



GV AGVS, 7. April 2022

Potenzial von SynFuels in der Mobilität

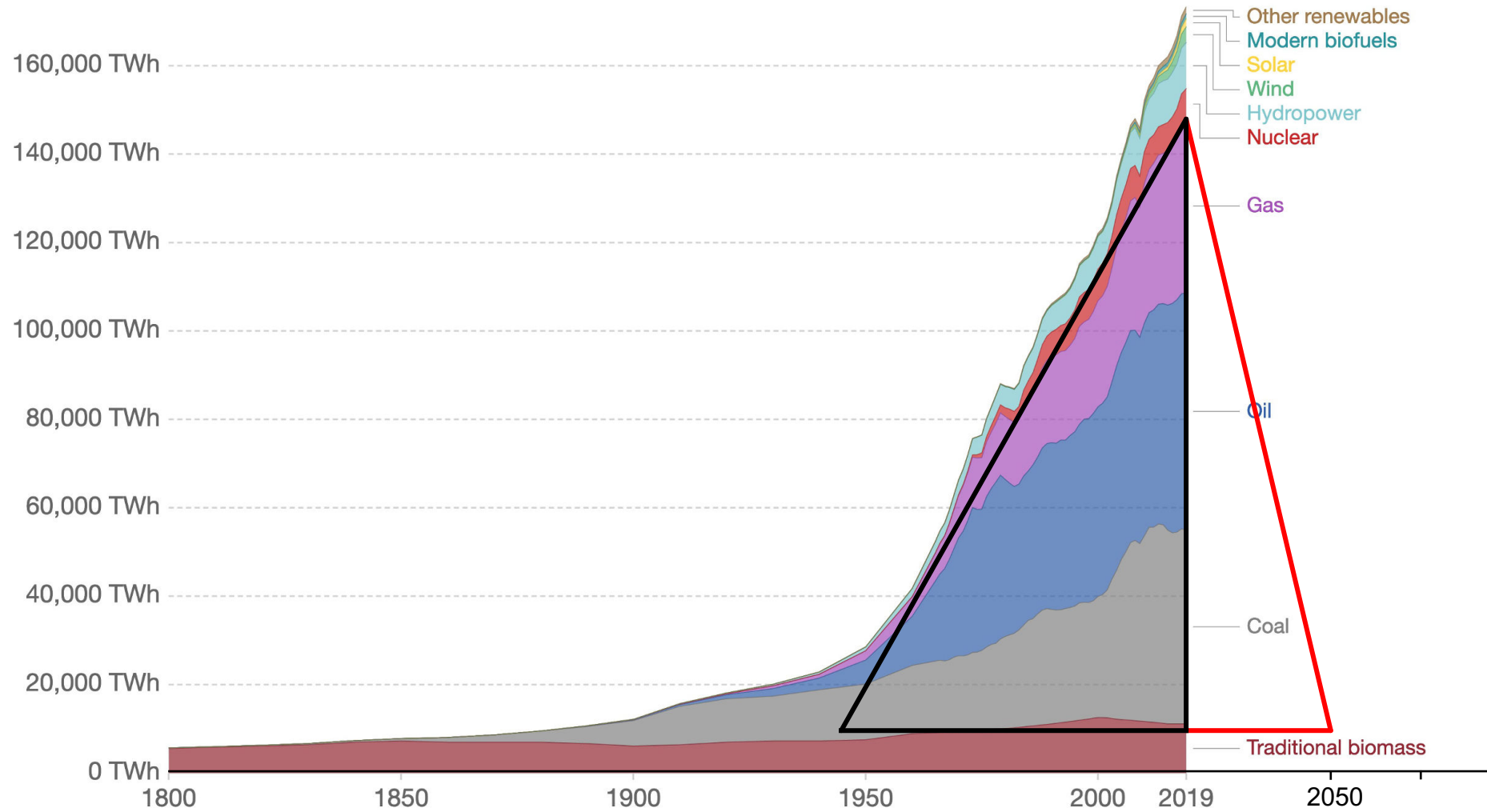
Lino Guzzella

Absicht

- Übersicht über die globale Energiesituation geben
- Aktuelle und geplante Energieversorgung der Schweiz darstellen
- Rolle der synthetischen Energieträger («SynFuels») skizzieren
- Entwicklung im Fahrzeugbereich diskutieren

Die Welt

Weltweit eingesetzte Energieträger (TWh/Jahr)



Source: Vaclav Smil (2017) & BP Statistical Review of World Energy

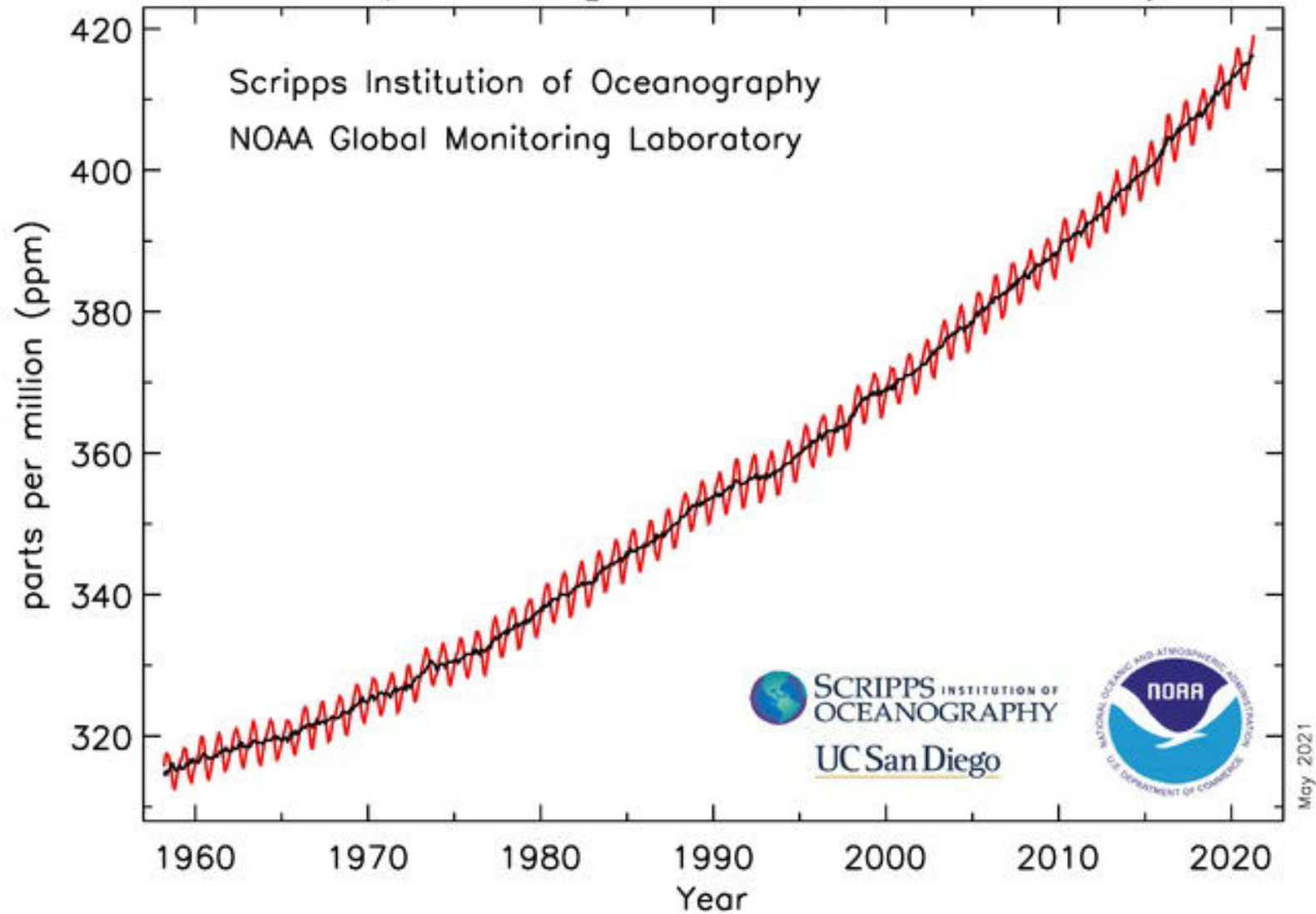
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Ohne Energie geht es nicht, auch in der Bildung ...



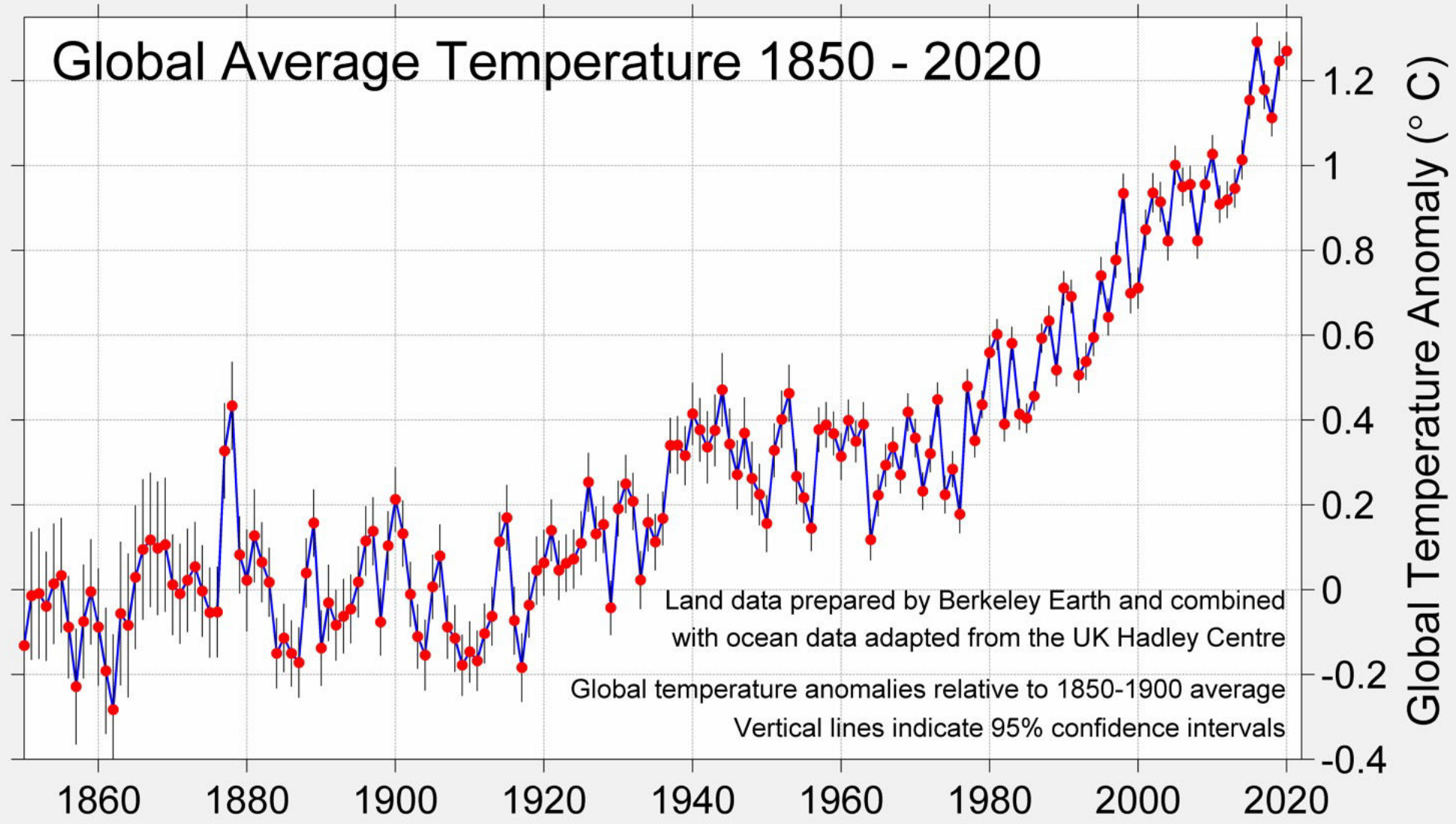
Quelle: <https://ourworldindata.org/energy-poverty-air-pollution>

Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory

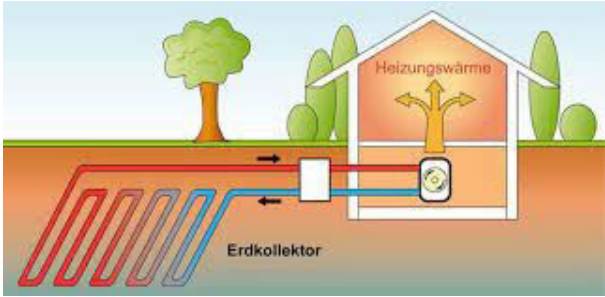
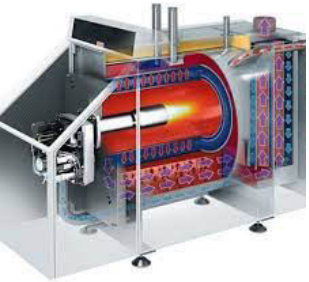


Quelle: <https://www.esrl.noaa.gov> (2021)

Global Average Temperature 1850 - 2020

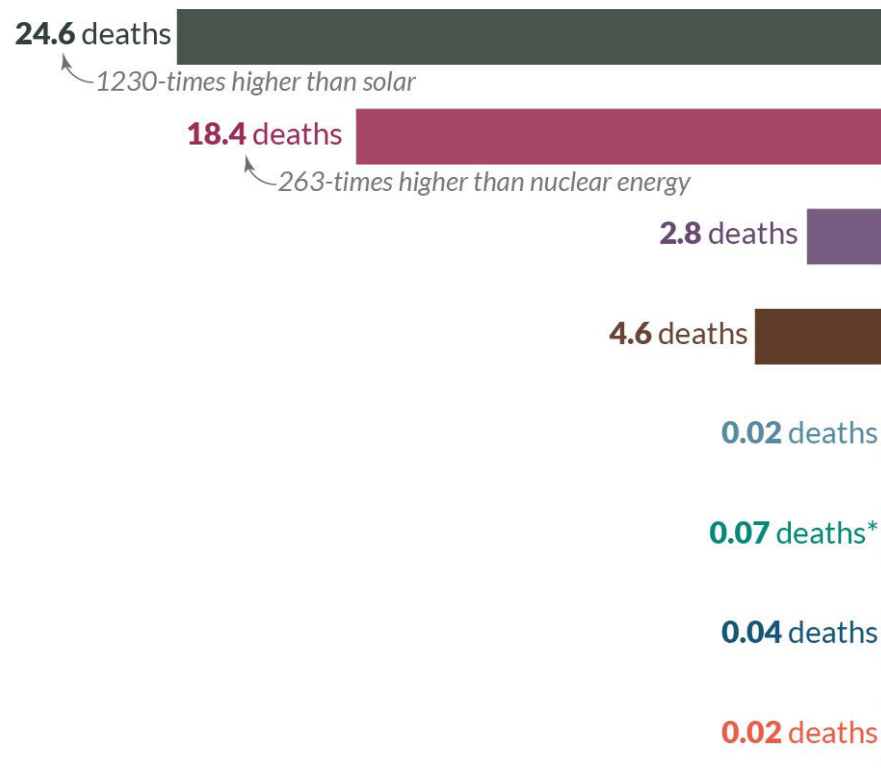


Elektrifizierung als zentrales Element

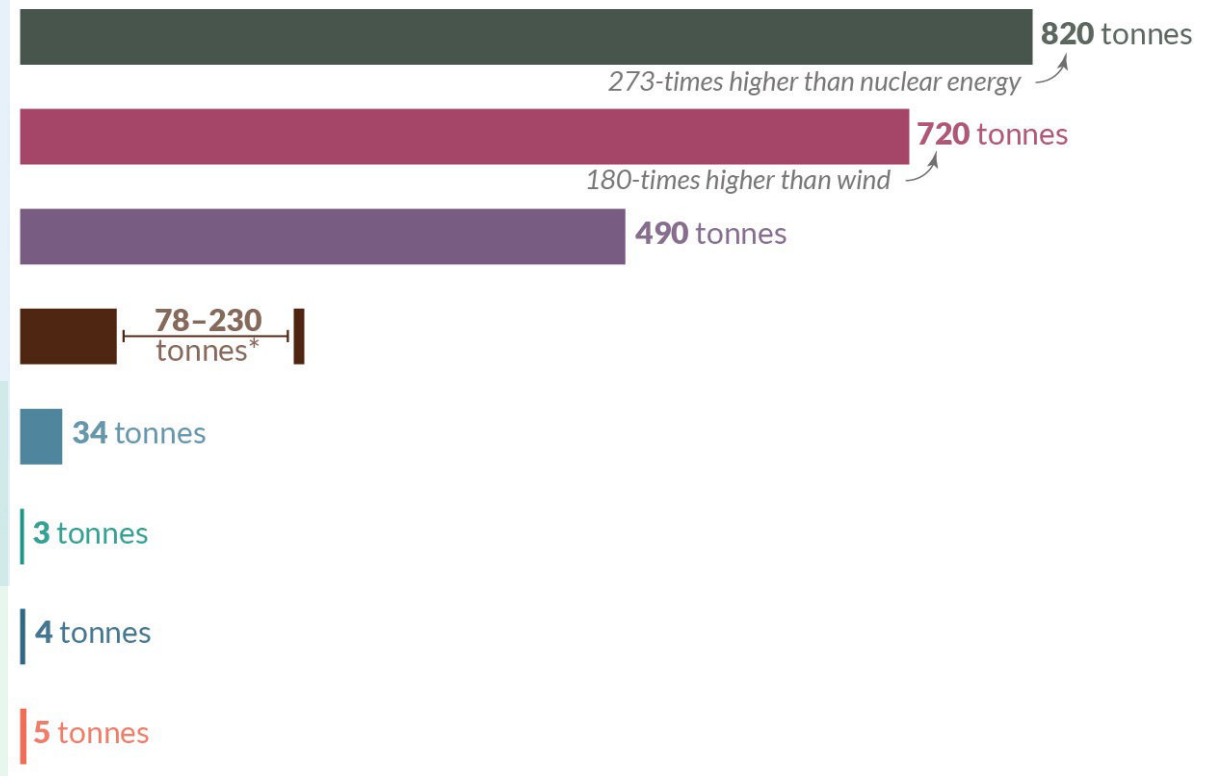


Vergleich diverser Stromerzeugungsarten

Todesfälle: Anzahl/TWh



CO₂-Emissionen: t CO₂/GWh



*Life-cycle emissions from biomass vary significantly depending on fuel (e.g. crop residues vs. forestry) and the treatment of biogenic sources.

*The death rate for nuclear energy includes deaths from the Fukushima and Chernobyl disasters as well as the deaths from occupational accidents (largely mining and milling).

Energy shares refer to 2019 and are shown in primary energy substitution equivalents to correct for inefficiencies of fossil fuel combustion. Traditional biomass is taken into account.

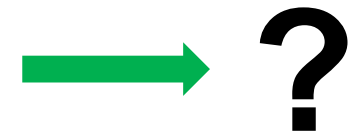
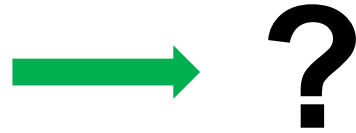
Data sources: Death rates from Markandya & Wilkinson (2007) in *The Lancet*, and Sovacool et al. (2016) in *Journal of Cleaner Production*;

Greenhouse gas emission factors from IPCC AR5 (2014) and Pehl et al. (2017) in *Nature*; Energy shares from BP (2019) and Smil (2017).

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

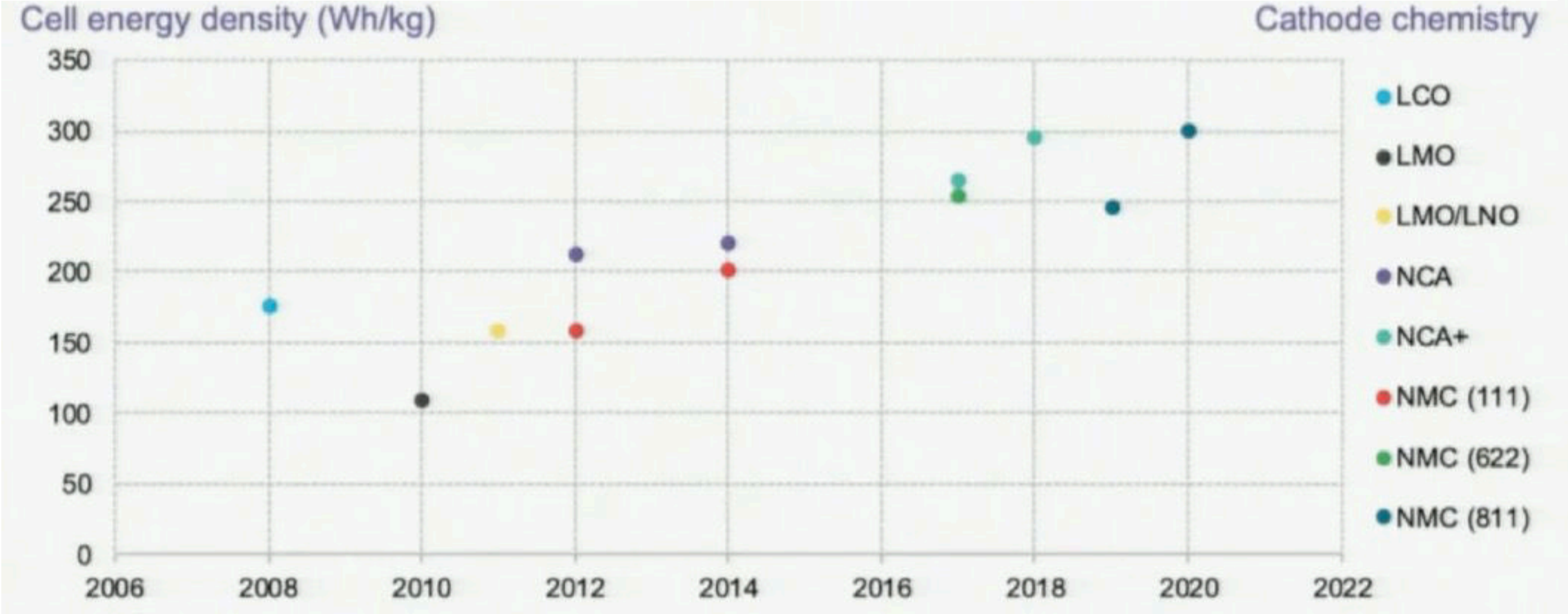
Ganz ohne flüssige Kohlenwasserstoffe geht es aber nicht



Beispiel: Elektrische Flugzeuge

Airbus A350-900	Startmasse	280'000 kg	
	Leermasse	116'000 kg	
	Nutzlast	52'000 kg	
	Treibstoffmasse	112'000 kg	(0.8 kg/l, 140'000 l)
	Treibstoffenergie	1'330'000 kWh	(9.5 kWh/l)
Elbus E350-900	Treibstoffenergie	665'000 kWh	(50% des A350-900)
	Energie Batterie	1 kWh/kg (heute 0.2 kWh/kg)	
	Batteriemasse	665'000 kg	

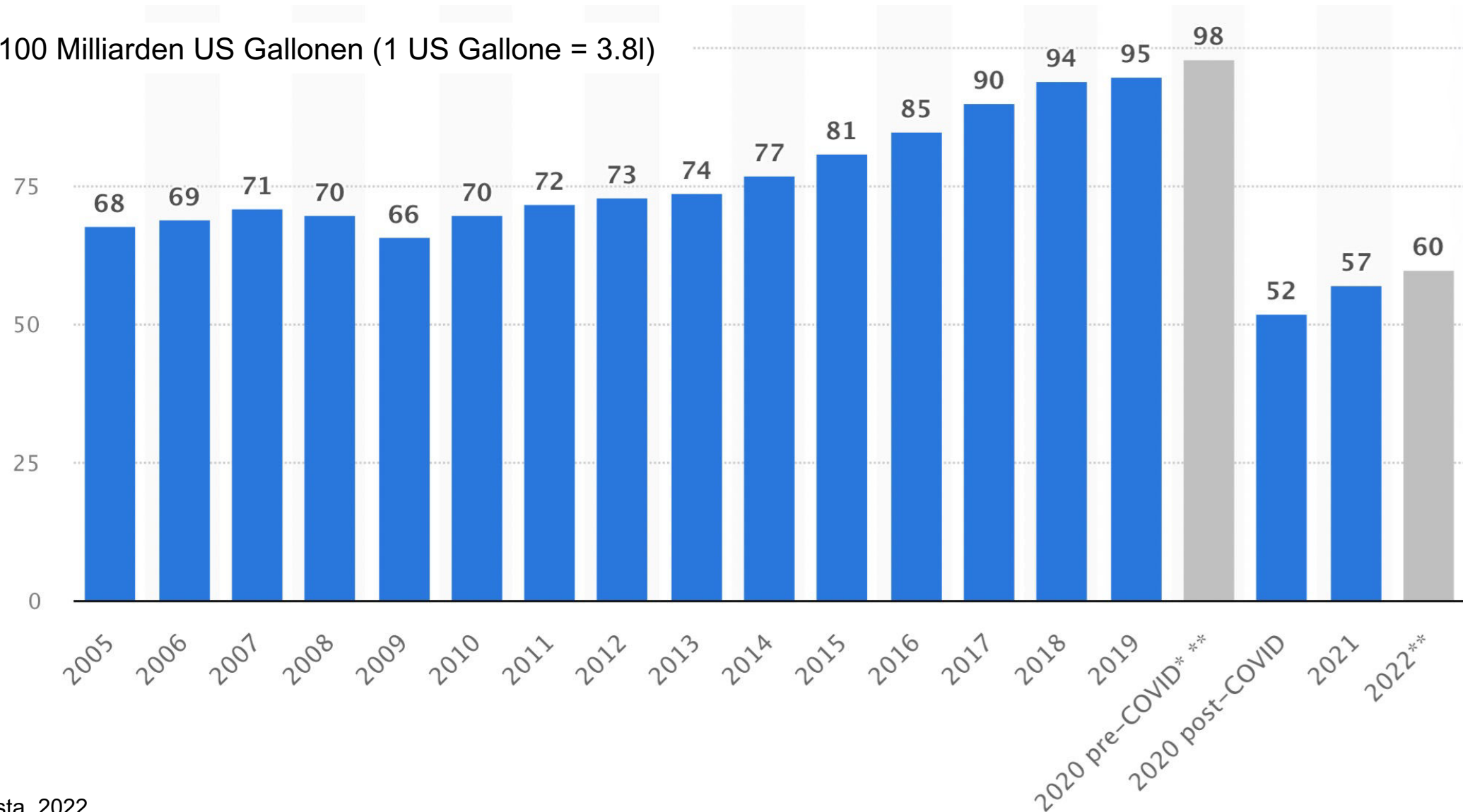
Energiedichte Batterien (Zellen)



BNEF, company reports

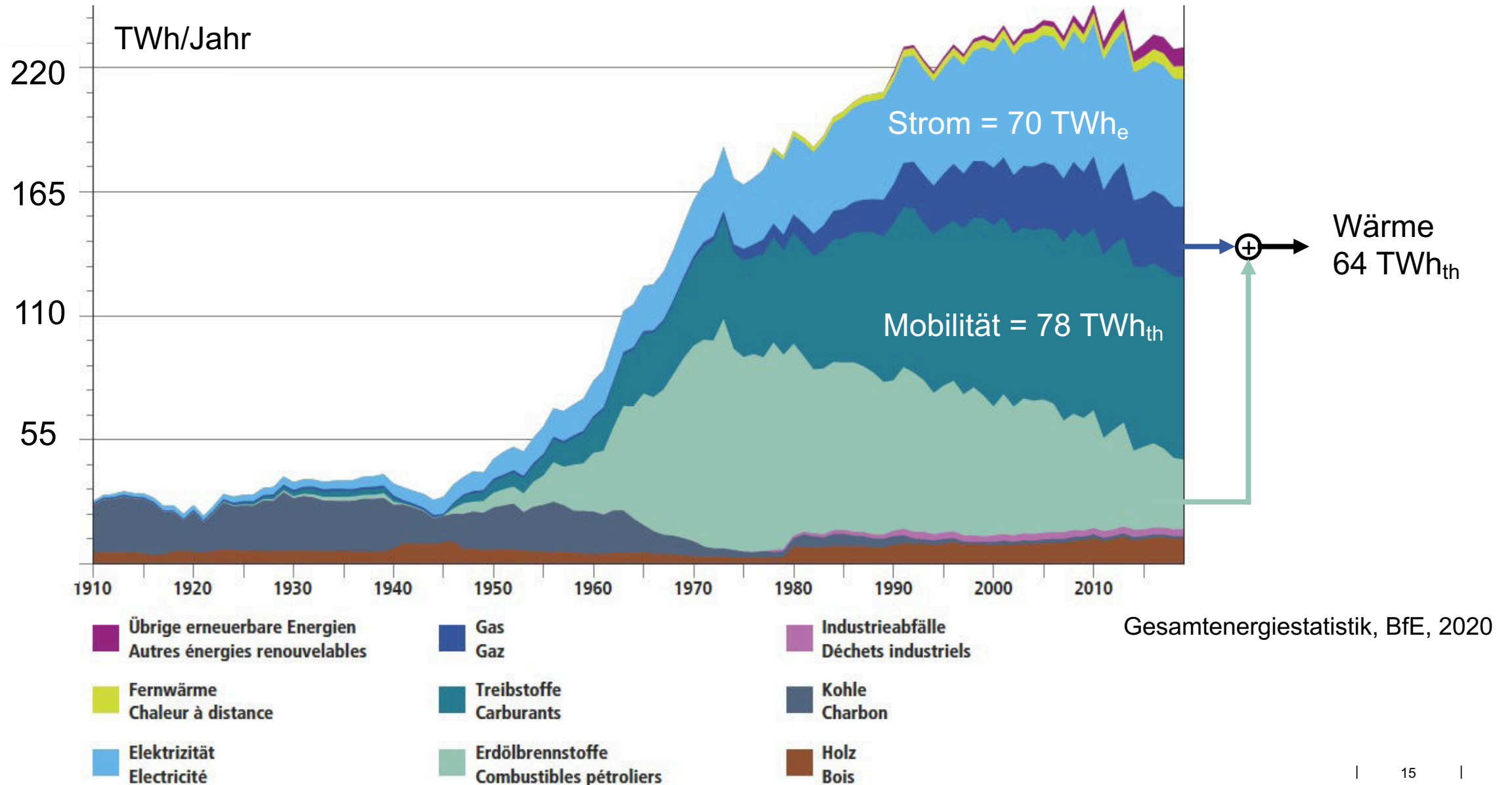
Treibstoffbedarf Luftfahrt Weltweit

100 Milliarden US Gallonen (1 US Gallone = 3.8l)

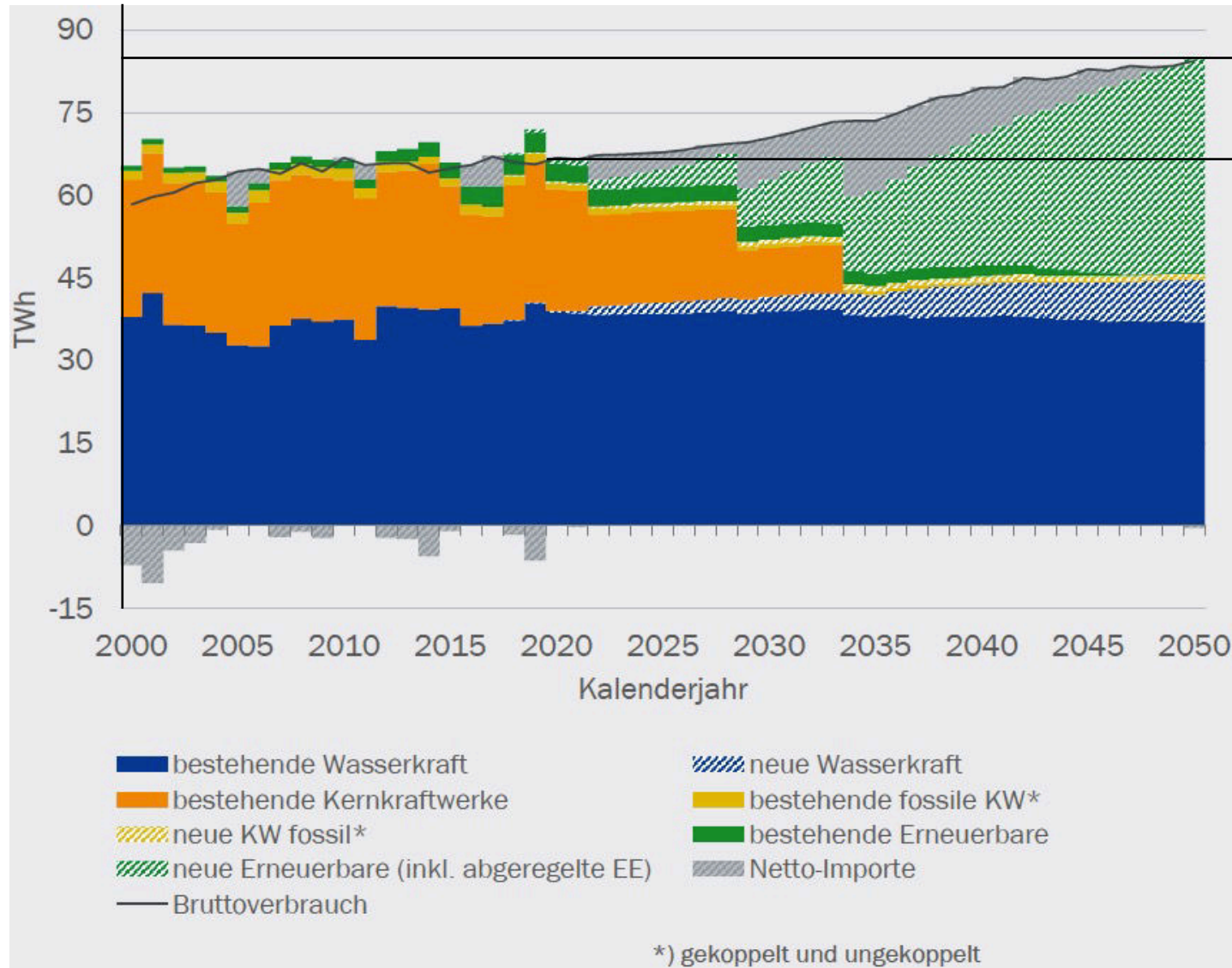


Die Schweiz

Energieverbrauch Schweiz – Entwicklung



Jahresbetrachtung Stromversorgung Schweiz



17 TWh_e/Jahr

Abschätzung Zuwachs 2020 bis 2050:

- + 6 TWh_e Bevölkerungswachstum
- +12 TWh_e für Elektromobilität
- + 9 TWh_e für Wärmeversorgung

17 TWh_e Geplante Steigerung

10 TWh_e Nötige Einsparungen

Geothermie in der Schweiz

1 Strom



Basel, 2011



St. Gallen, 2013

2 Wärme

2a Direkt

Bisher wenige Anlagen

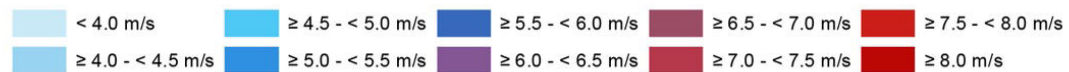
2b Wärmepumpen

Etablierte Technik



Windatlas Schweiz 2019

Jahresmittel der modellierten Windgeschwindigkeit in 125 m Höhe über Grund



Potenzial der Wasserkraftproduktion und -speicherung

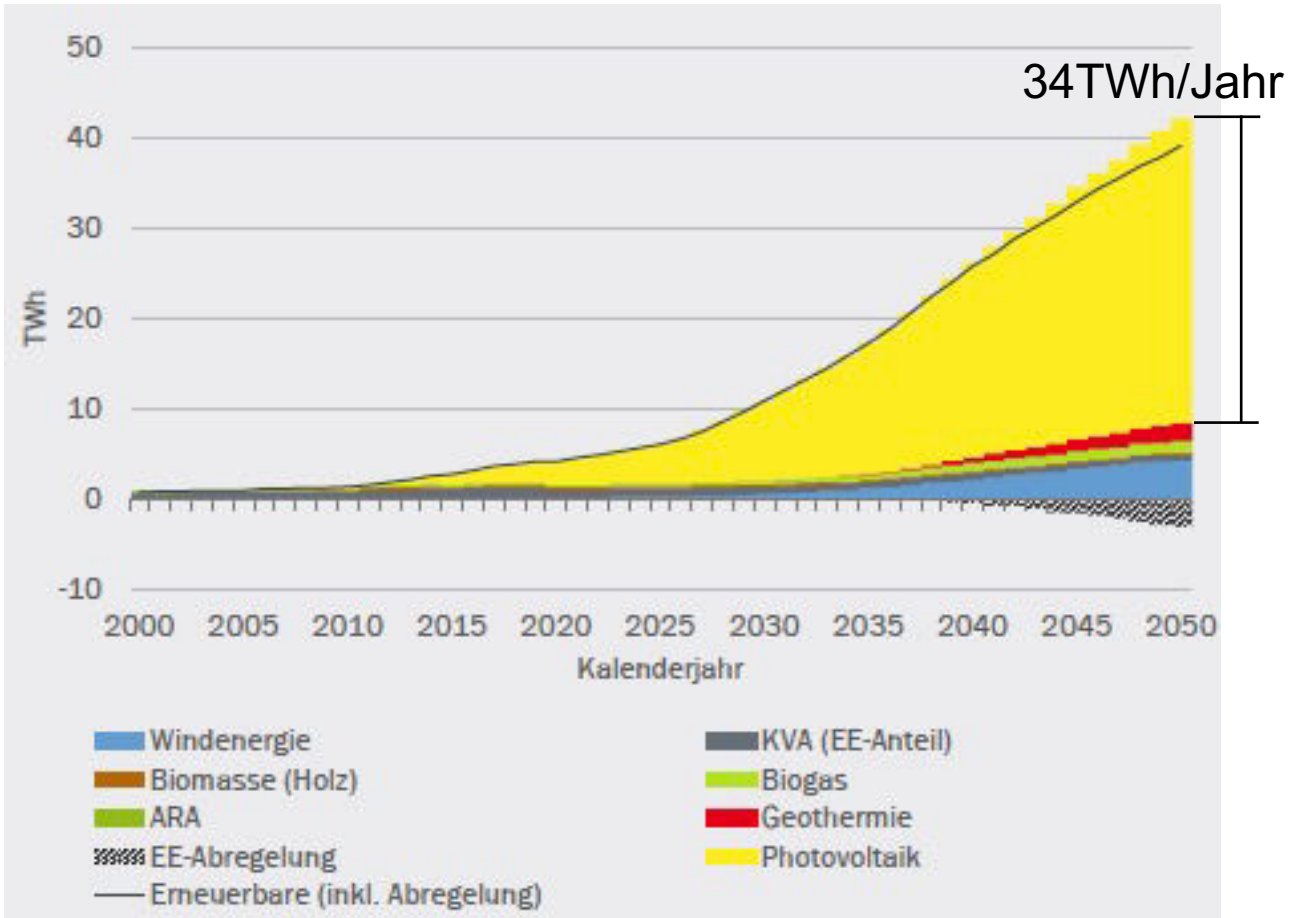
Produktion: Neubauten, Ausbauten und Erneuerungen

- Mehr als 90% des Schweizerischen Wasserkraftpotenzials wird bereits genutzt
- Mehrere Studien zum zusätzl. nutzbaren Wasserkraftpotenzial durch SWV, BFE, SCCER-SoE

Zusätzl. Potential:	Jährliche Produktion [TWh/Jahr]	Produktion im Winterhalbjahr [TWh/Winter]
Neue kleine & grosse Anlagen	0.7 – 1.7	0.3 – 0.7
Ausbau / Erweiterung	0.4 – 1.5	0.2 – 0.6
Erneuerung / Sanierung	0.5 – 1.0	0.2 – 0.4
Periglaziale Wasserkraft	0.0 – 0.8	0.0 – 0.5
Talsperrenerhöhungen	0.0 – 0.2	0.2 – 1.5

Quelle: Boes et al. (2021)

Stromversorgung Schweiz – Energie und Leistung von PV



PV-Anlagen CH, Jahr 2020:

Installierte Leistung 2.9 GW_p

Generierte Elektrische Energie 2.75 TWh/Jahr

Lastfaktor $2'750 \text{ GWh} / (2.9 \text{ GW} \times 365 \times 24 \text{ h}) = 0.11$

Quelle: Swissolar, Faktenblatt, 2021

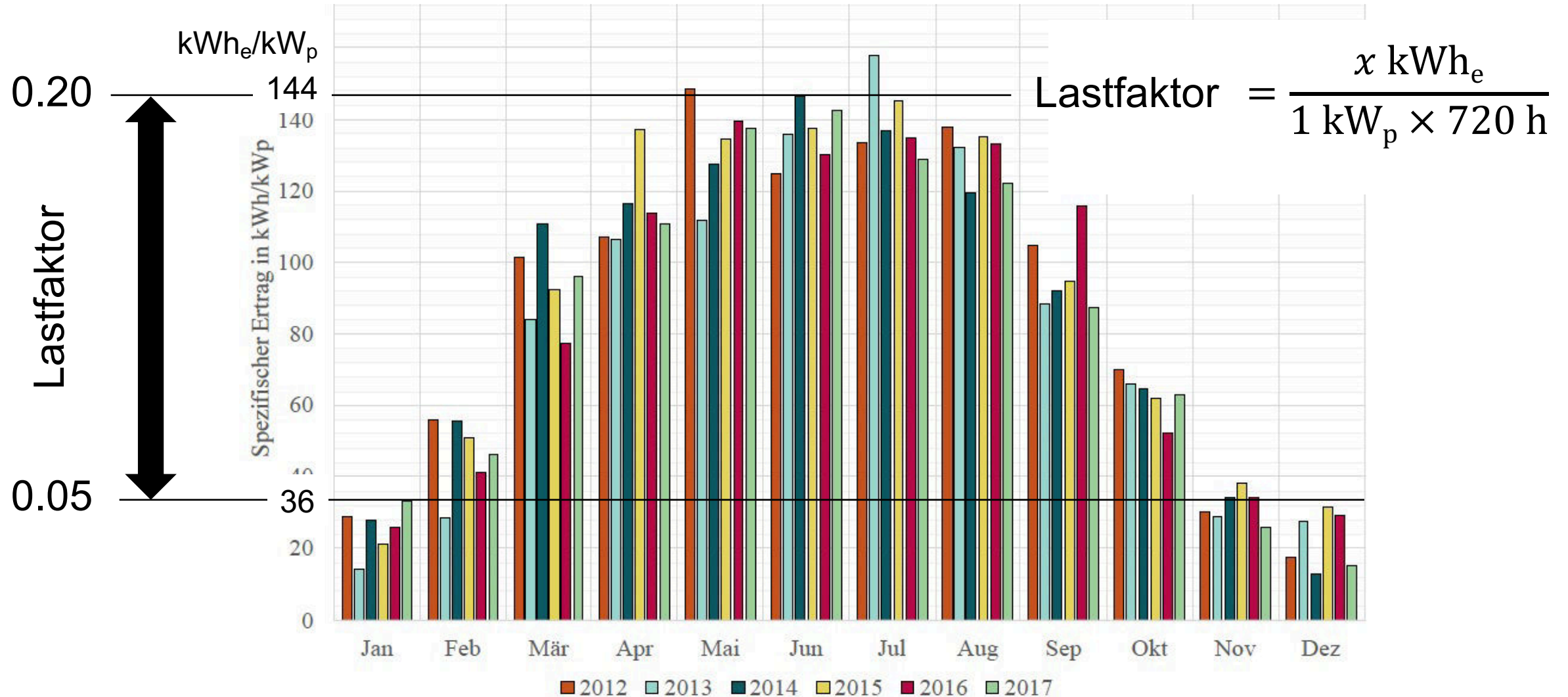
PV-Anlagen CH, Prognosejahr 2050:

Zu generierende Elektrische Energie 34 TWh/Jahr

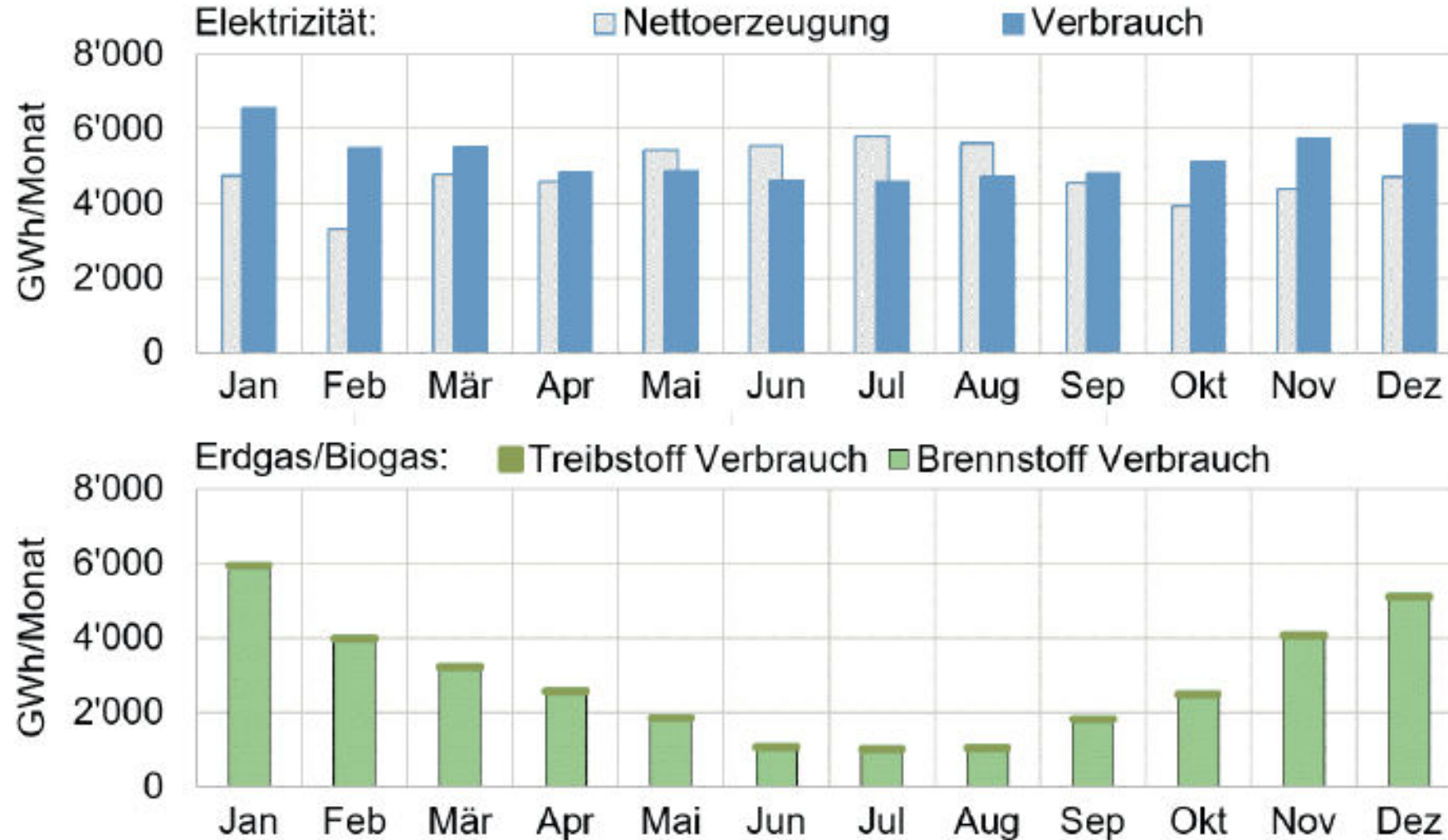
Dafür benötigte installierte Leistung 36 GW_p

Quelle: Szenarienrechnungen Ecoplan, TEP, Infrac und Prognos, 2021

Monatsbetrachtung des Ertrags von PV-Anlagen



Monatsbetrachtung Schweiz Strom- und Gasbedarf (\approx Erdöl)



Quelle: Friedl, M., Kober, T., Ramachandran, K., & Mühlethaler, J. (2018). *Fokusstudie "Saisonale Flexibilisierung einer nachhaltigen Energieversorgung der Schweiz"*. HSR und PSI

Wie gross ist der Strombedarf der Schweiz 2050?

Annahmen: Alle Häuser werden isoliert, Wärmebedarf statt heute $64 \text{ TWh}_{\text{th}}$ nur noch $32 \text{ TWh}_{\text{th}}$

Alle Raumwärme wird durch Wärmepumpen erzeugt mit mittlerem COP von 3.5, $32 \text{ TWh}_{\text{th}} / 3.5 \approx 9 \text{ TWh}_e$

Alle Autos fahren rein elektrisch, heute 5 Mio. Autos, $20 \text{ kWh}_e/100 \text{ km}$, $12'000 \text{ km/Jahr} \approx 12 \text{ TWh}_e$

Bevölkerungswachstum, neue Anwendungen, ... führen zu Wachstum (CAGR) von 0.35% pro Jahr

Resultat: Durchschnittsleistung: Sommer $\approx 9.3 \text{ GW}_e$, Winter $\approx 13.2 \text{ GW}_e$

Wie gross müssen die Saisonspeicher für den Winter sein?

Bedarf	38 TWh _e	(13.2 GW _e x 4 m x 30 d/m x 24 h/d)
Speicherseen	10 TWh _e	(8 TWh _e + 2 TWh _e Neubau bis 2050)
Laufwasser KW	4 TWh _e	(Stand 2020, eher abnehmend)
Beitrag PV	5 TWh _e	(36 GW _p x 0.05 x 4 m x 30 d/m x 24 h/d)
Offen	19 TWh _e	(Saisonspeicher, Importe, ...)

Netzstabilität als zentrales Anliegen



Quelle: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und NZZ, 9.3.2021

Batteriespeicher



Abschätzung Kosten Batteriespeicher

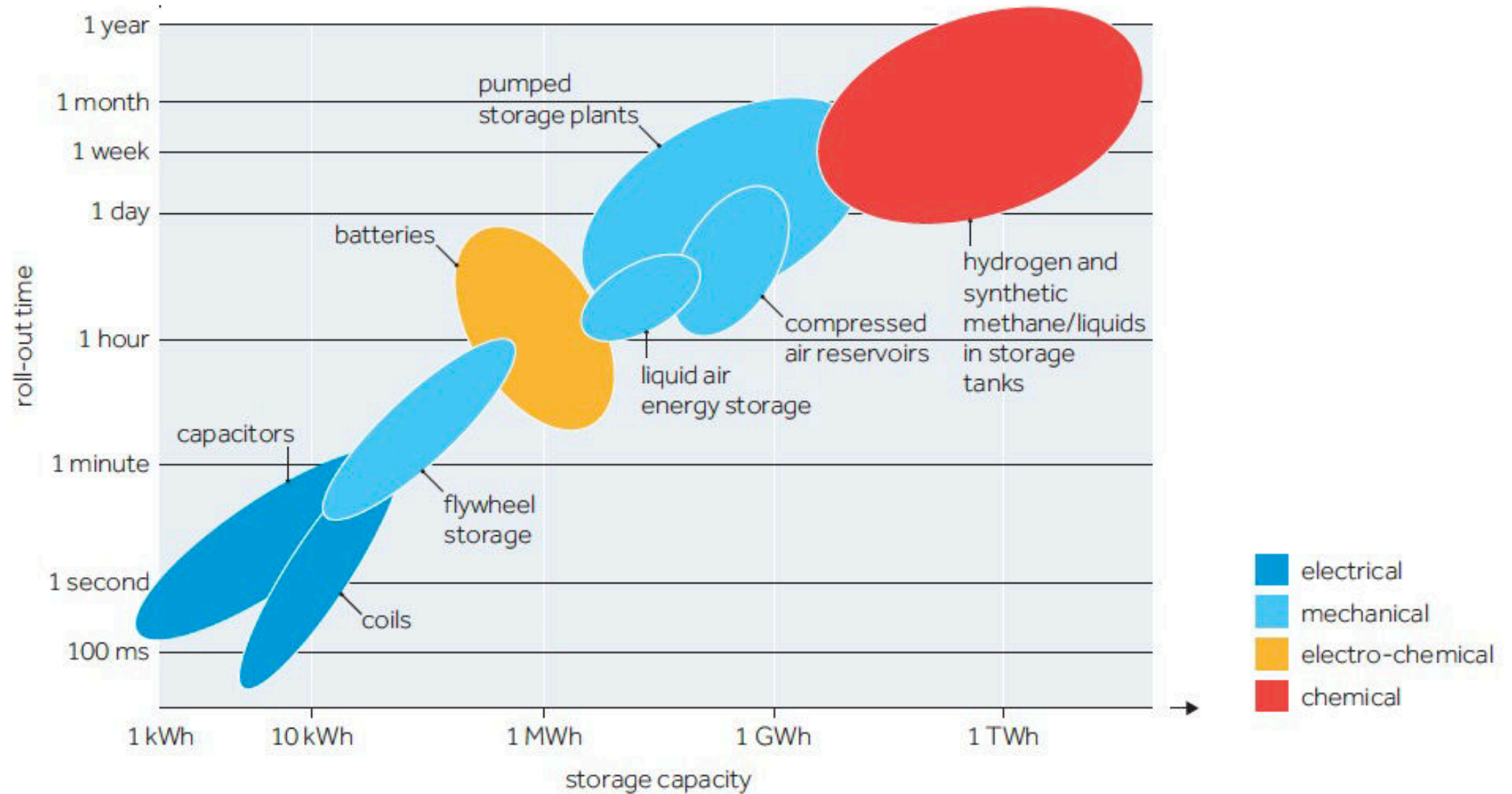
- Kosten 6 Mio. CHF
- Leistung 18 MW_e
- Gespeicherte Energie 7.5 MWh_e
- Masse 150 t
- Fläche 450 m²

-» Bei einem Speicherbedarf von 19 TWh_e ergibt das 2'500'000 Anlagen

-» Kosten 15'000 Mia. CHF

-» Flächenbedarf 1'100 km² (150'000 Stade de Suisse)

Wie Energie speichern?



Synthetische Kohlenwasserstoffe

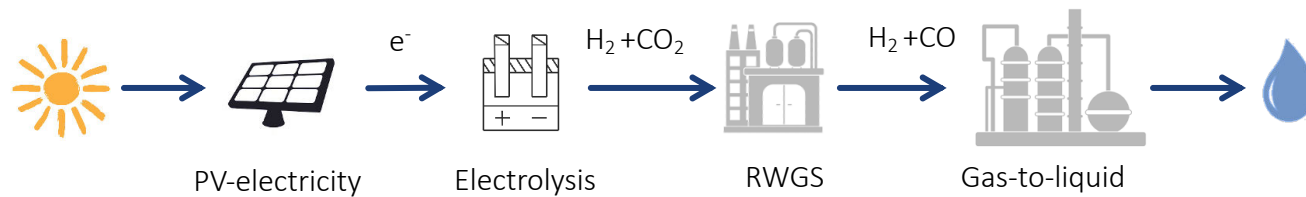
SynFuels – Viele Wege führen nach Rom

Major Pathways

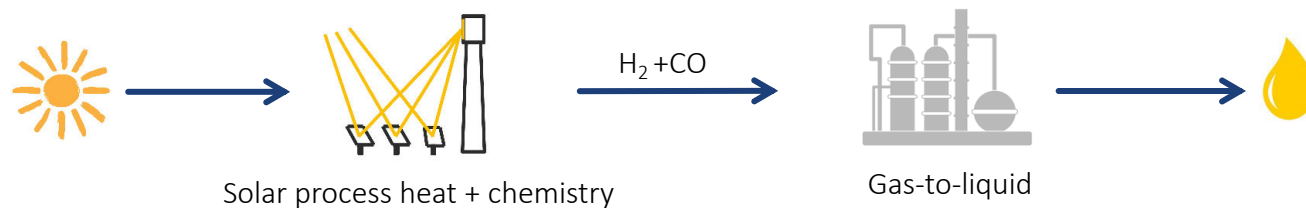
Bio-fuels



Electrochemistry



Thermochemistry (Synhelion)



Energy conv. efficiency	CO ₂ -reduction potential
< 1%	< 100%
~ 8%	100%
~ 18%	100%
> 30% (hybrid)	50% (hybrid)

Der Traditionelle Ansatz – Biomasse

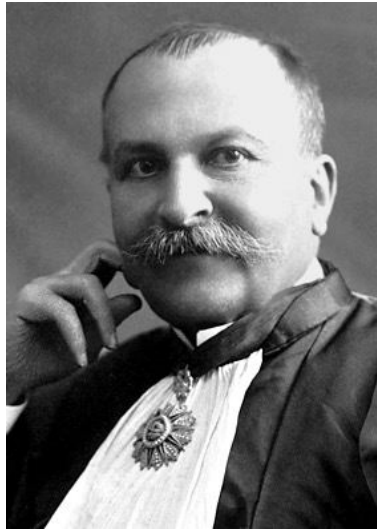


Schweiz: Heute genutzt 14 TWh_{th}, zusätzliche 12 TWh_{th} wären möglich¹⁾

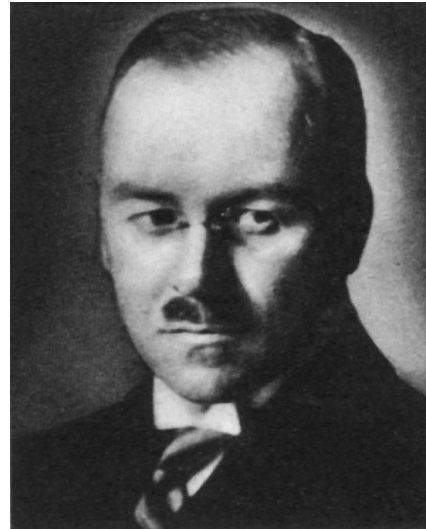
Optimal genutzt mit Wärme-Kraft-Kopplung, CO₂ dann rezykliert in “SynFuels”

Direkte Umwandlung in SynFuels (Gärung, ...) auch machbar

1) Oliver Thees, et al., Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung, WSL Report



Paul Sabatier



Hans Tropsch

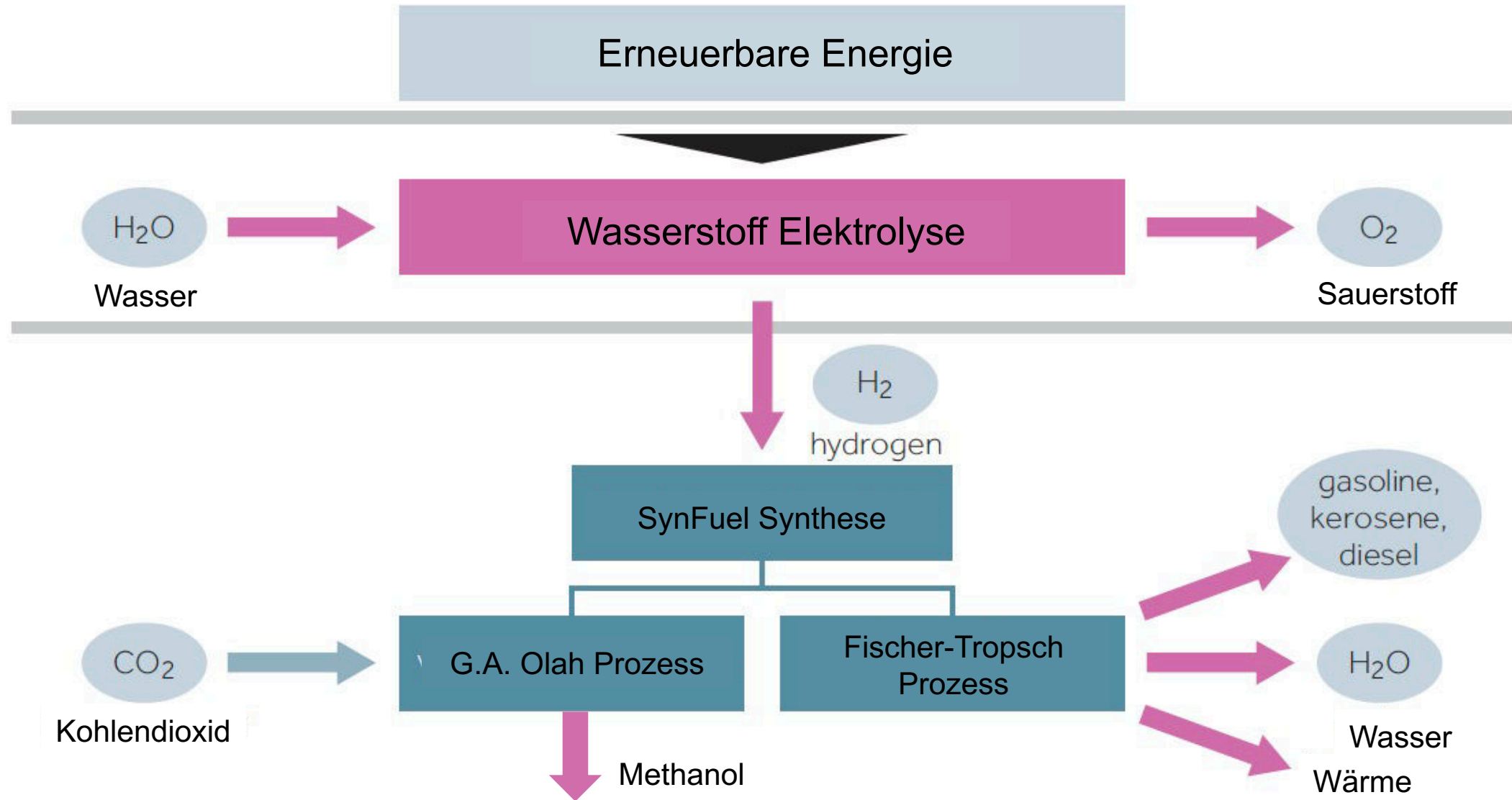


Franz Fischer



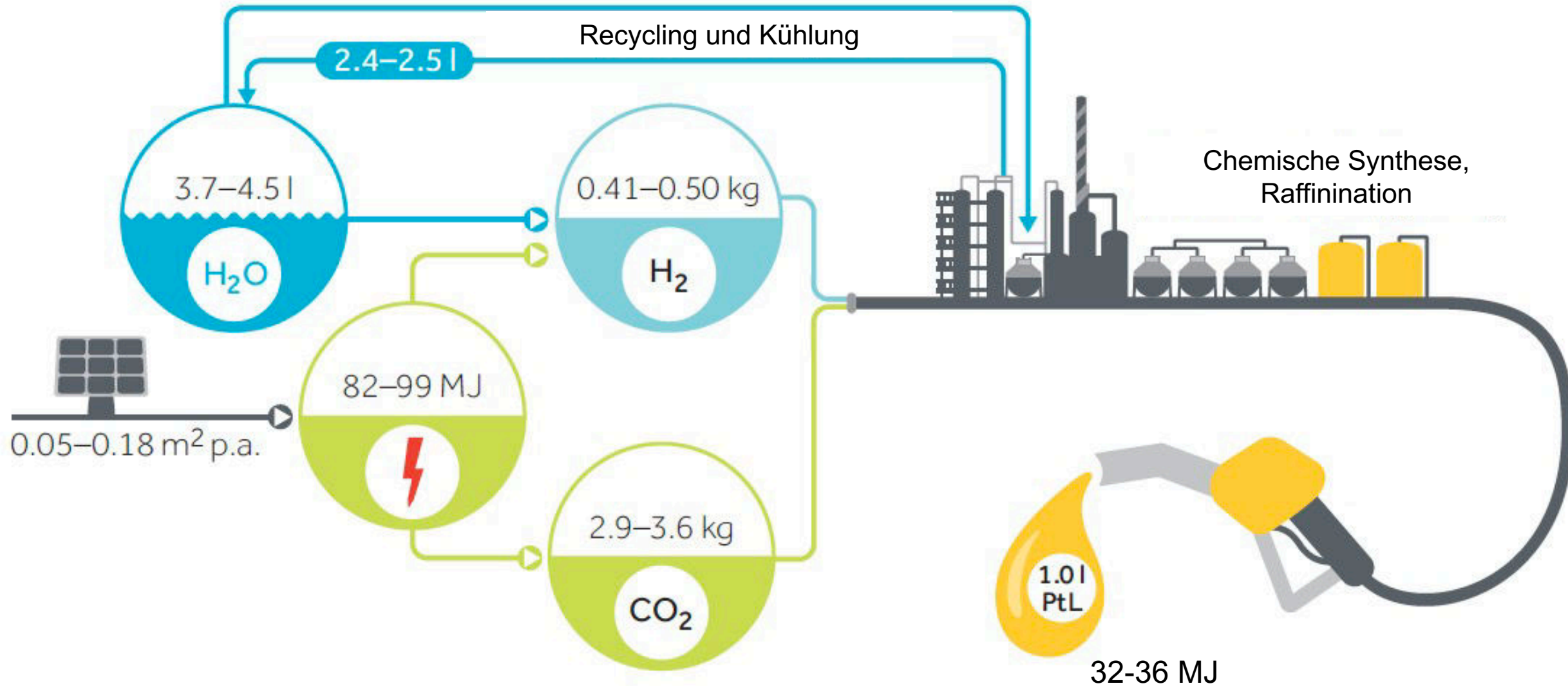
George Olah

SynFuels – Grundlegende Prozessschritte



SynFuels – Energie- und Massenbilanz

Source: Shell (2018a)



Beispiel George Olah Plant, 2011



Nominale Kapazität

5 Mio. l MeOH pro Jahr

CO₂-Quelle: Abgase
der “Svartsengi
Power Station”

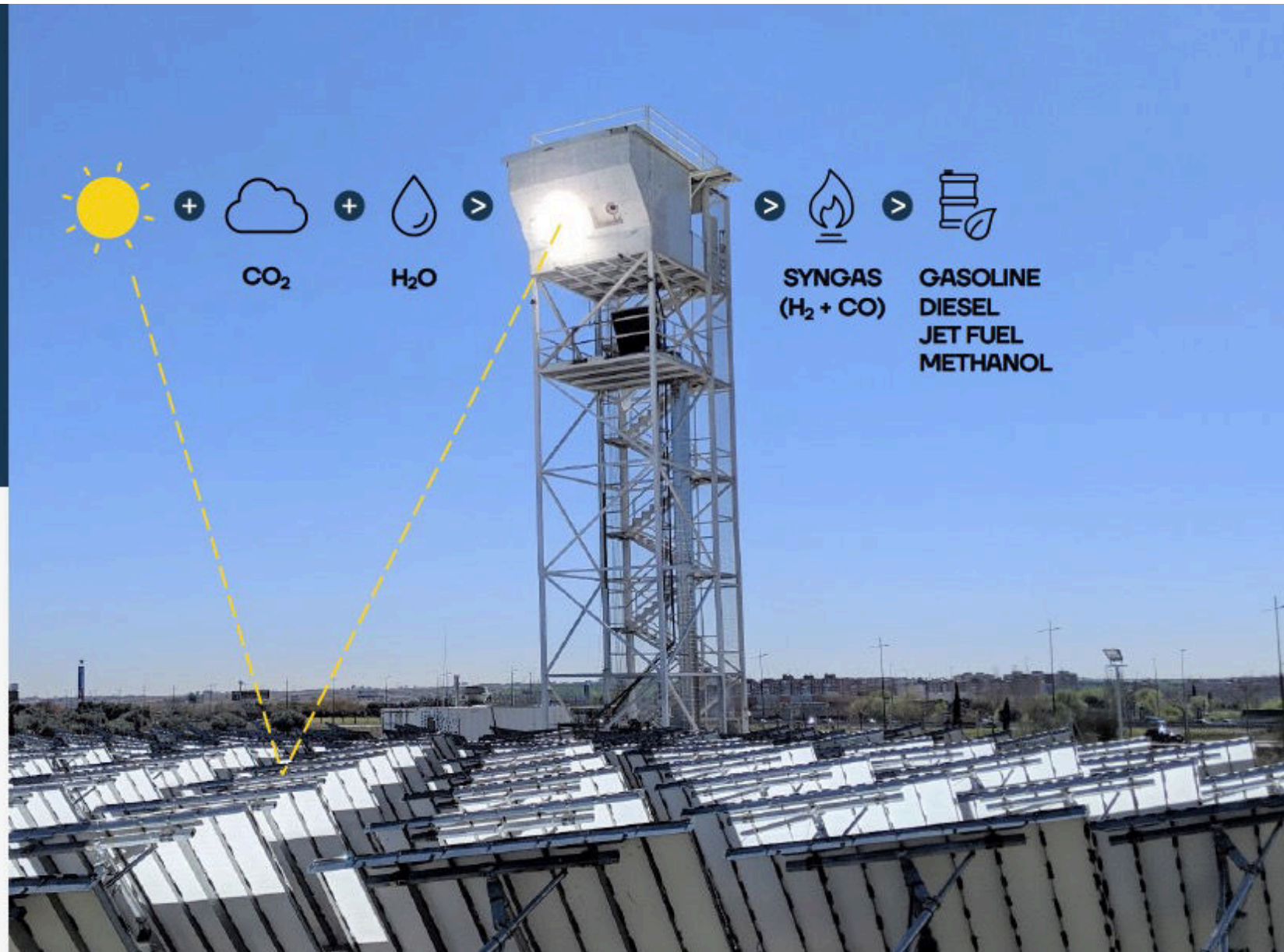
H₂-Quelle: Hydrolyse
mit CO₂-freiem Strom
(Geothermie)



Synhelion technology

WE TURN CO_2
INTO FUEL.

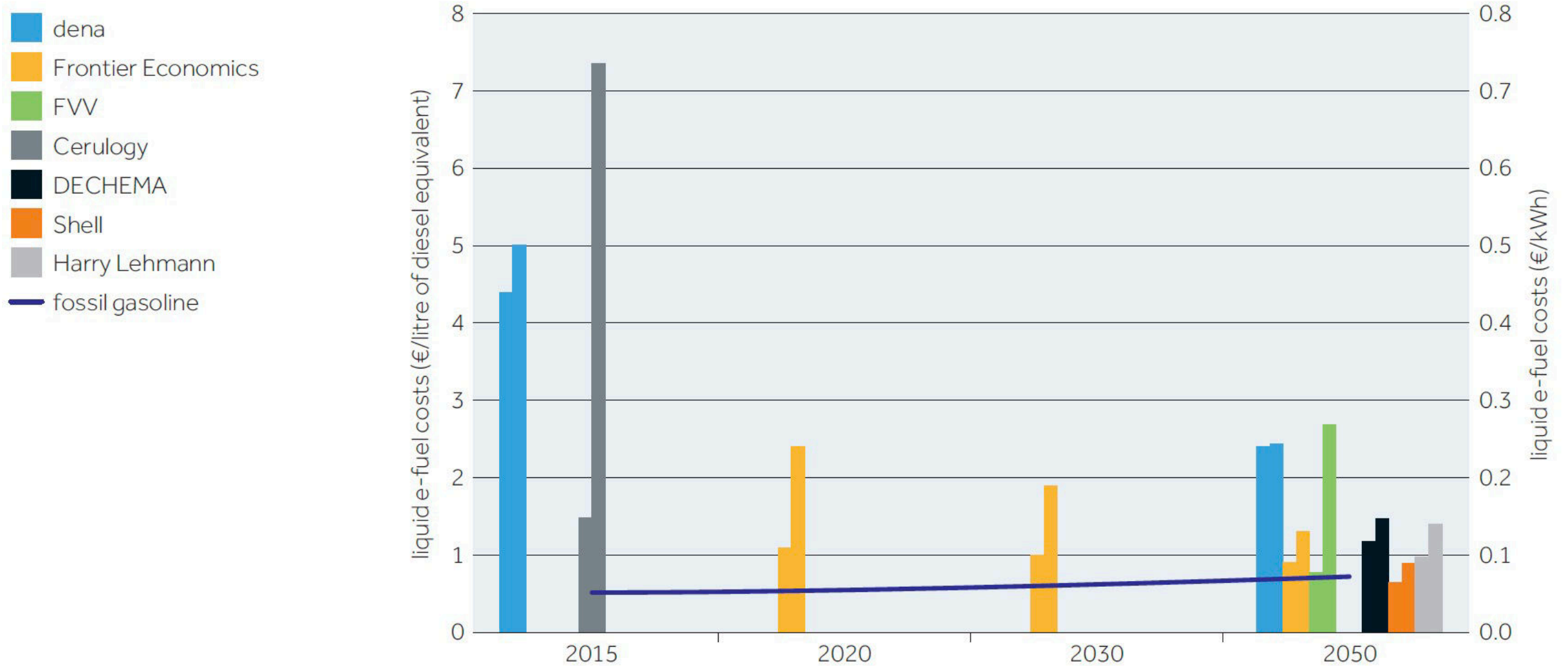
Synhelion uses
solar heat to
convert CO_2 and
 H_2O into synthetic
fuels – so-called
solar fuels.



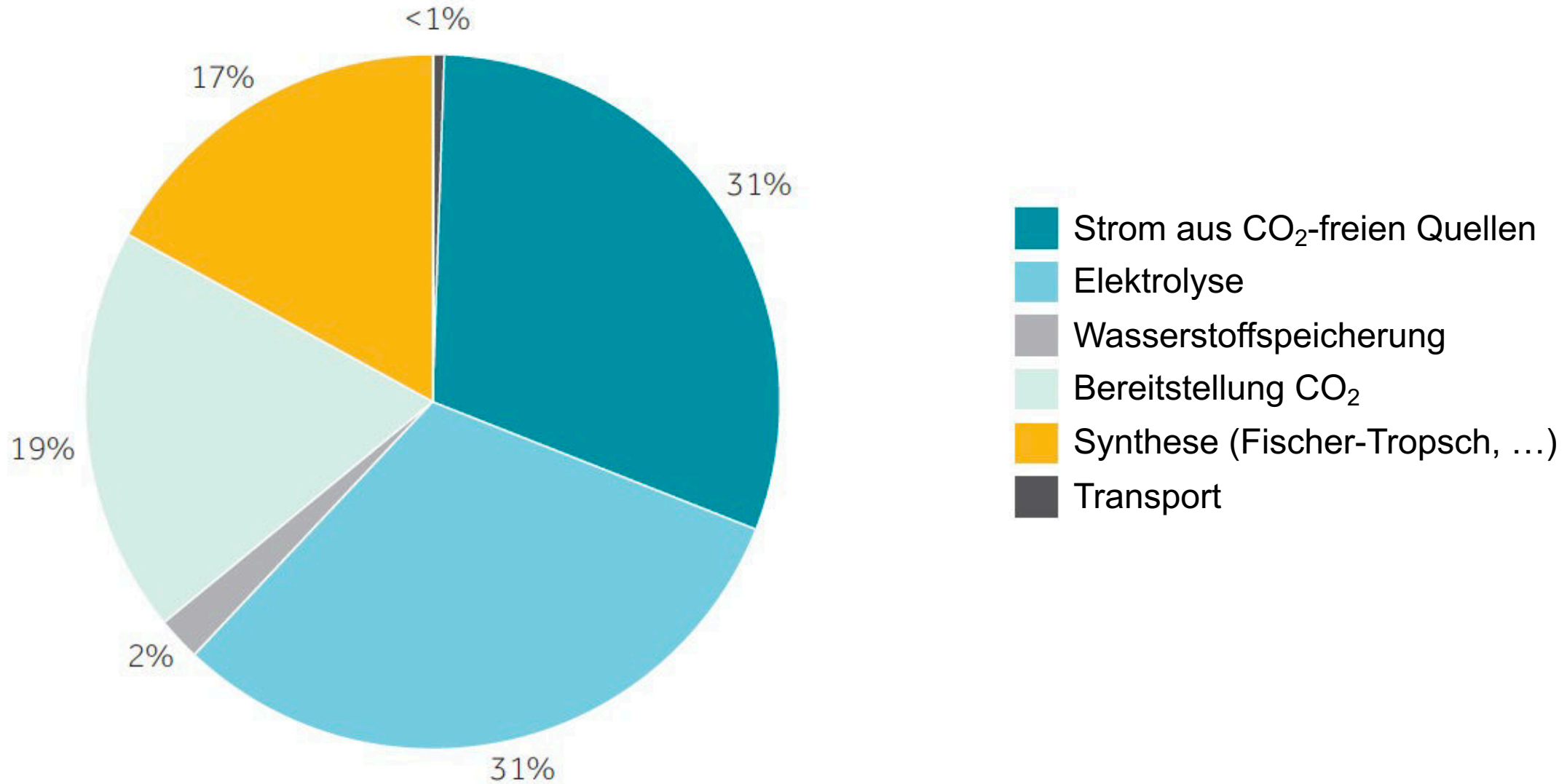
CO₂ – Woher nehmen?



Kostenprognosen – Flüssige SynFuels

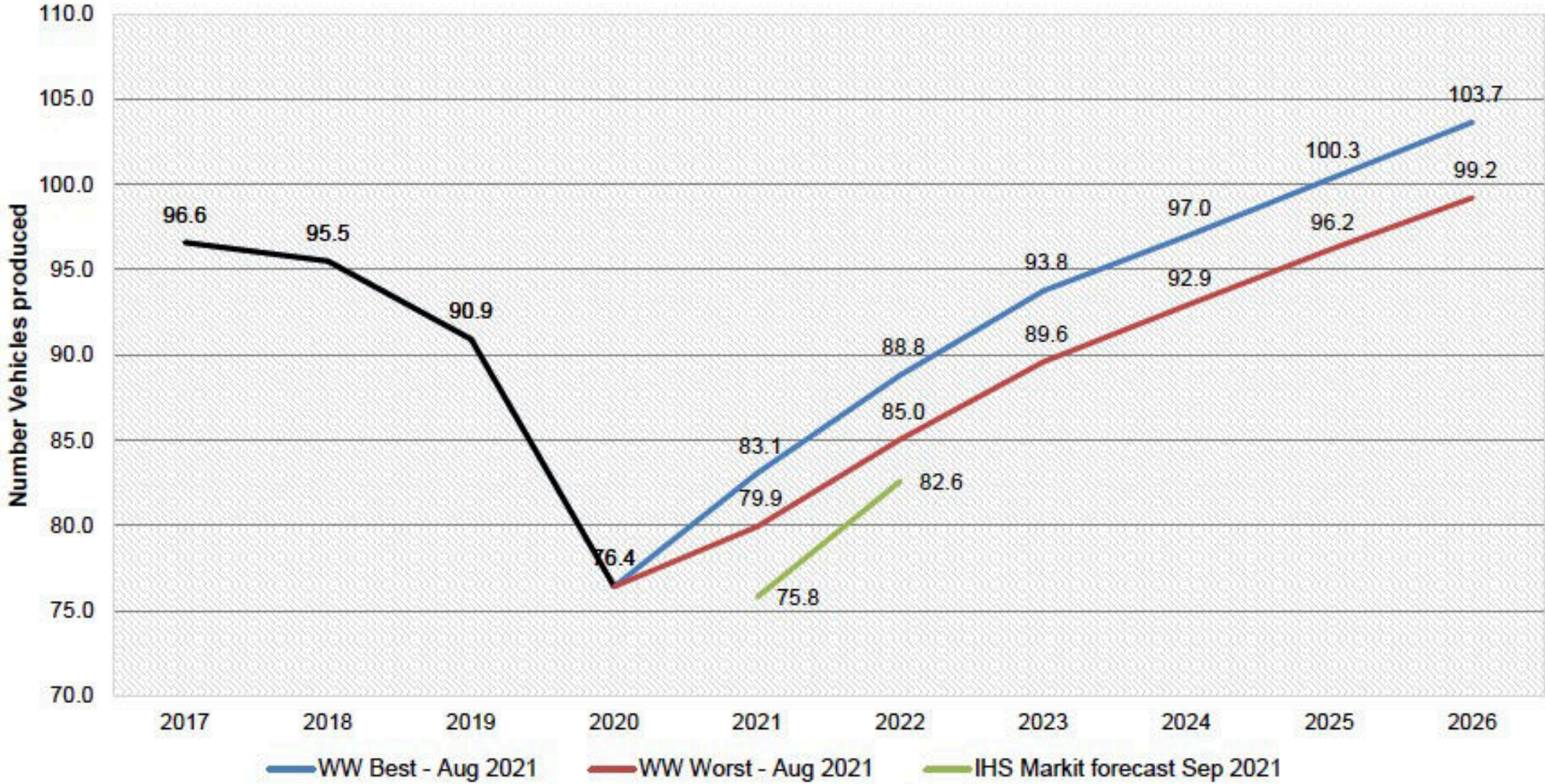


Kostenanteile – Flüssige SynFuels



Der Fahrzeugsektor

Produktion PKW & LKW Weltweit – Ab 2021 Schätzungen



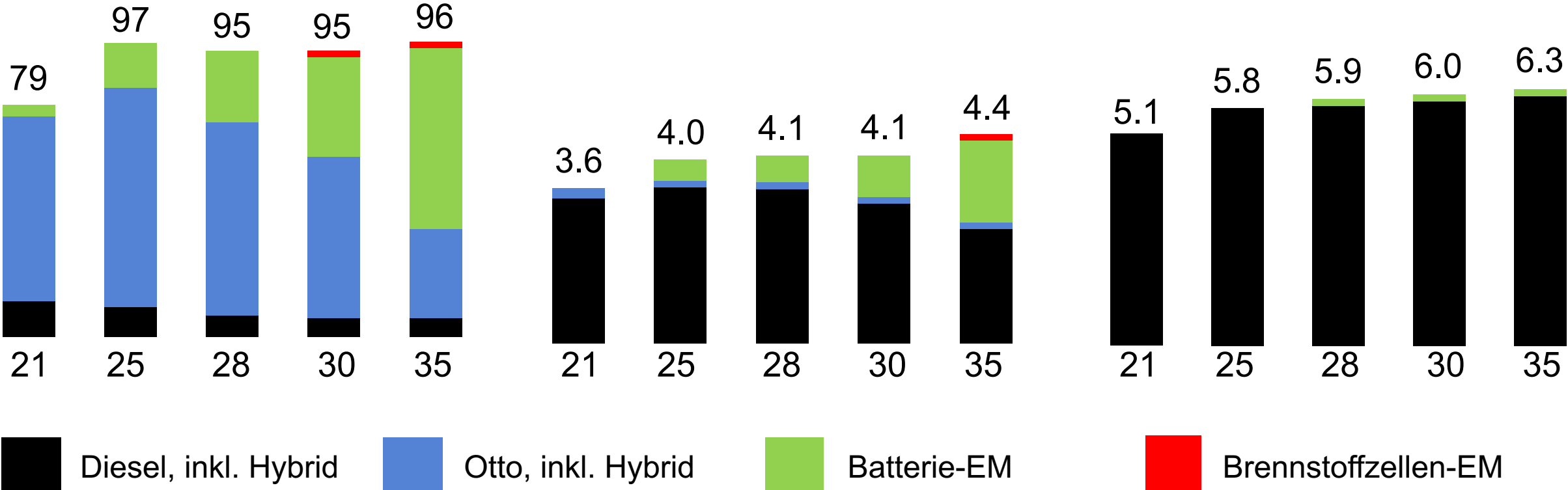
Eigene Abschätzungen, diverse Quellen

Prognosen Produktionsanteile Weltweit, Mio. Einheiten

PKW

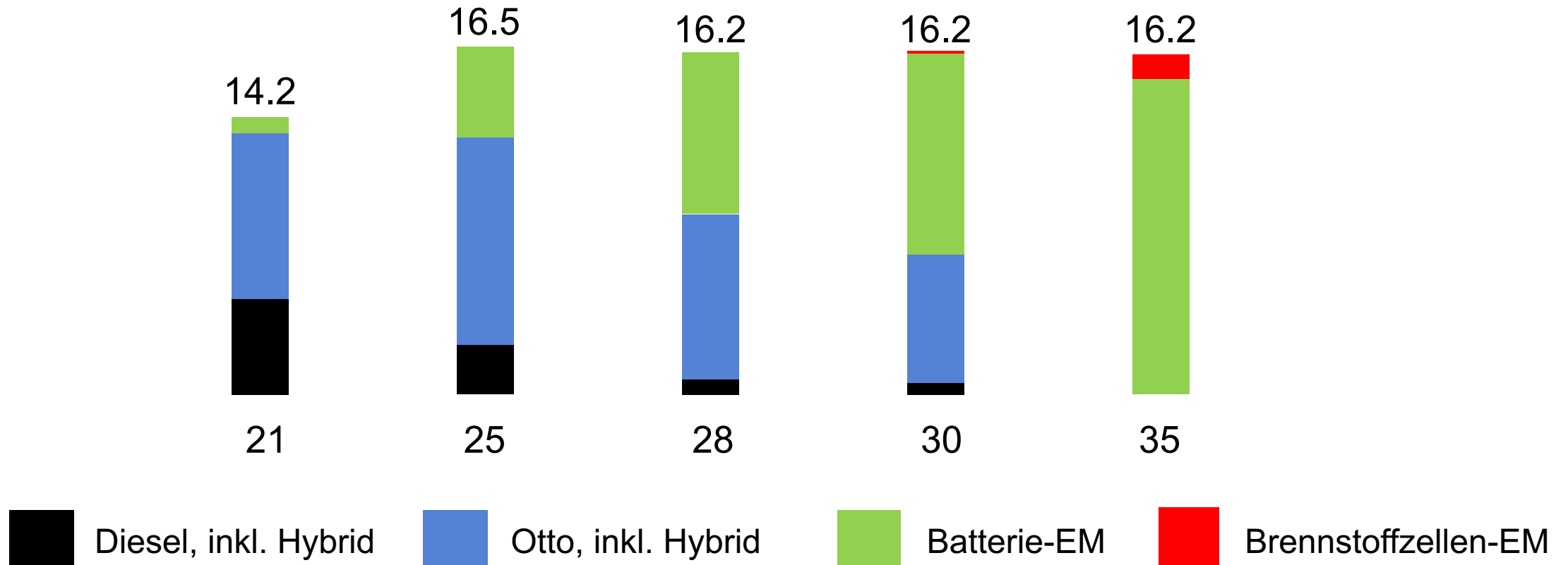
LKW

«off road»

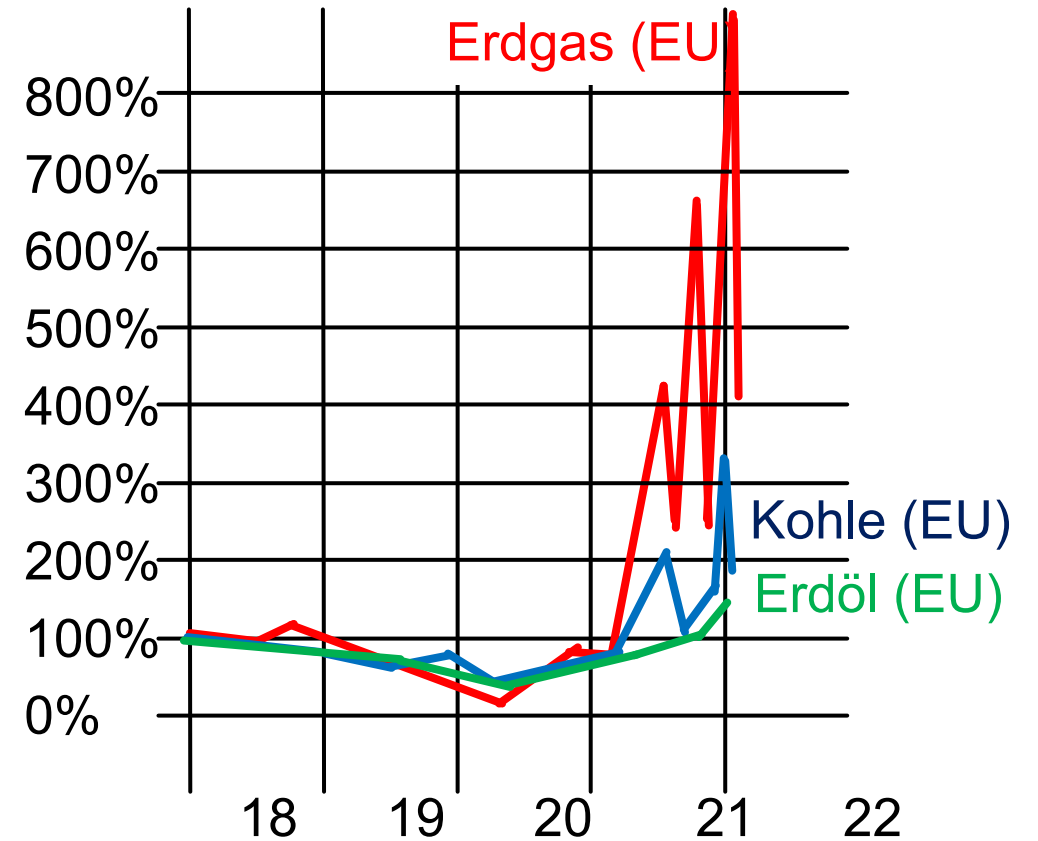
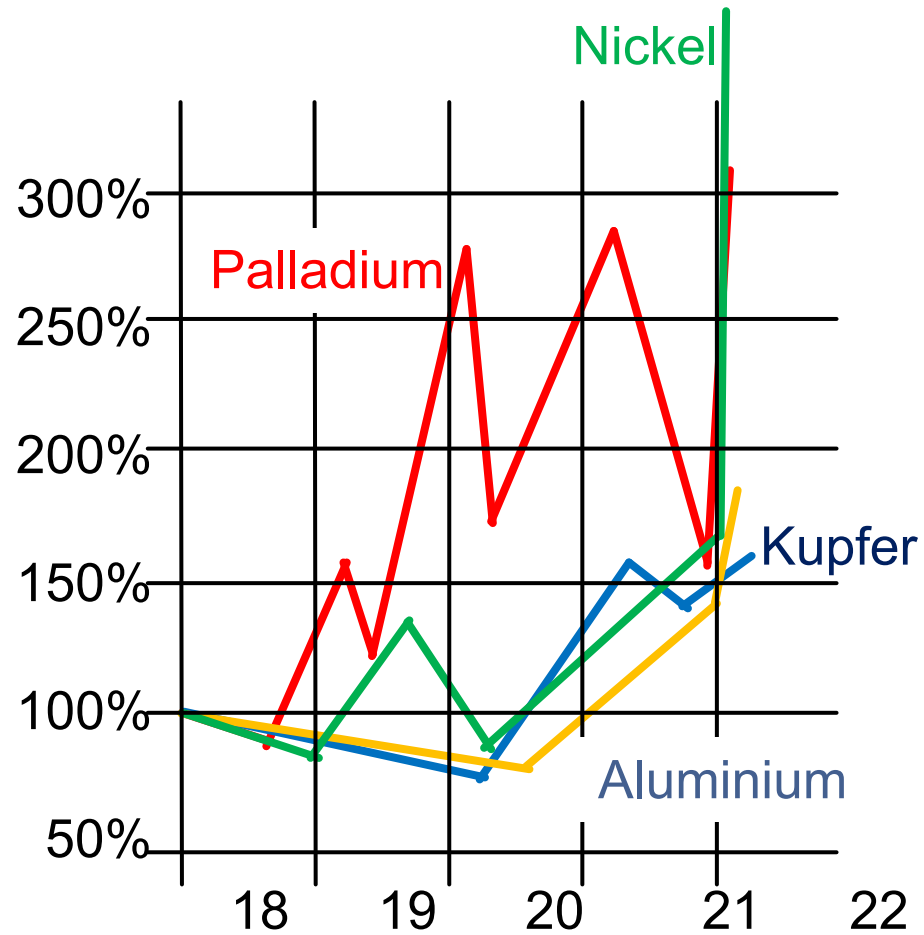


Eigene Abschätzungen, diverse Quellen

Verkaufszahlen PKW Europa



Es kann immer noch schlimmer werden ...

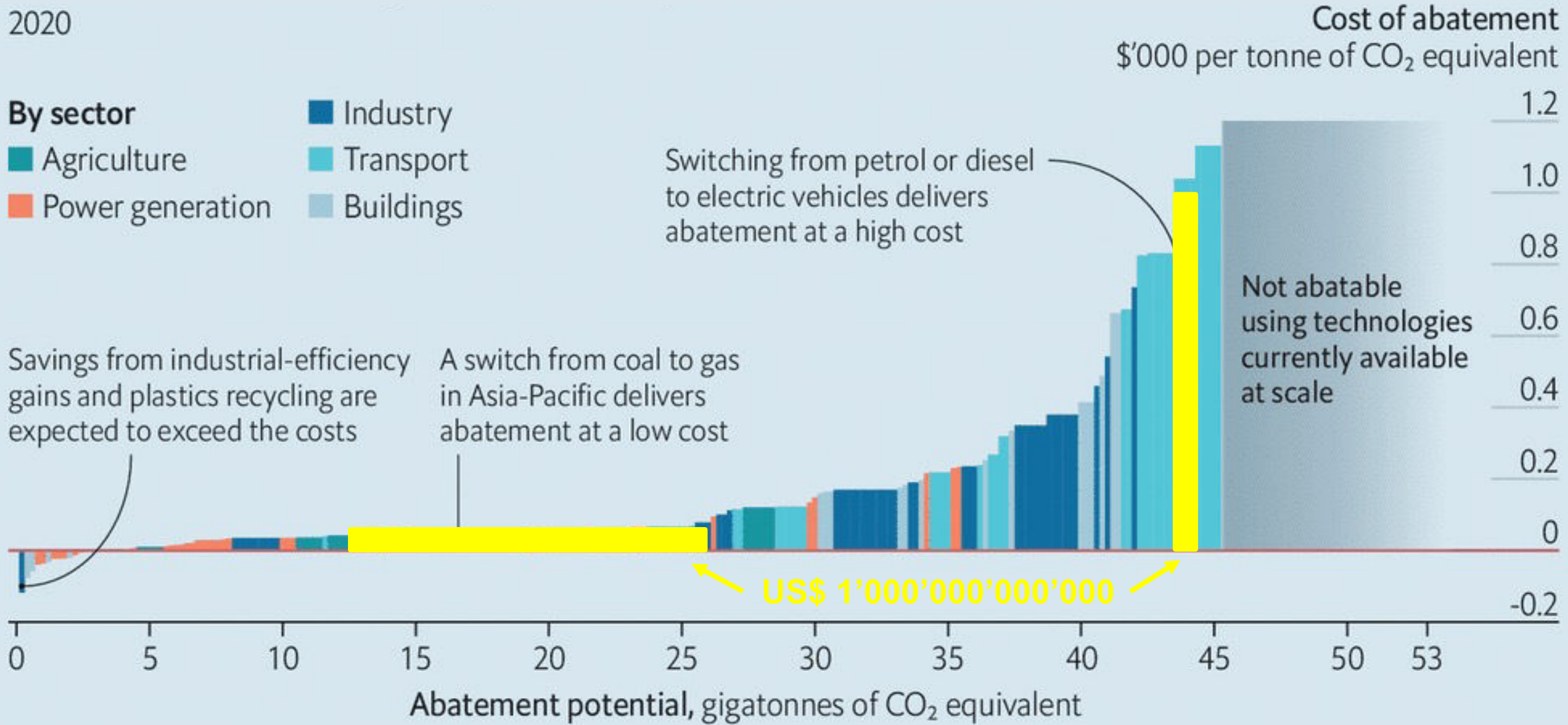


Nur ökonomisch sinnvolle Lösungen sind wirksam

2020

By sector

- Industry
- Agriculture
- Power generation
- Transport
- Buildings



Merci für Ihre Aufmerksamkeit!