa **1.Juni 2023** (24h-Mittelwerte)
(Online seit dem 31.Mai 2023 ca. 13 Uhr)

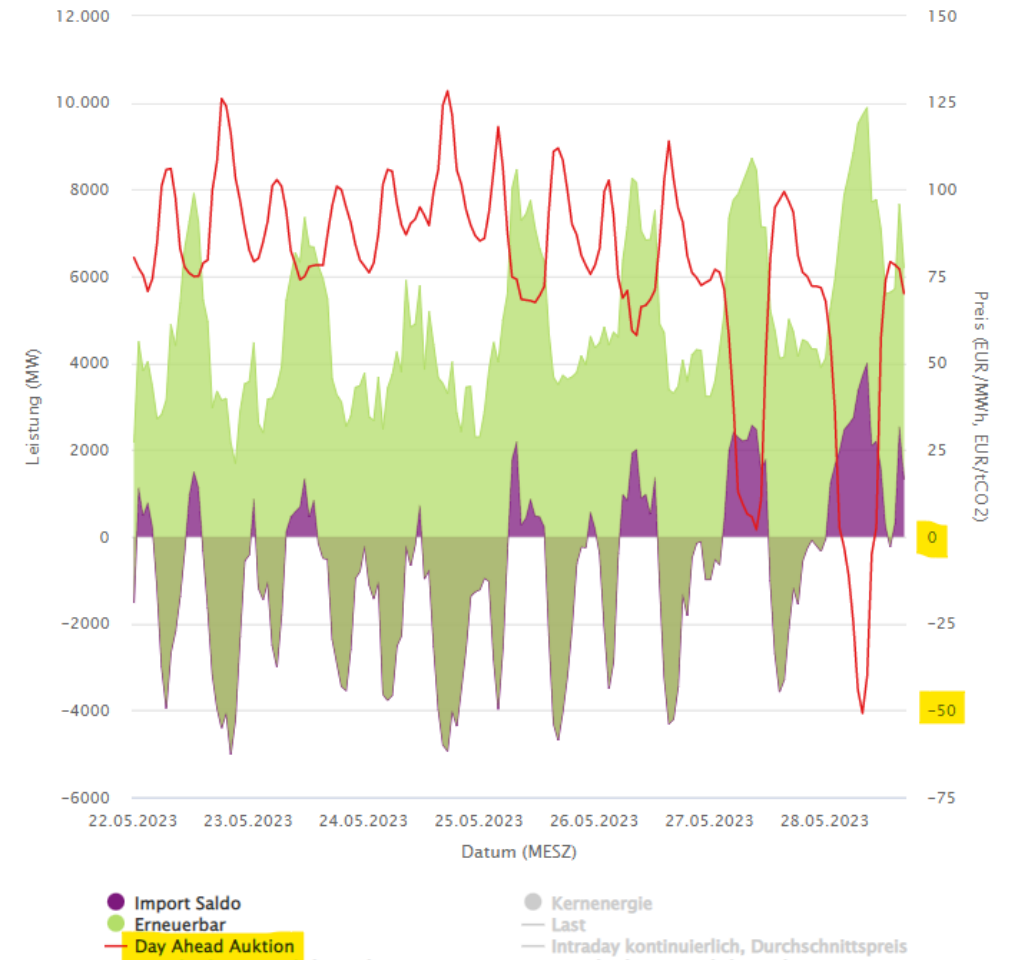


Preise für Do 1.6.23:

- ❖ No4: 0 ... 9 €/MWh
- ❖ CH: 16 ... 102 €/MWh



Schweiz in KW 21, 2023: Preise, EE & Import:



Quellen: <https://www.epexspot.com/en/market-data>;

https://www.energy-charts.info/charts/price_spot_market/

Einordnung typischer Preise & Kosten (bisherige Anlagen & Angaben)



H₂ Gestehungskosten (Strom 50 €/MWh):

- WK-Aarau¹: 9.1 €/kg
- Esslingen: 5 - 7 €/kg

H₂ Verkaufspreise:

- Mobilität: 4 - 10 €/kg
- Industrie: 2 - 8 €/kg
- Gasnetzeinspeisung: 1 - 2 €/kg
- Rückverstromung: 1 - 2 €/kg

H₂-Menge: 170 to /a (2.5 MW, 4'000h)
367 to /a (5.0 MW, 4'000h)



Güterverkehr 40 to: FC-Variante Konkurrenzfähig

Grund: LSVA → sonst sind alle Kostenteile bei FC aktuell noch höher!

	Diesel-Verbrennungsmotor Angaben gemäss (38)	Elektrischer Antrieb BZ-H ₂ Angaben gemäss (38)
Durchschnittlicher Verbrauch pro 100 km	32 Liter Diesel	8 kg H ₂
Wirkungsgrad	0.45	0.58
Fahrstrecke pro Jahr	100'000 km	
Preis Energieträger	0.135 CHF pro kWh Diesel	0.33 CHF pro kWh Wasserstoff
Wartungskosten	0.26 CHF pro km gem. (34)	0.37 CHF pro km gem. (34)
Strassensteuern (LSVA)	0.0228 CHF pro tkm gemäss (15)	Befreit gemäss (35)
OPEX	162'000.00 CHF pro Jahr	117'000.00 CHF pro Jahr
CAPEX	200'000.00 CHF (eigene Schätzung)	580'000.00 CHF (eigene Schätzung)
Kapitalzins	3 %	

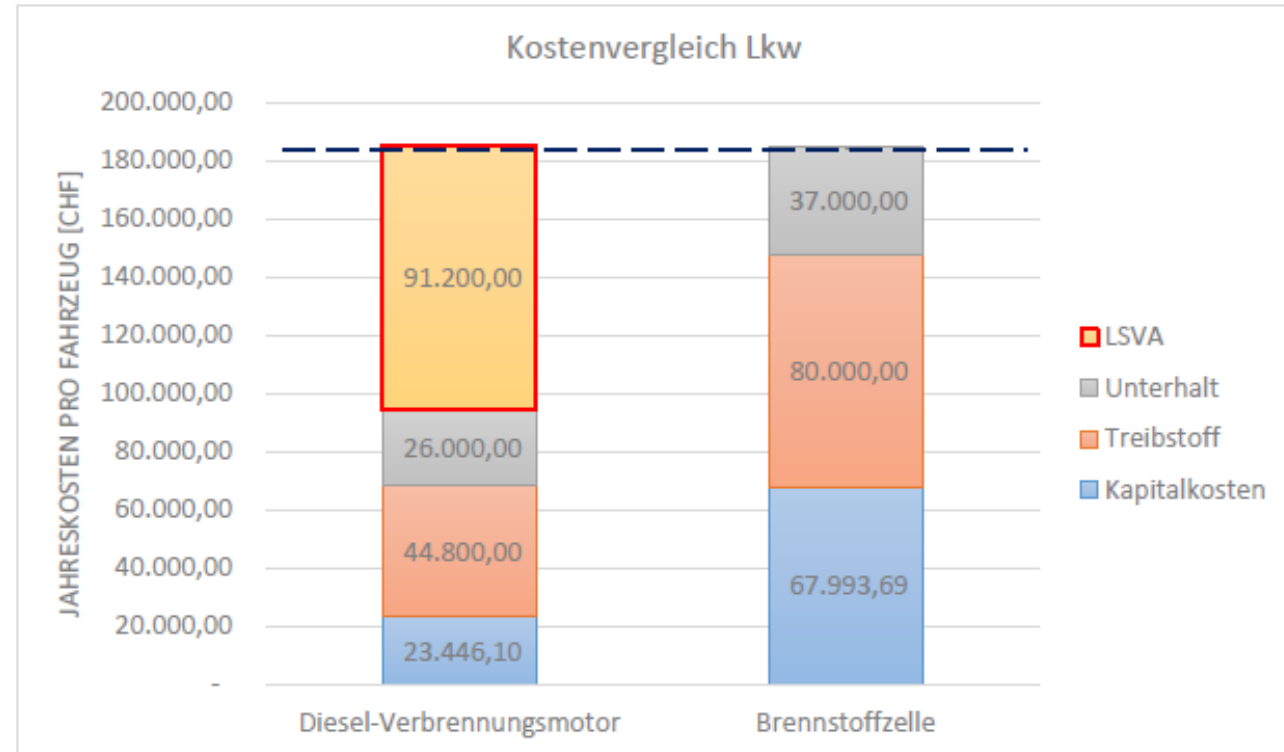


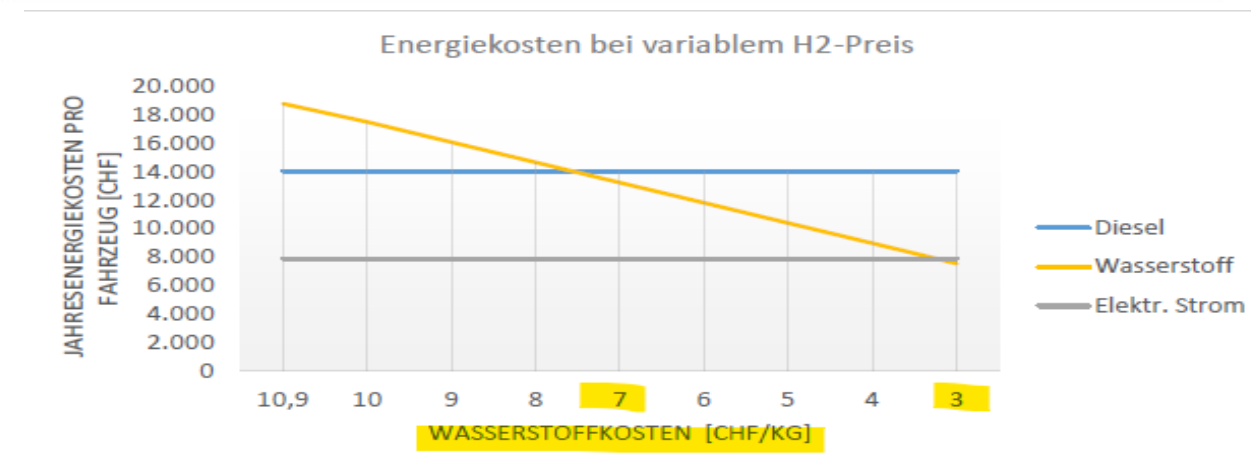
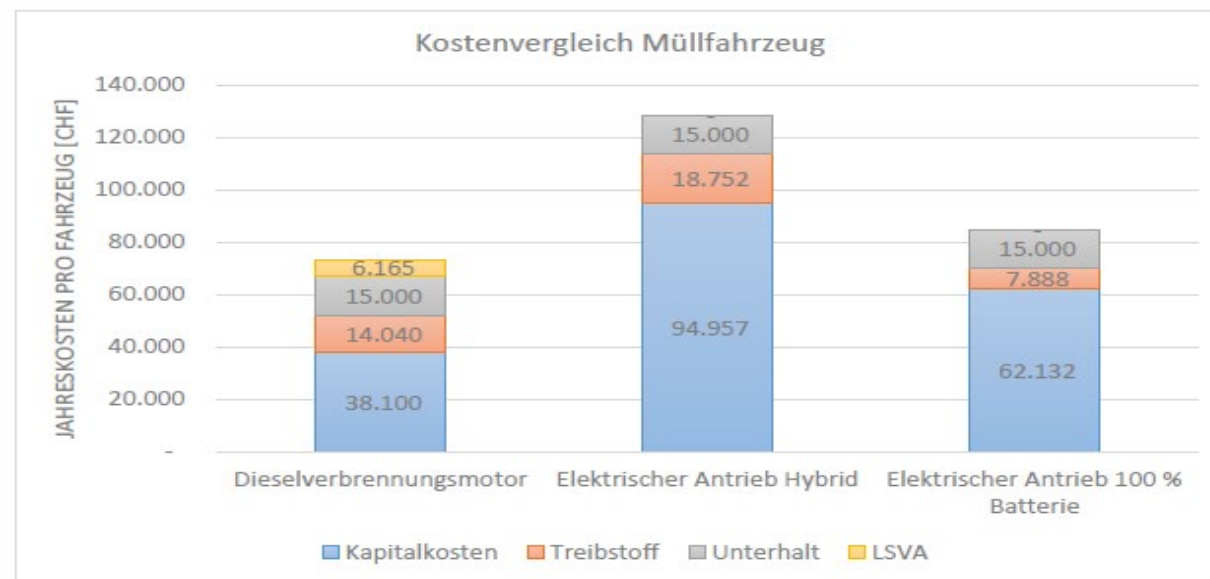
Abbildung 27 - Vergleich der Jahreskosten von Lastwagen mit 40 Tonnen Gesamtgewicht nach Antriebstechnologie

Quelle: [Analyse genereller Wasserstoff-Anwendungen sowie Potentialabschätzung für den Grossraum Buchs SG, MAS Lukas Pignitter, 2020](#)

Müllfahrzeuge: FC-Variante fast doppelt so teuer

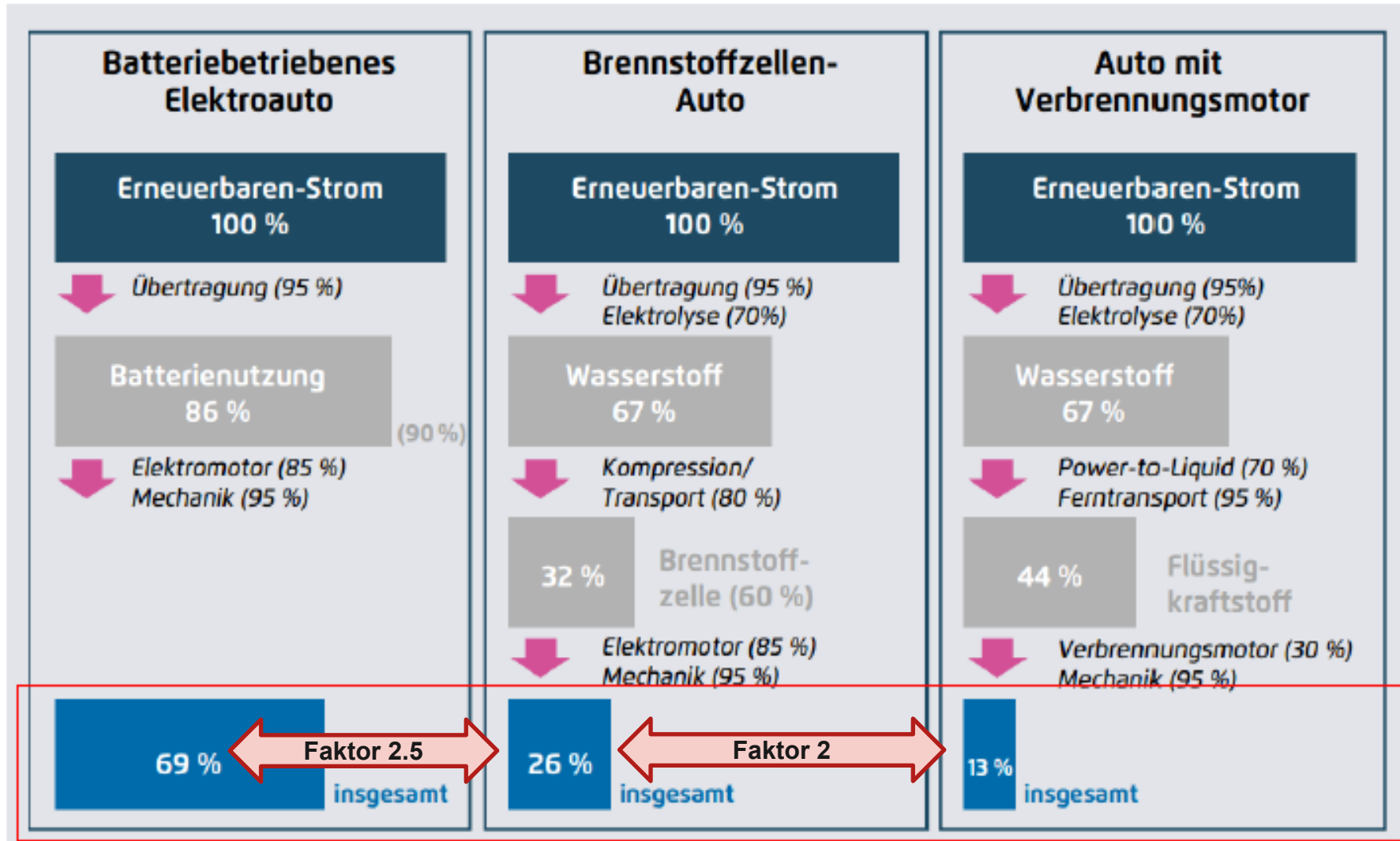
(auch Energiekosten sind höher!)

Wirkungsgrad	Diesel-Verbrenner = 0.45	Batterie. = 0.89 Brennstoffzelle = 0.58	Batterie. = 0.89
Preis Energieträger	0.135 CHF pro kWh Diesel	0.15 CHF pro kWh el. Netzstrom 0.33 CHF pro kWh Wasserstoff	0.15 CHF pro kWh el. Netzstrom
Batteriekapazität	n.a.	85 kWh	255 kWh
Arbeitstage pro Jahr	260		
LSVA	2'377.00 CHF pro Jahr	befreit	befreit
OPEX	35'205.00 CHF pro Jahr	33'752.00 CHF pro Jahr	22'888.00 CHF pro Jahr
CAPEX	325'000.00 CHF	810'000.00 CHF	530'000.00 CHF
Kapitalzins	3 %		
Annuität	11.7 %		
Betrachtungszeitraum	10 Jahre		



Quelle: [Analyse genereller Wasserstoff-Anwendungen sowie Potentialabschätzung für den Grossraum Buchs SG, MAS Lukas Pignitter, 2020](#)

Effizienz: Batteriebetriebe am höchsten, Brennstoffzelle doppelt so effizient wie synth. Kraftstoffe!



Wasserstoff & synthetische Kraftstoffe sind weniger effizient, aber „besser“ speicherbar als elektr. Energie!

Speicher sind für die integration der fluktuierende Wind- & PV- Einspeisung wichtig!

Quelle: \201805 ZukunftStrombasierterBrennstoffe_Agora.pdf

2. Sektorkopplung

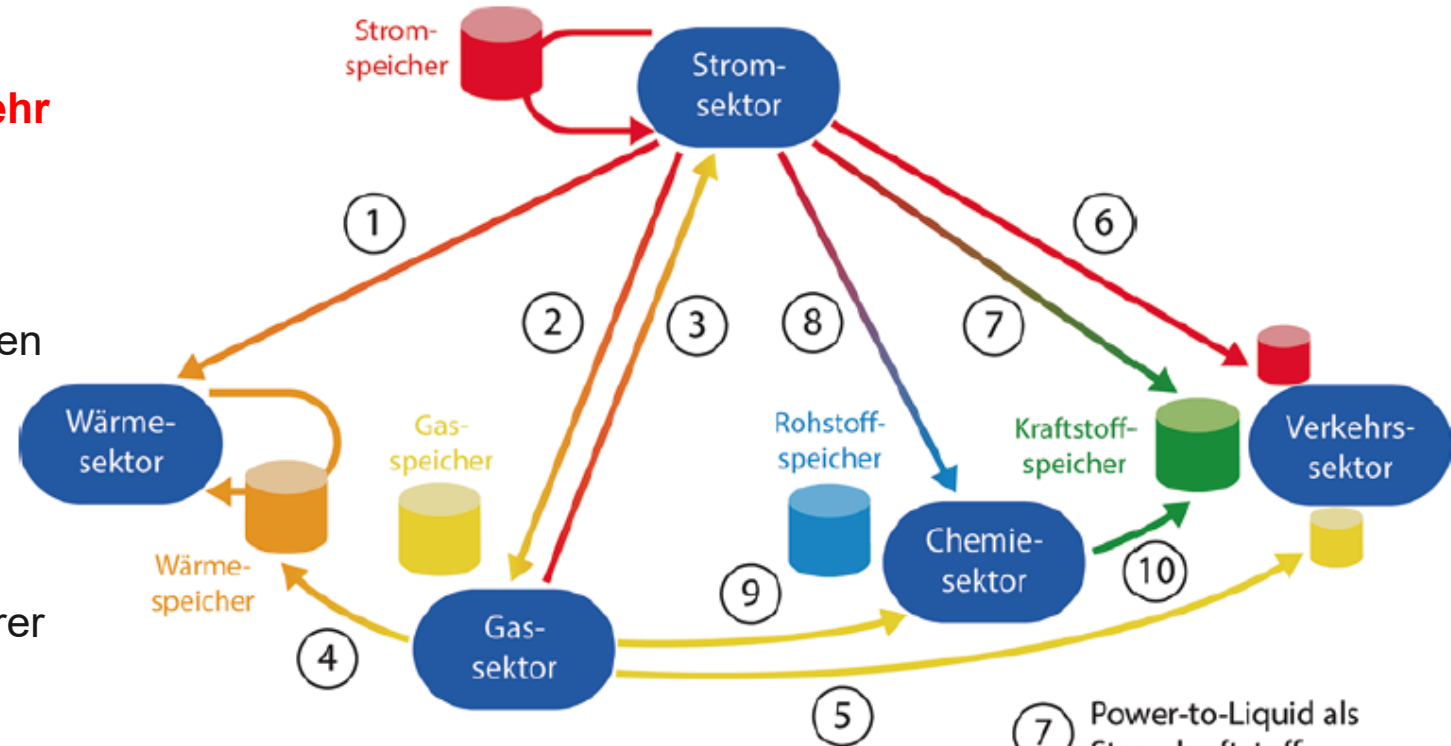
Sektorkopplung → Flexibilisierung & Optimierung der E-Systeme

Die Sektorkopplung verbindet die Sektoren

Strom (Quelle) – Wärme – Gas – Chemie – Verkehr

Wesentliche Vorteile von «Power-to-X»:

- a) **Strom** kann relativ **leicht «erneuerbar»** gewonnen werden (PV & Wind, Wasserkraft & Biomasse)
→ Damit können auch die anderen Sektoren **dekarbonisiert** werden
- b) **Flexibilisierung**, da auch die Speicher der anderer Sektoren nutzen können!
- c) **Wirkungsgradvorteile bei Strom**
 - Teilweise erhebliche Effizienzsteigerungen:
z.B. E-Mobilität, Wärmepumpen (PtH), etc.
 - Teilweise mit Effizienz Einbußen, aber Speicher:
z.B. Power-to-Gas



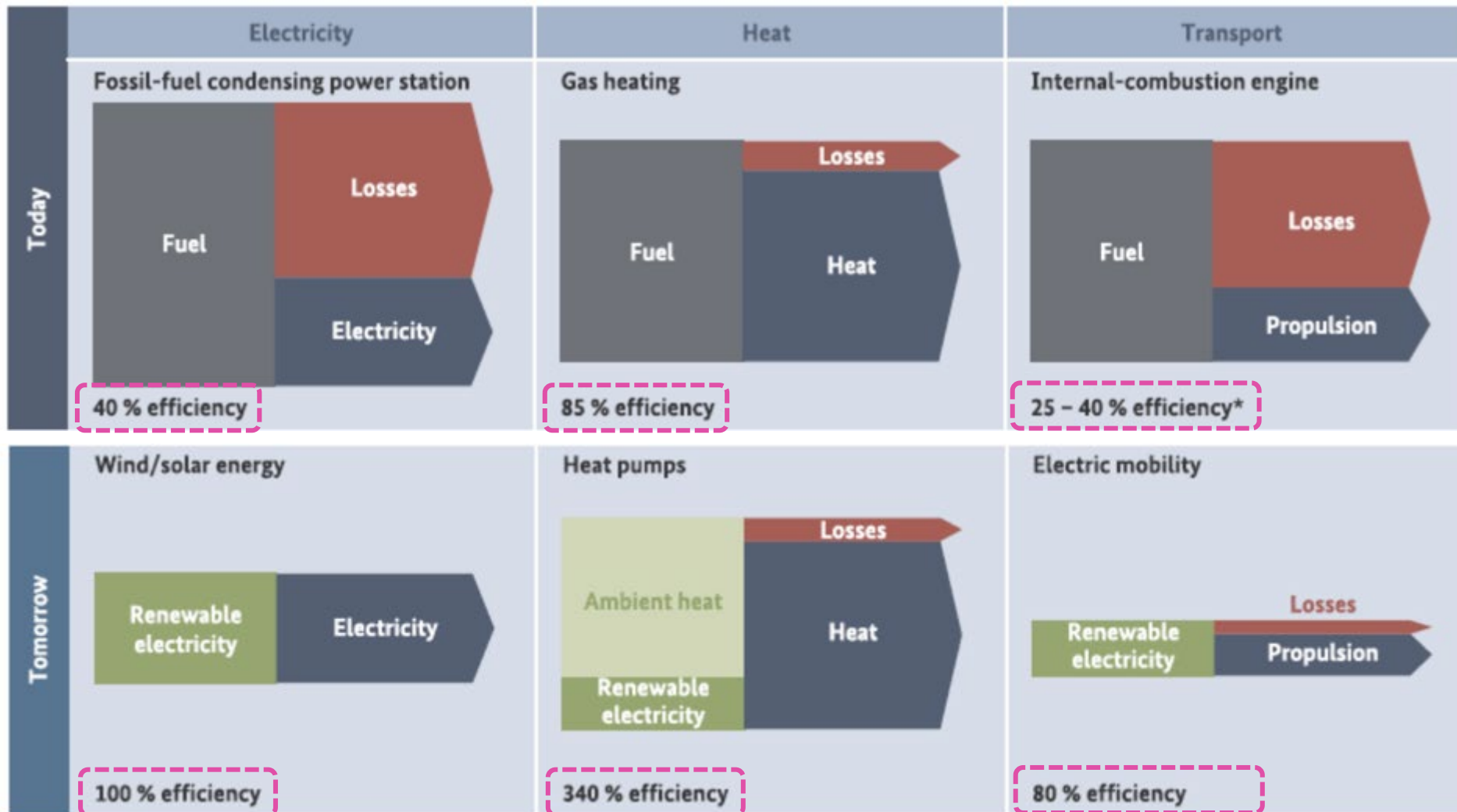
- ① Power-to-Heat, Wärmepumpe Flexible KWK
- ② Einspeichertechnologie Power-to-Gas
- ③ Power-to-Gas als Stromspeicher

- ④ Power-to-Gas als Wärmespeicher
- ⑤ Power-to-Gas als Stromkraftstoff
- ⑥ Elektromobilität

- ⑦ Power-to-Liquid als Stromkraftstoff
- ⑧ Einspeichertechnologie Power-to-Chemicals
- ⑨ Power-to-Gas als Rohstoffspeicher
- ⑩ Power-to-Chemicals als Kraftstoffspeicher

Quelle: [Sternier Michael \(2017\). Energiespeicher: Bedarf – Technologien – Integration, Springer Vieweg](#), Seite 30

Effizienzen «Heute» und mit «Power2X» (Sektorkopplung) !!!



Ausgangspunkt
„Erneuerbarer Strom“
→ Erhebliche
Wirkungsgrad-
Vorteile bei P2X

Quelle: Energieatlas 2018/ AGORA

Sektorkopplung im «Smart Home»

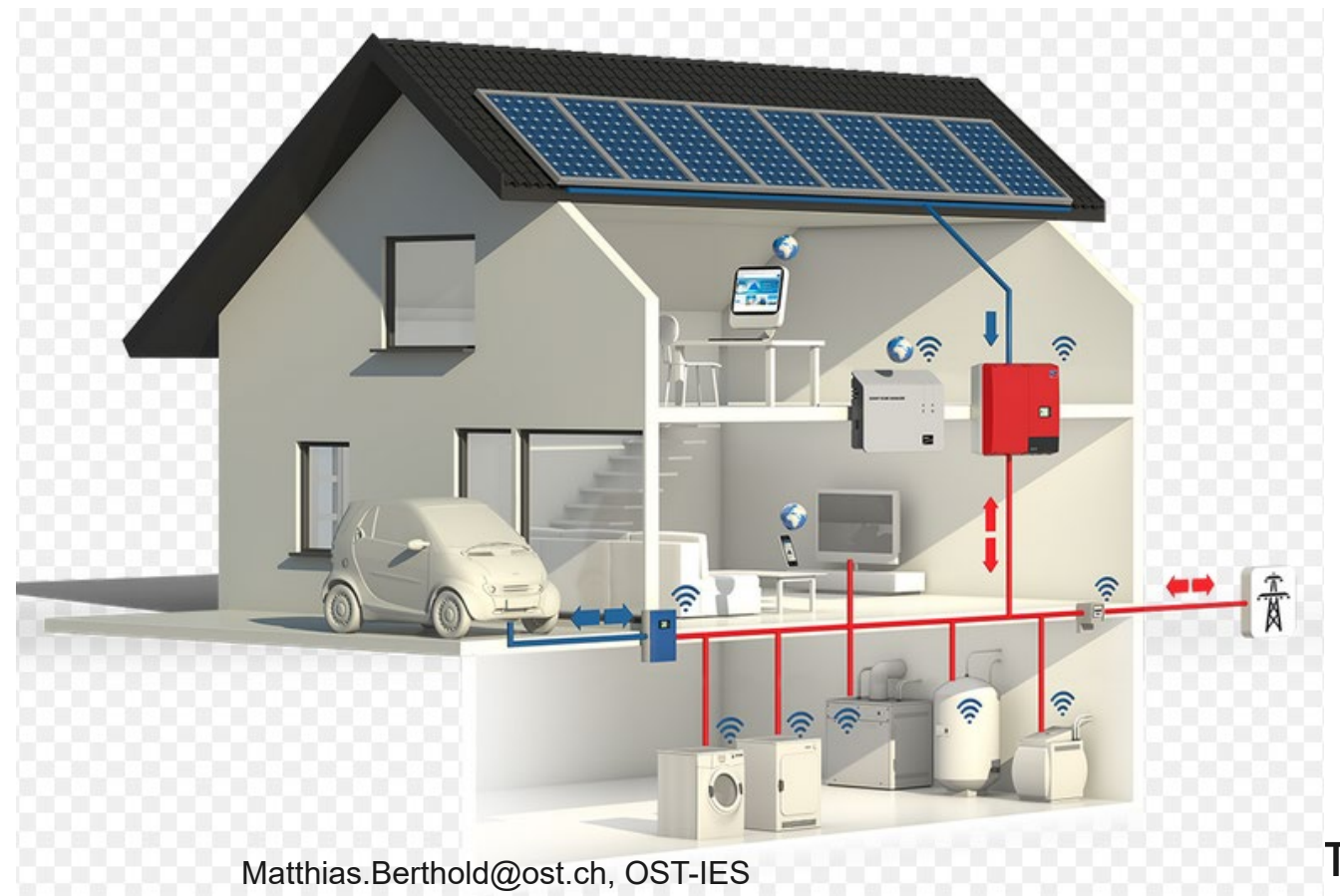
Smart Home - Optimieren des Energiebezugs mit Hilfe von

- Demand-Side-Management (DSM) und/oder
- lokalen Akkuspeichern (z.B. Second Life von Fahrzeug-Akkus)

Mit Demand-Side-Management to:

- P2M: Elektro-Fahrzeug
- P2H: thermische Lasten
(Warmwasserboiler, Wärmepumpe, etc.)
- Geschirrspüler, Waschmaschine, Trockner, Gefriertruhe
(«Nice to have», aber kaum Potential)

Quelle: SMA



Sektorkopplung mit «V2G»

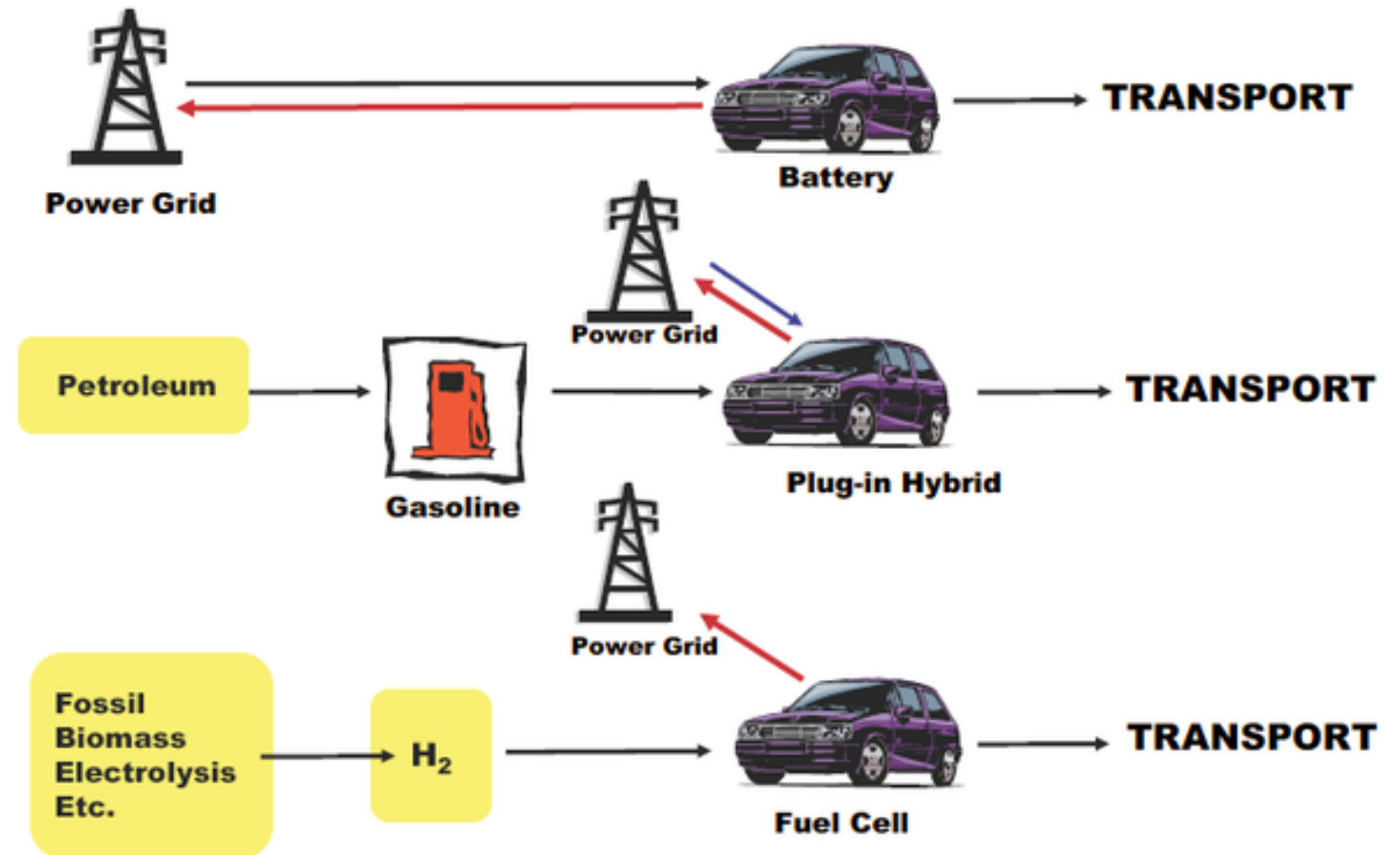
Vehicle to Grid

- ❖ Dezentrale Speicherung
- ❖ Akku von Elektro- und Hybrid-Fahrzeugen kann zwischenzeitlich als Speicher für Energie aus dem Netz benutzt werden.
- ❖ ca. **90%** der Millionen Fahrzeuge „stehen“

Herausforderungen:

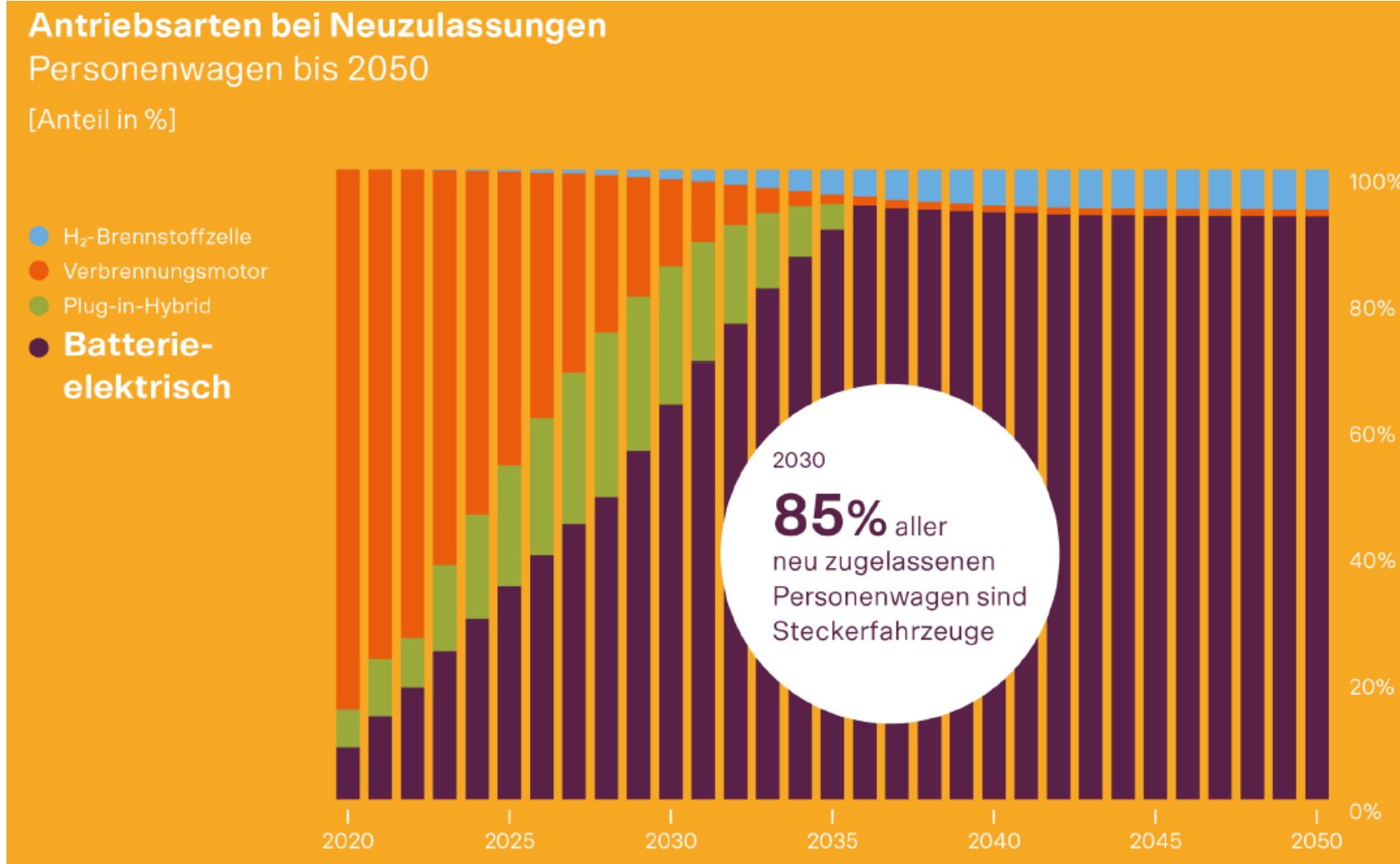
- **Bidirektionales** Laden
- **Kommunikations-** und **Steuerungsaufwand**
- **Zyklen & Akku-Lebensdauer**

OUR PROPOSAL - V2G Power



Quelle: University of Delaware

Sektorkopplung: E-Mobilität wird dominieren



Frage:

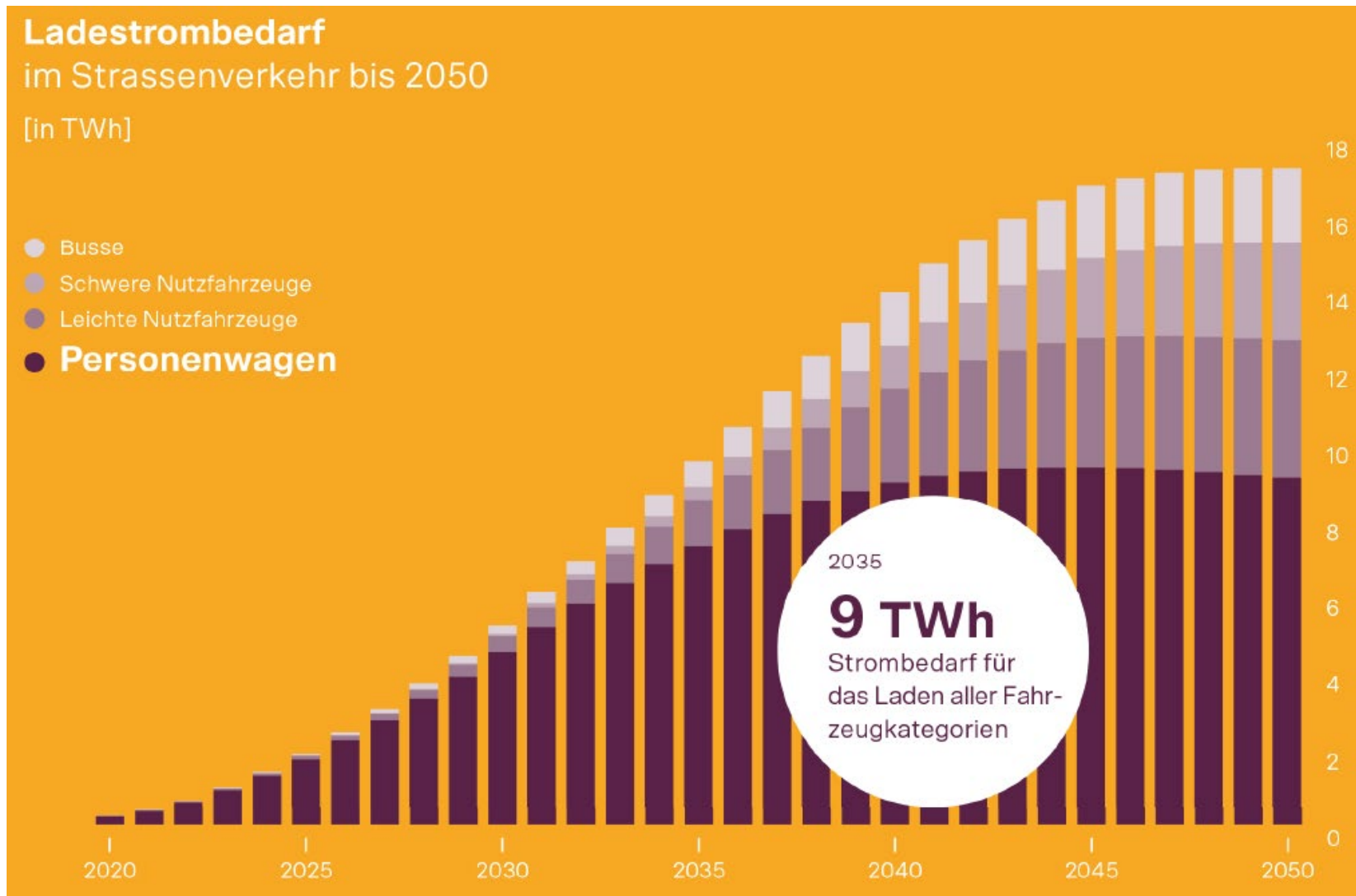
Um **wieviele** % wird der **Strombedarf** durch **E-Mobility** steigen?

Endenergie Schweiz 2019

(vor Covid):

- ~ 60 TWh/a Strom
- ~ 80 TWh/a Erdöltreibstoffe

E-Mobility erhöht Strombedarf um ca. +15...+25% (!)



- Schweizer Strombedarf aktuell knapp 60 TWh/a (=100%)
- Strombedarf wird um ca. 15%...25% steigen
- ABER: Gesamt-Energiebedarf wird deutlich abnehmen

BFE-Studie: <O:\Dokumente\Literatur\BFE\2023 E Laden Schweiz.pdf>

Quellen: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-94975.html>

<https://www.laden-punkt.ch/de/home>

P2G: Power to Gas - Wasserstoffspeicher

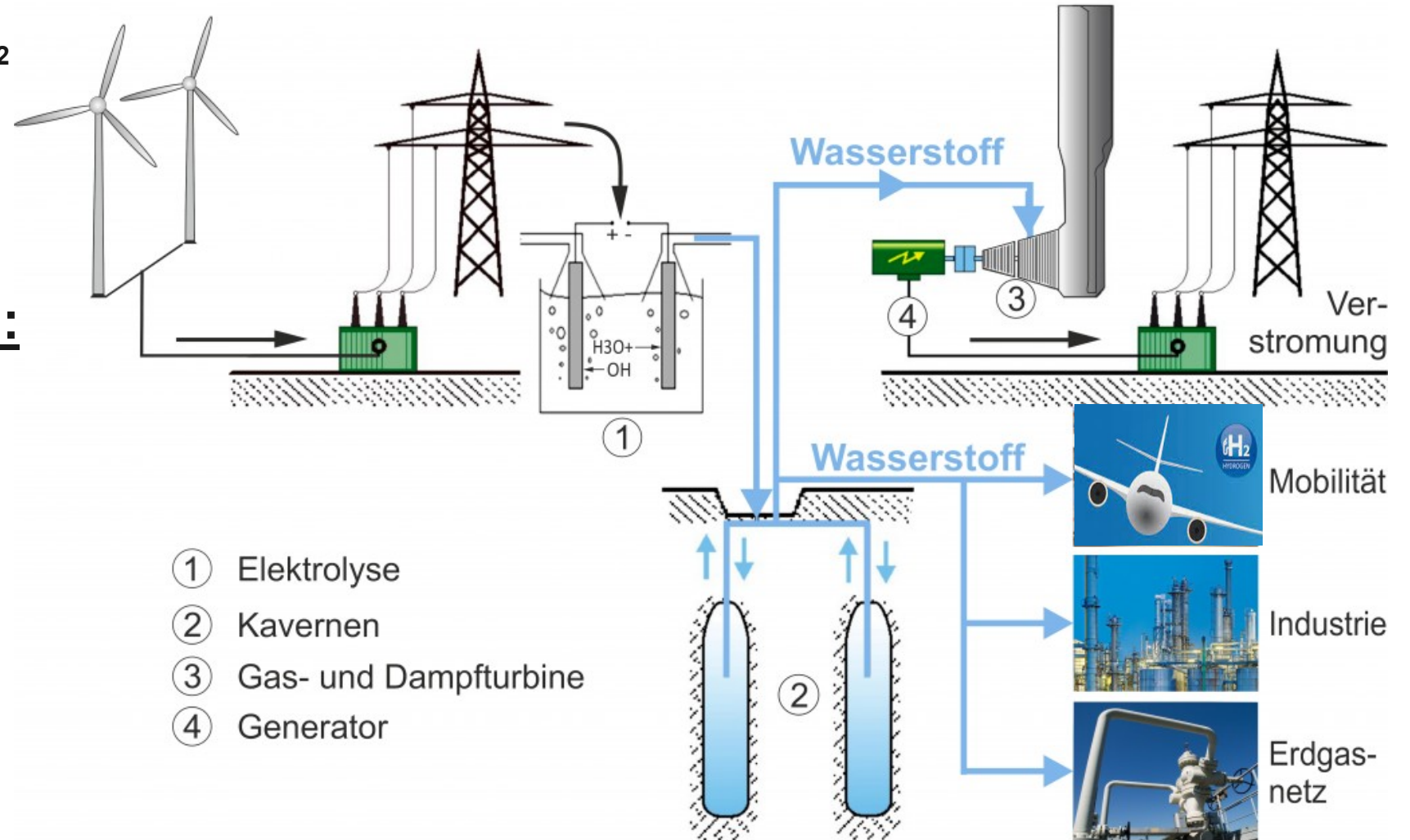
Wasser wird durch den elektrischen Strom in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten:



Wirkungsgrade (H₂):

Strom → Gas: 55...75%

Strom → Gas → Strom: 35...45%

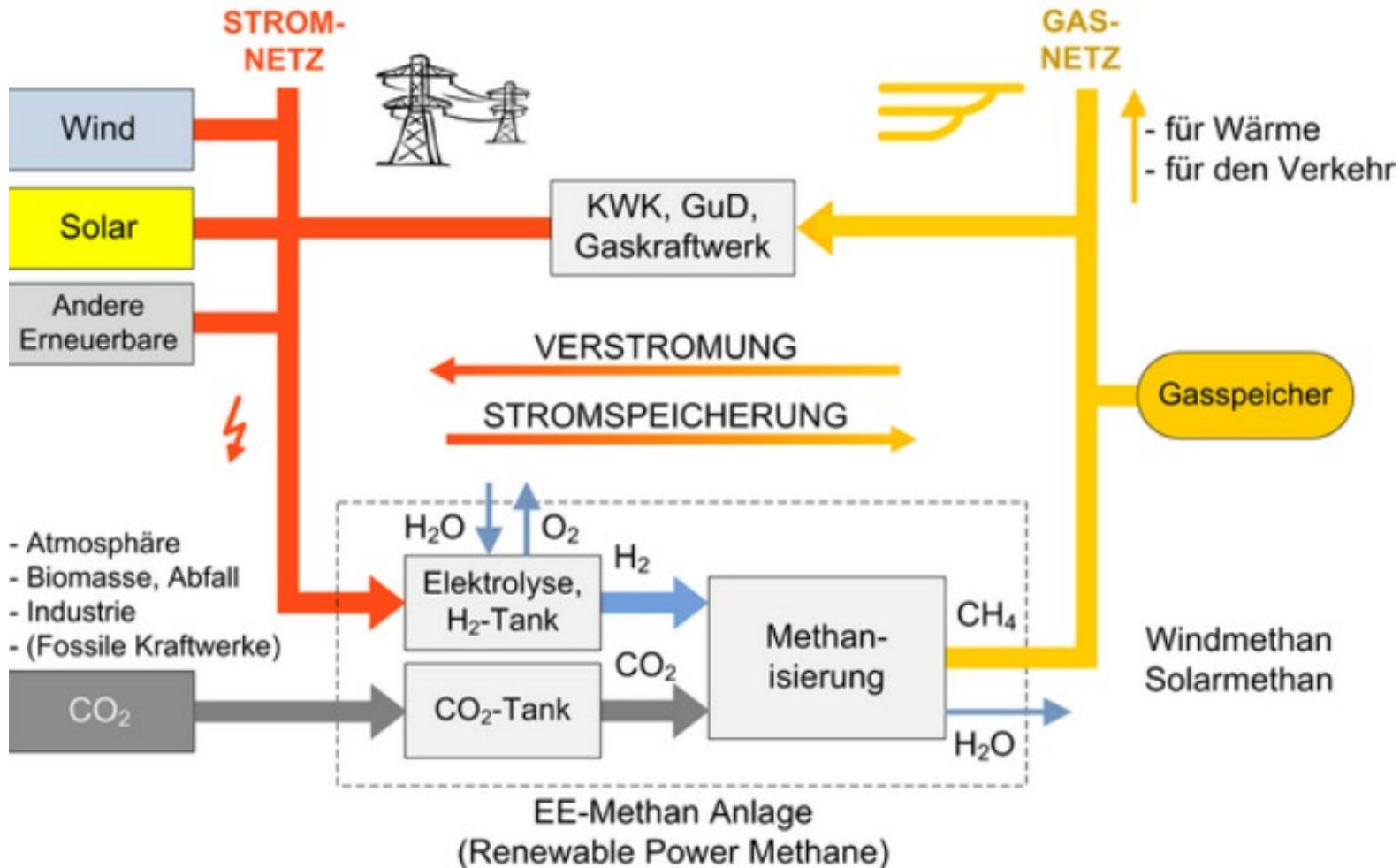


Quelle: <http://kbbnet.de>

P2G: Power to Gas - Methanisierung

Methan als EE-Gas: $4 \text{ H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$ (exotherme Reaktion)

Vorteil: Speichermöglichkeit im Erdgasnetz



Wirkungsgrade (Methan):

Strom → Gas: 50...64%

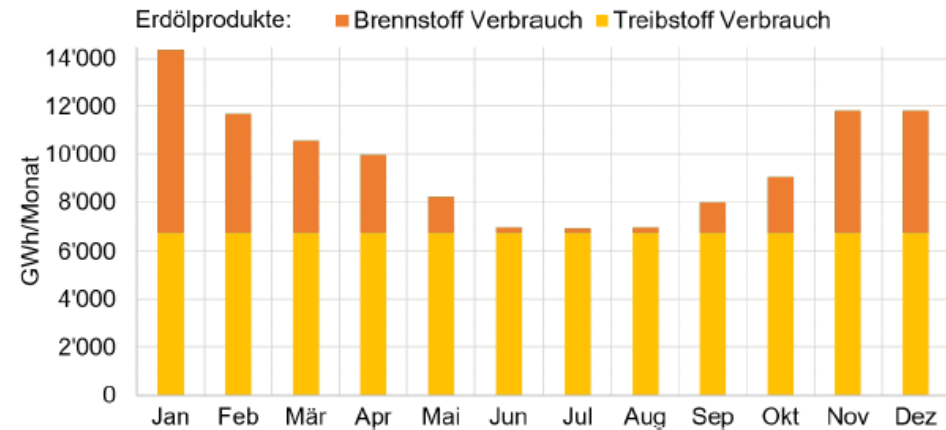
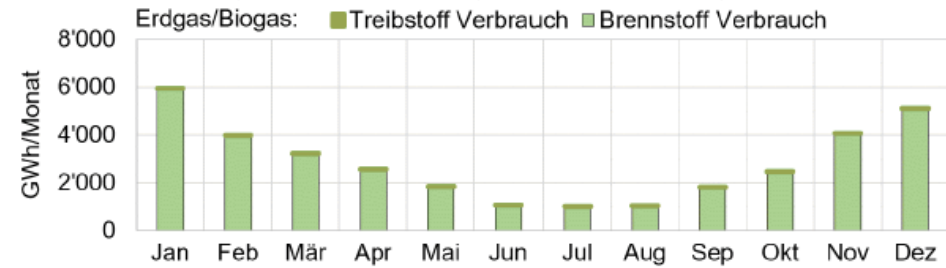
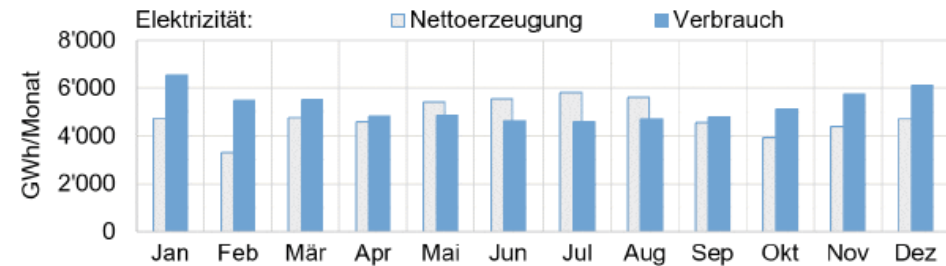
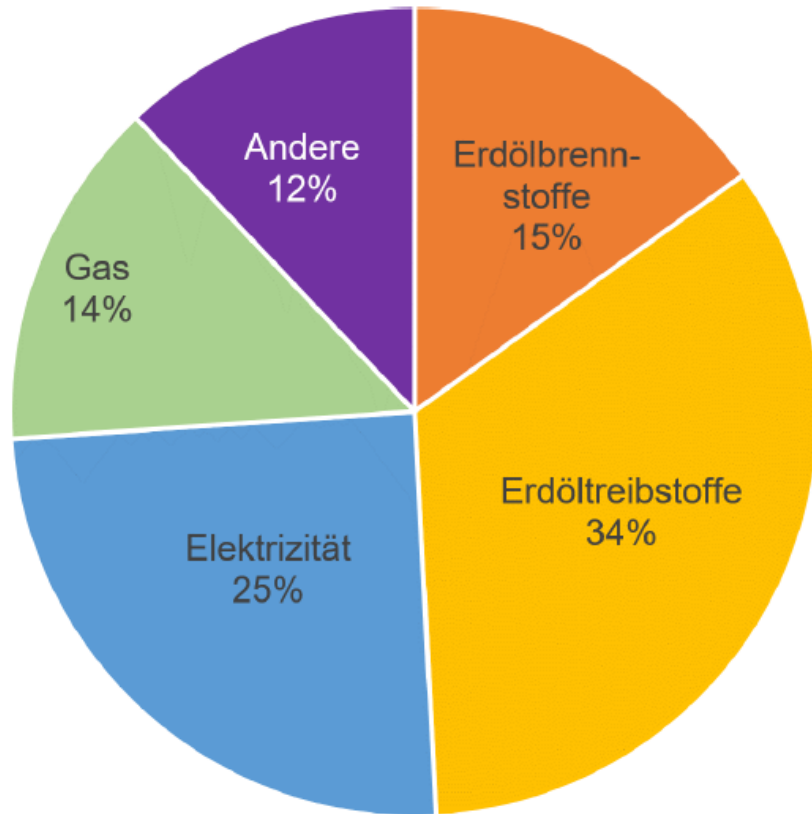
Strom → Gas → Strom: **30...38%**

Bildquelle: <http://www.weltderphysik.de/>

Größenordnungen der Energie bei Sektorkopplung

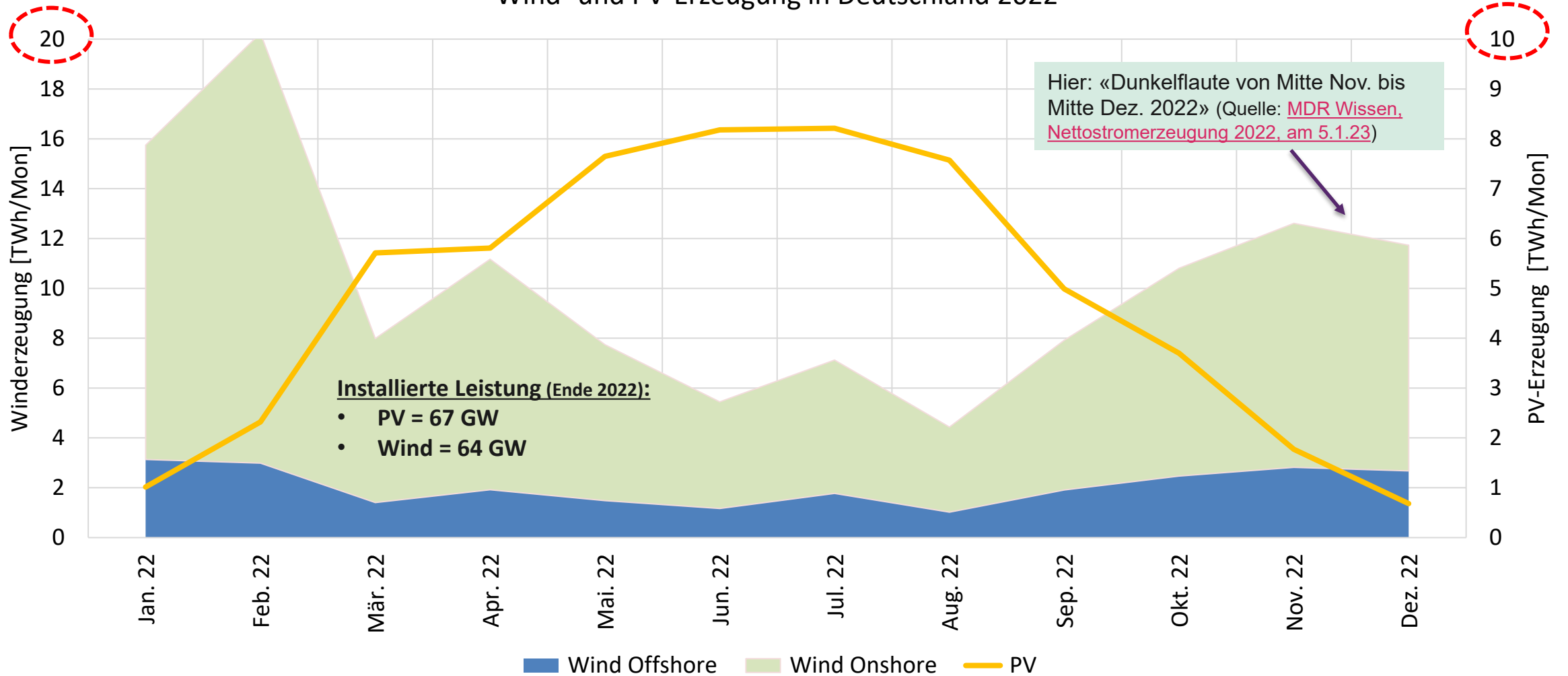
Energie Endverbrauch im Jahr 2017

Energie: 849 PJ = 236'053 GWh
 Elektrische Energie: 210 PJ = 58'483 GWh



Wind & PV können sich perfekt ergänzen!

Wind- und PV-Erzeugung in Deutschland 2022



Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/>

Anteil «Erneuerbare Strom»: Status und Ziele

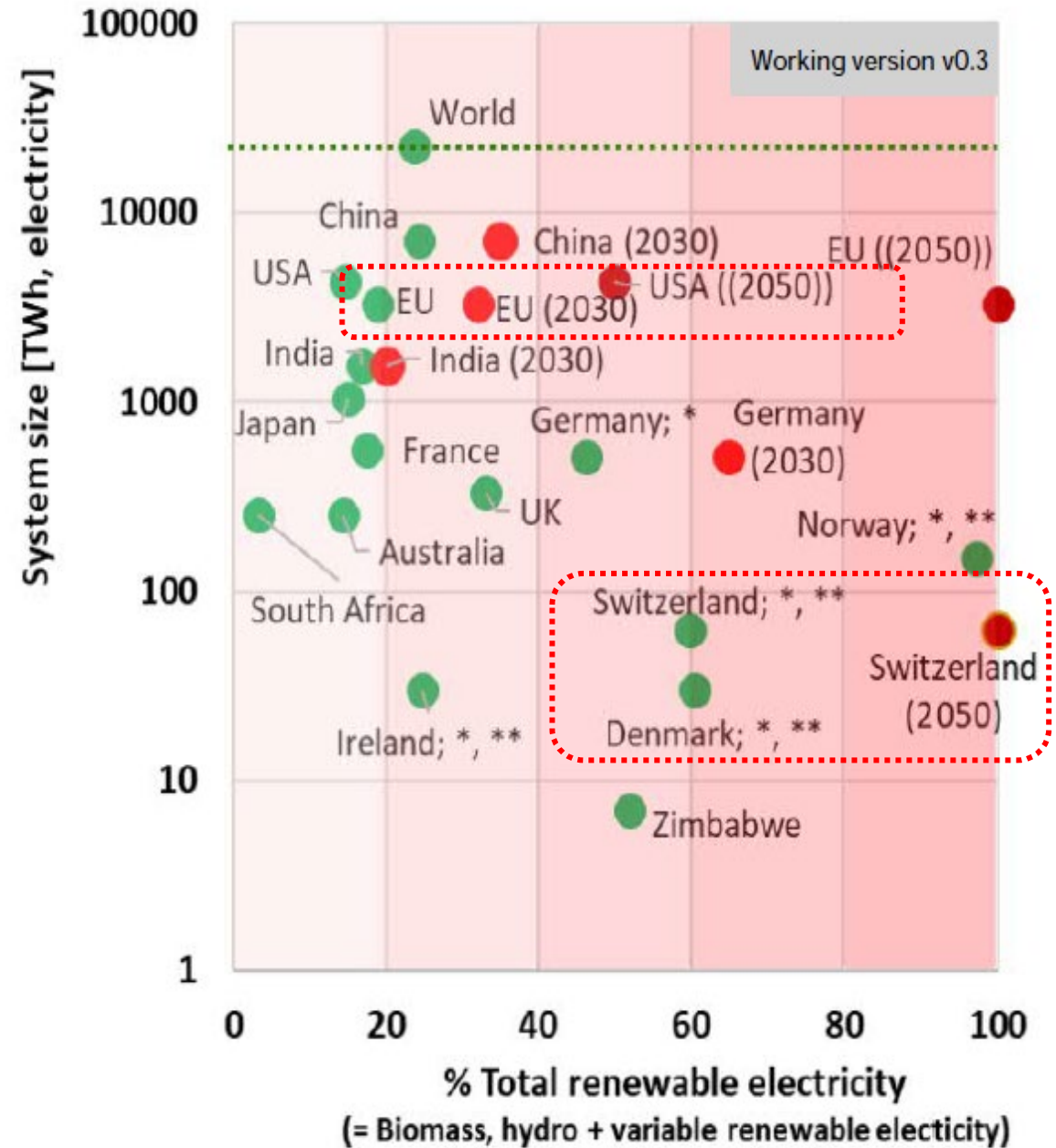
Schweiz

- Aktuell ca. 60 %
- 2050 → 100 %

Europa (Verbund-Netz):

- Aktuell ca. 20 %
- 2030 ca. 35 %
- 2050 → 100 %

- Status
- Targets



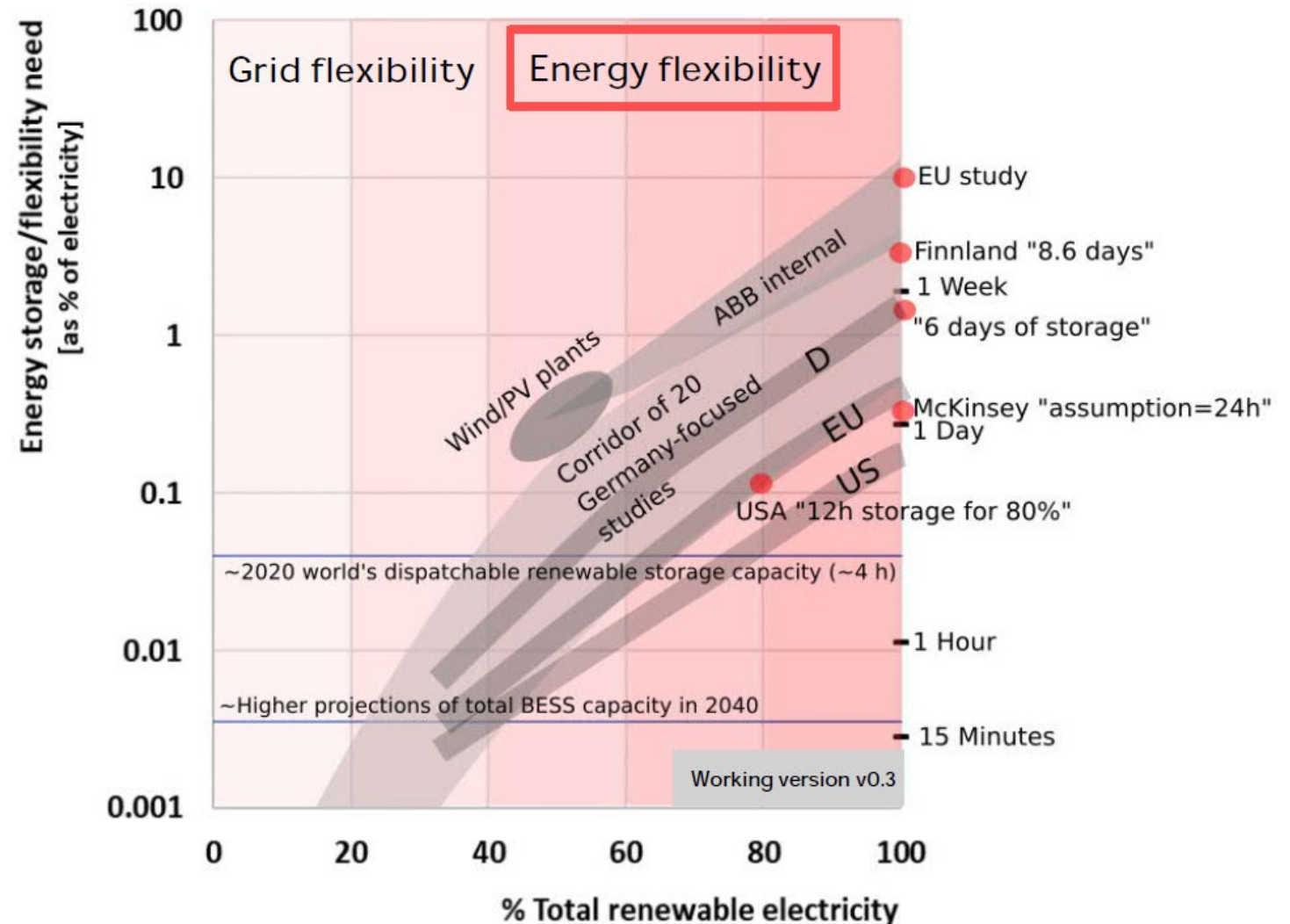
* blessed with renewables (hydro)

** connected to large grid

nEE benötigen wieviel Speicher?

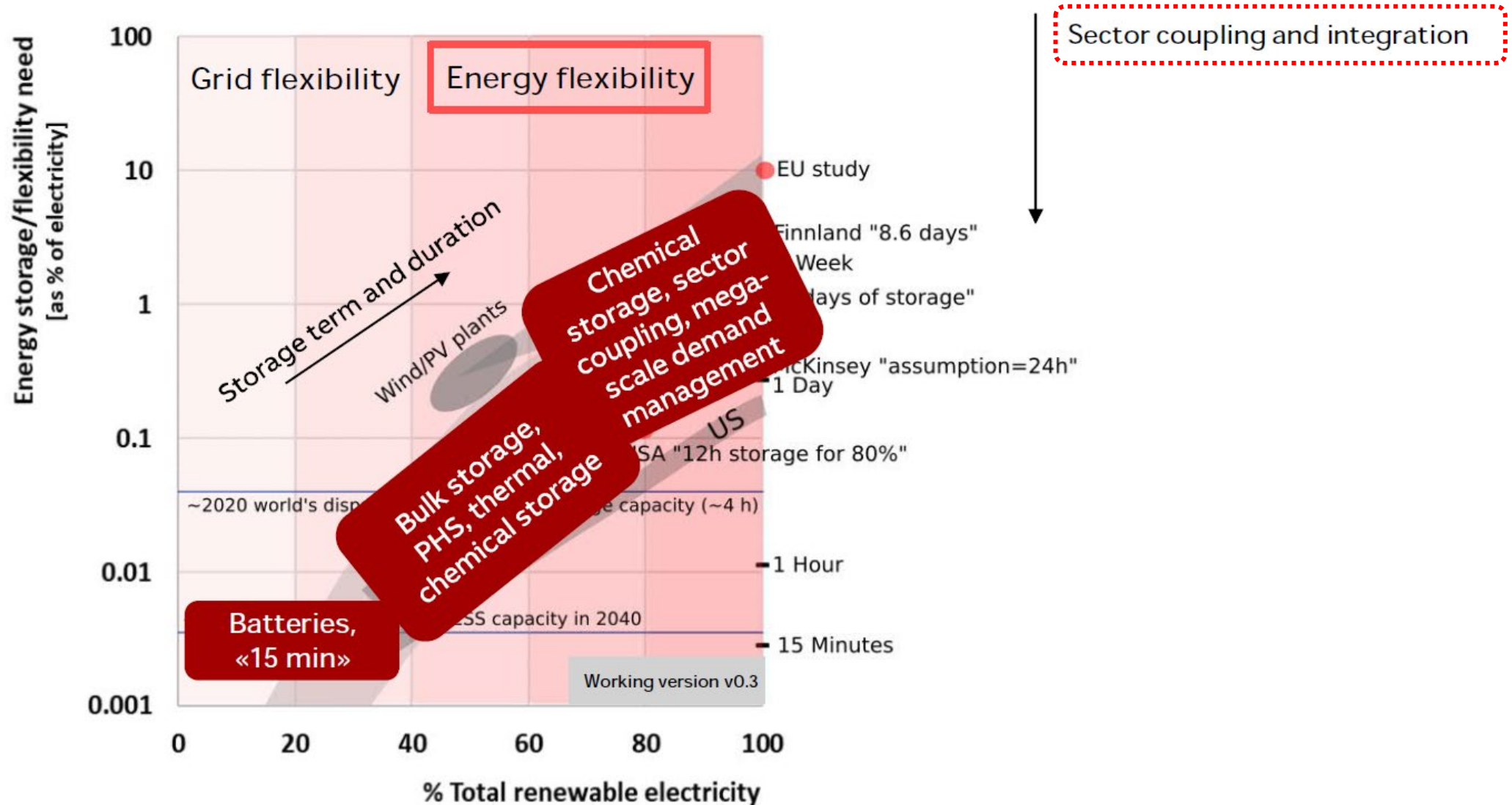
(„Neue erneuerbaren Energieträger“ = i.W. PV & Wind)

- a) Bis 30% nEE sind kaum Speicher nötig (reicht Grid-Flexibilität des bestehenden Kraftwerkspark!)
- b) Bei 100% EE fehlt dann die Regelbarkeit der Fossilen => Speicherbedarf steigt **exponentiell**(!)
- c) 2020: Ohne Fossile könnte man die Welt nur 4h lang mit Energie versorgen (inkl. aller Speicher, PSKW, Batterien, etc..)!!!
- d) Europa: Ziel 10-14 Tage müssen abgedeckt werden, wegen „Dunkelflaute“:
«Wintertage mit wenig PV und Wind»

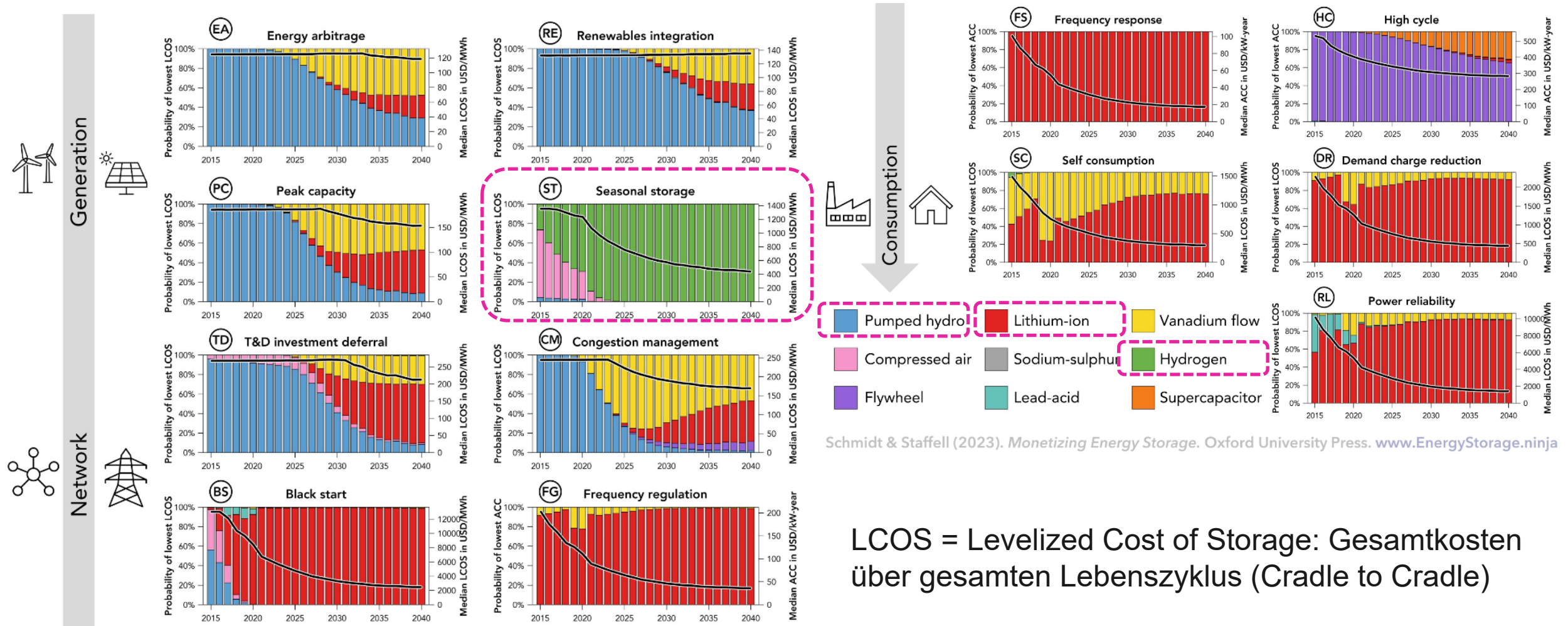


→ **Energie & Speichermix wird benötigt!!!**

Unterschiedliche Speicher notwendig!



“Günstigste Speichertechnologie nach Anwendung”



Schmidt & Staffell (2023). *Monetizing Energy Storage*. Oxford University Press. www.EnergyStorage.ninja

LCOS = Levelized Cost of Storage: Gesamtkosten über gesamten Lebenszyklus (Cradle to Cradle)

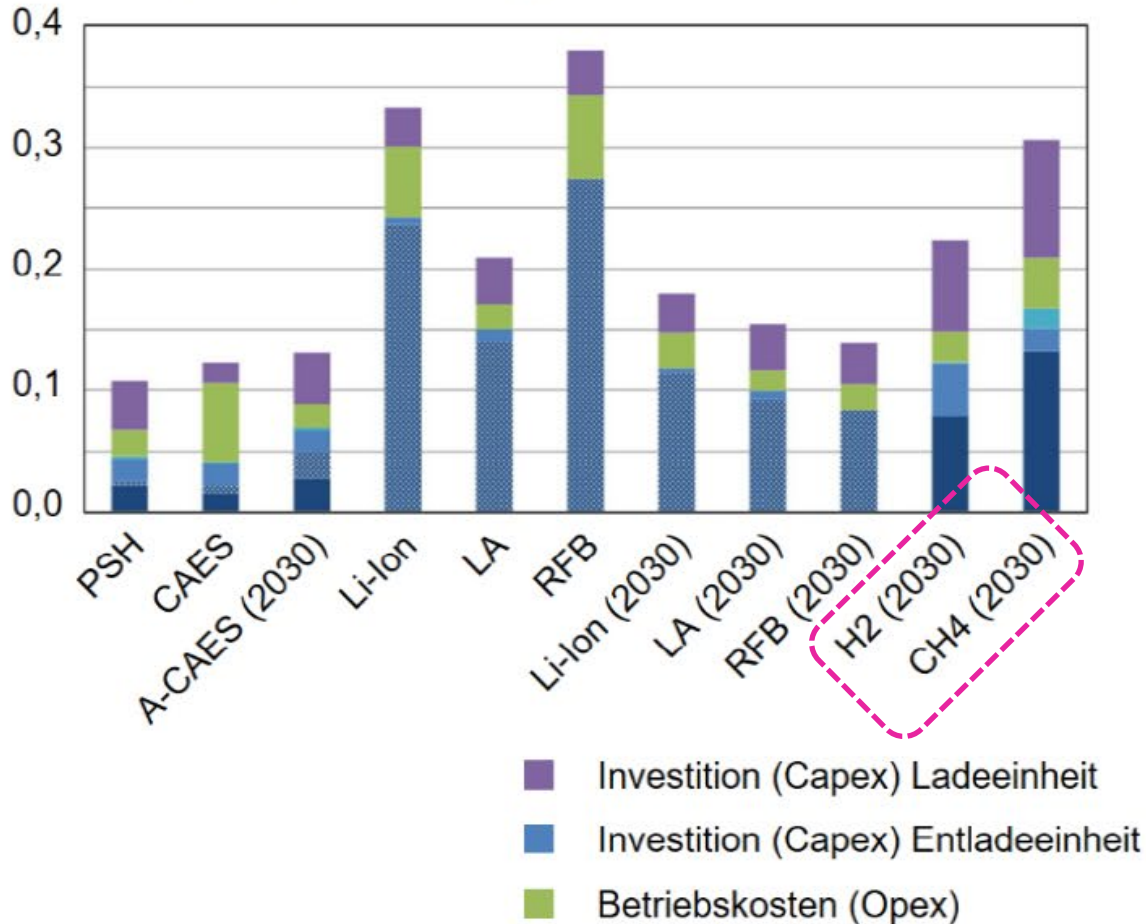
Quelle: Schmidt & Staffell (2023), Oxford University (Link: https://twitter.com/iain_staffell/status/1650436634381262848?t=adHse8ZdMBwkgvUxZpAkzw&s=07)

Datengrundlage – Interaktiv: <https://energystorage.shinyapps.io/LCOSApp/>

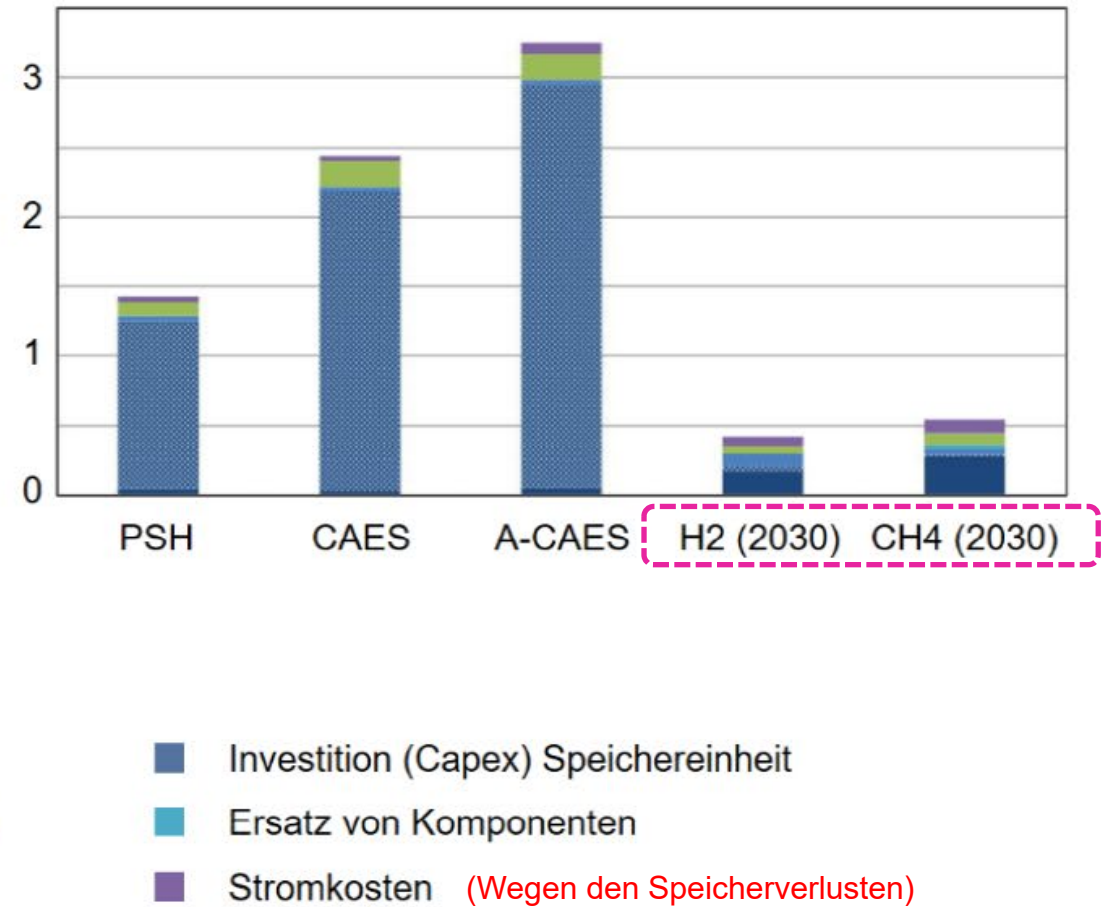


Levelized Cost of Storage LCOS (Gewichtete Speicherkosten)

LCOS (€/kWh) für Kurzzeitspeicherung
 365 Zyklen pro Jahr, Strompreis von 3 ct/kWh



LCOS (€/kWh) für Langzeitspeicherung
 (1 Zyklus pro Jahr, Strompreis: 3 ct/kWh)



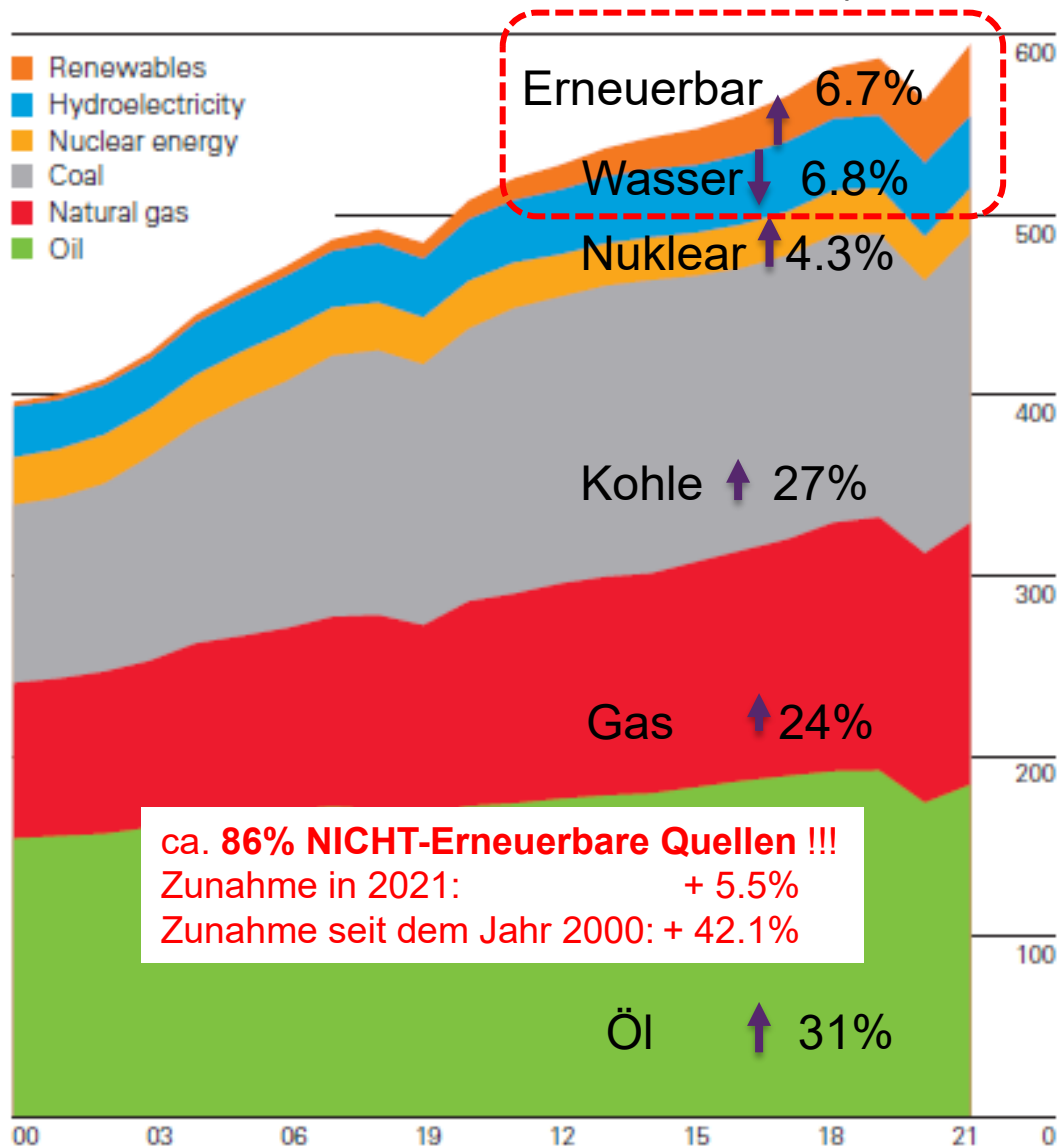
Quelle: [BFE Energiespeicher Übersicht 2021](#)

3. Wofür Wasserstoff & Sektorkopplung?

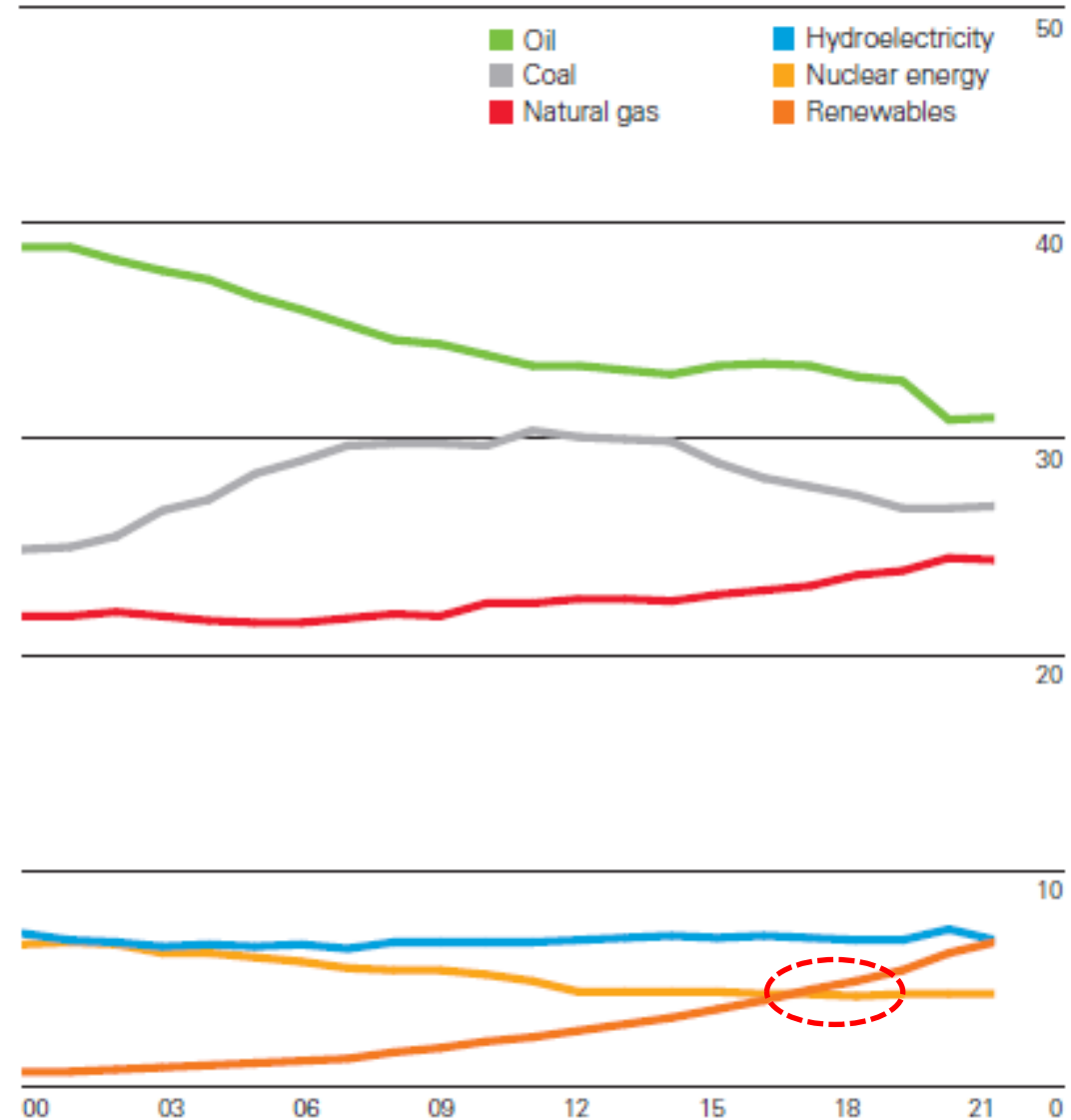
Kurzbetrachtung des bisherigen und zukünftigen
Energiesystem

Primär Energieverbrauch Weltweit steigt & > 80% Fossil!

von 2000 bis 2021 in ExaJoule (1 EJ = 278 TWh) und Relativ in %



ca. 86% NICHT-Erneuerbare Quellen !!!
Zunahme in 2021: + 5.5%
Zunahme seit dem Jahr 2000: + 42.1%

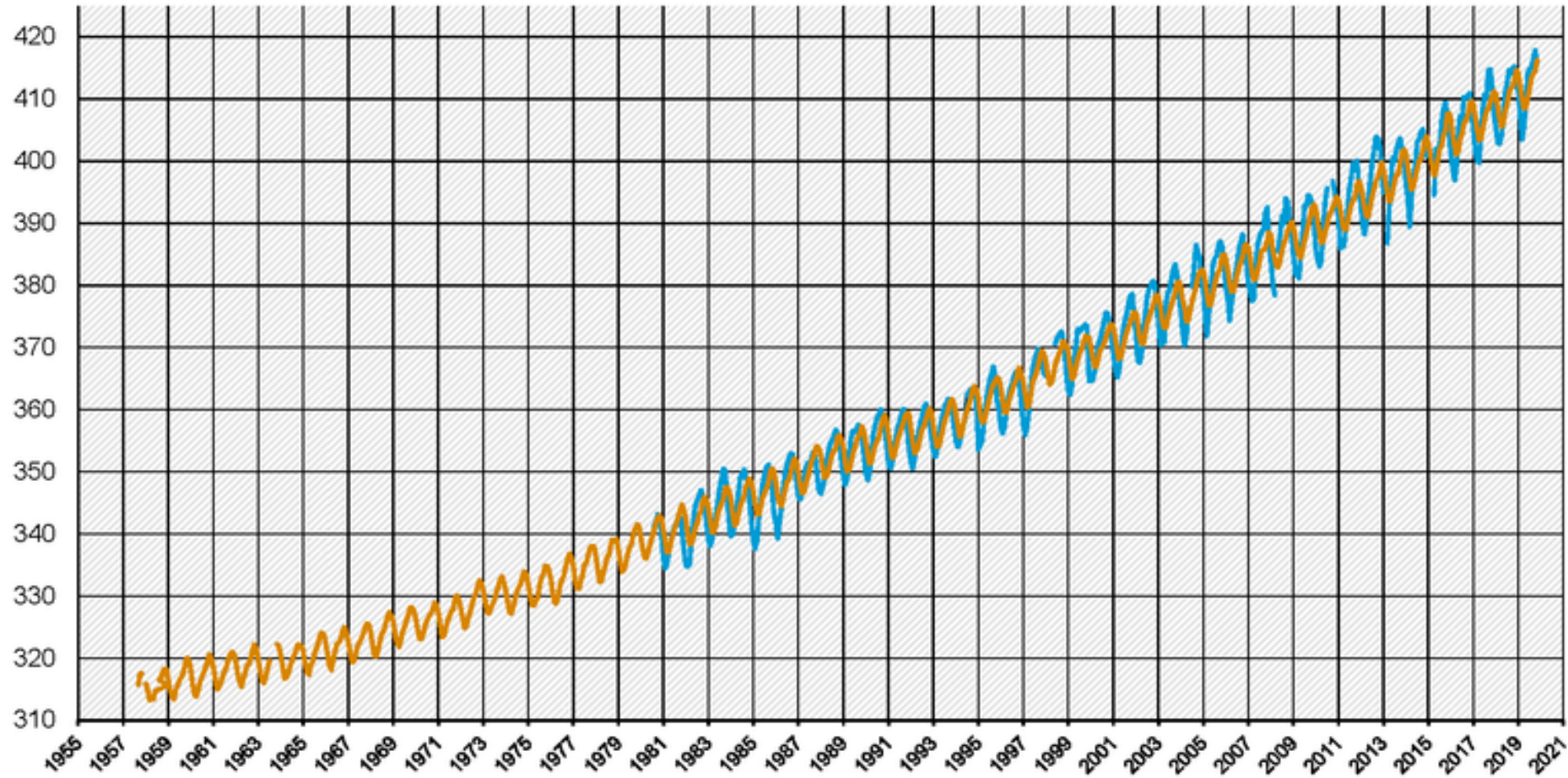


Quelle: BP Statistical Review of World Energy June 2022

CO₂-Konzentration steigt (Monatsmittel)

Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre (Monatsmittel)

Kohlendioxid in parts per million bezogen auf das Volumen



— Zugspitze

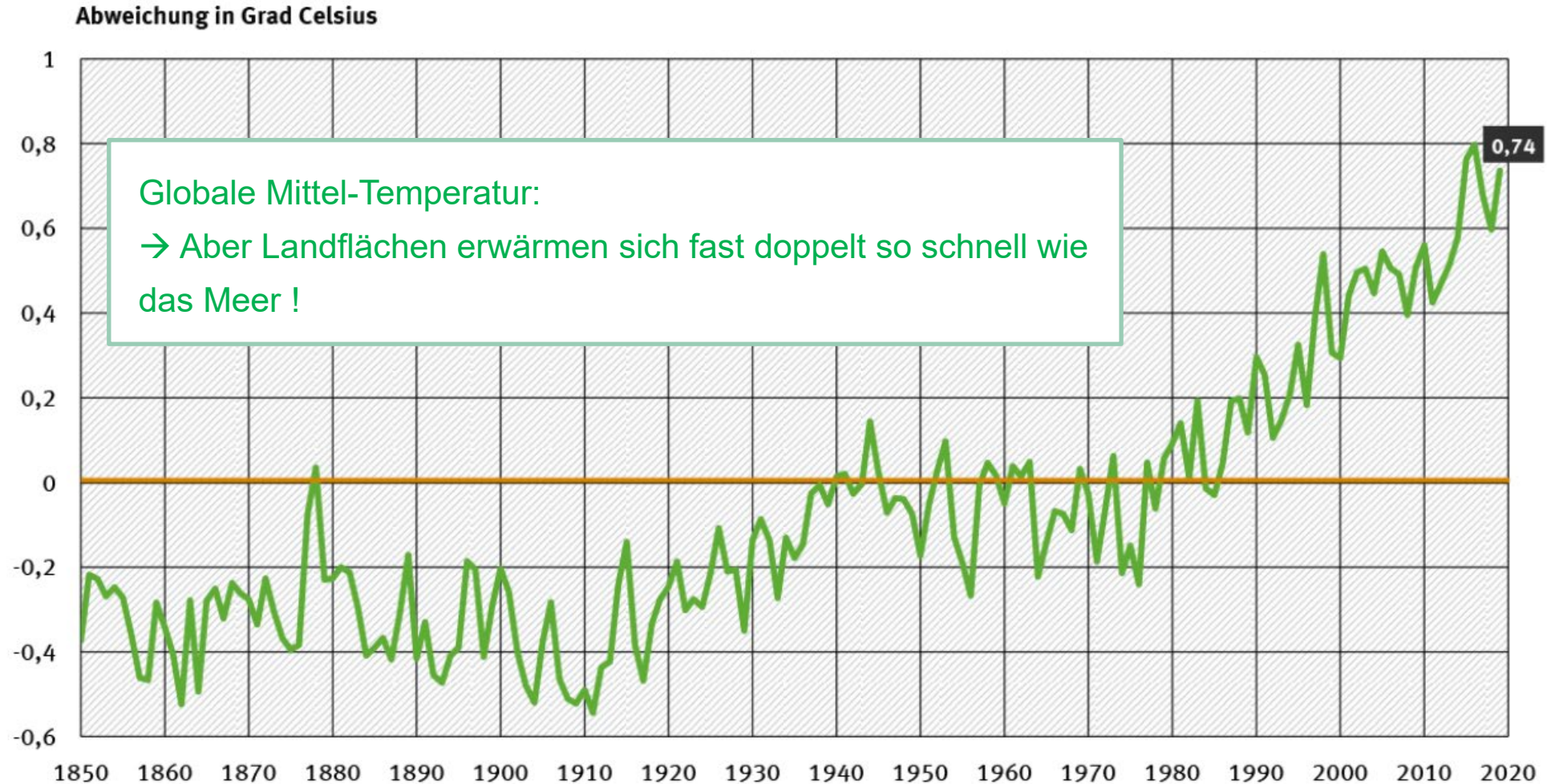
— Mauna Loa, Hawaii

Quelle: <https://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/co2konzentration.html>

<https://energynewsmagazine.at/2022/02/17/co2-konzentration-in-der-atmosphaere-auf-rekordhoch/>

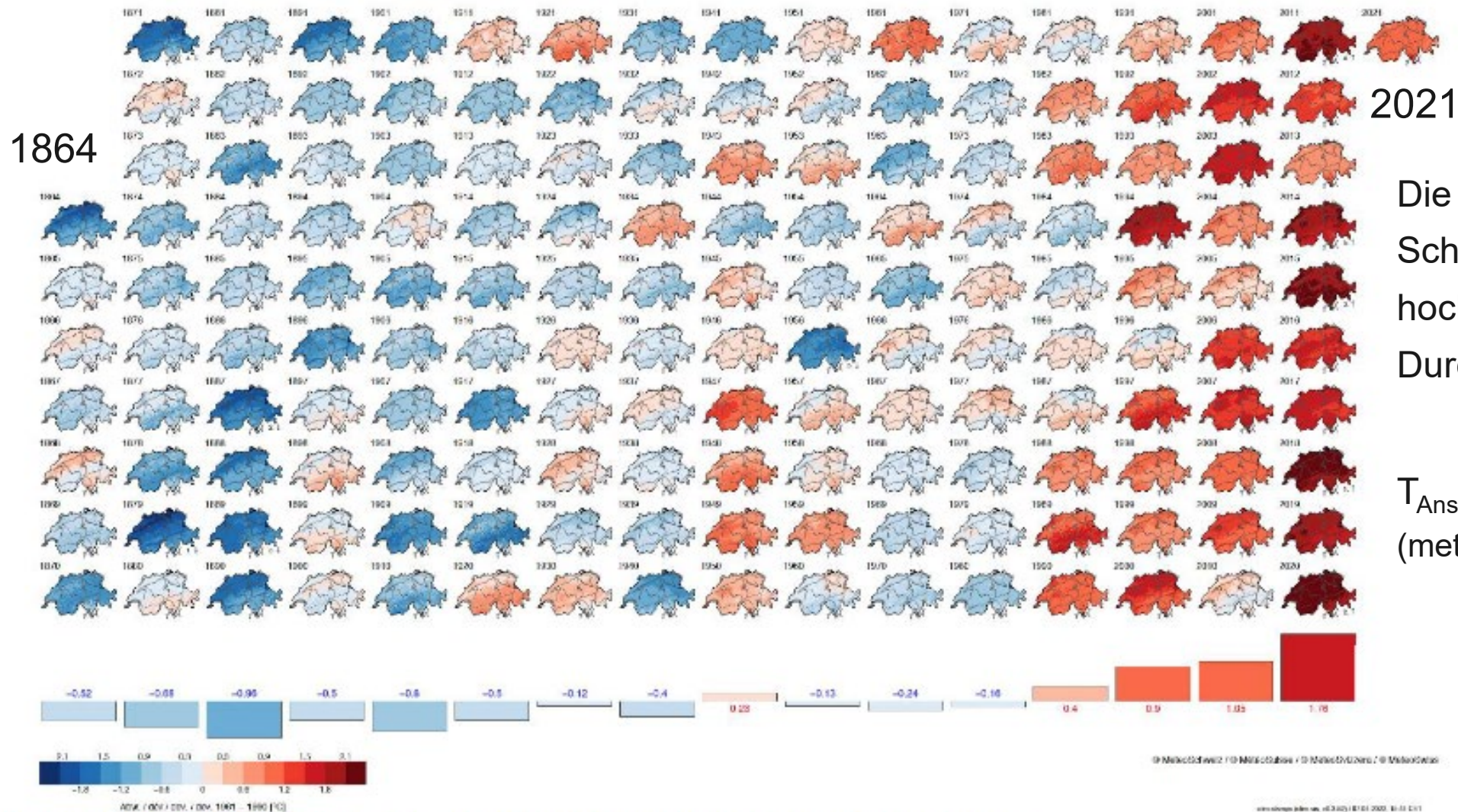
Globale Temperatur steigt

Abweichung der globalen Lufttemperatur vom Durchschnitt 1961 bis 1990 (Referenzperiode)*



Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-globale-lufttemperatur#die-wichtigsten-fakten>

Schweiz – Erwärmung doppelt so hoch (wie globaler Durchschnitt)

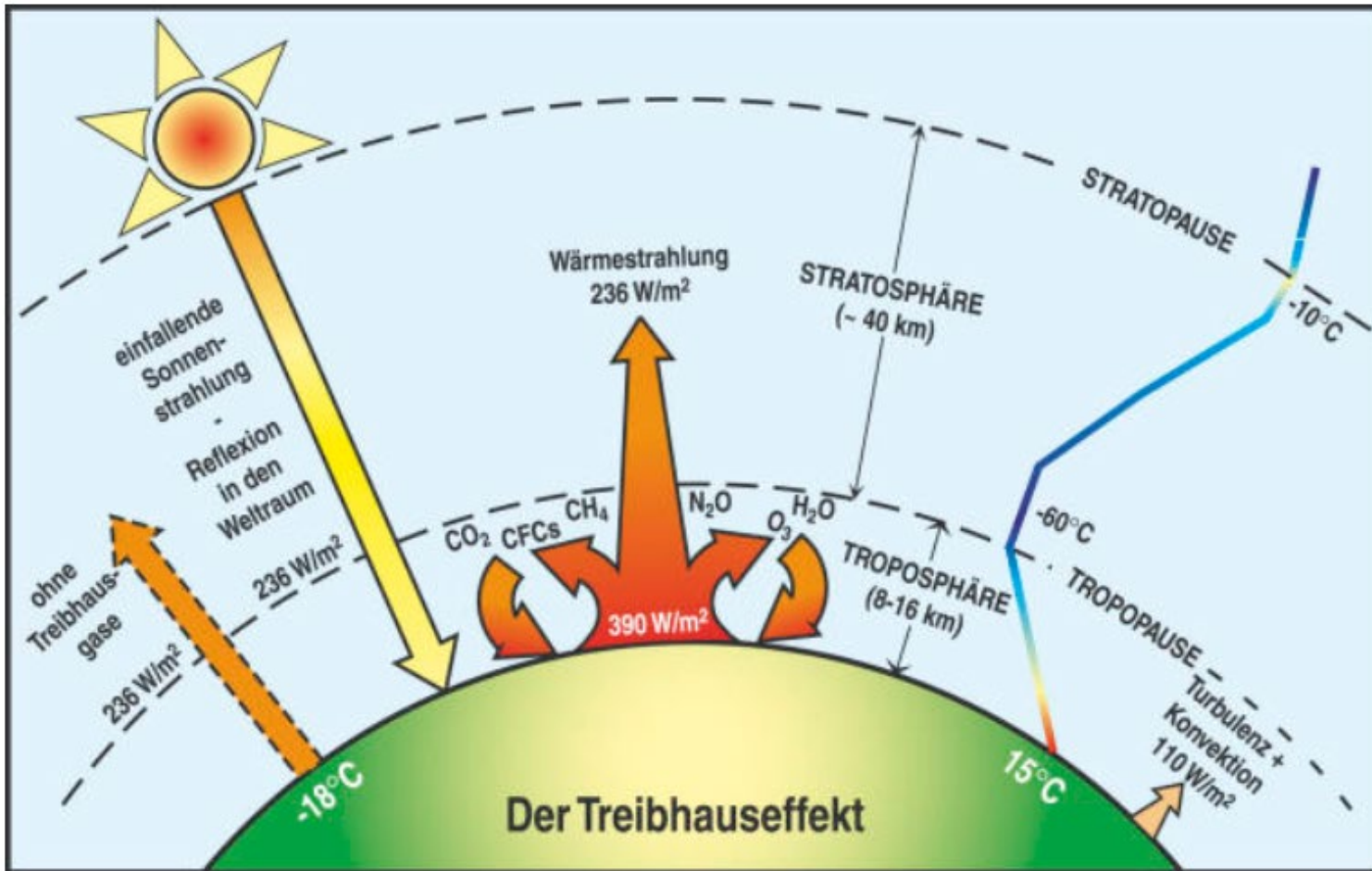


(<https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz.html>)

Welche Temperatur haben wir?

Globale Mitteltemperatur der Erde: 15°C (heute, CO₂ reduziert die „Abstrahlung“)

Ohne Atmosphäre: -18°C (T um 33°C geringer, da mehr Abstrahlung)



$$\frac{dQ}{dt} = k \cdot T^4 \dots \text{Wärmestrahlung}$$

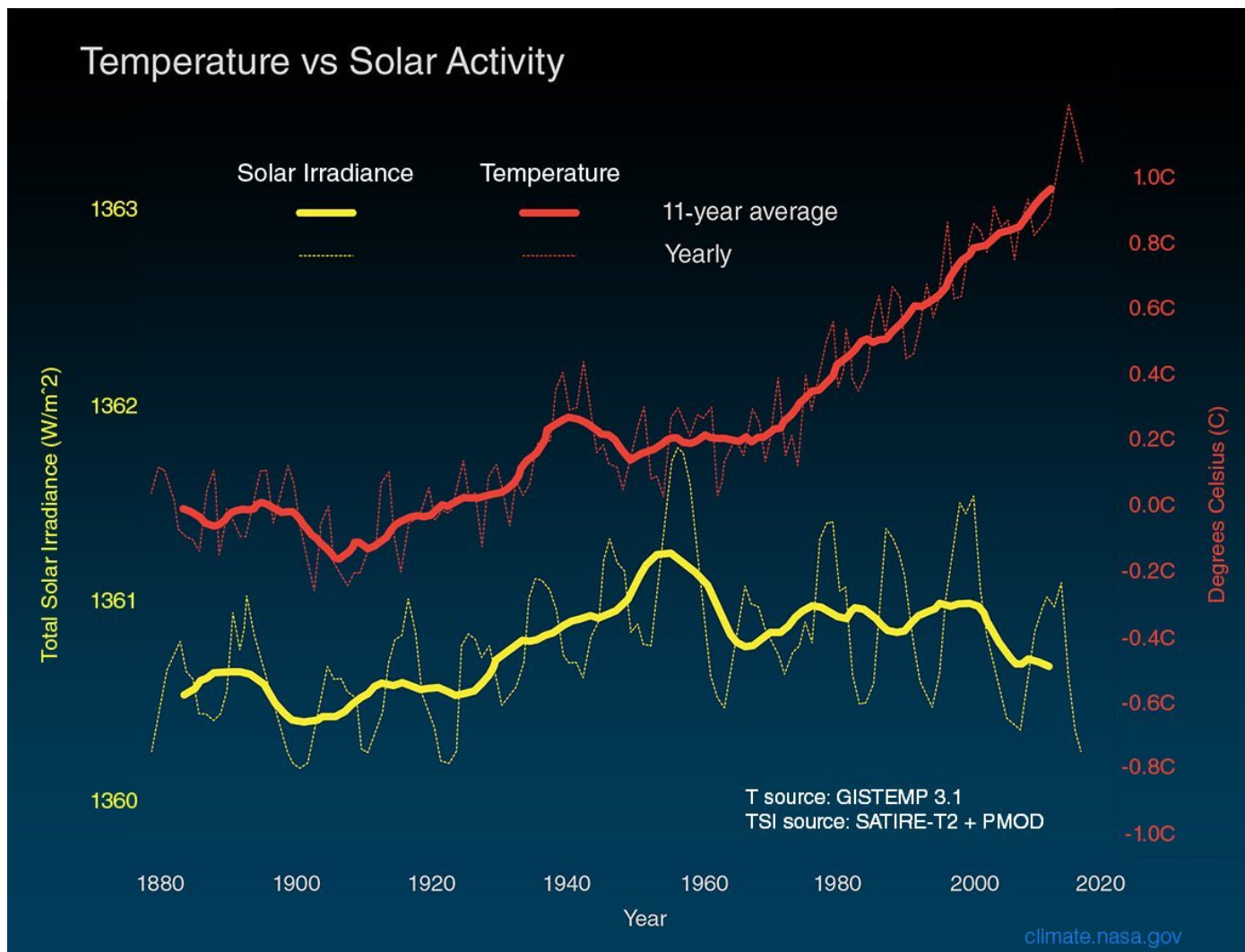
„Eine Kugel mit einer Oberflächentemp. von 255.15 Kelvin (-18 °C) strahlt ca. 236 W/m² ab“

Atmosphäre reflektiert einen Teil der Wärmestrahlung => aktuell müssen ca. 390 W/m² abgestrahlt werden. Das entspricht einer Oberflächentemperatur von 288 K (= 15°C)

Jahresmittel Schweiz (1991-2020):

- Südtessin: ca. 13 °C
- Mittelland: **9 bis 10 °C**
- 3'000 m: deutlich unter -5 °C

Temperaturanstieg kommt vom CO₂ (und nicht Sonnenaktivität, etc....)



Quelle: Climate.nasa.gov (Bild-Link: <https://twitter.com/kindofmagic4u/status/1244567863907753985>)

Wann sehen wir die Anzeichen, dass die Klimakrise ernst ist?

→ **Wir sehen die Anzeichen JETZT !!!**

- Australien (Dürren, Überschwemmungen, Waldbrände)
- Sibirien, Europa [Italien (Po), Spanien, etc.]



Kanada 2021, 2023



Deutschland
2021
(Ahrtal)



Lausanne, Juni 2018

India's Heatwaves Are Testing the Limits of Human Survival

By Ananya Ghoshal and Shantanu Dutta | 14 July 2022



Indien
2022



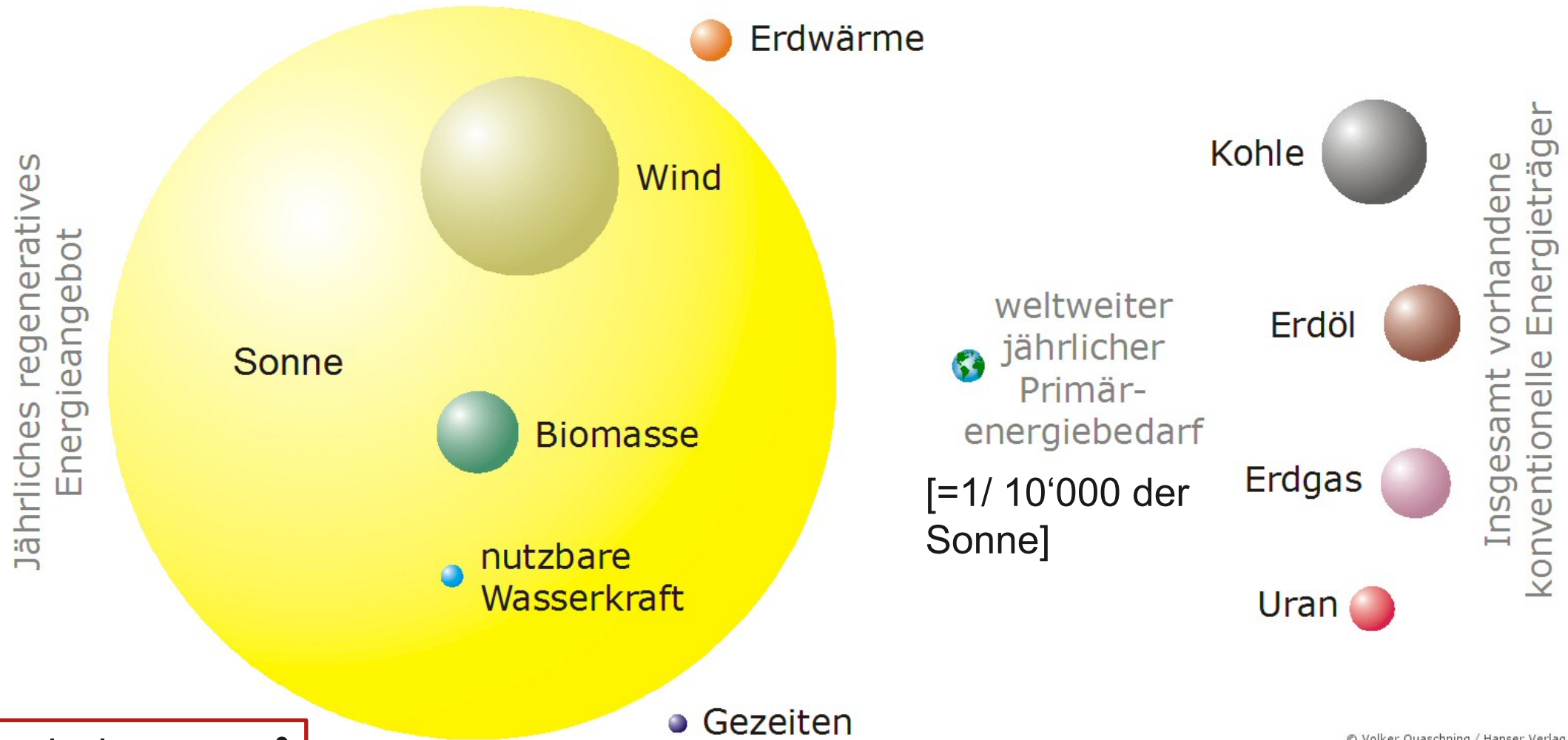
Italien
2022
(Po)

(Europa)



Luzern, Juli 2021

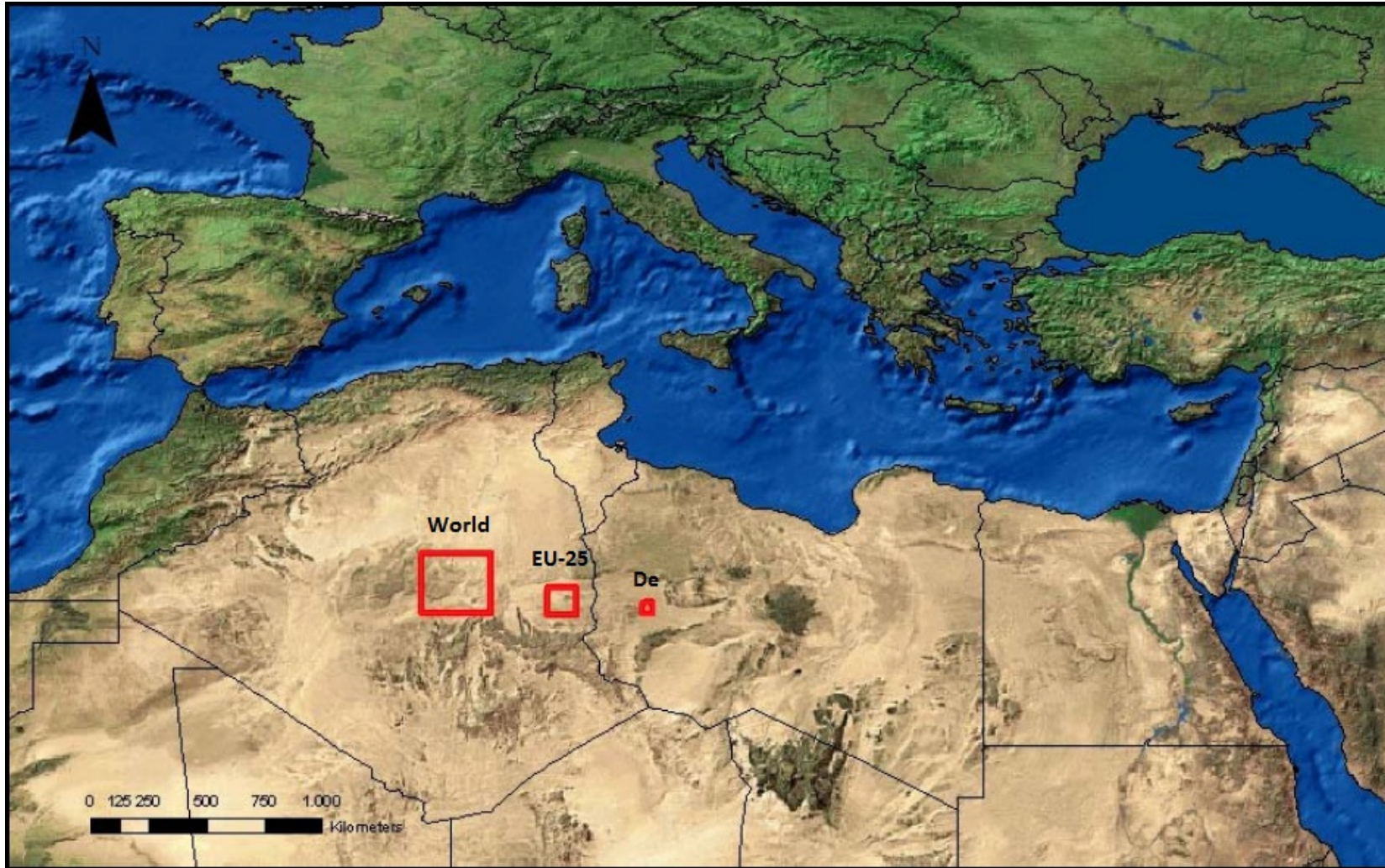
Energiekugeln → !!! Es ist ausreichend erneuerbare Energie vorhanden !!!



Kugelvolumen $\sim r^3$

© Volker Quaschnig / Hanser Verlag
»Regenerative Energiesysteme«

Oder auf Strom bezogen → Solarthermische Kraftwerke

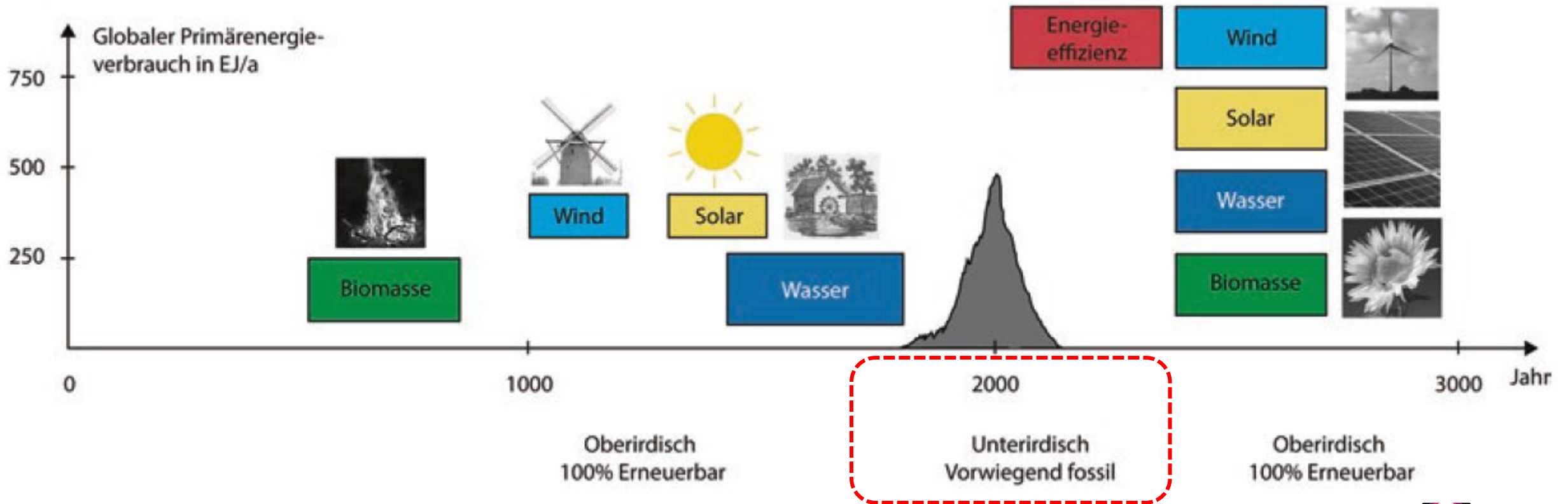


Theoretischer Platzbedarf für Solarkollektoren, um in Solarthermischen Kraftwerken den Strombedarf der Welt, Europas (EU-25) oder Deutschlands zu erzeugen (Stand 2004)

By Nadine May - Diploma Thesis of Nadine May: www.dlr.de/.../Ecobalance_of_a_Solar_Electricity_Transmission.pdf, page 26 (figure 12, page 12) Technical University of Braunschweig, Faculty for Physics and Geological Sciences, in collaboration with the Institute of Technical Thermodynamics at the DLR, Stuttgart, Germany, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=609570>

Ziel → Wieder „Zurück zum Ursprung“

- Energieversorgung muss wieder CO₂ neutral werden (wie die Jahrtausende davor)
- Das „kurze fossile Zeitalter“ wird beendet werden → Impact ist aber erheblich!
- Integration der nEE erfordert Speicher, Sektorkopplung & intelligente Stromsysteme



Der Weg → Klimaneutrale Schweiz 2050

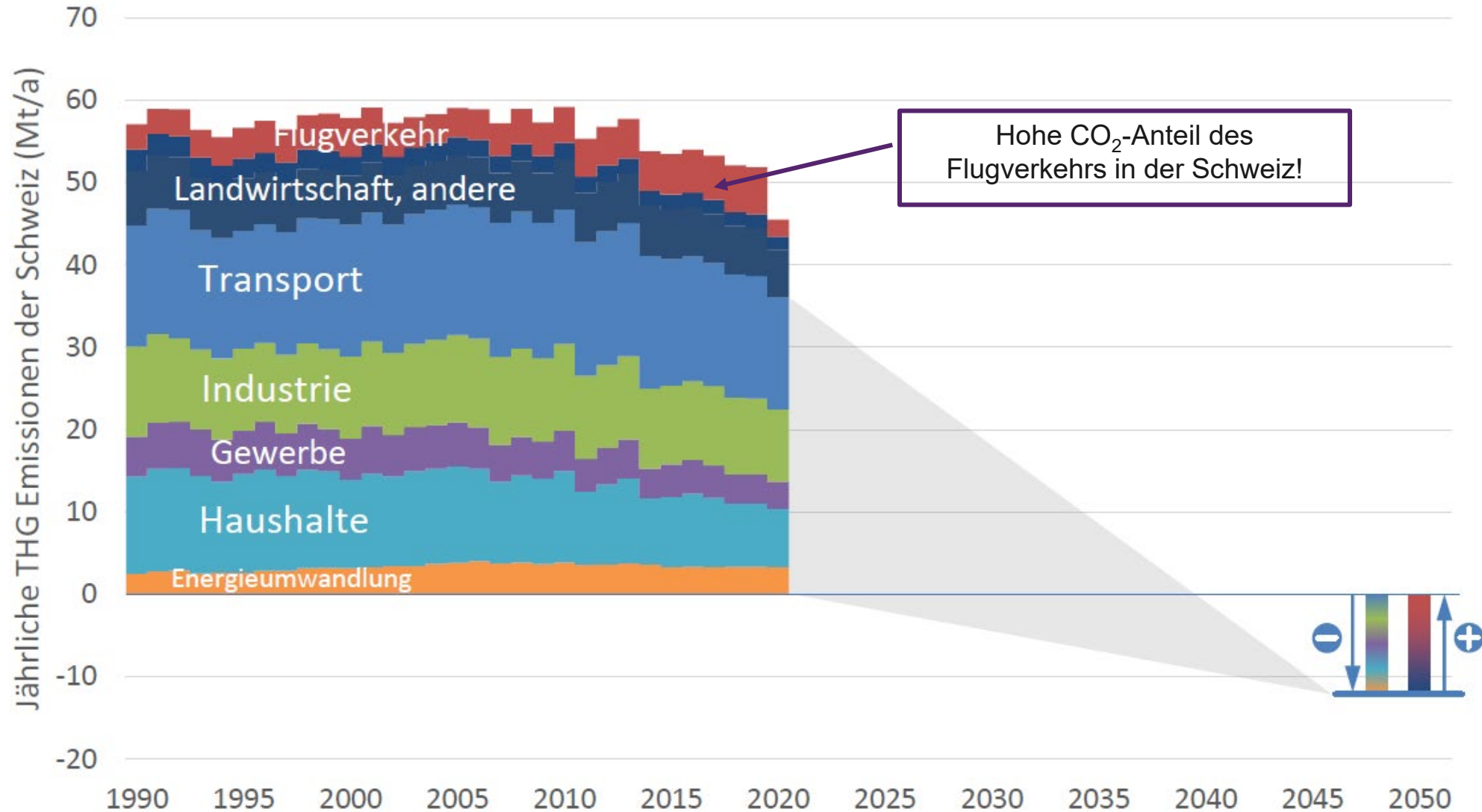
Z.T. unverändert eine Importstrategie, zusätzlich eine CO₂-Exportstrategie



7 PJ = ca. 1.94 TWh

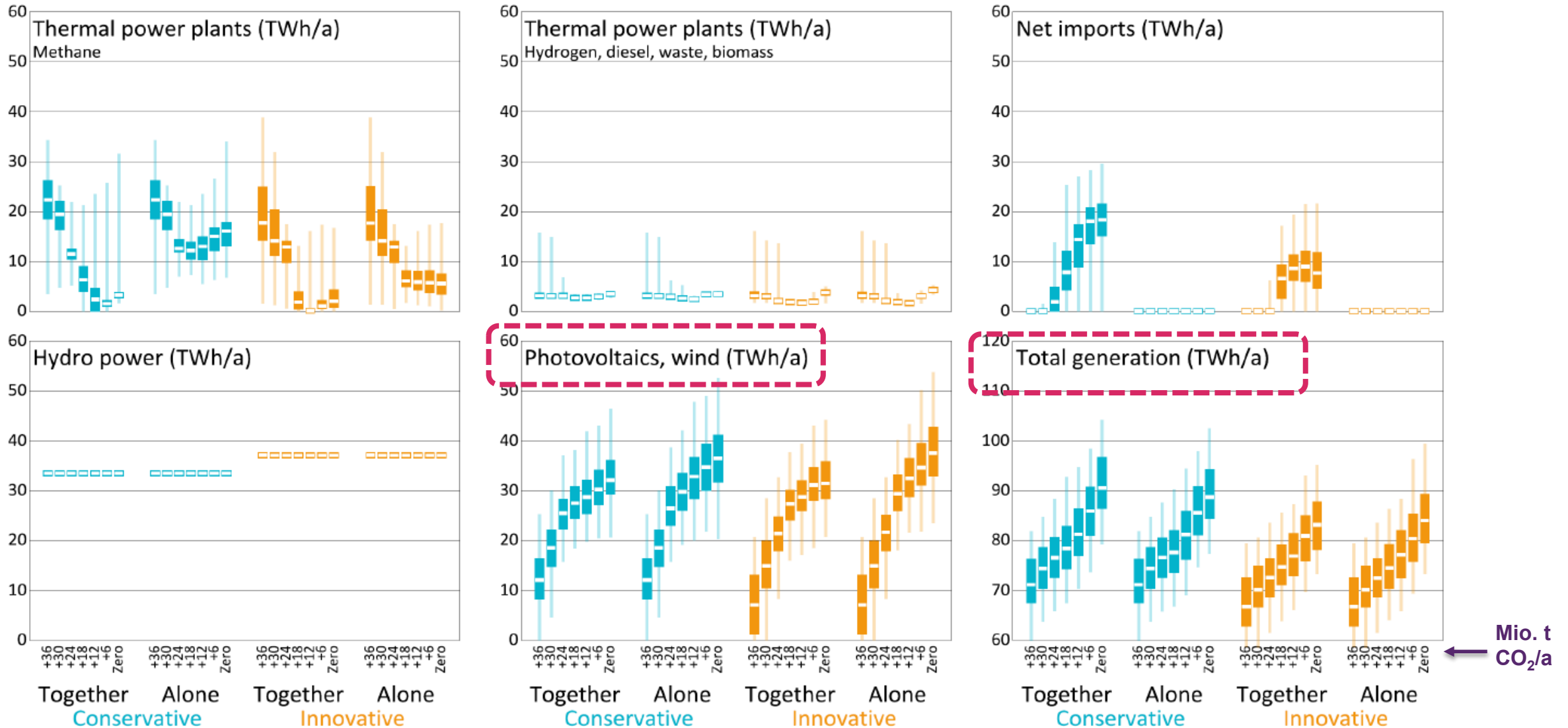
Grafik: Dina Tschumi; Prognos AG

Schweiz – auf dem Weg zu Netto Null



Quelle: «Technologien für Netto-Null-Ziel», Gianfranco Guidati (ETHZ), Thurgauer Technologietag, 11. Mai 2023

Zusammensetzung der zukünftigen Stromerzeugung



Quelle: «Technologien für Netto-Null-Ziel», Gianfranco Guidati (ETHZ), Thurgauer Technologietag, 11. Mai 2023

Kurzzusammenfassung – Vielen Dank!

1. Wasserstoff → «Wasserstoff ist wertvoll»

- Höchste „Gravimetrische Energie-Dichte“, aber nur sehr geringe „Volumetrische Energie-Dichte“ (1/3'000 von Benzin)
- Umwandlung & Kompression für Speicherung sind energie- und kostenintensiv
- Hohes Potential: Industrie, Mobilität (Güterbereich, Flugverkehr) und als saisonaler Speicher
- Elektrolyse erhöht die Flexibilität → Einsatz ist „Energiewendependent“ (Stunden mit tiefen Strompreisen)

2. Sektorkopplung (P2X) → Notwendig, um die Flexibilität zu erhöhen

- Sektorkopplung verbindet die Sektoren: Strom → Wärme – Gas – Chemie – Verkehr
 - Erhöht die Speicherkapazität & Effizienz (z.B. E-Mobility, WP, etc. → nur ca. 1/3 des Primärenergie-Anteiles)
- Wichtig für Integration nEE (Wind & PV ergänzen sich sehr gut, ab 30% nEE-Anteil steigt der Speicherbedarf exponentiell)

3. Energiesystem aktuell & zukünftig:

- Aktuelle Anteil fossiler Primär-Energieträger > 80% !!! → CO₂
- Good News 1: Es gibt genug «Erneuerbare Energieträger» («Sonne» - siehe „Weltkarte“)
- Good News 2: Strom kann relativ leicht aus EE gewonnen werden (Wasserkraft, PV, Wind → mit P2X in die anderen «Sektoren»)
- Good News 3: nEE verursachen einmal (hohe) Invest-Kosten, danach aber kaum laufende Kosten!
(im Ggs. zu Öl, Kohle, Gas, etc. müssen ständig gewonnen & transportiert werden!!!)



Bildquellen: Adobe-Stock

