Zurich University of Applied Sciences
Life Sciences and Facility Management
Institute of Natural Resource Sciences

Photovoltaik auf Freiflächen? – Die Lethargie und das ungenügende Klimaziel der Schweiz

Jürg Rohrer *Prof. for Ecological Engineering*
Leiter Forschungsgruppe Erneuerbare Energien

IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Wie lange wirkt CO_2 in der Atmosphäre?

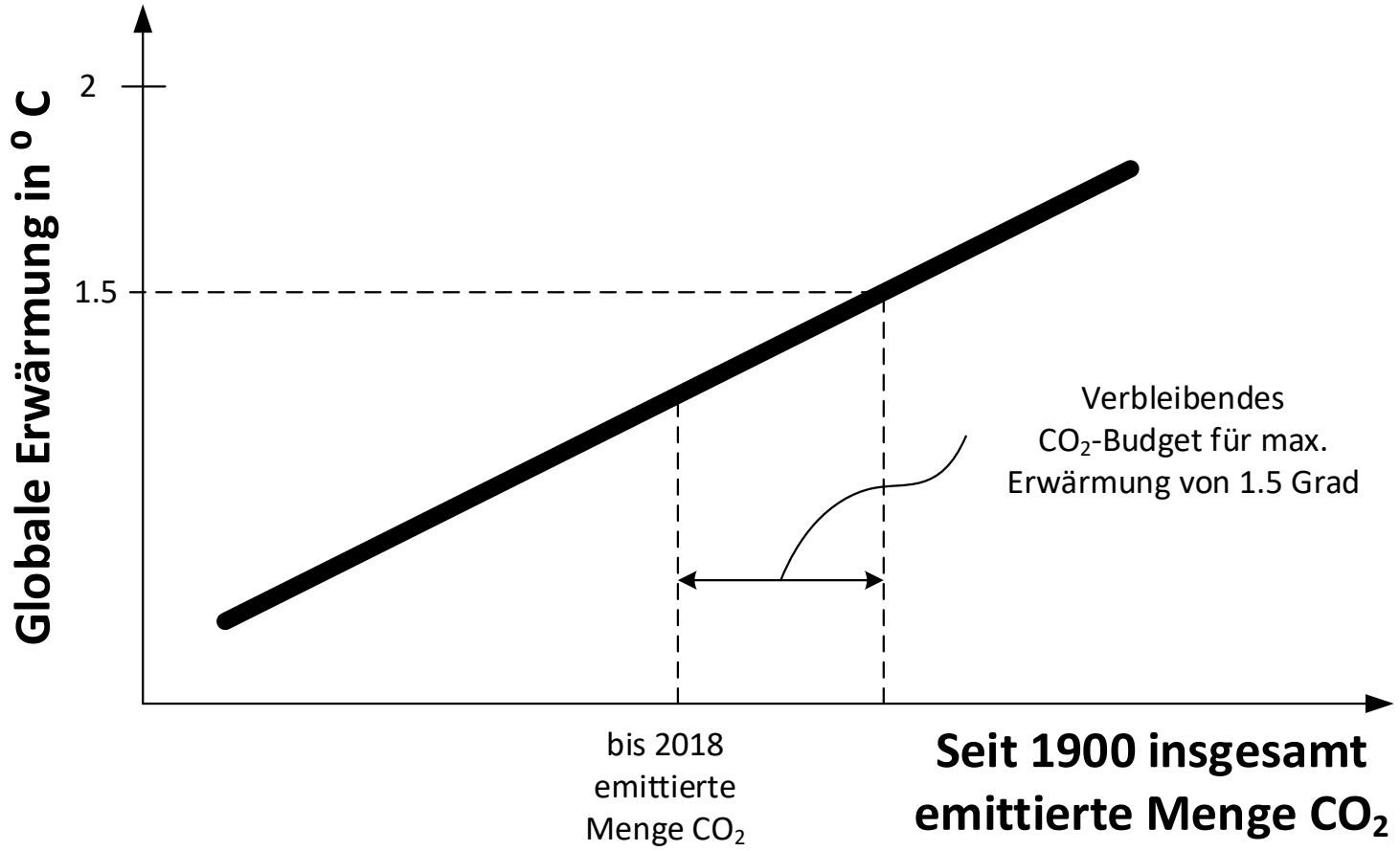
Studien zeigen ganz klare Resultate:

- 40 bis 50 % der Emissionen werden durch Meere und die Erdoberfläche absorbiert. Der Rest (etwas mehr als die Hälfte) bleibt sehr lange in der Atmosphäre und bewirkt während hunderten Jahren eine Erwärmung.
- Nach 1’000 Jahren ist immer noch 20% davon in der Atmosphäre

⇨ Die heutige Erwärmung wird durch die Summe aller CO_2-Emissionen seit 1900 verursacht.

Die Treibhausgasemissionen von heute werden auch das Klima unserer Kinder und deren Kinder und deren Kinder und…. beeinflussen.

Erwärmung in Abhängigkeit der gesamten CO_2 Emissionen



Es ist nicht entscheidend *wann* wir Netto-Null Treibhausgas-emissionen erreichen, sondern *wie viele* Treibhausgase wir bis dahin noch ausstossen.

Wie wird das weltweite Budget auf die Länder aufgeteilt?

- Aufteilung gemäss EinwohnerInnen im Jahr 2020
  - Historische Emissionen berücksichtigen?
    - Z.B. ab Unterzeichnung des Vertrages von Paris im Jahre 2015?
    - Oder seit das Problem Klimaerhitzung bekannt ist?

- Die Aufteilung des Budgets nach Ländern wurde im Vertrag von Paris nicht festgelegt.
- Im IPCC-Bericht steht einerseits ein globales Budget und andererseits «weltweit bis Mitte des Jahrhunderts Netto-Null erforderlich»
- Das globale Budget beträgt 300 Gt CO_2 für eine Wahrscheinlichkeit von 83%, dass die globale Erwärmung von 1.5 °C nicht überschritten wird.

Umrechnung als CO2-Budget für die Schweiz

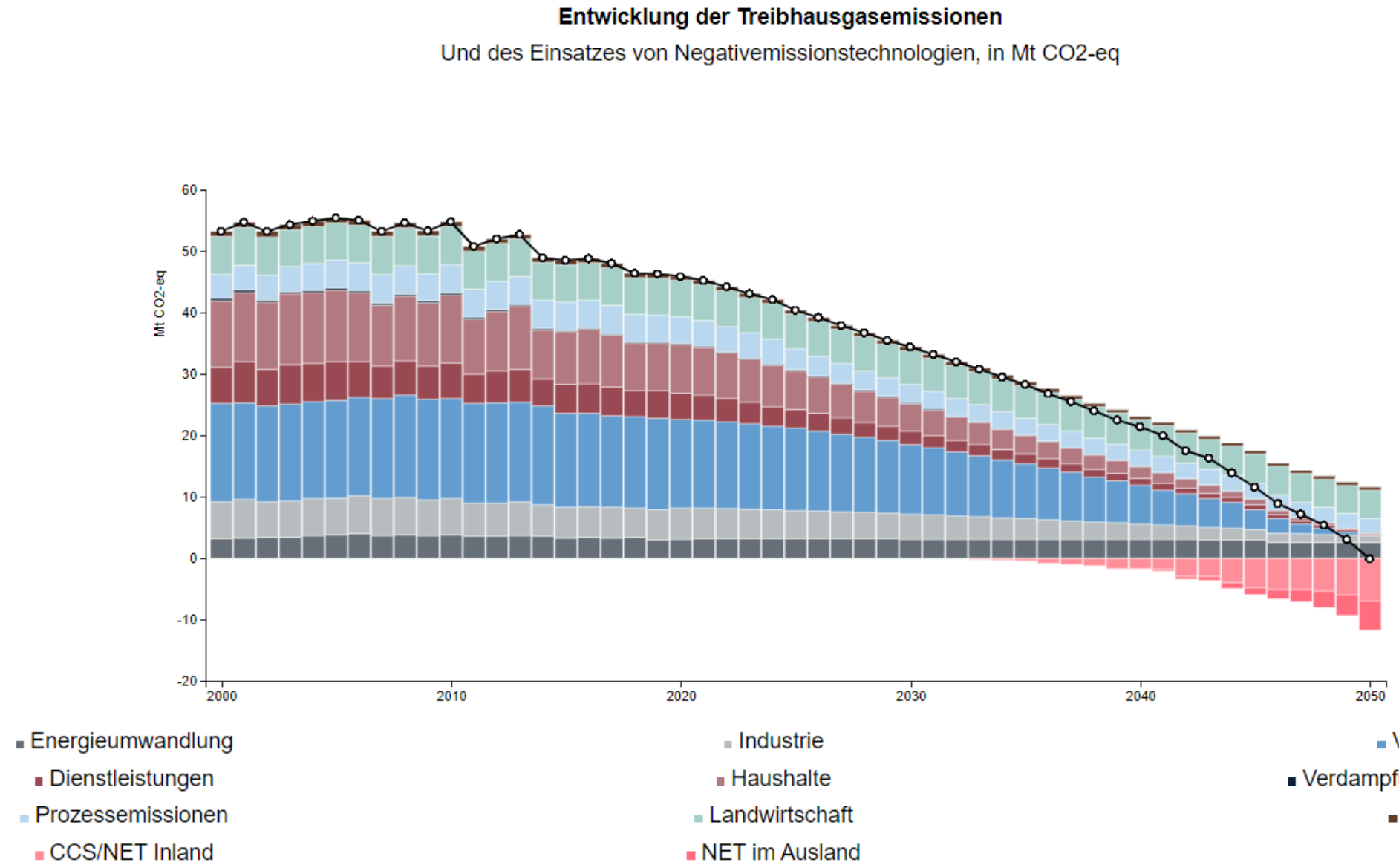
- Die Schweizer Bevölkerung machte 2020 ca. 1.1 Promille der Weltbevölkerung aus (8.67 Mio. von 7.84 Mia.)
- Das weltweite Restbudget für CO_2 von 300 Giga-Tonnen ab 1.1.2020 wird gleichmässig auf alle Menschen aufgeteilt (Annahme).

-> **Die Schweiz hat ab 2020 ein Restbudget von 330 Mega-Tonnen (Mt) CO_2**

Beim aktuellen Ausstoss von ca. 37 Mega-Tonnen pro Jahr wäre dieses Budget 2028 aufgebraucht.

Weitere Infos, siehe z.B. Rohrer, J. (2022). Das Schweizer Klimaziel unter der Lupe: Genügt Netto-Null bis 2050? https://doi.org/10.21256/zhaw-2434

Energieperspektiven (EPS) 2050+ Szenario Zero A



Treibhausgas-Emissionen

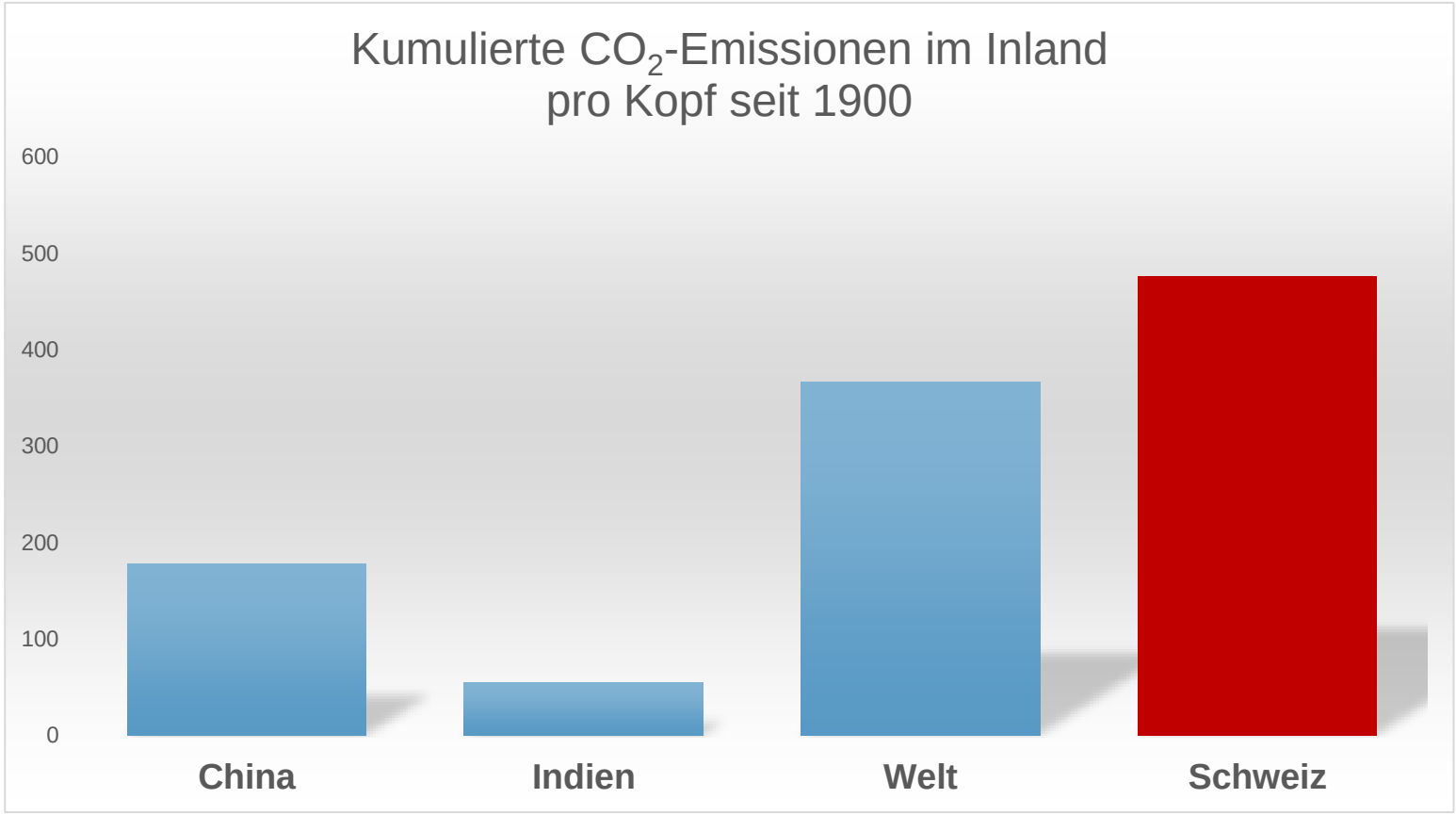
Summe CH 2020 bis 2050:

823 Mt CO_2e

>> 330 Mt Budget

=> **Netto-Null bis 2035 erforderlich**

Wie gross ist unsere historische Verantwortung für den bereits spürbaren Klimawandel?



Datenquelle: Hannah Ritchie and Max Roser (2021) - "CO_2 and Greenhouse Gas Emissions"

Die Klimaerhitzung erfordert eine Energiewende

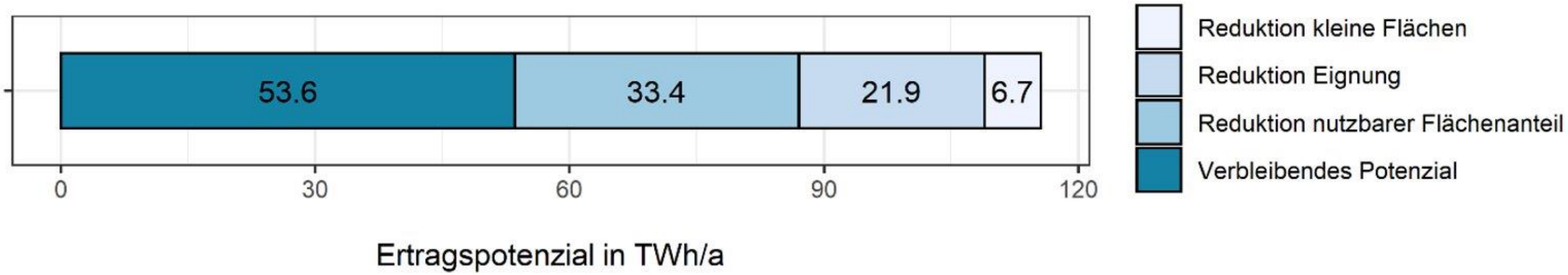
- *Dreiviertel der Schweizer Treibhausgasemissionen sind energiebedingt.*
- *Die Dekarbonisierung des Energiesystems wird den Strombedarf erhöhen.*
- *Schweizer Ziele sind zu wenig ambitioniert: Netto Null THG-Emissionen müsste bis 2035 angestrebt werden um den Vertrag von Paris zu erfüllen.*

Photovoltaik auf Dachflächen

- *Grosse Potenziale*
- *Geringer Ausschöpfungsgrad der Potenziale*

➢ *Zu langsamer Ausbau der PV-Produktion*

Potenzial auf CH Dachflächen für PV-Strom: 53.6 TWh/a (± 2 TWh/a)



nach Abzug

- kleiner Flächen,
- Flächen mit < 1000 kWh/m^2/a Einstrahlung (Eignung)
- und dem nicht nutzbaren Dachflächenanteil

Modulwirkungsgrad 20%, PR 80 %.

644 km^2 Dachflächen
440 km^2 grundsätzlich für PV geeignet
davon 60 % (± 2 %) für PV nutzbar
-> max. **Modulfläche 264 km^2** (± 9 km^2)

Anderegg, D & Rohrer, J; Photovoltaik Potenzial auf Dachflächen in der Schweiz, ZHAW, 2022
https://doi.org/10.21256/zhaw-2425

Genügen die Dachflächen für die Energiewende?

- Bedarf an Stromproduktion aus PV gemäss Energieperspektiven 2050+
  Szenario Zero A: 39 TWh/a bis 2050 (14.4 TWh bis 2035)
- Mantelerlass Energie: 35 TWh/a nEE bis **2035**
- Potenzial auf Gebäudedächern: 53.6 TWh/a

Die Ausschöpfung des Potenzial von 53.6 TWh/a bis 2050 auf Gebäudedächern bedeutet:

- Auf mehr als 95 % aller Gebäude gibt es eine PV-Anlage (realistisch?)
- Die Potenziale werden zu 100 % ausgenutzt (nicht zu 49 % wie heute)
- Zubau von PV-Anlagen müsste 1.5 Mal rascher erfolgen als heute um Netto-Null bis 2050 zu erreichen (aber Ziel 2050 ist ungenügend -> 2035 wäre notwendig)

Photovoltaik-Potenziale Schweiz

	Potenzial	bis 2050 realisierbar	bis 2050 realisierbar	Fläche	Flächenertrag
	TWh	TWh	%	km^2	GWh/km^2
Gebäudedächer	49.1	23.3	47%	153	152
Gebäudefassaden	17.2	8.2	48%	107.4	76
Strassen	24.7	2.5	10%	16.2	153
Parkplätze	4.9	3.9	80%	25.7	153
Autobahnböschungen	5.6	3.9	70%	25.7	152
Freiflächen (Alpen)	16.4	3.3	20%	31.3	105
Agro-Photovoltaik	??				
Seen	??				
Total	117.9	45.1	38%	251.9 *	

*) Gesamtfläche ohne Fassaden, entspricht 0.6% der Fläche der Schweiz

Datenquelle: Remund, J., Albrecht, S., & Stickelberger, D. (2019). *Das Schweizer PV-Potential basierend auf jedem Gebäude*. Meteotest & Swissolar.

Wir müssen die Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen massiv und viel rascher ausbauen.

(Solange niemand am «Strom sparen» verdient, wird das Einsparpotenzial kaum erschlossen.)

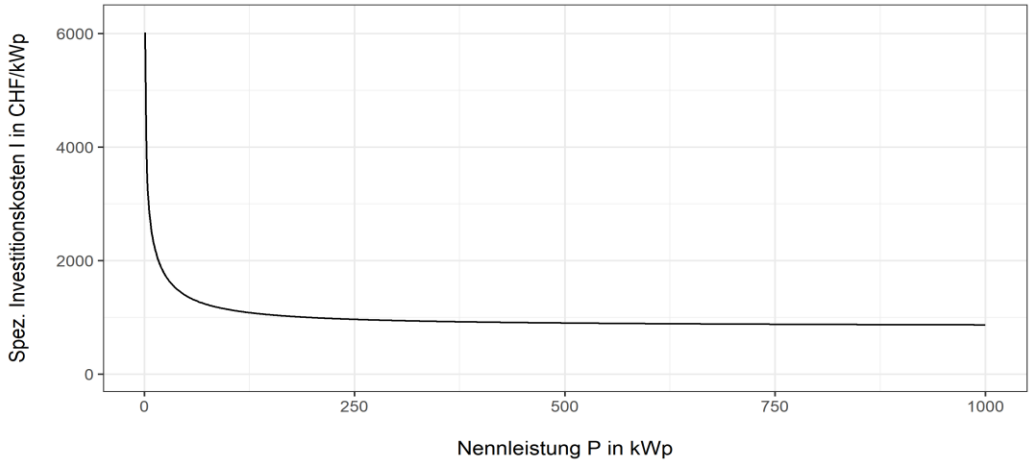
Wie wäre eine Beschleunigung des Zubaus möglich?

- PV-Obligatorium für neue *und* bestehende Bauten (analog Luftschutzkeller) oder Ausbau-Vorgaben für Kantone oder Verteilnetzbetreiber

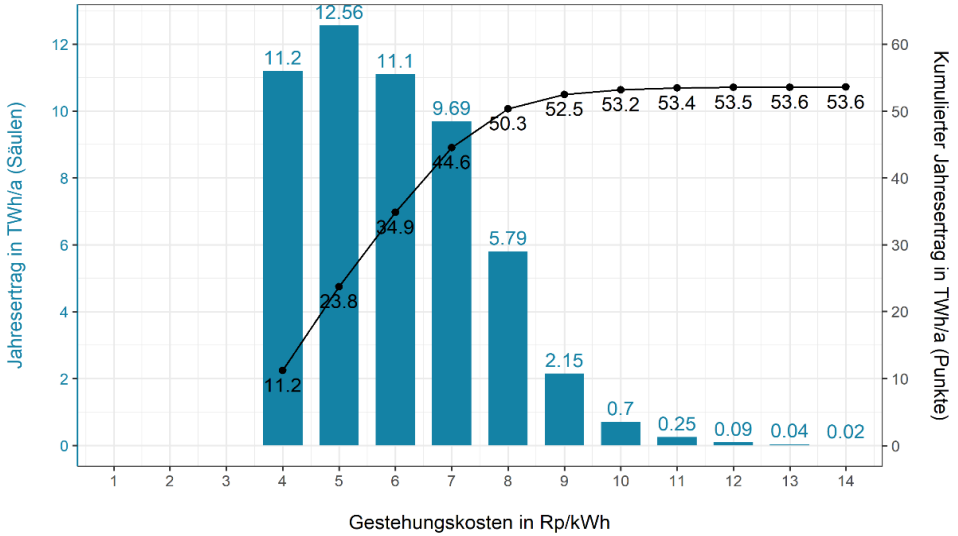
  -> Planungssicherheit für PV-Branche
- Grossflächige PV-Anlagen zuerst ausbauen (grosse Dachflächen, Parkplätze, Freiflächen, usw.)
  - Agro-Photovoltaik (Synergieeffekte: Schutz vor Hitze, Schutz vor extremen Wetterereignissen, evtl. Bewässerung, evtl. Einsparung von Pestiziden)
  - Freiflächen in den Alpen (Potenzial auf bestehenden Infrastrukturen in den Alpen ist gering). 3 Mal mehr Winterstrom als im Mittelland pro Fläche

  Nebeneffekte von PV auf Freiflächen:
  - Kosten pro kWh eher geringer als auf Gebäuden
  - Positiver Beitrag zur Biodiversität möglich

Kosten von PV-Anlagen Gebäude / alpine Grossanlagen



- Auf EFH ca. 2’000 bis 4’500 Fr./kWp
- In den Alpen ca. 2’000 bis 3’000 Fr./kWp inkl. Netzanschluss, aber wesentlich höherer Ertrag pro kWp als im Mittelland (Faktor 1.5 bis 1.7)
- Strom aus alpinen Anlagen kostet eher weniger als Strom aus Dachanlagen. Aber 45 bis 50% Winteranteil (anstatt 25%)



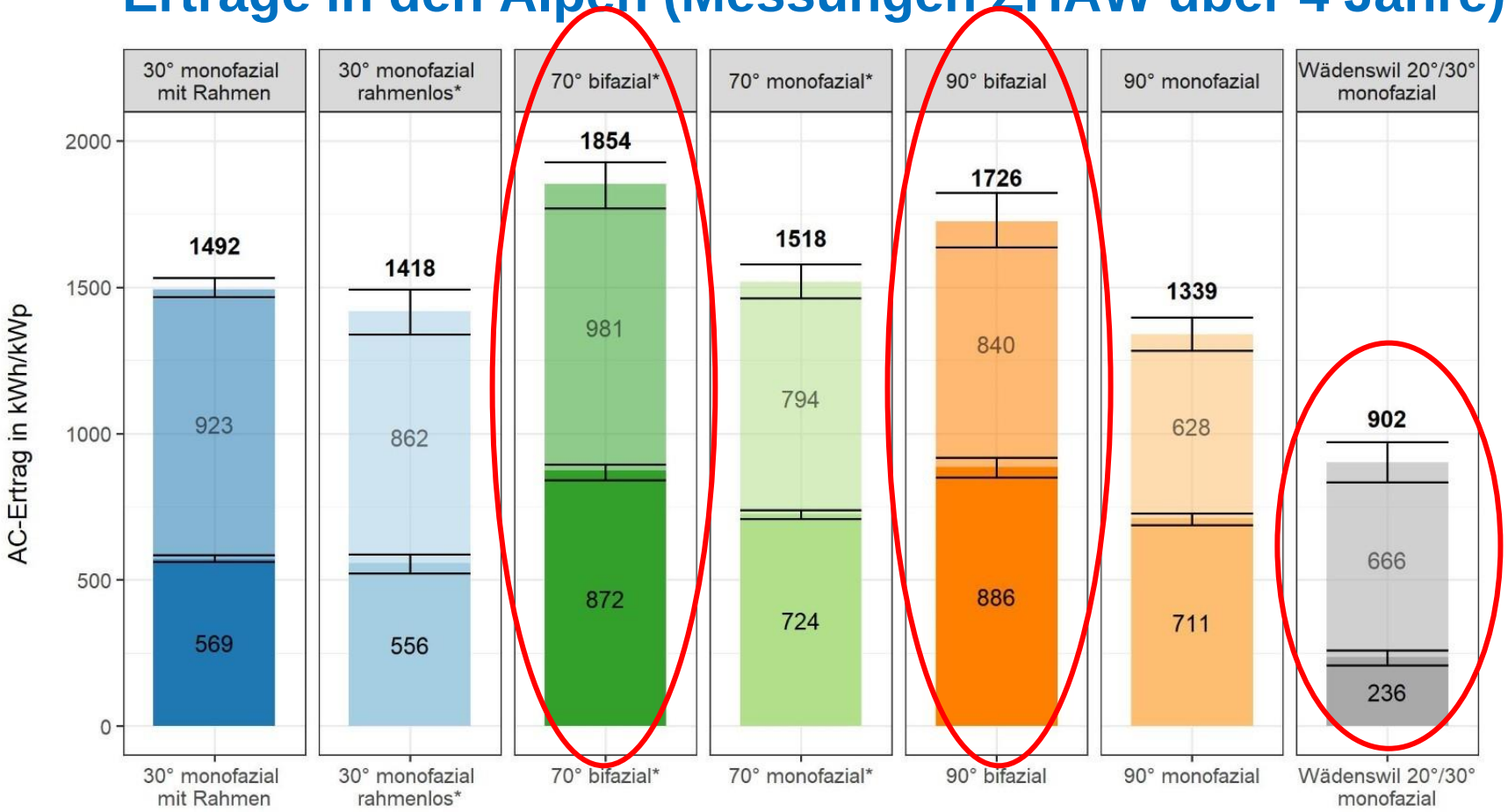
Potenzieller Jahresertrag in TWh/a pro Kategorie mit Gestehungskosten bei heutigem Preisniveau. Lesebeispiel: Zu gerundet 6 Rp./kWh können jährlich 11.1 TWh erzeugt werden (Balken). Zu maximal 6.5 Rp./kWh können insgesamt 34.9 TWh/a erzeugt werden (Kurve mit Punkten).

Quelle: Anderegg, A & Rohrer, J; Photovoltaik Potenzial auf Dachflächen in der Schweiz, ZHAW, 2022 https://doi.org/10.21256/zhaw-2425

Abb. 1: Ansicht der Versuchsanlage auf 2400 m.ü.M. in Davos von vorne. Alle Module sind gegen Süden ausgerichtet.

https://doi.org/10.21256/zhaw-19860

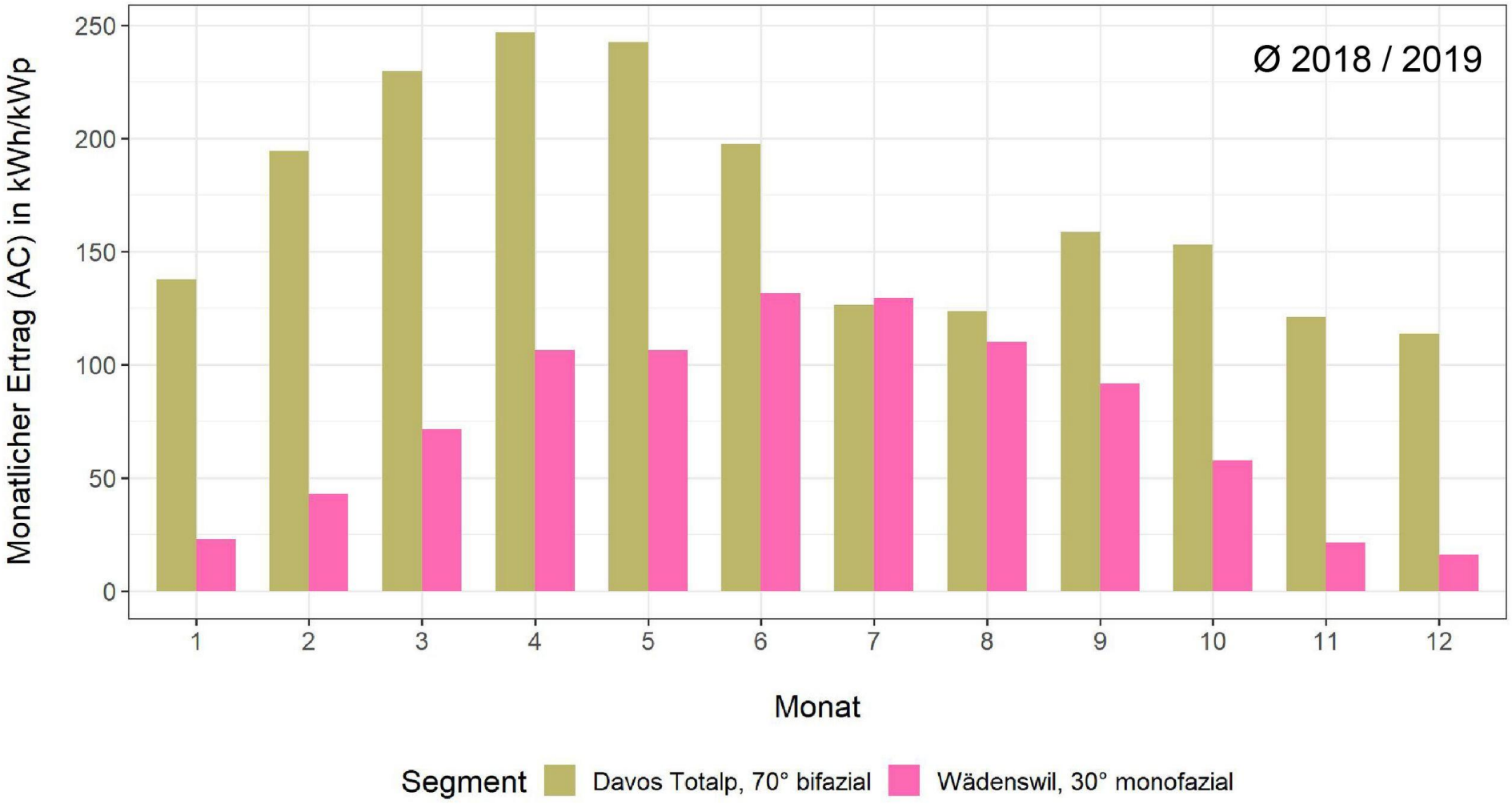
Erträge in den Alpen (Messungen ZHAW über 4 Jahre)



Mittlerer jährlicher AC-Energieertrag (2018 bis 2021) pro Anlagensegment in kWh/kWp. Module nach Süden ausgerichtet. Erträge des Winterhalbjahres (Januar-März / Oktober-Dezember) sind dunkel eingefärbt, Erträge des Sommerhalbjahres (April-Sept.) sind hell eingefärbt. Die doppel-T-Balken zeigen die jeweiligen Min- und Max-werte für das Winterhalbjahr und das gesamte Jahr.

Anderegg, D., Strebel, S., & Rohrer, J. (2022). Photovoltaik Versuchsanlage Davos Totalp, Messergebnisse Winter 2021 / 2022 [Messbericht]. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen.

Photovoltaik-Monatserträge Alpin bzw. Mittelland



Anderegg, D., Strebel, S., & Rohrer, J. (2019). Messergebnisse Juni 2018 bis Mai 2019 Versuchsanlage Totalp

Der Bedarf an Photovoltaik-Anlagen auf freien Flächen hängt ab von:

1) Ausschöpfung des Einsparpotenzials
2) Ausschöpfung des PV-Potenzials auf Gebäuden und Infrastrukturen
3) Ausschöpfung des Windenergiepotenzials in der Schweiz
4) Sanierungsrate der Gebäude und Sanierungsgüte
   (Wärmepumpe -> Strombedarf im Winter)
5) Importmöglichkeiten von Strom aus dem Ausland im Winter
6) Grösse und Art der saisonalen Energiespeicher
7) **Effizienz des zukünftigen Energiesystems in der Schweiz**

Take Home Messages

1) Um ihren fairen Beitrag im Kampf gegen die Klimaerhitzung zu leisten, muss die Schweiz mindestens 5 Mal rascher auf erneuerbare Energien umsteigen und Energie sparen als heute. Netto-Null bis 20**35**.
2) Ein rascher Ausbau der PV-Produktion bedingt den Bau von möglichst grossen PV-Anlagen.
3) Neben Potenzialen auch deren Umsetzung beachten: Das PV-Potenzial auf den Gebäuden ist gross, wird aber trotz guter Wirtschaftlichkeit erst zu 4.7 % genutzt. Ohne Obligatorium kann wohl nur ein Bruchteil des Potenzials realisiert werden.
4) Alpine PV-Anlagen liefern die Hälfte des Stromes im Winter zu ähnlichen Kosten wie PV auf Gebäuden. Zusatznutzen: Bedarf zur saisonalen Speicherung wird reduziert.

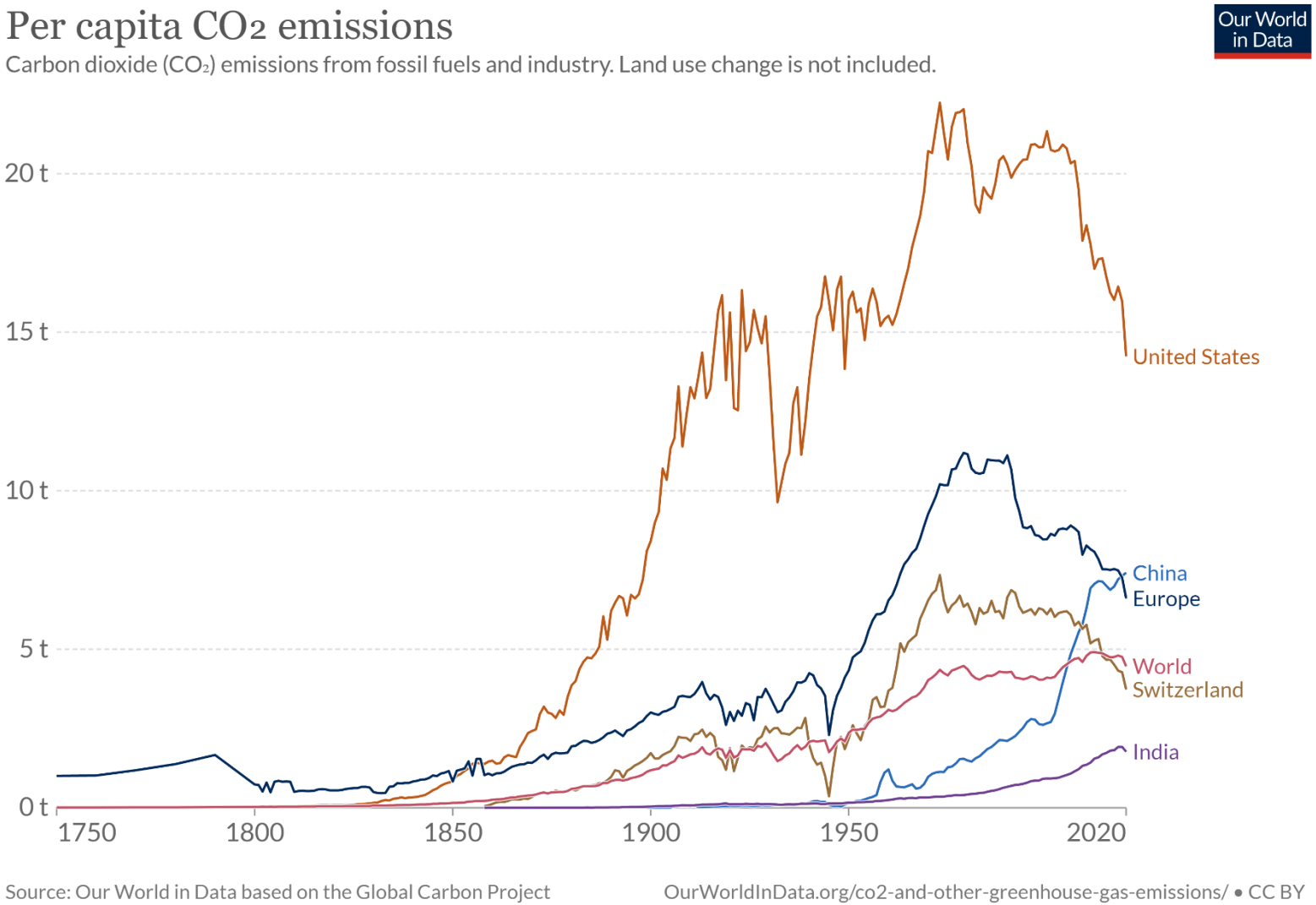
Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Adresse für Rückfragen:

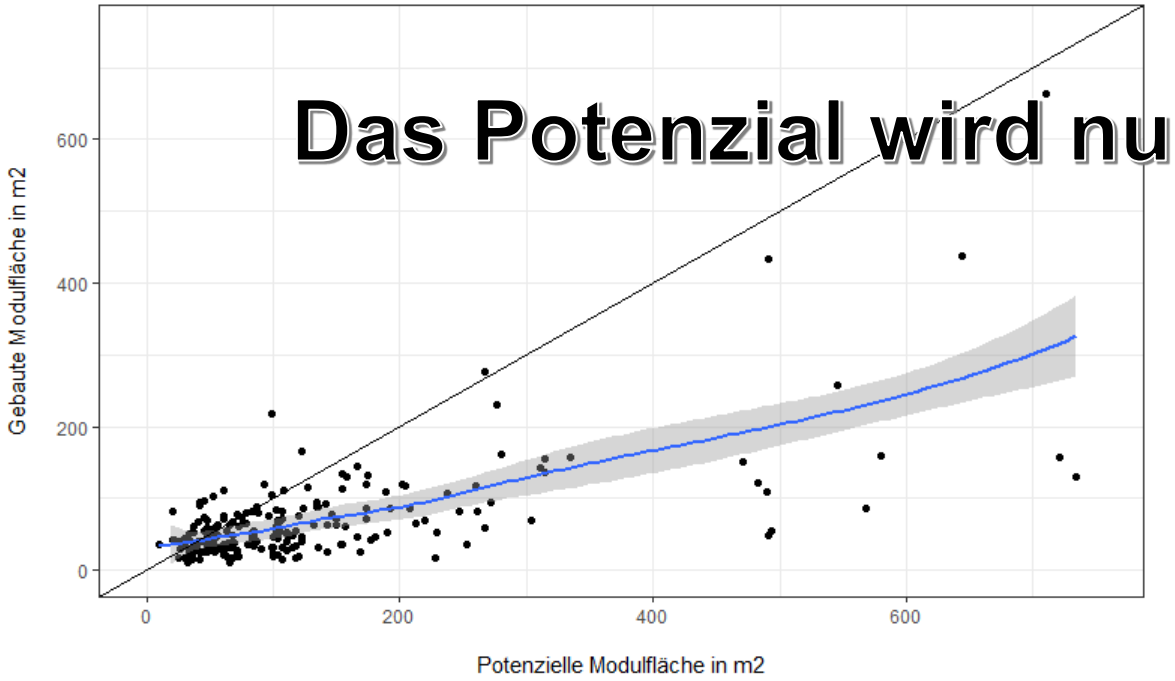
ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Jürg Rohrer, Prof. für Ecological Engineering
Campus Grüental
8820 Wädenswil

Juerg.Rohrer@zhaw.ch Tel. 058 934 54 33
www.zhaw.ch/iunr/erneuerbareenergien/

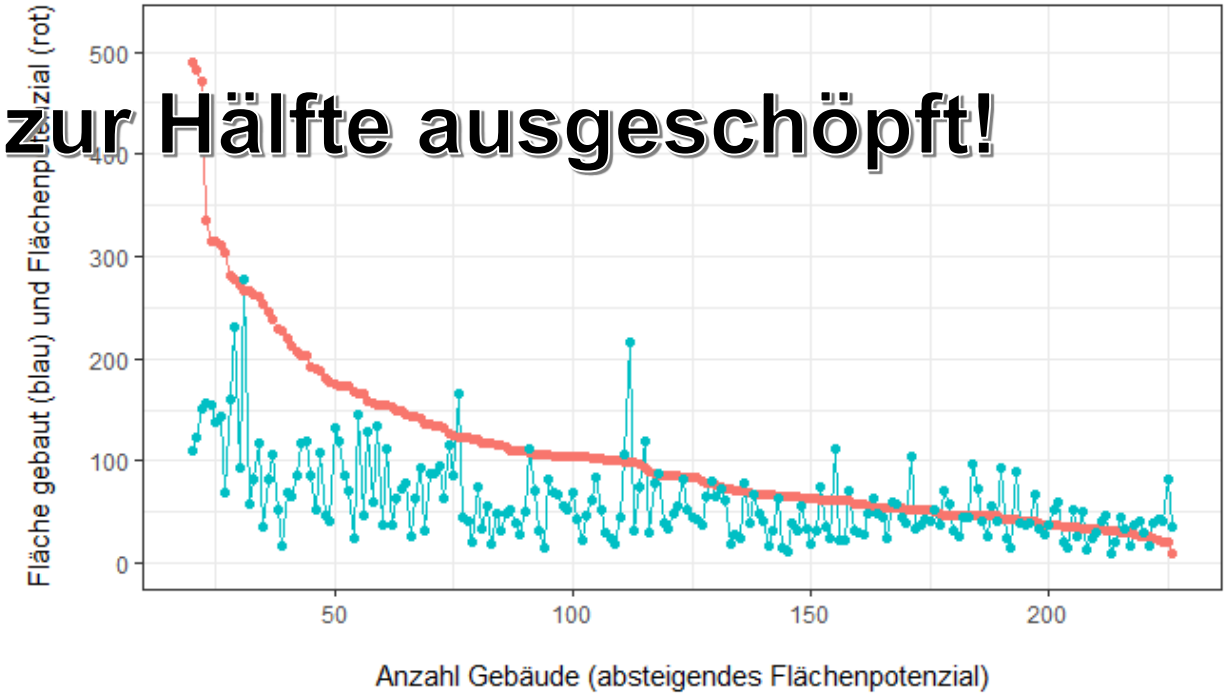
CO_2 Emissionen pro Einwohner im Inland



Wie gross werden PV-Anlagen auf CH Dächern gebaut? (Potenzialausschöpfung)



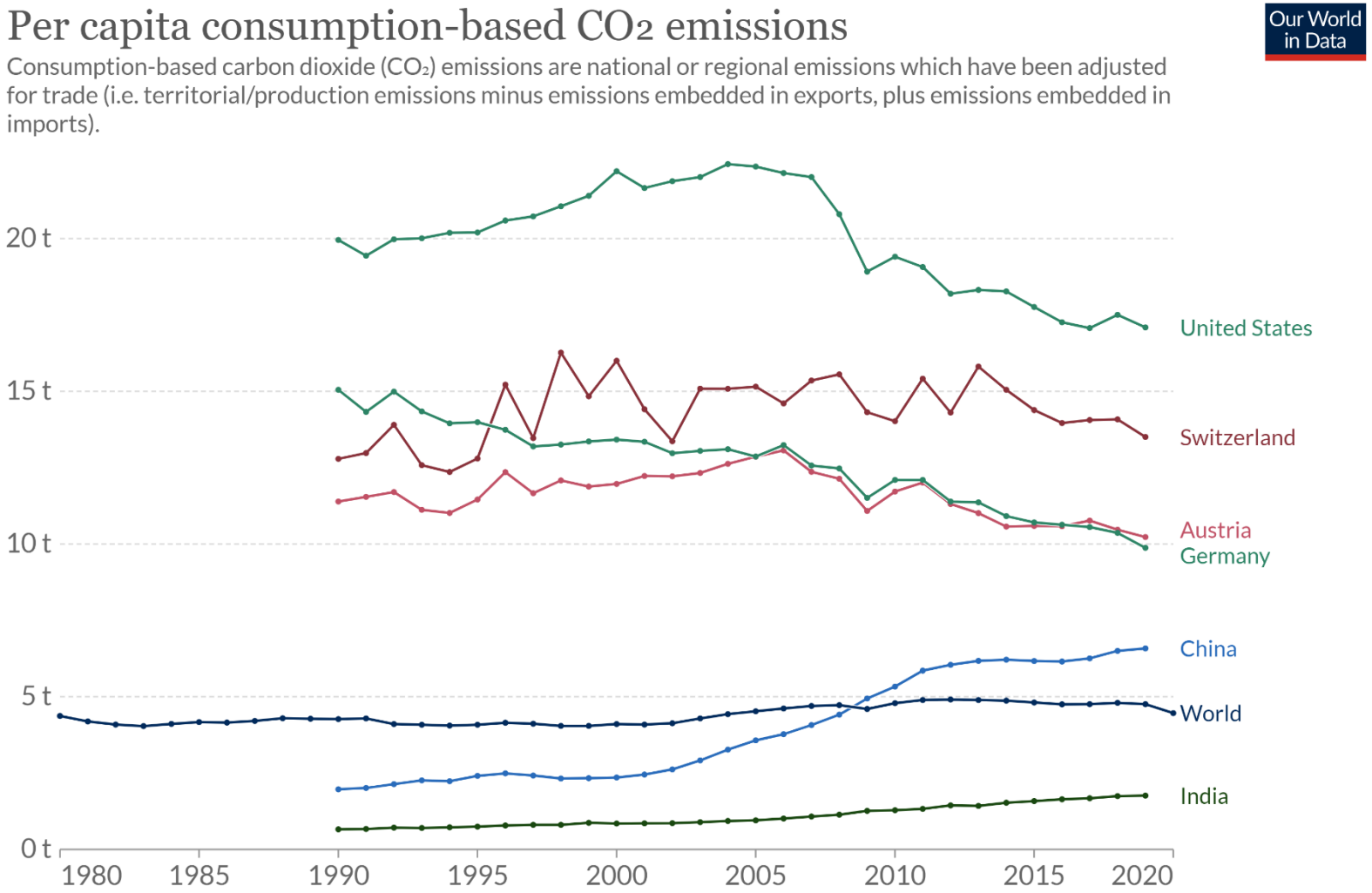
Das Potenzial wird nur zur Hälfte ausgeschöpft!



Vergleich der gebauten und potenziellen Modulfläche. Die Diagonale entspricht einer Ausschöpfung des identifizierten Potenzials zu 100 %.

Anderegg, D & Rohrer, J; Photovoltaik Potenzial auf Dachflächen in der Schweiz, ZHAW, 2022 https://doi.org/10.21256/zhaw-2425

In- und Ausland CO_2 Emissionen pro Kopf



Ist dies alles kein Problem? Wo bleiben die Landschaftsschützer?

In den letzten 30 Jahren:

- wurden die Strassenareale um 124 km² ausgedehnt (+ 19 %)
- oberirdische Parkplatzareale haben um 68 % zugenommen
- die versiegelte Fläche hat insgesamt um 594 km² zugenommen

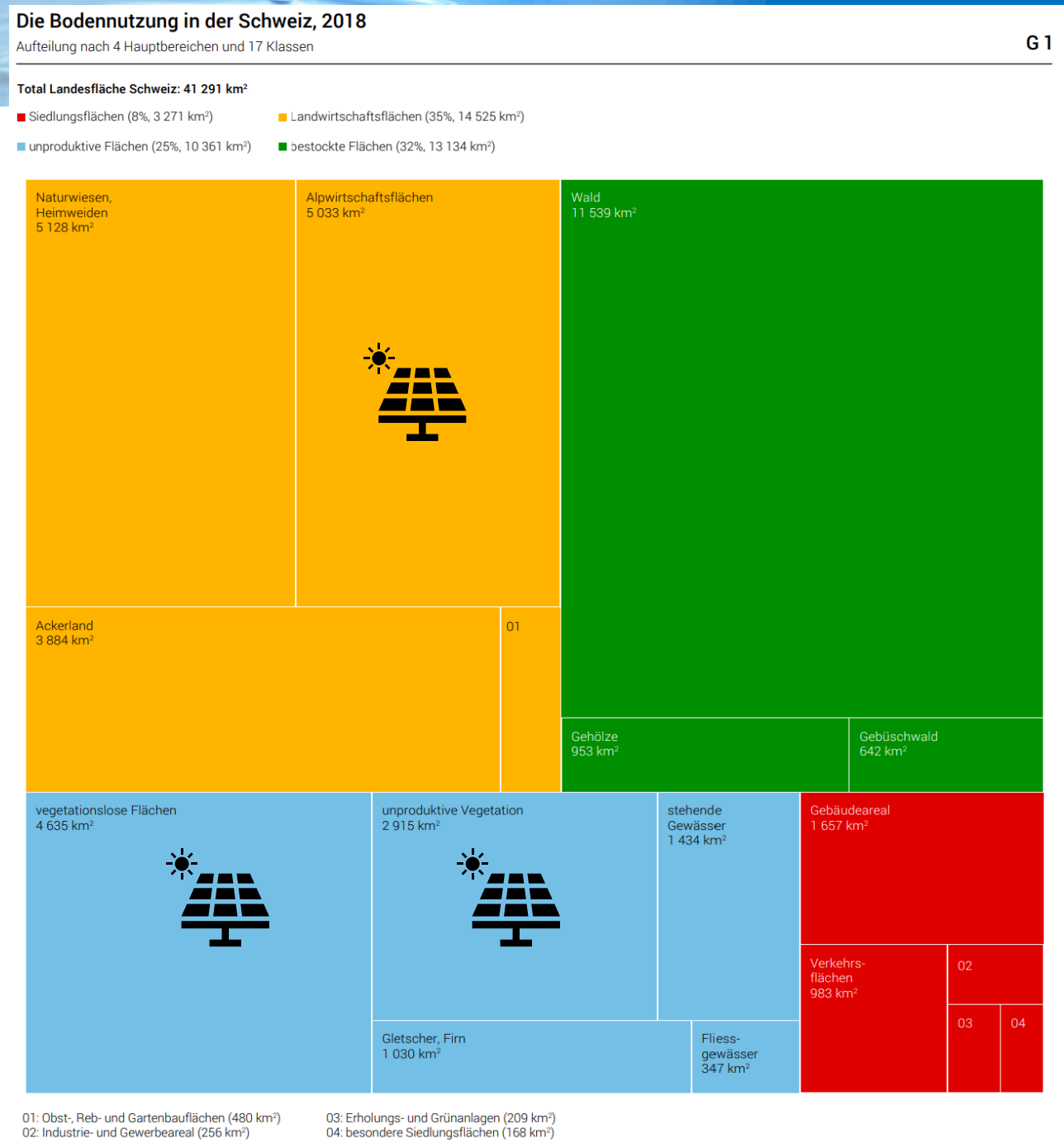
Alpine PV-Anlagen versiegeln den Boden praktisch nicht und werden einen Bruchteil der oben erwähnten Flächen überspannen.

Wie gewichten wir energetische Versorgungssicherheit im Vergleich zu neuen Strassen und Parkplätzen?

Die Bodennutzung in der Schweiz: Resultate der Arealstatistik 2018, BFS, 2021

Orte für alpine PV-Anlagen

- Unproduktive oder vegetationslose Flächen
- Evtl. Alpwirtschaftsflächen



Verbleibendes Treibhausgas-Budget ab 2020

Global warming between 1850–1900 and 2010–2019 *(°C)*	Historical cumulative CO_2 emissions from 1850 to 2019 *($GtCO_2$)*
1.07 (0.8–1.3; *likely* range)	2390 (± 240; *likely* range)

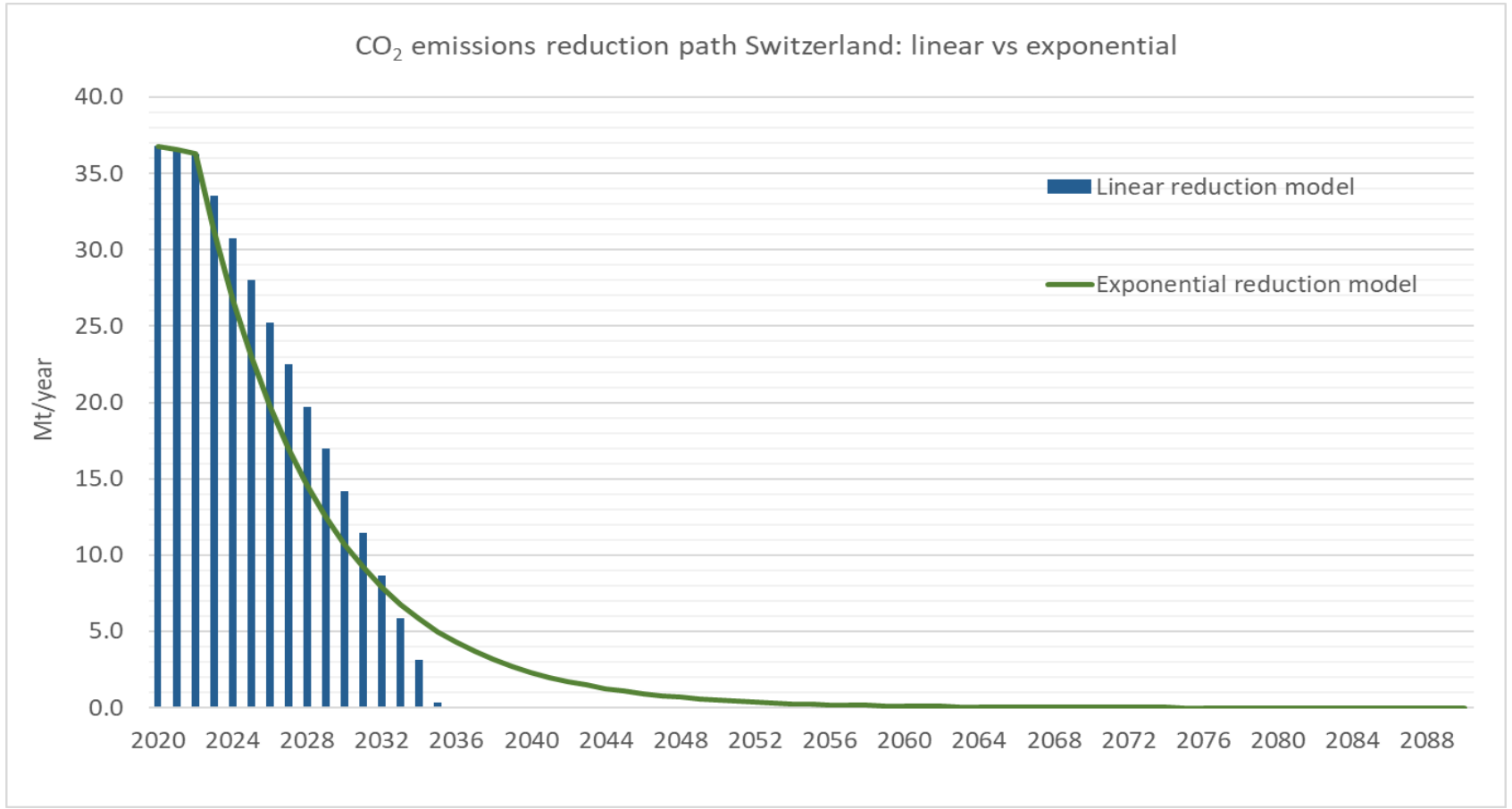
Approximate global warming relative to 1850–1900 until temperature limit *(°C)**(1)	Additional global warming relative to 2010–2019 until temperature limit *(°C)*	Estimated remaining carbon budgets from the beginning of 2020 *($GtCO_2$)* — *Likelihood of limiting global warming to temperature limit*(2)*					Variations in reductions in non-CO_2 emissions*(3)
		17%	*33%*	*50%*	*67%*	*83%*	
1.5	0.43	900	650	500	400	300	Higher or lower reductions in accompanying non-CO_2 emissions can increase or decrease the values on the left by 220 $GtCO_2$ or more
1.7	0.63	1450	1050	850	700	550	
2.0	0.93	2300	1700	1350	1150	900	

Für eine 83%ige Wahrscheinlichkeit, dass die Erwärmung auf max. 1.5 C steigt, gibt es ab Januar 2020 noch ein CO_2-Budget von **300 Gt (weltweit)**

EPS 2050+ der Schweiz streben bestenfalls das 2-Grad-Ziel an.

IPCC AR6, full report, p. 39, Table SPM.2

Max. 1.5 C mit 83%iger Wahrscheinlichkeit:



Umgerechnet auf CH mit 1.1 Promille des weltweiten CO2-Budgets (-> 330 Mt)

Die Klimabewegung hat Recht: Netto-Null bis 2030!