



Linthforum 2022

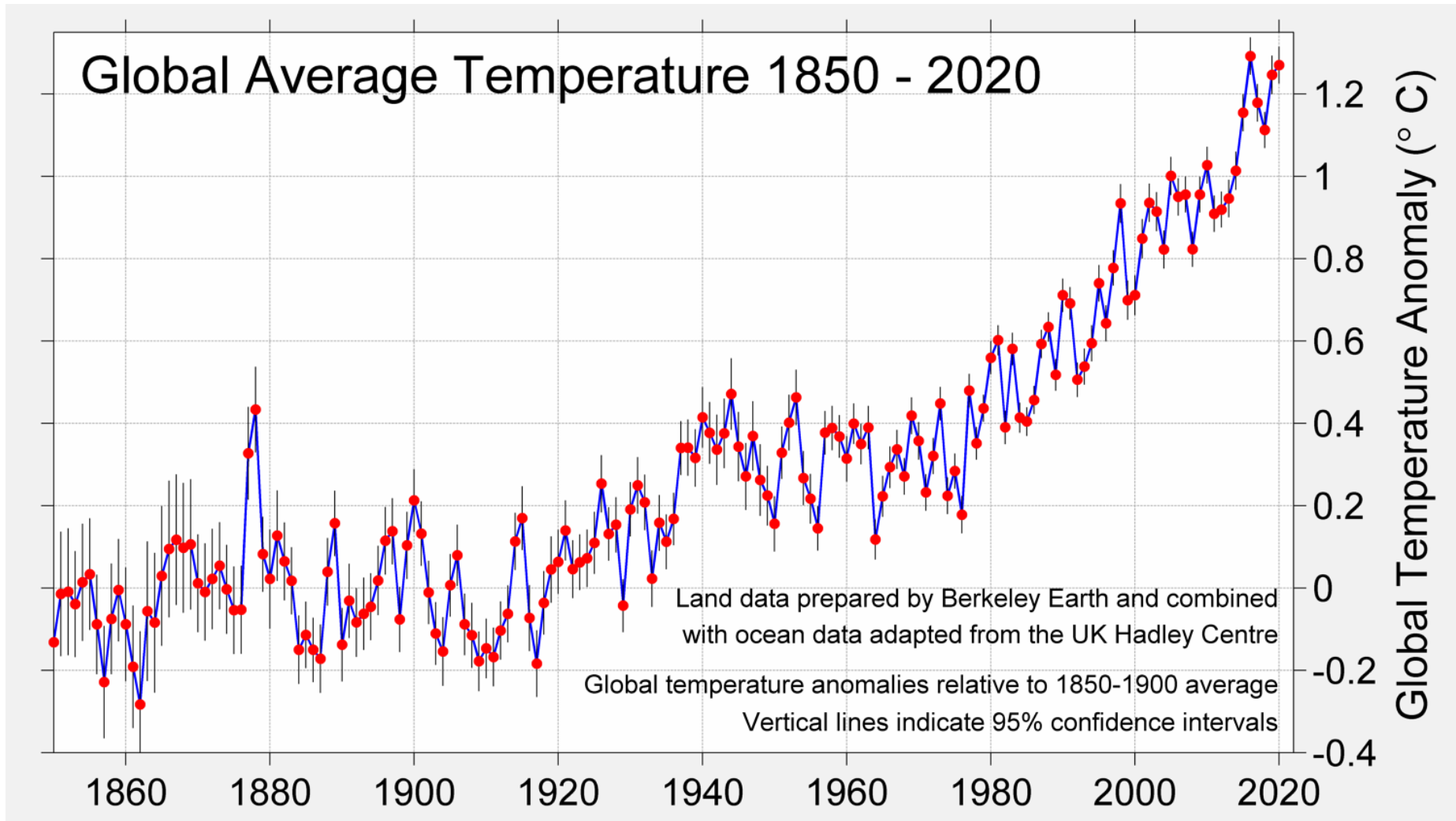
Energieversorgung Schweiz – Die Rolle der Berggebiete

1. September 2022, Lintharena, Näfels

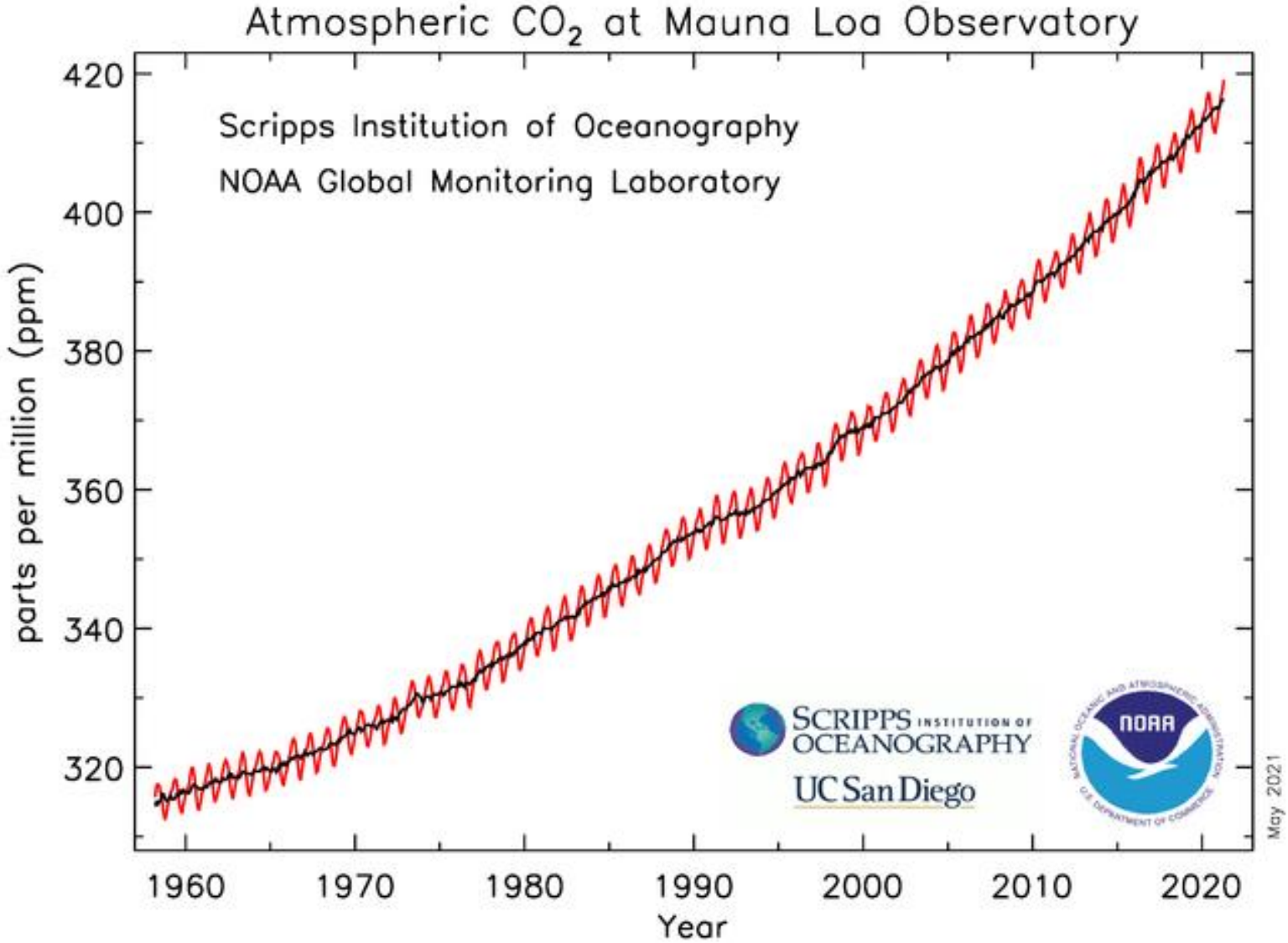
Lino Guzzella

Motivation

Globale mittlere Temperatur

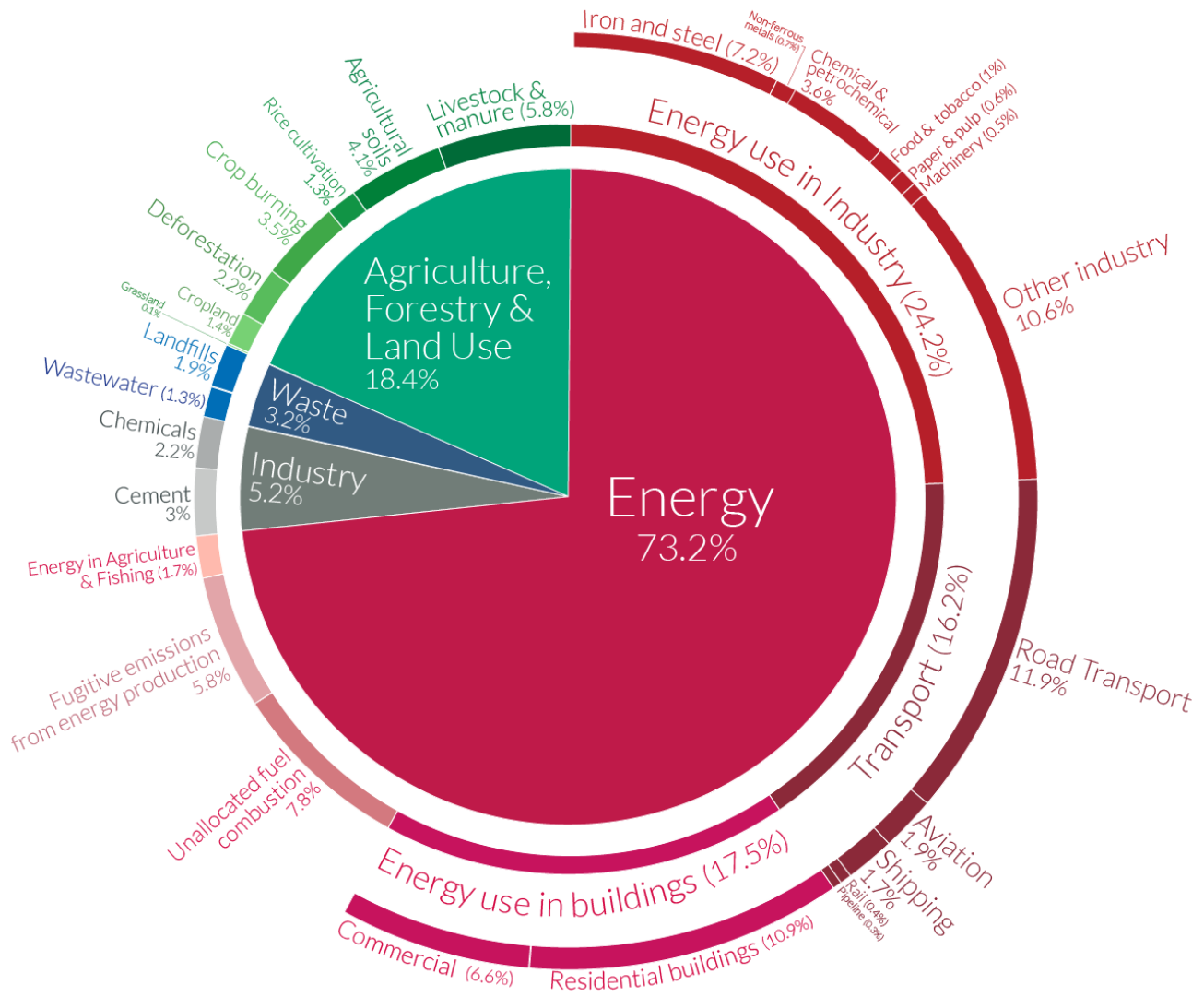


CO₂ Konzentration Atmosphäre



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

CO₂ Emissionen nach Sektoren

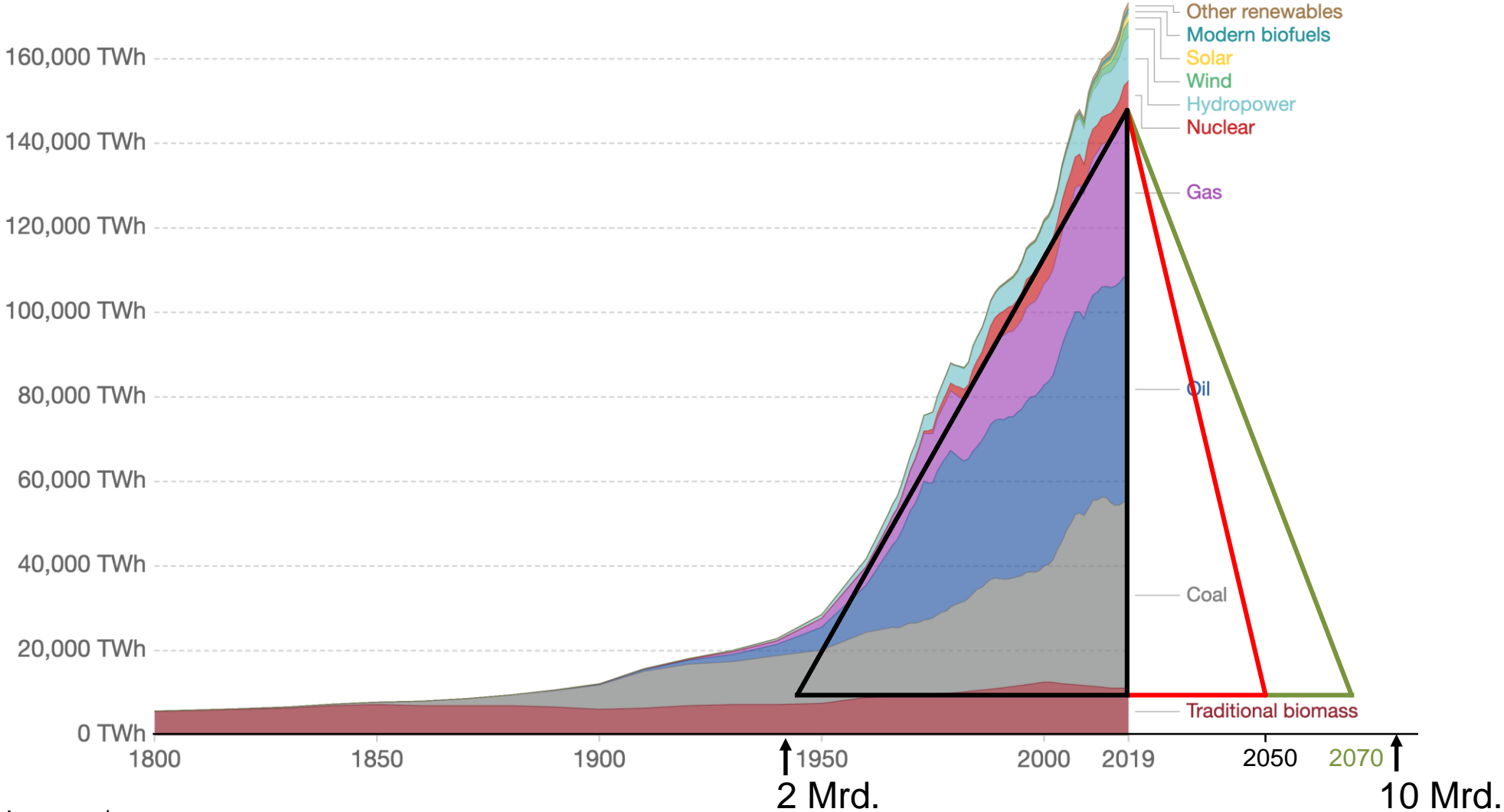


Die Welt

Einflussfaktoren CO₂-Emissionen

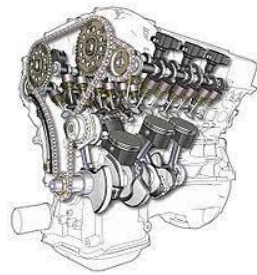
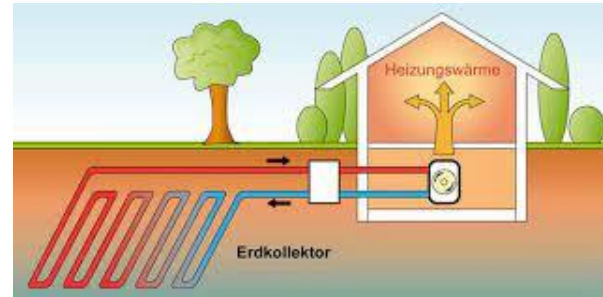
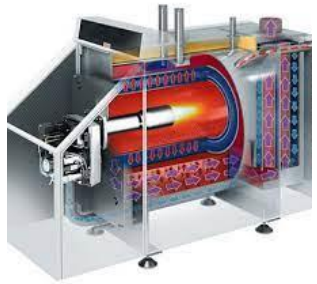
$$CO_2 = \textit{capita} \times \frac{GDP}{\textit{capita}} \times \frac{\textit{energy}}{GDP} \times \frac{C^f O_2}{\textit{energy}}$$

Jahresverbrauch Primärenergieträger



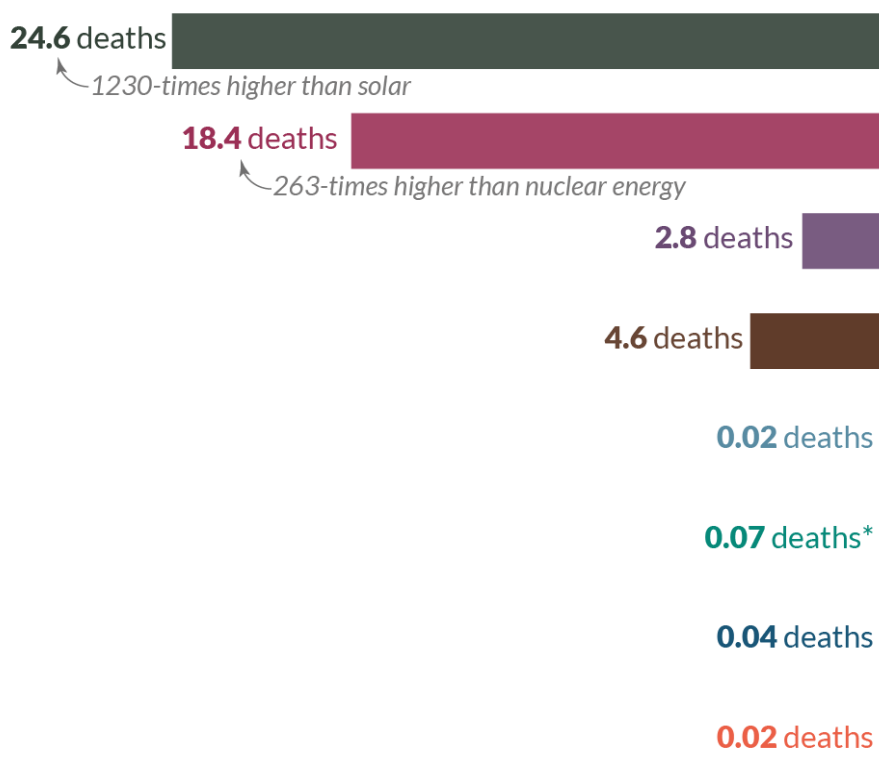
<https://ourworldindata.org/>

Elektrifizierung als zentrales Element

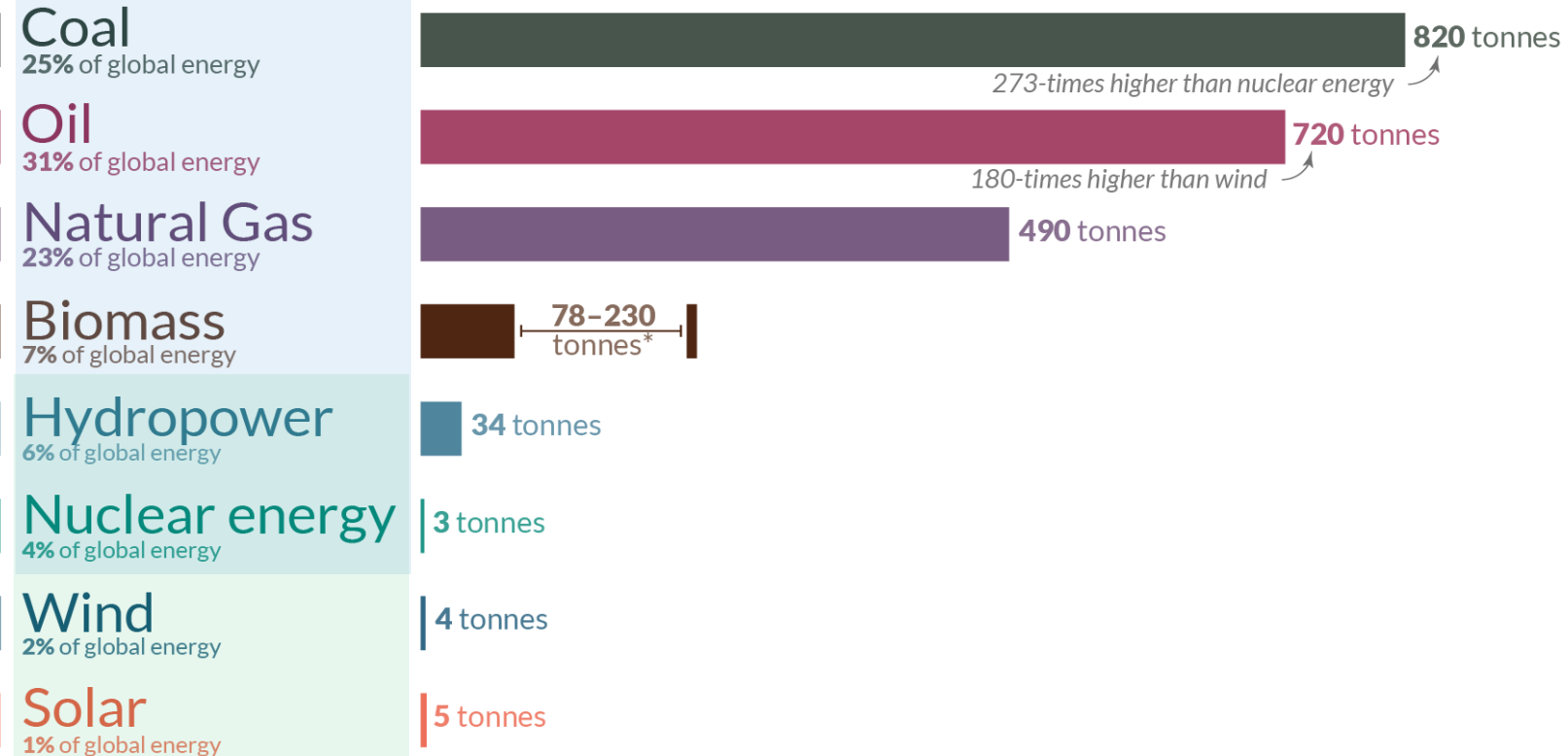


Vergleich diverser Stromerzeugungsarten

Todesfälle: Anzahl/TWh

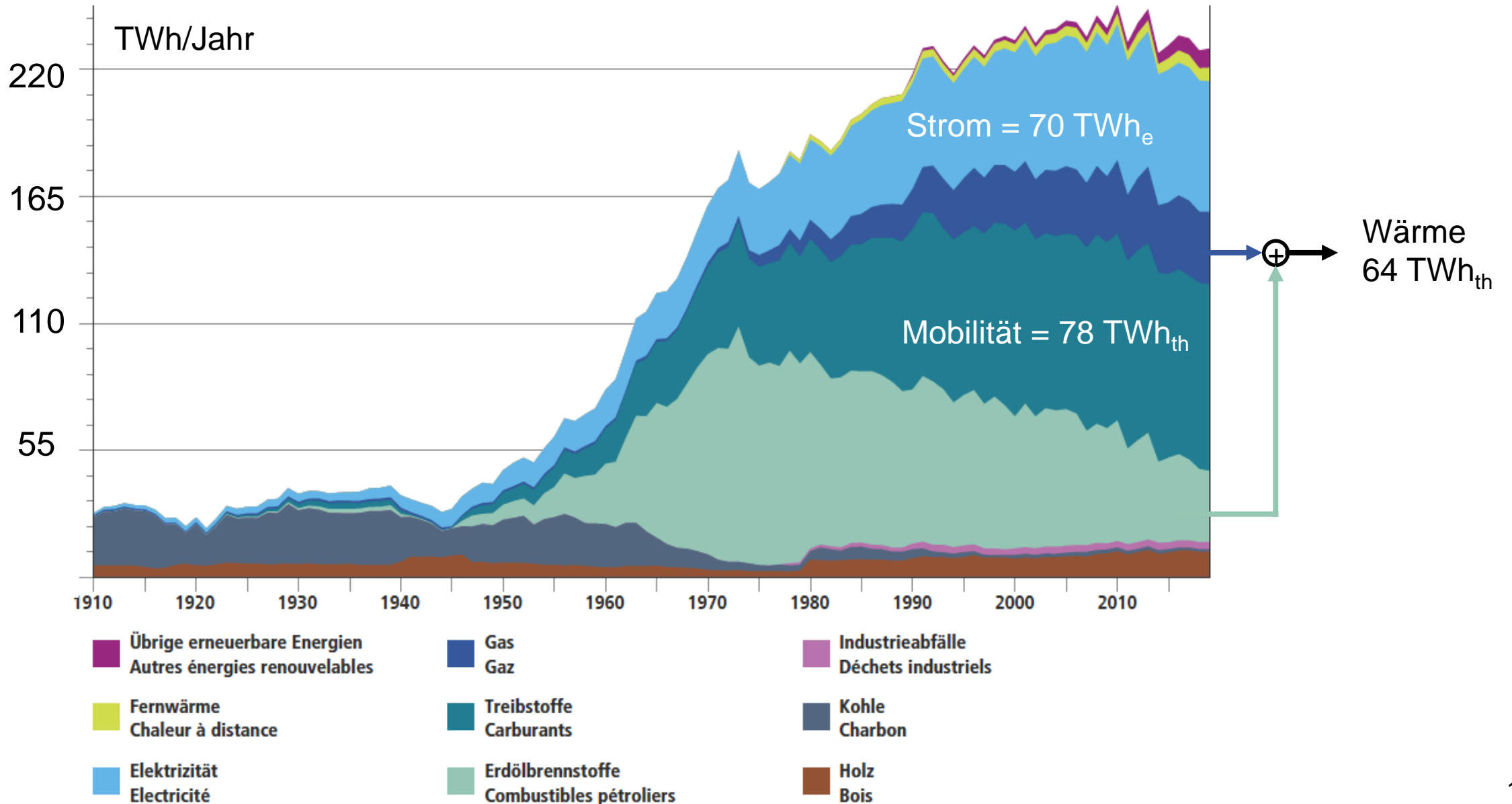


CO₂-Emissionen: t CO₂/GWh

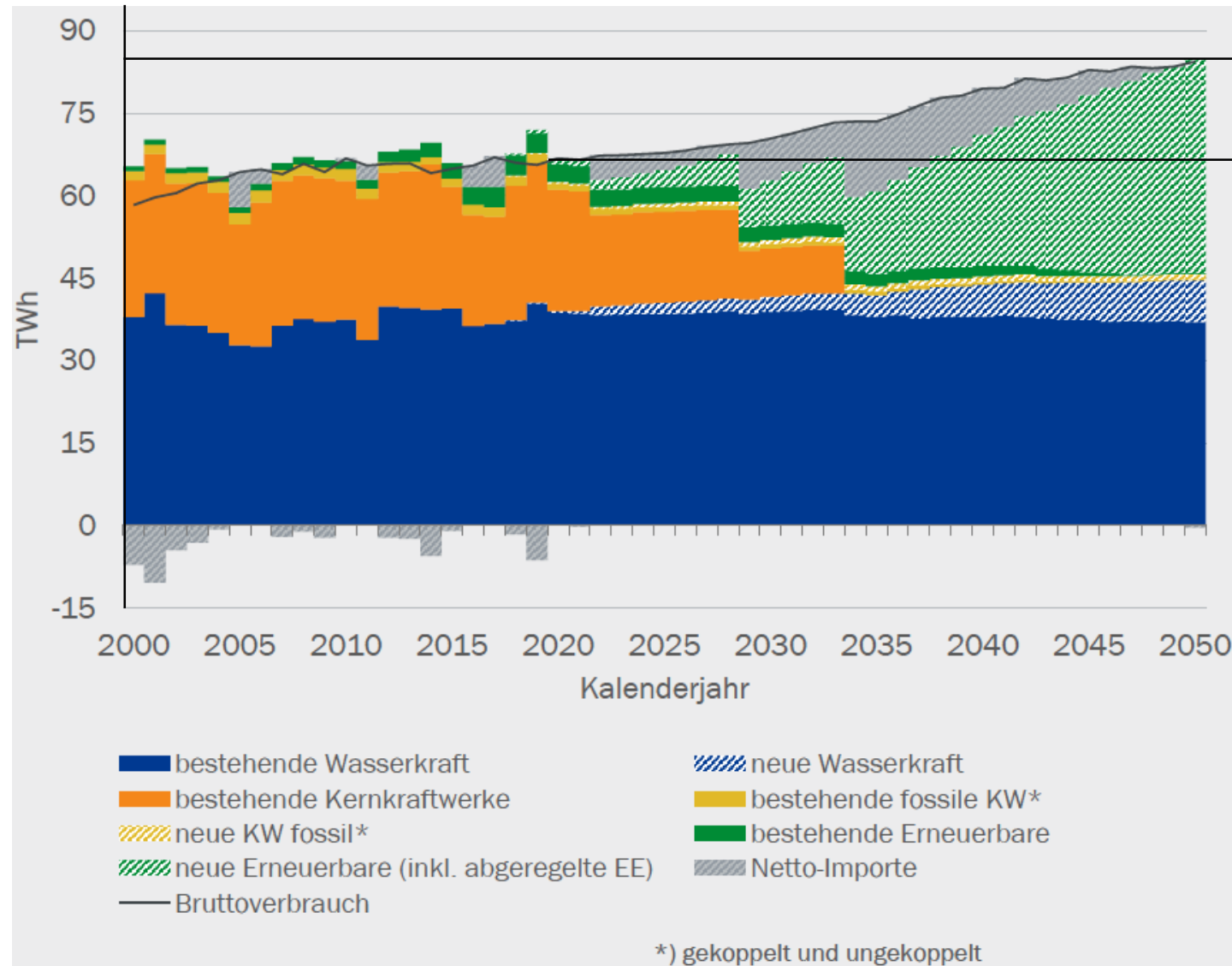


Die Schweiz

Energieverbrauch Schweiz – BfE Statistik 2020



Zukünftige Stromversorgung Schweiz – Jahresbetrachtung



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

Abschätzung LGU

Abschätzung Strombedarf Schweiz im Jahr 2050

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

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

Mobilität rein elektrisch, 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 $\approx 13.2 \text{ GW}_e$

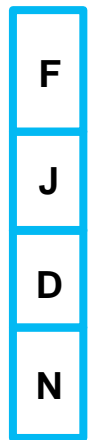
Wasserkraft Monatsanteile – 2020

8 TWh_e



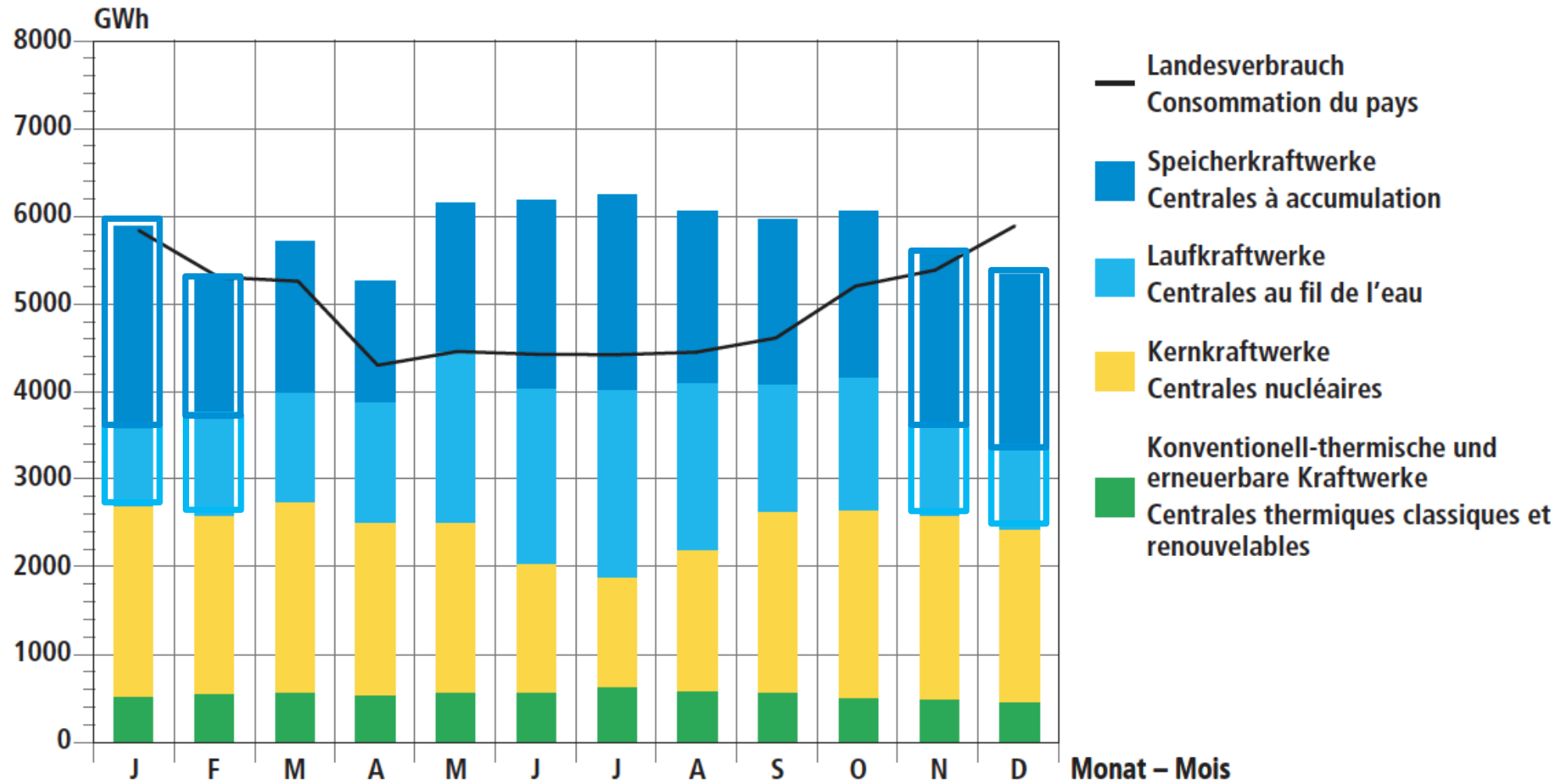
SPKW

4 TWh_e



LWKW

Winterproduktion

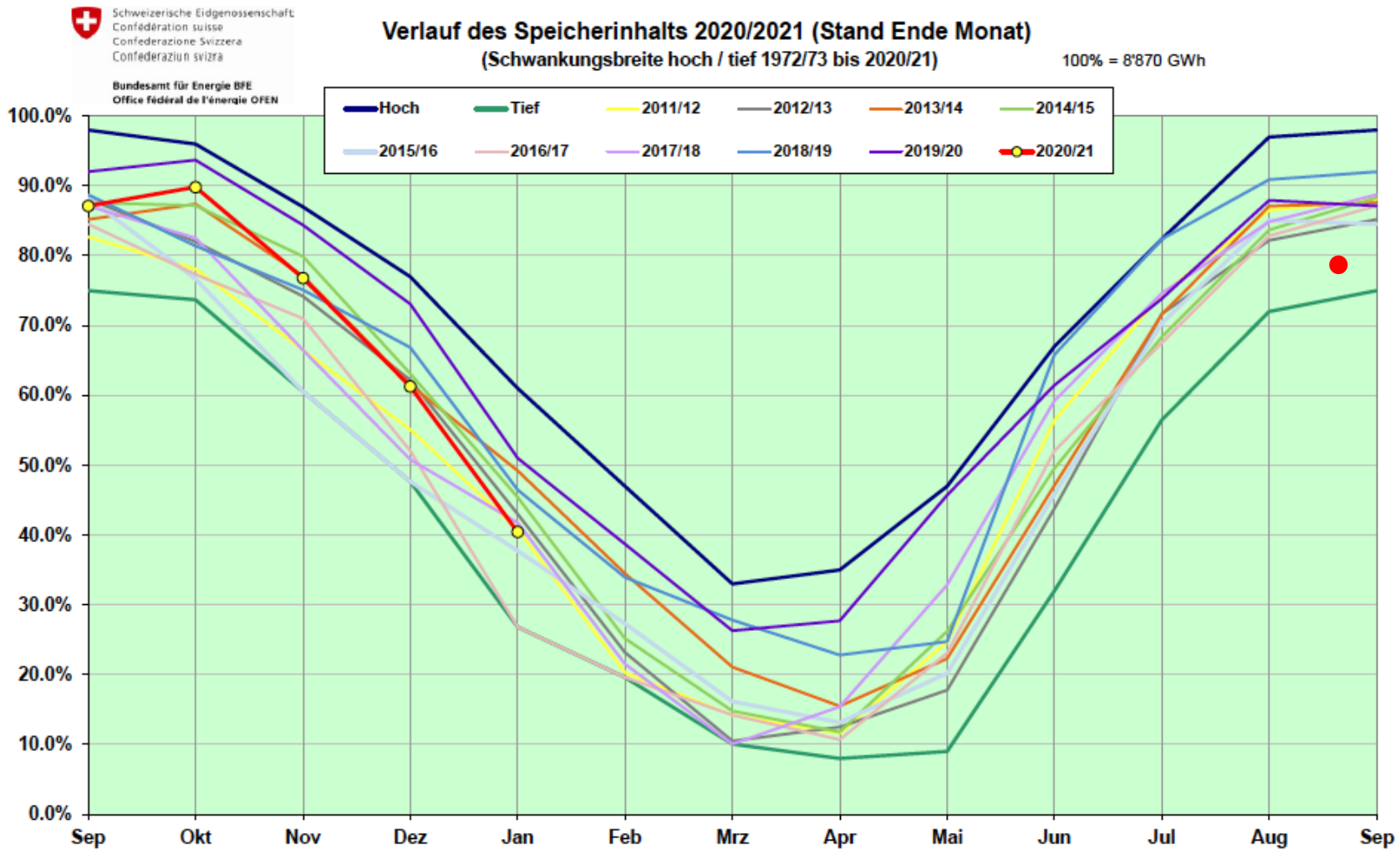


BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2020 (Fig. 10)
OFEN, Statistique suisse de l'électricité 2020 (fig. 10)

Wasserkraft saisonale Speicherung

8.8 TWh_e

0.9 TWh_e



7 TWh_e

Potenzial der Wasserkraftproduktion und -speicherung

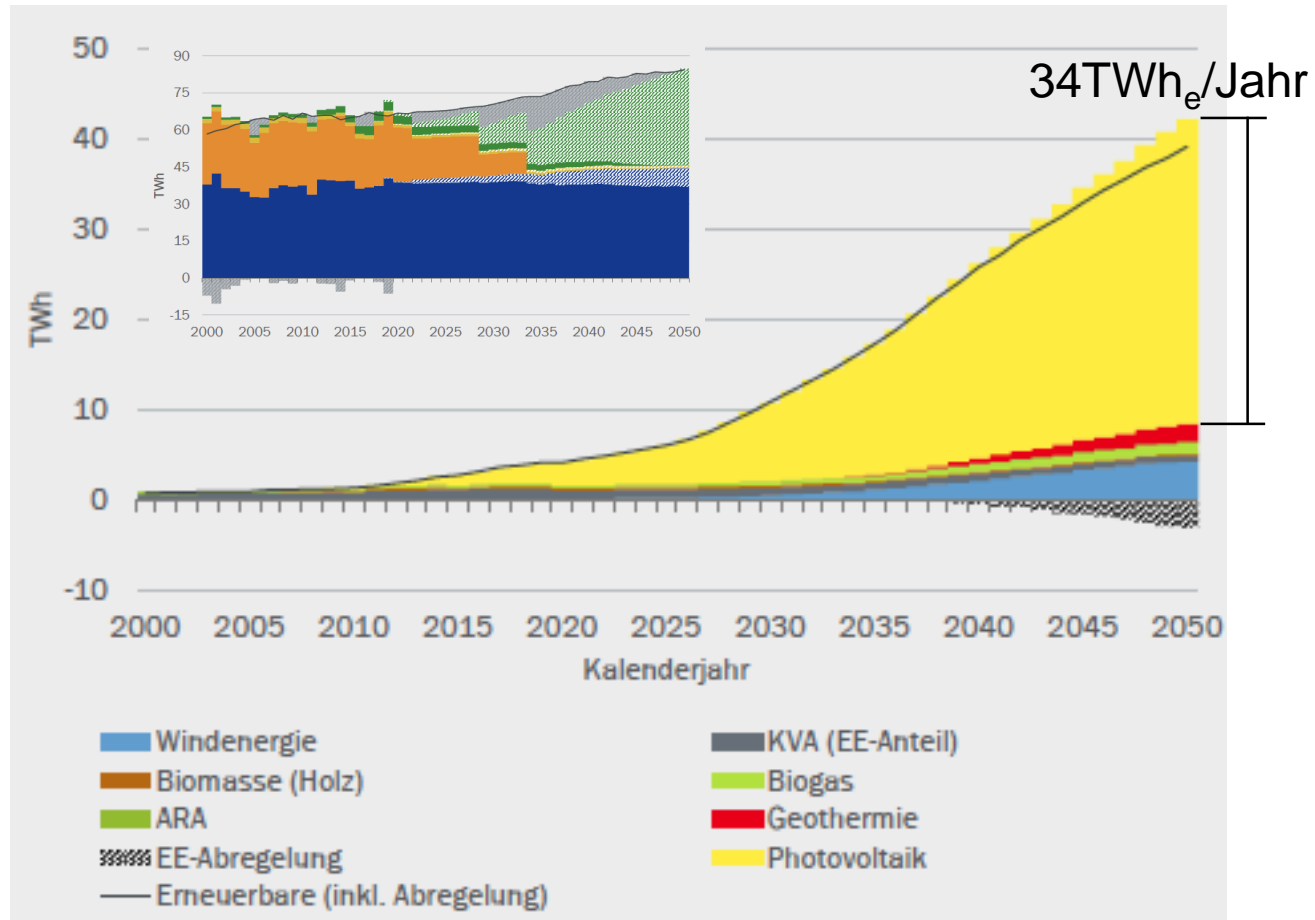
Produktion: Neubauten, Ausbauten und Erneuerungen

- 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	
Talsperreenerhöhungen	0.0 – 0.2	0.2 – 1.5	Quelle: Boes et al. (2021)

Summe: 0.9 – 3.7 TWh_e

Stromversorgung Schweiz – Energie und Leistung von PV



PV-Anlagen CH, Jahr 2020

Installierte Leistung 2.9 GW_p

Generierte Elektrische Energie 2'750 GWh_e/Jahr

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

Quelle: Swissolar, Faktenblatt, 2021

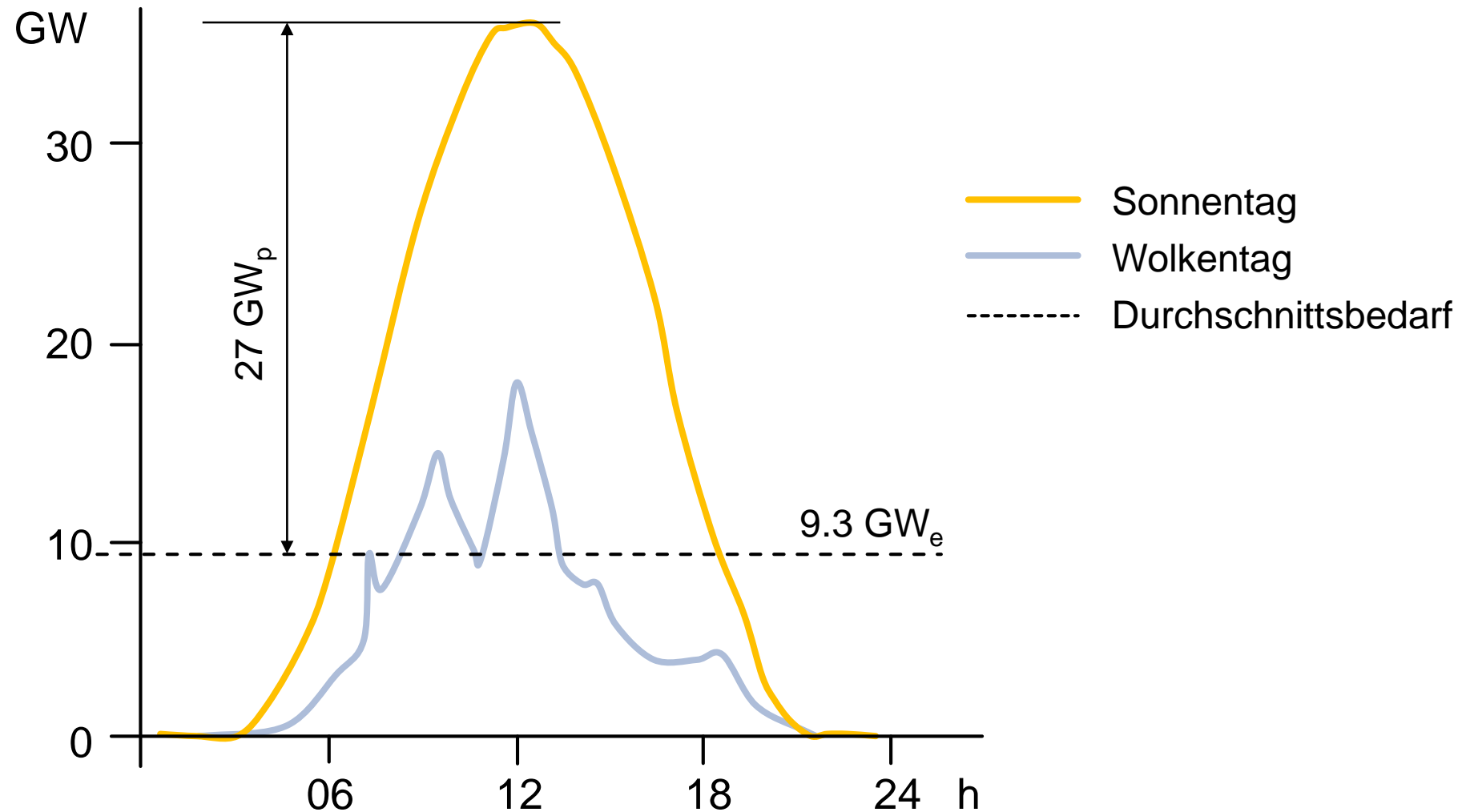
PV-Anlagen CH, Prognosejahr 2050

Zu generierende Elektrische Energie 34 TWh_e/Jahr

Dafür benötigte installierte Leistung 36 GW_p

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

Tagesschwankungen PV – 2050 Sommer



Abschätzung LGu, Darstellung schematisch

Batteriespeicher



Kosten Batteriespeicher Tagesausgleich Sommer

- Kosten 6 Mio. CHF
 - Leistung 18 MW_e
 - Gespeicherte Energie 7.5 MWh_e
 - Masse 150 t
 - Fläche 450 m²
- » Leistungsbedarf ca. 25 GW_e (Mittagssonne) ergibt das ca. 1'400 Anlagen
- » Speicherbedarf ca. 0.3 TWh_e (3 Tage Regen) ergibt das ca. 40'000 Anlagen
- » Kosten ca. 8, bzw. 230 Mrd. CHF

Pumpspeicher-Kraftwerke



Kosten Pumpspeicher-Kraftwerke Tagesausgleich Sommer

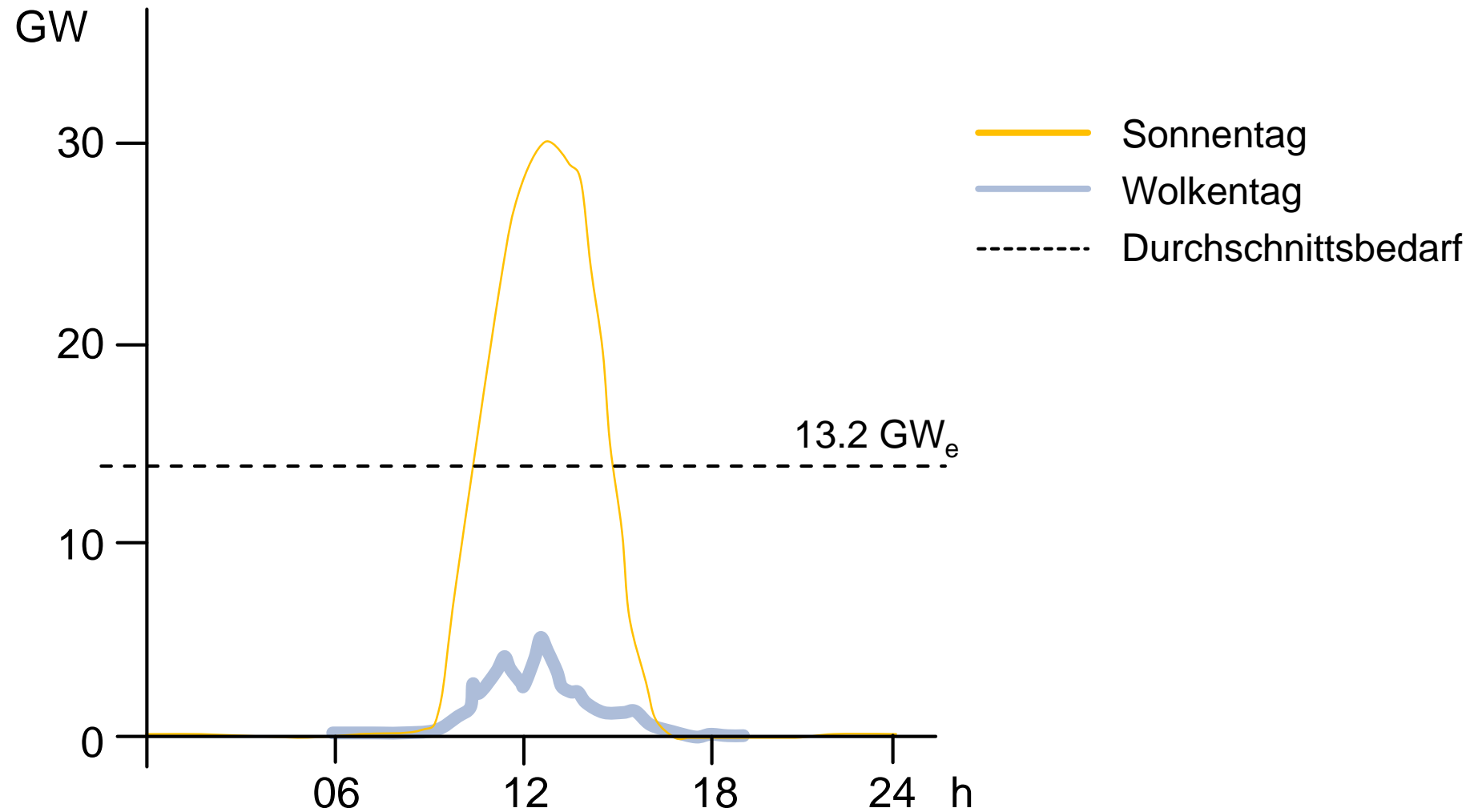
- Kosten Linth-Limmern 2.1 Mrd. CHF¹⁾
- Pumpen und Turbinen Leistung 1 GW_e
- Gespeicherte Energie 39 Gwh_e

- » Leistungsbedarf ca. 25 GW_e (Mittagssonne) ergibt das ca. 25 Anlagen
- » Speicherbedarf ca. 0.3 TWh_e (3 Tage Regen) ergibt das ca. 8 Anlagen
- » Kosten ca. 53, bzw. 16 Mrd. CHF

Quellen: 1) Alle Angaben mit ■ aus: <https://www.axpo.com/psw-limmern.html>

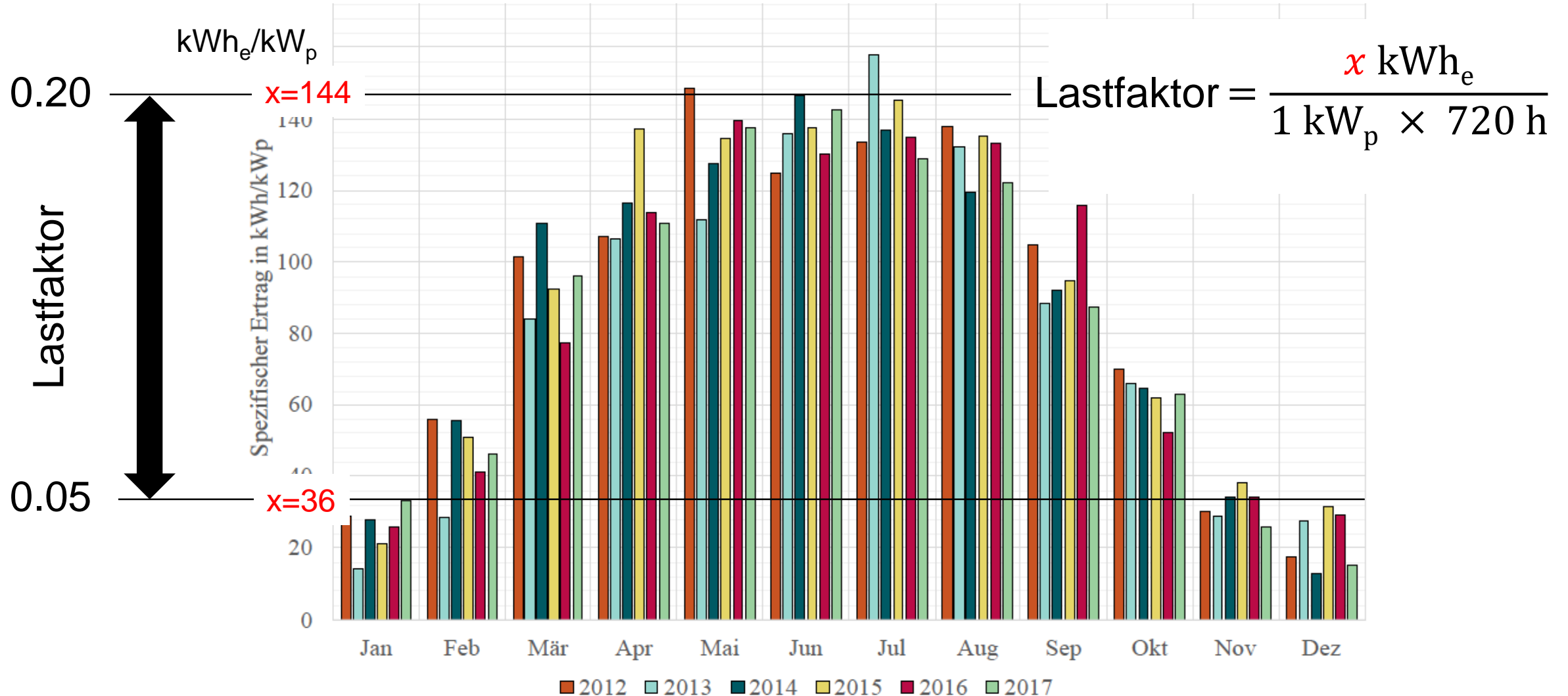
2) <https://www.axpo.com/ch/de/ueber-uns/magazin.detail.html/magazin/erneuerbare-energien>

Tagesschwankungen PV – 2050 Winter



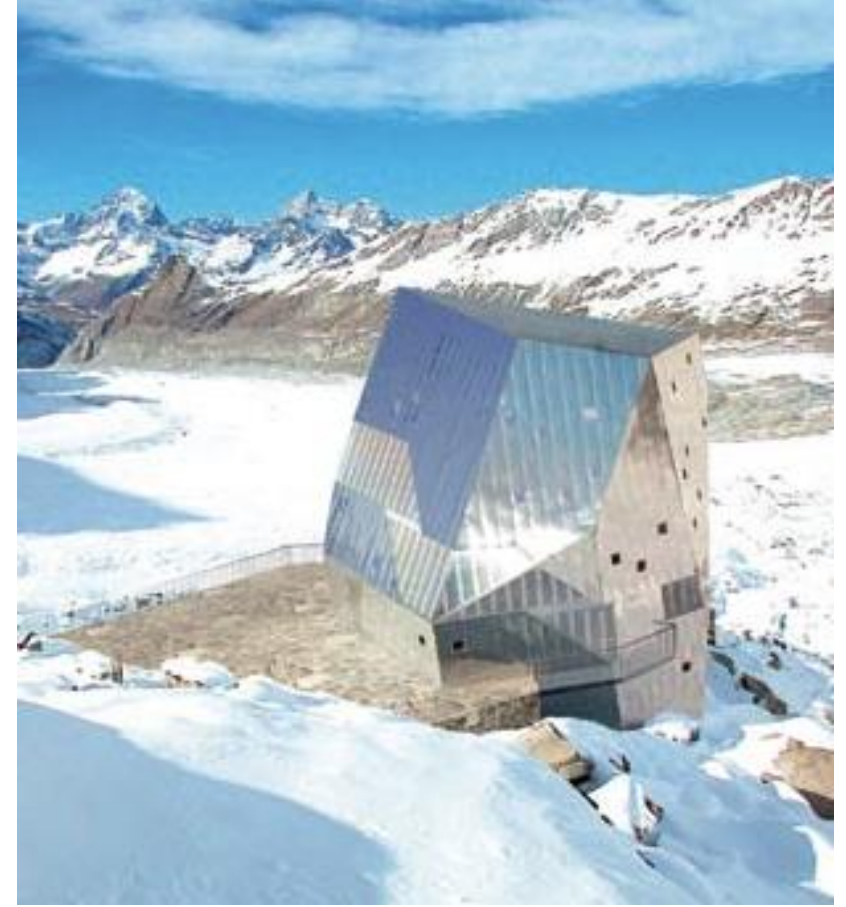
Abschätzung LGu, Darstellung schematisch

Monatsbetrachtung des Ertrags von PV-Anlagen Mittelland

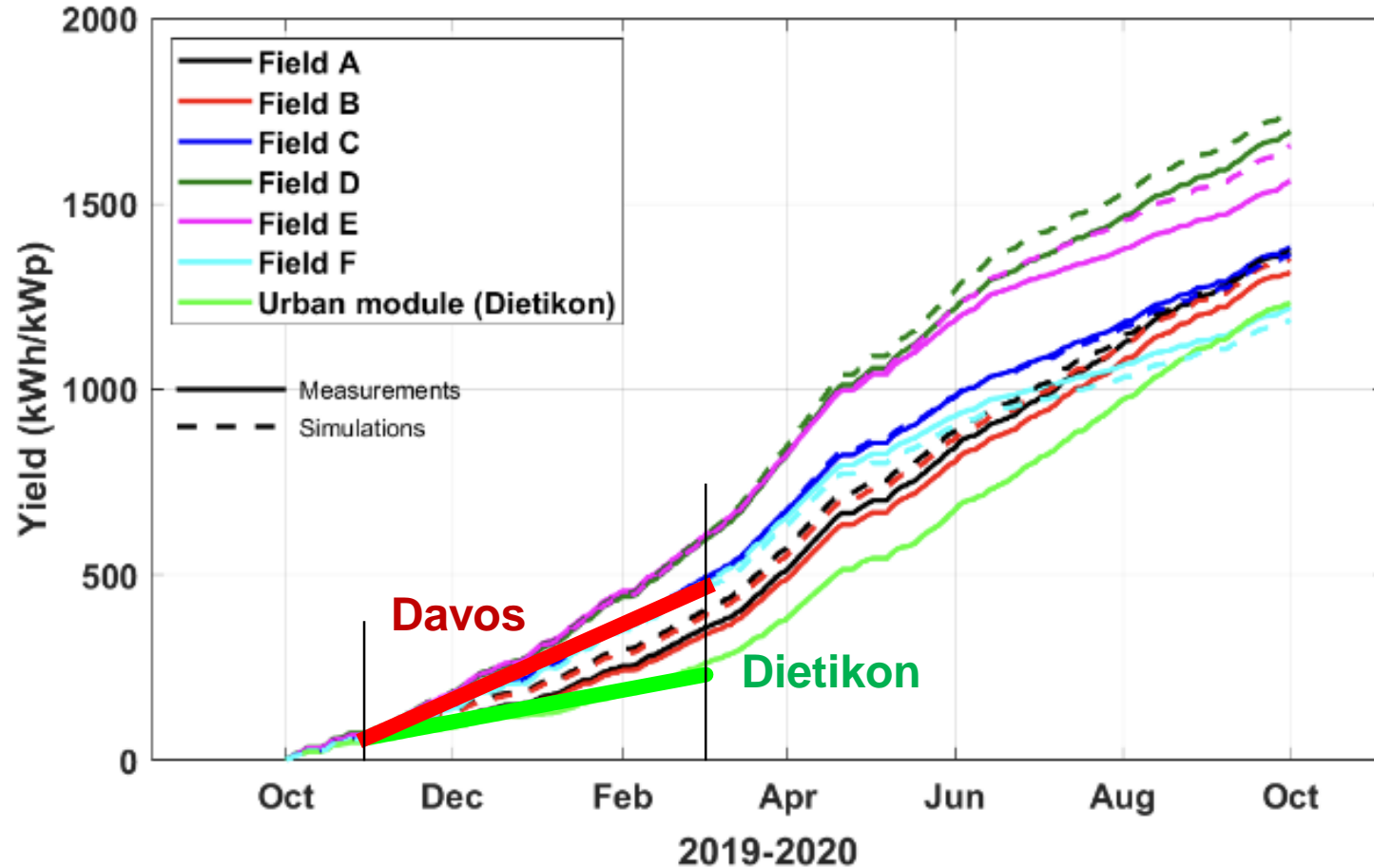


Wie gross müssen die Saisonspeicher für Winter 2050 sein?

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)
Fehlbetrag	19 TWh _e	



PV Erträge in den Alpen – Pilotanlagen



Lastfaktoren:

$$380 \text{ kWh} / 2'280 \text{ kWh} = 0.16$$

$$165 \text{ kWh} / 2'280 \text{ kWh} = 0.07$$

Was wenn *alle* PV-Anlagen in die Alpen kommen?

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	16 TWh _e	(36 GW _p x 0.16 x 4 m x 30 d/m x 24 h/d)
Fehlbetrag	8 TWh _e	

Offene Fragen

- Wie hoch sind die Kosten von PV-Anlagen in den Alpen?
- Reale Erträge?
- Einfluss auf Lebensdauer der Temperaturschwankungen?

NB: Bei 36 GW_p und Lebensdauer 30 Jahre sind das 1.2 GW_p die pro Jahr ersetzt werden müssen. Neue Abhängigkeiten?

Coda

- Die Welt braucht mehr Energie, besonders mehr Strom.
- Der Ausstoss von Treibhausgasen muss global einen Preis erhalten.
- Absichtserklärungen sind gut, Resultate sind besser, Denkverbote sind schlecht.
- Forschung und Entwicklung sind die besten Investitionen.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Folien: guzzella@mac.com