

# Winterstrom: Was sollten wir tun?

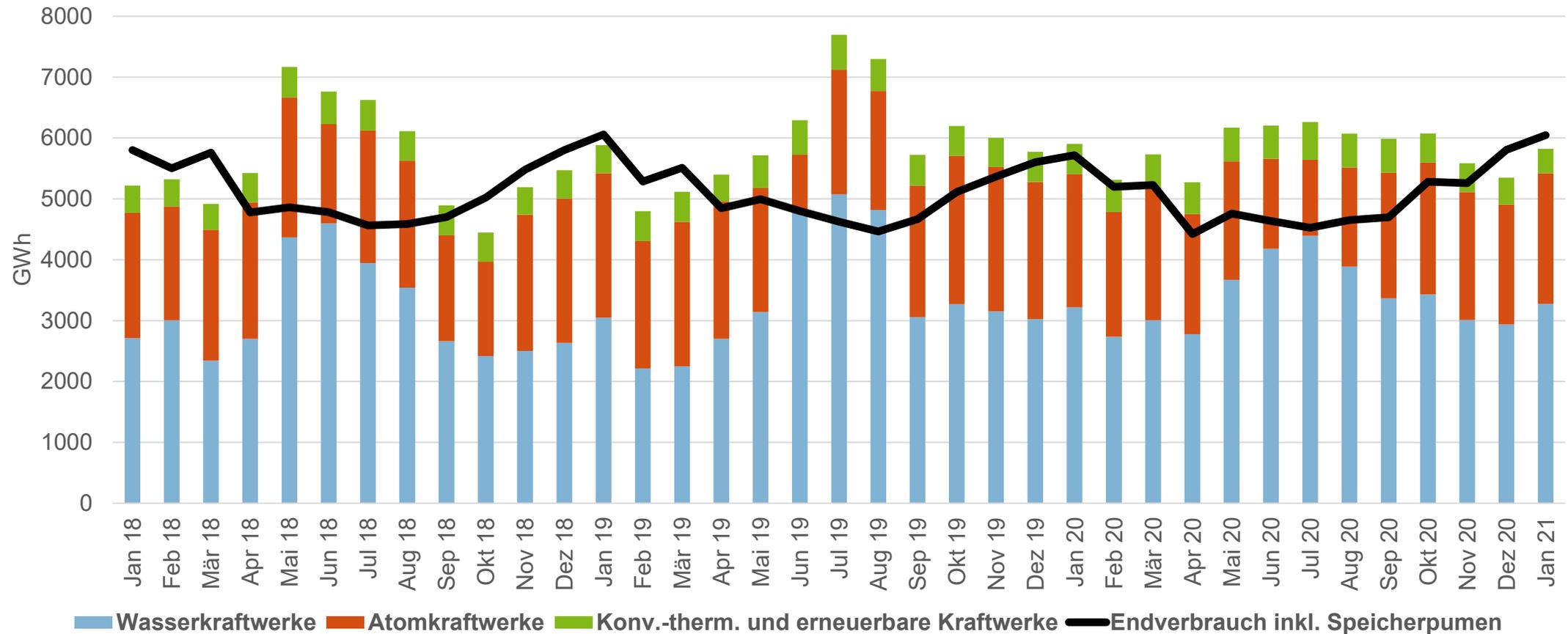
*Jürg Rohrer Prof. für Kreislauf- und Energiesysteme  
Leiter Forschungsgruppe Erneuerbare Energien*

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

## Take Home Messages

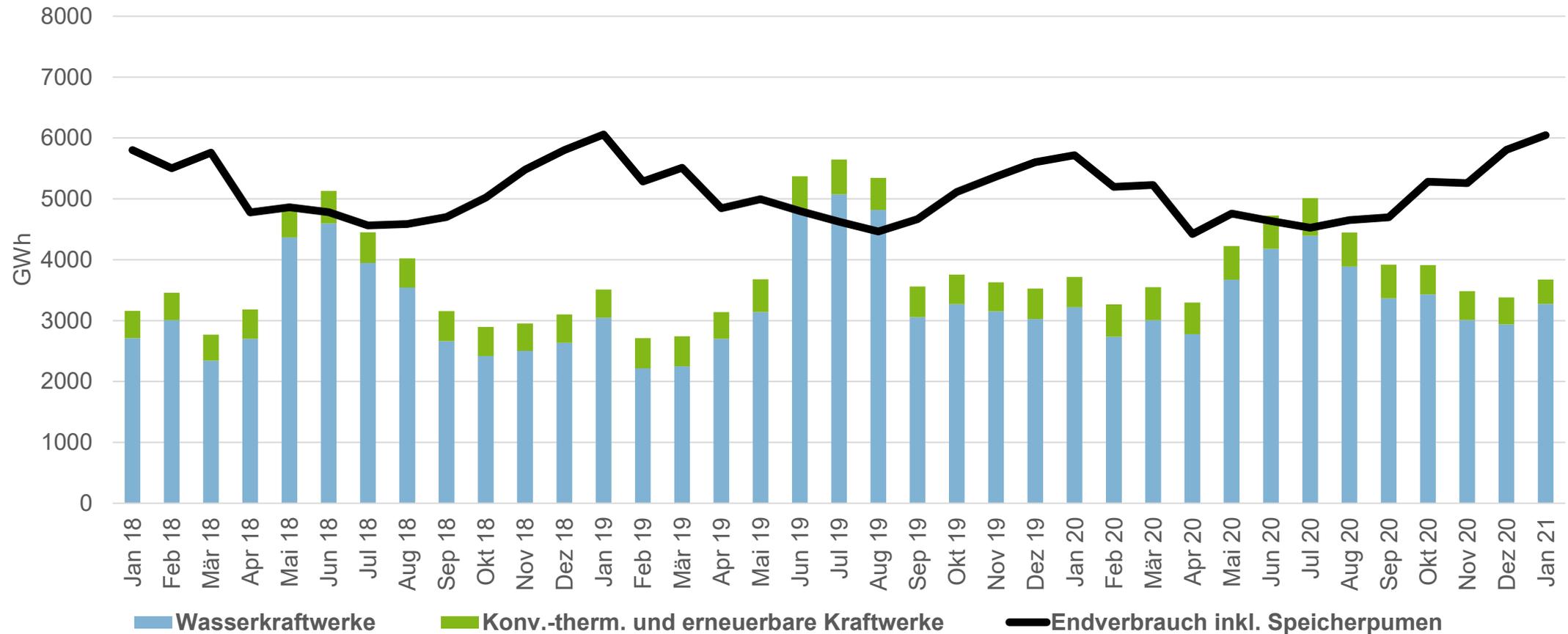
- 1) Um ihren fairen Beitrag im Kampf gegen die Klimaerhitzung zu leisten, muss die Schweiz sehr viel rascher auf erneuerbare Energien umsteigen und Energie sparen.
- 2) Im Moment sollten wir auf den raschen Ausbau der gesamten Stromproduktion fokussieren (PV, Windkraft). Winterstrom-Engpässe können erst danach gelöst werden. Dafür sind mehrere Optionen verfügbar.
- 3) Die Schweiz kann sich praktisch 100 % selbst mit Energie versorgen, wenn wir ein **effizientes Energiesystem** bilden (-> Versorgungssicherheit, Arbeitsplätze).

# Monatliche Stromproduktion und –verbrauch 2018 bis 2021



Datenquelle: Elektrizitätsstatistik der Schweiz 2021, Grafik J. Rohrer

# Monatliche Stromproduktion und –verbrauch 2018 bis 2021 **ohne AKW**



Datenquelle: Elektrizitätsstatistik der Schweiz 2021, Grafik J. Rohrer



## ElCom empfiehlt 5-10 TWh Winterstrom-Zubau bis 2035

«Die ElCom empfiehlt ein rechtlich verbindliches Zubauziel für **Erzeugungskapazitäten im Winterhalbjahr** zwischen fünf und zehn Terawattstunden bis 2035 sowie die Implementierung von geeigneten gesetzlichen Massnahmen, um dieses Ziel zu erreichen.

Weiter ist der Bundesrat gesetzlich zu verpflichten, wettbewerbliche Ausschreibungen für den Ausbau von **Erzeugungskapazitäten als Reserven** im Inland durchzuführen, falls sich abzeichnet, dass das gesetzlich vorgegebene Zubauziel nicht erreicht werden kann.»

Quelle: Bericht der ElCom. (2020). *Stromversorgungssicherheit der Schweiz 2020*, pp. 4-5

## **Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien (Botschaft Ende Juni 2021 erwartet)**

Bisherige Ziele werden gemäss den Ergebnissen der neuen Energieperspektiven 2050+ angepasst:

- Neues Ausbauziel für Strom aus EE bis 2035: 17 TWh (bisher 11.4 TWh)
- Ausbau der Speicher-Wasserkraft um 2 TWh Winterstrom bis 2040 (Finanzierung über Netzzuschlag von max. 0.2 Rp/kWh)
- Einführung einer auktionierten Energiereserve zur Absicherung gegen Extremsituationen (Finanzierung über Netznutzungsgebühr)
- Kantone sollen die elektrischen Widerstandsheizungen rascher austauschen lassen (Sparpotenzial von 2 TWh im Winter)
- Investitionsbeiträge für neue erneuerbare Energien werden bis 2035 verlängert. Auktionen für grosse PV-Anlagen ohne Eigenverbrauch

Quelle: BFE, <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/medienmitteilungen/mm-test.msg-id-81068.html>

# Was bringt die Zukunft?

*Was müssen wir tun?*

## Welche Veränderungen kommen auf uns zu?

- Atomstrom muss ersetzt werden (ca. 1/3 der heutigen Stromproduktion)
  - Klimawandel -> Dekarbonisierung (Gebäude, Mobilität, Industrie) -> erhöhter Strombedarf
  - Nachbarländer müssen ihr Energiesystem ebenfalls dekarbonisieren -> Stromimporte werden unsicherer -> Versorgungssicherheit?
  - Dezentrale Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen  
-> Wertschöpfung im Inland -> Arbeitsplätze
- Grosse Risiken, aber auch *grosse Chancen*

# Warum eigentlich?

*Weshalb sollten wir rasch handeln?*

## Wie lange wirkt CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre?

Studien zeigen:

**Mindestens 100 bis 150 Jahre** (Angabe BFE)  
bis zu mehreren Tausend Jahren

- ➔ Die heutige Erwärmung wird u.a. durch Emissionen mitbeeinflusst, welche von der Zeit vor dem 1. Weltkrieg stammen!  
Die Treibhausgasemissionen von heute werden auch das Klima unserer Kinder und deren Kinder und deren Kinder und.... beeinflussen.

Die Summe der Treibhausgas-Emissionen der letzten 150 Jahre ist entscheidend für die heutige Klimaerhitzung

# Verbleibendes Treibhausgas-Budget für die Schweiz

Chapter 2 Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development

Table 2.2 | The assessed remaining carbon budget and its uncertainties. Shaded blue horizontal bands illustrate the uncertainty in historical temperature increase from the 1850–1900 base period until the 2006–2015 period as estimated from global near-surface air temperatures, which impacts the additional warming until a specific temperature limit like 1.5°C or 2°C relative to the 1850–1900 period. Shaded grey cells indicate values for when historical temperature increase is estimated from a blend of near-surface air temperatures over land and sea ice regions and sea-surface temperatures over oceans.

Additional Warming since 2006–2015 [°C] <sup>(1)</sup>	Approximate Warming since 1850–1900 [°C] <sup>(1)</sup>	Remaining Carbon Budget (Excluding Additional Earth System Feedbacks <sup>(5)</sup> ) [GtCO <sub>2</sub> from 1.1.2018] <sup>(2)</sup>			Key Uncertainties and Variations <sup>(4)</sup>					
		33rd Percentile of TCRE <sup>(3)</sup>	50th	67th	Earth System Feedbacks <sup>(5)</sup> [GtCO <sub>2</sub> ]	Non-CO <sub>2</sub> scenario variation <sup>(6)</sup> [GtCO <sub>2</sub> ]	Non-CO <sub>2</sub> forcing and response uncertainty [GtCO <sub>2</sub> ]	TCRE distribution uncertainty <sup>(7)</sup> [GtCO <sub>2</sub> ]	Historical temperature uncertainty <sup>(1)</sup> [GtCO <sub>2</sub> ]	Recent emissions uncertainty <sup>(8)</sup> [GtCO <sub>2</sub> ]
0.3		290	160	80	Earth System Feedbacks <sup>(5)</sup> Budgets on the left are reduced by about –100 on centennial time scales	±250	–400 to +200	+100 to +200	±250	±20
0.4		530	350	230						
0.5		770	530	380						
0.53	~1.5°C	840	580	420						
0.6		1010	710	530						
0.63		1080	770	570						
0.7		1240	900	680						
0.78		1440	1040	800						
0.8		1480	1080	830						
0.9		1720	1260	980						
1		1960	1450	1130						
1.03	~2°C	2030	1500	1170						
1.1		2200	1630	1280						
1.13		2270	1690	1320						
1.2		2440	1820	1430						

Notes:  
 \*(1) Chapter 1 has assessed historical warming between the 1850–1900 and 2006–2015 periods to be 0.87°C with a ±0.12°C *likely* (1-standard deviation) range, and global near-surface air temperature to be 0.97°C. The temperature changes from the 2006–2015 period are expressed in changes of global near-surface air temperature.  
 \*(2) Historical CO<sub>2</sub> emissions since the middle of the 1850–1900 historical base period (mid-1875) are estimated at 1940 GtCO<sub>2</sub> (1640–2240 GtCO<sub>2</sub>, one standard deviation range) until end 2010. Since 1 January 2011, an additional 290 GtCO<sub>2</sub> (270–310 GtCO<sub>2</sub>, one sigma range) has been emitted until the end of 2017 (Le Quéré et al., 2018).  
 \*(3) TCRE: transient climate response to cumulative emissions of carbon, assessed by AR5 to fall *likely* between 0.8–2.5°C/1000 PgC (Collins et al., 2013), considering a normal distribution consistent with AR5 (Stocker et al., 2013). Values are rounded to the nearest 10 GtCO<sub>2</sub>.  
 \*(4) Focussing on the impact of various key uncertainties on median budgets for 0.53°C of additional warming.  
 \*(5) Earth system feedbacks include CO<sub>2</sub> released by permafrost thawing or methane released by wetlands, see main text.  
 \*(6) Variations due to different scenario assumptions related to the future evolution of non-CO<sub>2</sub> emissions.  
 \*(7) The distribution of TCRE is not precisely defined. Here the influence of assuming a lognormal instead of a normal distribution shown.  
 \*(8) Historical emissions uncertainty reflects the uncertainty in historical emissions since 1 January 2011.

Für eine 67%ige Wahrscheinlichkeit, dass die Erwärmung auf max. 1.5 C steigt, gibt es ab Januar 2018 noch ein weltweites CO2-Budget von 420 – 100 Gt = **320 Gt**

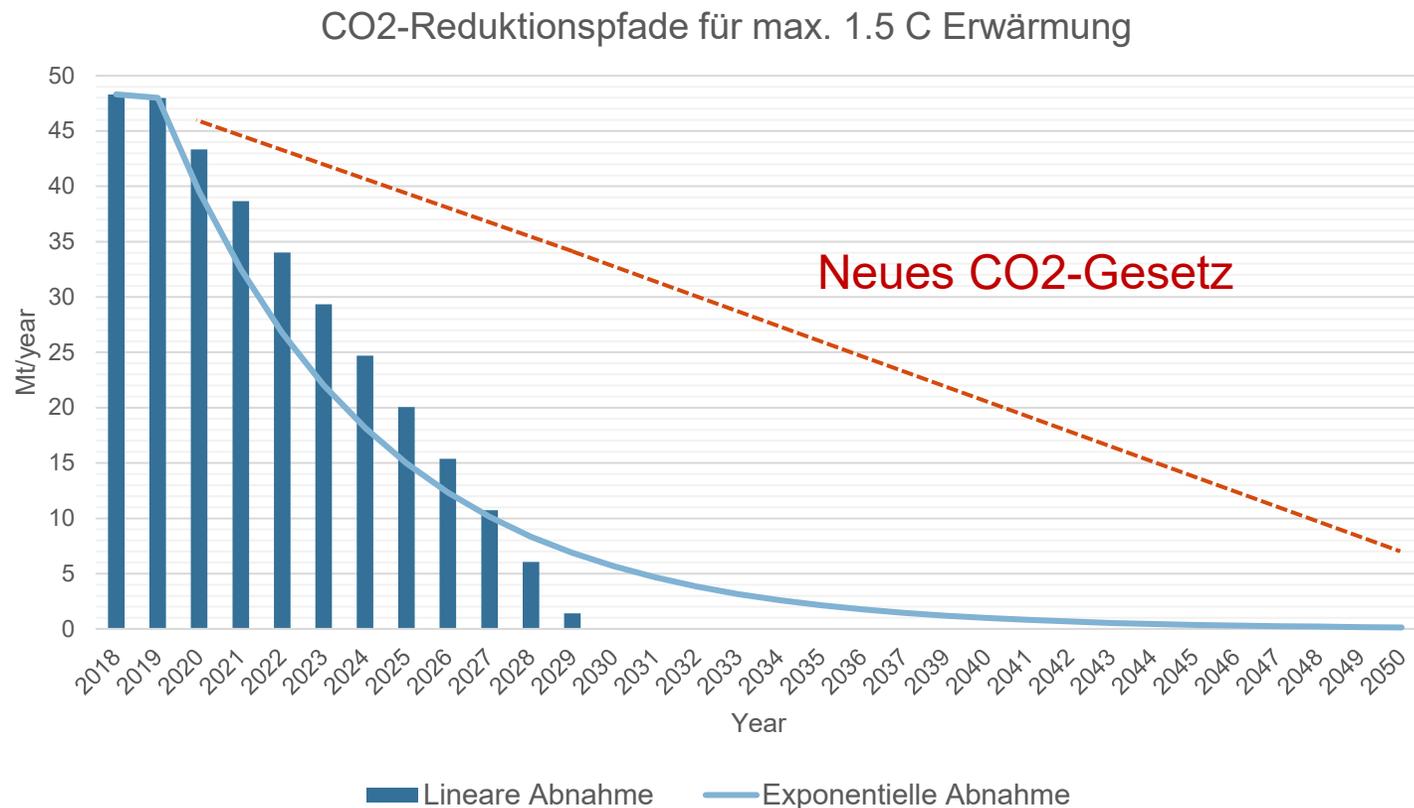
Die Schweizer Bevölkerung macht ca. 1 Promille der Weltbevölkerung aus (8 Mio. von 8 Mia.). Das weltweite Restbudget für Treibhausgase (THG) von 320 Giga-Tonnen (Gt) ab 1.1.2018 wird gleichmässig auf alle Menschen aufgeteilt.

-> Die Schweiz hat ein Restbudget von 320 Mega-Tonnen (Mt) CO<sub>2</sub>

Beim aktuellen Ausstoss von ca. 48 Mt pro Jahr wäre dieses Budget Mitte 2024 aufgebraucht.

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

# Max. 1.5 C mit 67%iger Wahrscheinlichkeit erreichen:



Umgerechnet auf die Schweiz mit 1 Promille des weltweiten CO2-Budgets (-> 320 Mt)

Die Klimabewegung hat Recht: **Netto-Null bis 2030!**

Ohne NET (Negative Emission Technologies, Technologien zur Entfernung von CO2 aus der Atmosphäre)

## Fazit für das 1.5-Grad-Ziel

Annahmen:

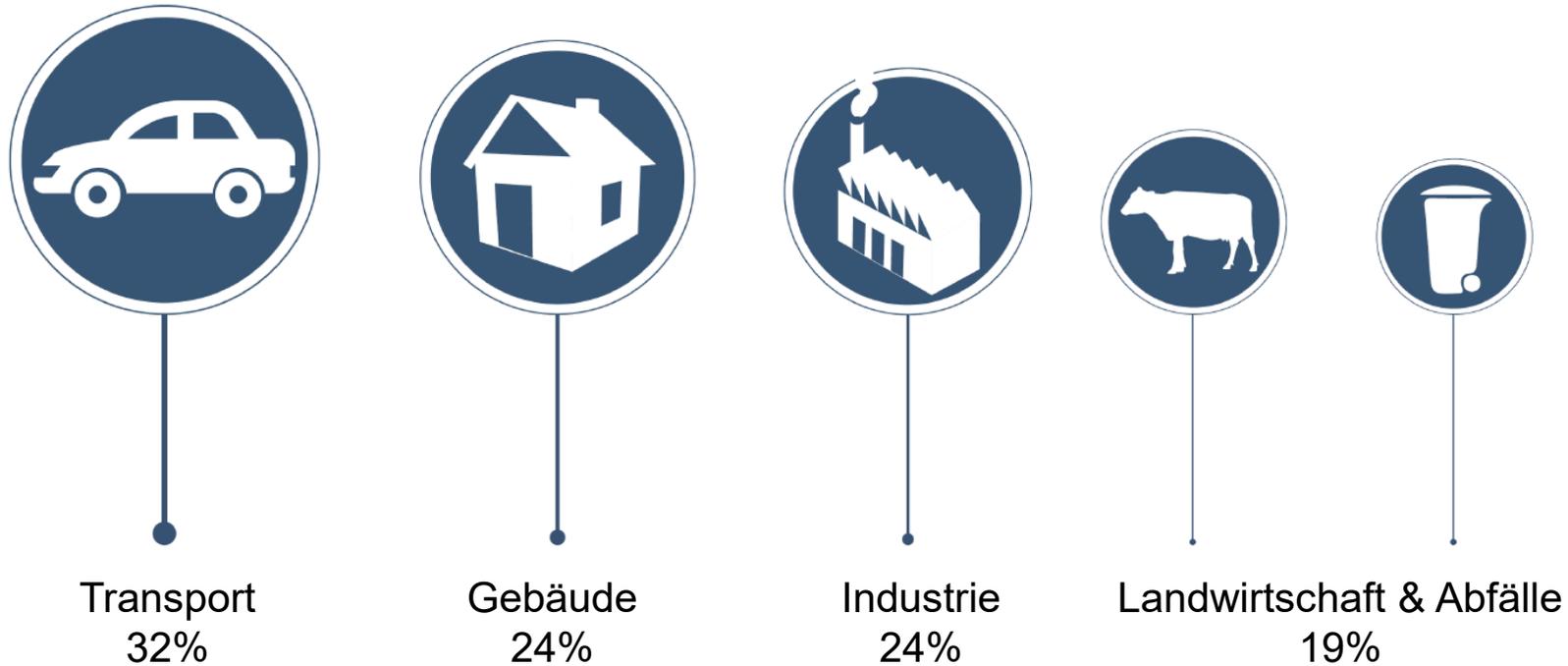
- Das verbleibende Emissionsbudget wird gleichmässig pro Kopf auf die Weltbevölkerung verteilt.
  - Alle grossen Emittenten von Treibhausgasen verfolgen dasselbe Ziel bzw. das Handeln der reichen Schweiz ist Voraussetzung für das Handeln von anderen Ländern.
- ➔ Die Treibhausgasemission der Schweiz müssen ab 2020 bis 2030 linear auf Netto-Null reduziert werden, damit die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% im weltweiten Durchschnitt auf 1.5 C begrenzt bleibt.

Von 48 Mt im Jahr 2020 auf 5 Mt im Jahr 2030 (-90%)

# Woher stammen die THG-Emissionen?

# Aufteilung der CH-Treibhausgas-Emissionen im Jahr 2018 (Inland)

Emissionen nach Sektor (2018)



Bundesrat (2020)

## Woher stammen die Schweizer Treibhausgas-Emissionen?

- In der Schweiz und auch weltweit stellt die Verbrennung von fossilen Energien (Kohle, Öl, Gas, Benzin, Diesel, Flugpetrol) die mit Abstand grösste Quelle der THG-Emissionen dar.
- Drei Viertel der Schweizer THG-Inland-Emissionen stammen aus der Verbrennung von fossilen Energien (ohne Flugverkehr)
- Hauptverursacher sind  
Verkehr > Gebäude > Industrie > Landwirtschaft

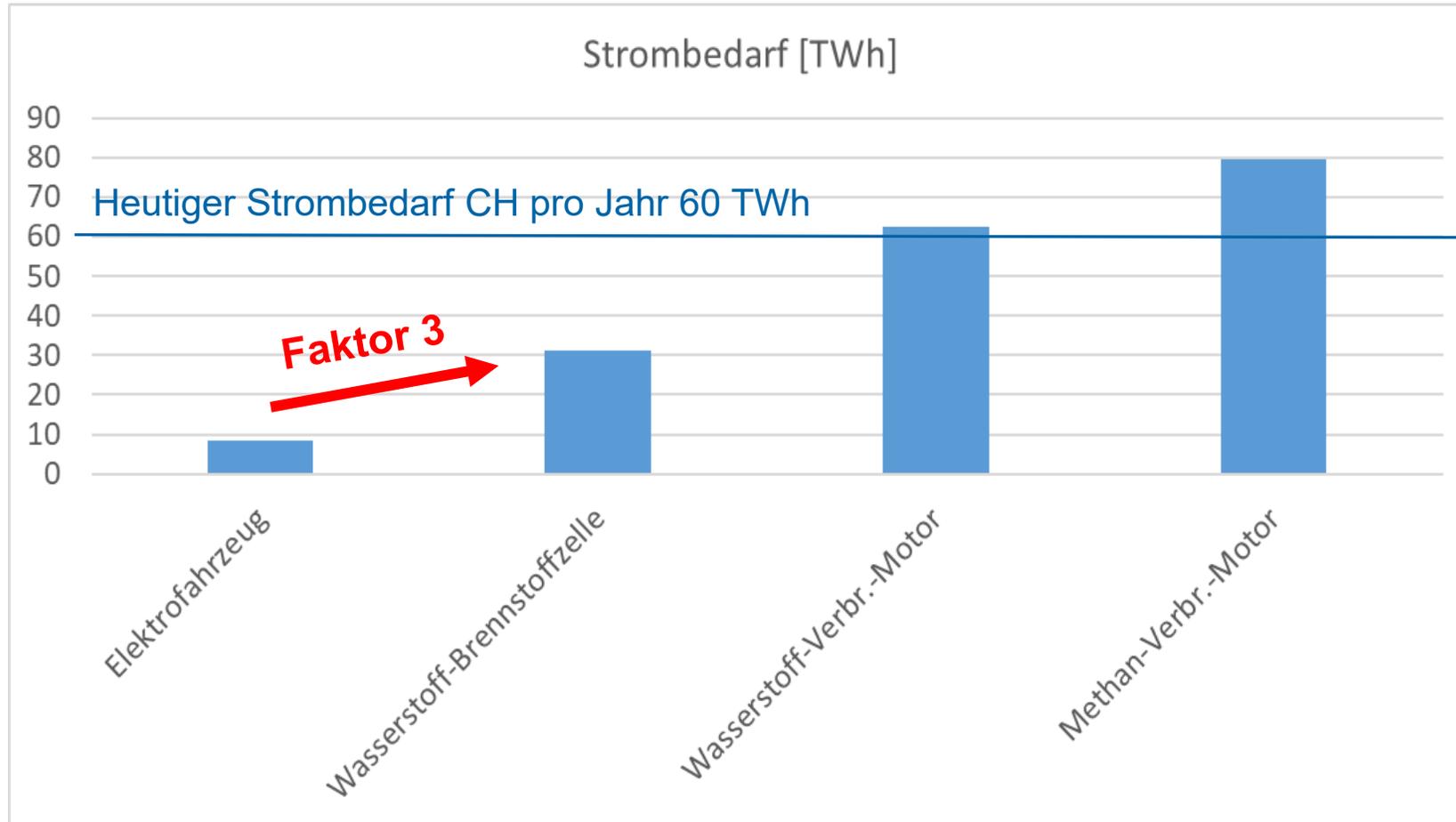
# Lösungen im Bereich Energie

## Grundsätzliche Lösungsansätze

- Energiebedarf senken (Effizienz, Suffizienz)
  - Ersatz (Substitution) der fossilen Energien durch erneuerbare Energien.
  - Alternativ/Ergänzend: Treibhausgase aus der Atmosphäre aufnehmen (technisch oder Pflanzen). Wer bezahlt dies?
- 
- Welche Potenziale hat die Schweiz?
  - Welche Technologien sollten eingesetzt werden in den Bereichen Mobilität, Gebäude und Industrie?

# Weshalb Elektromobilität?

Strombedarf für Autos bei einer sofortigen und vollständigen Umrüstung auf...



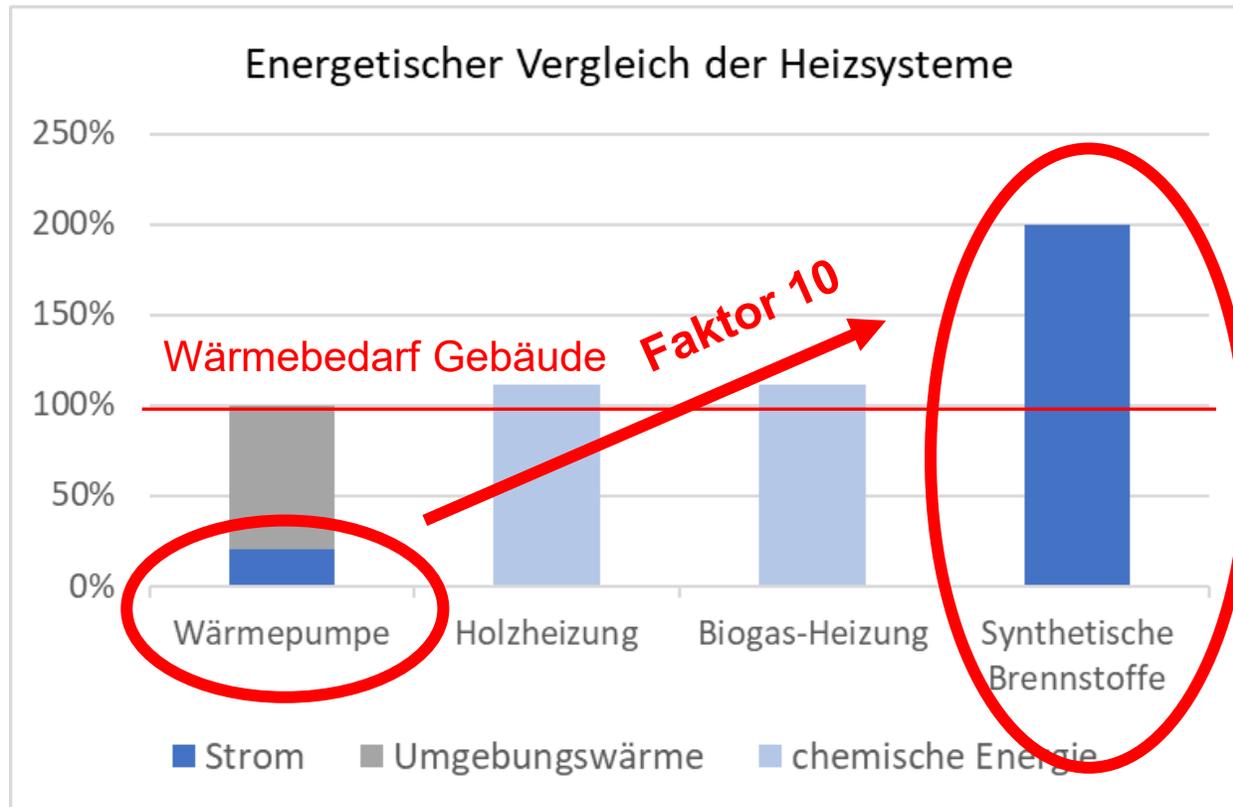
Heute fahren in der Schweiz 4.5 Mio. Autos  $\varnothing$  je 12'500 km pro Jahr.

Elektromobilität mit Batterien ist um Faktoren effizienter als alle Alternativen

-> Strombedarf steigt

# Weshalb Wärmepumpen?

Energiebedarf um 100% Gebäudewärme zu erzeugen:



Heute benötigen wir etwa 53 TWh Wärme für Gebäude pro Jahr.

Wärmepumpen sind um Faktoren effizienter als Alternativen (Holz- und Solarthermiepotenziale sind begrenzt).

-> Strombedarf steigt

## Komplexere Lösungen: Industriebereich

Grösster Anteil der THG-Emissionen in der Industrie hat die Prozesswärme. Sie wird zu 70% mit fossilen Energien erzeugt (18.64 von 26.64 TWh pro Jahr)

- Wo technisch möglich Umstieg auf Wärmepumpen
- Restliche Prozesswärme mit Biogas (Potenzial begrenzt), Holz (Potenzial begrenzt) und synthetischen Brennstoffen (benötigen viel Strom zur Erzeugung)
- Notfalls fossile Energien noch begrenzt einsetzen, aber CO<sub>2</sub> im Kamin abscheiden (NET)

-> Strombedarf steigt

- **Landwirtschaft** muss ebenfalls einen Beitrag leisten
- Weniger **Abfälle** verbrennen -> Reuse, Recycle, Suffizienz fördern

## Zusammenfassung: Dekarbonisierung des Energiesystems

### Strombedarf der Schweiz wird sich erhöhen:

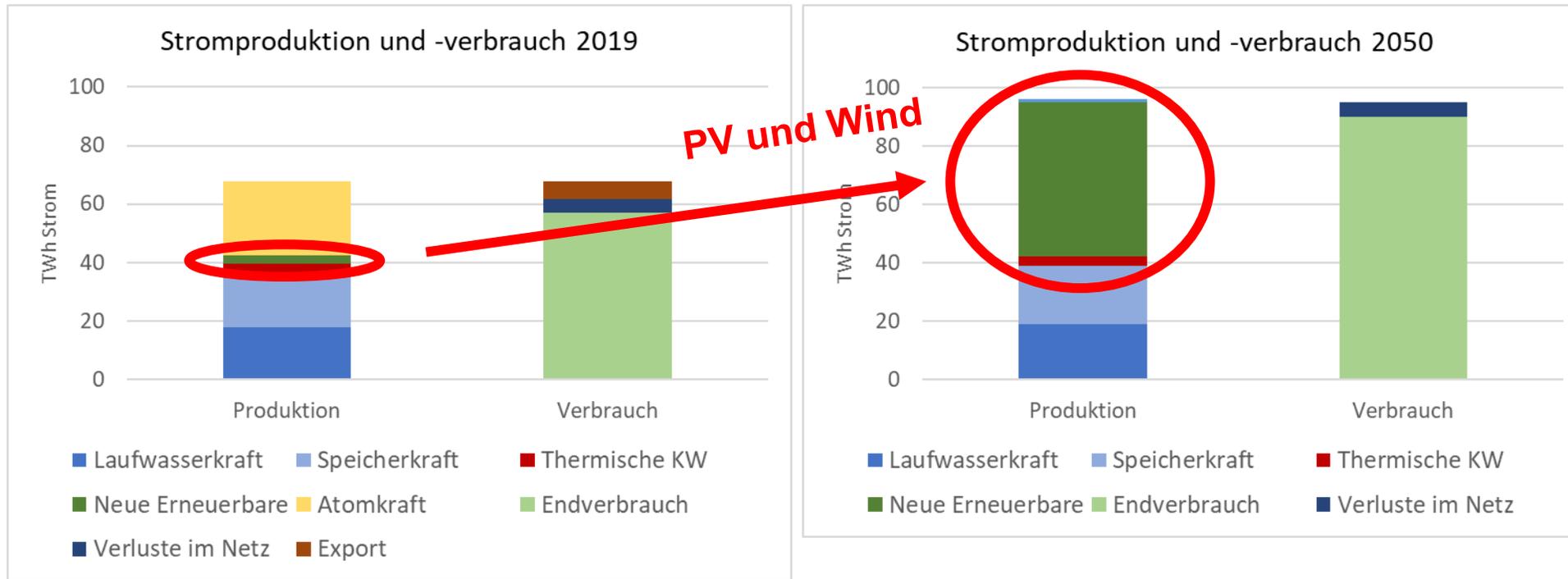
- Elektromobilität (Autos, Lastwagen, evtl. Flugzeuge)
- Elektrische Wärmepumpen für Gebäude (Heizung, Warmwasser)
- Elektrische Wärmepumpen für Prozesswärme, direkte Beheizung in der Prozessindustrie
- Herstellung von synthetischen Treib- und Brennstoffen (Wasserstoff, Methan, Methanol, ...)
- Prognostizierte Zunahme der Mobilität und der Bevölkerung

Fossile Energien werden primär durch Effizienz und Strom ersetzt. Je nach Annahmen +30% bis +200% höherer Strombedarf

# Künftige Stromversorgung

*Woher soll der Strom in Zukunft kommen?*

# Strombedarf und -Produktion



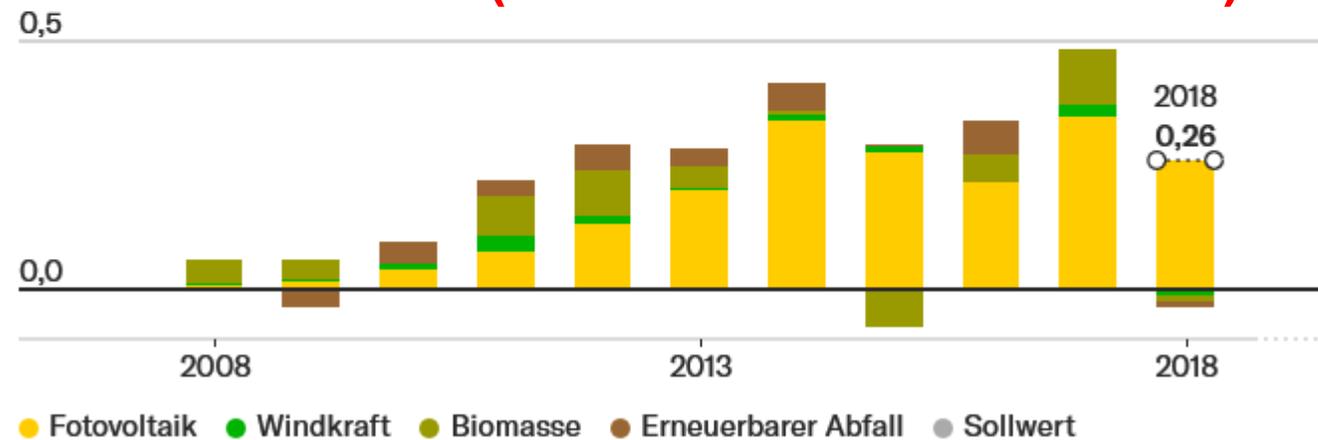
Die jährliche Produktion von Strom aus erneuerbaren Ressourcen muss bis 2050 um ca. 50 TWh erhöht werden (gemäss Energieperspektiven 2050+ nur um 39 TWh).

# Ausbau erneuerbare Stromproduktion in der Schweiz

Jährliche Zunahme des erneuerbaren Stroms

1,0 Terawattstunden

**5 bis 15 Mal grösserer Zubau pro Jahr erforderlich! (auf 1.5 bzw. 5 TWh/Jahr)**



Ohne Wasserkraft. Biomasse = Holz und Biogas. Quelle: BFE

Heutiger Zubau: 0.3 TWh / Jahr

**Netto Null bis 2030:**

Zubau von 5 TWh / Jahr erforderlich (Faktor 15)

**Netto Null bis 2050:**

Zubau von 1.5 TWh / Jahr erforderlich (Faktor 5)

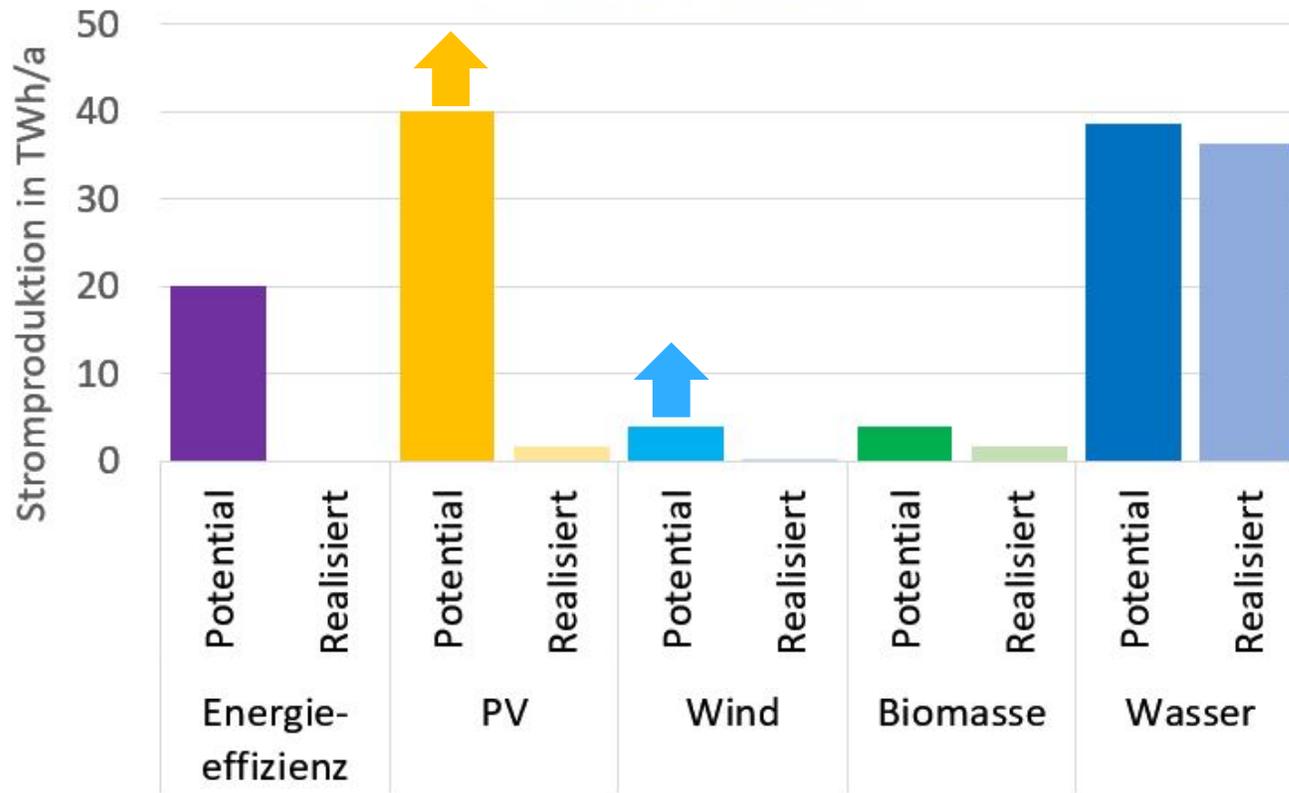
**Energieperspektiven 2050+:**

Zubau von 1.33 TWh / Jahr erforderlich (Faktor 4.5)

Grafik: Republik vom 20.11.2019: <https://www.republik.ch/2019/11/20/energiewende-ja-die-schweiz-schafft-das>

# Das Potential von Stromproduktion und –effizienz in der Schweiz ist noch lange nicht ausgeschöpft!

## Potential der erneuerbaren Energien in der Schweiz



Datenquelle: BFE, Swissolar, eigene Berechnungen

- Selbst nach der Dekarbonisierung des Energiesystems und ohne AKW könnte die Schweiz 100% des Strombedarfes im Inland decken, wenn die vorhandenen Potenziale genutzt werden.
- Die grössten Potenziale finden sich bei Solarenergie (mit Abstand grösstes Potential), Effizienz, Windenergie und Holz.

# Optionen für den Winter

*Woher soll der Strom in Zukunft im Winter kommen?*

## Wie gross wird die Winterstromlücke sein? Wann wird es kritisch?

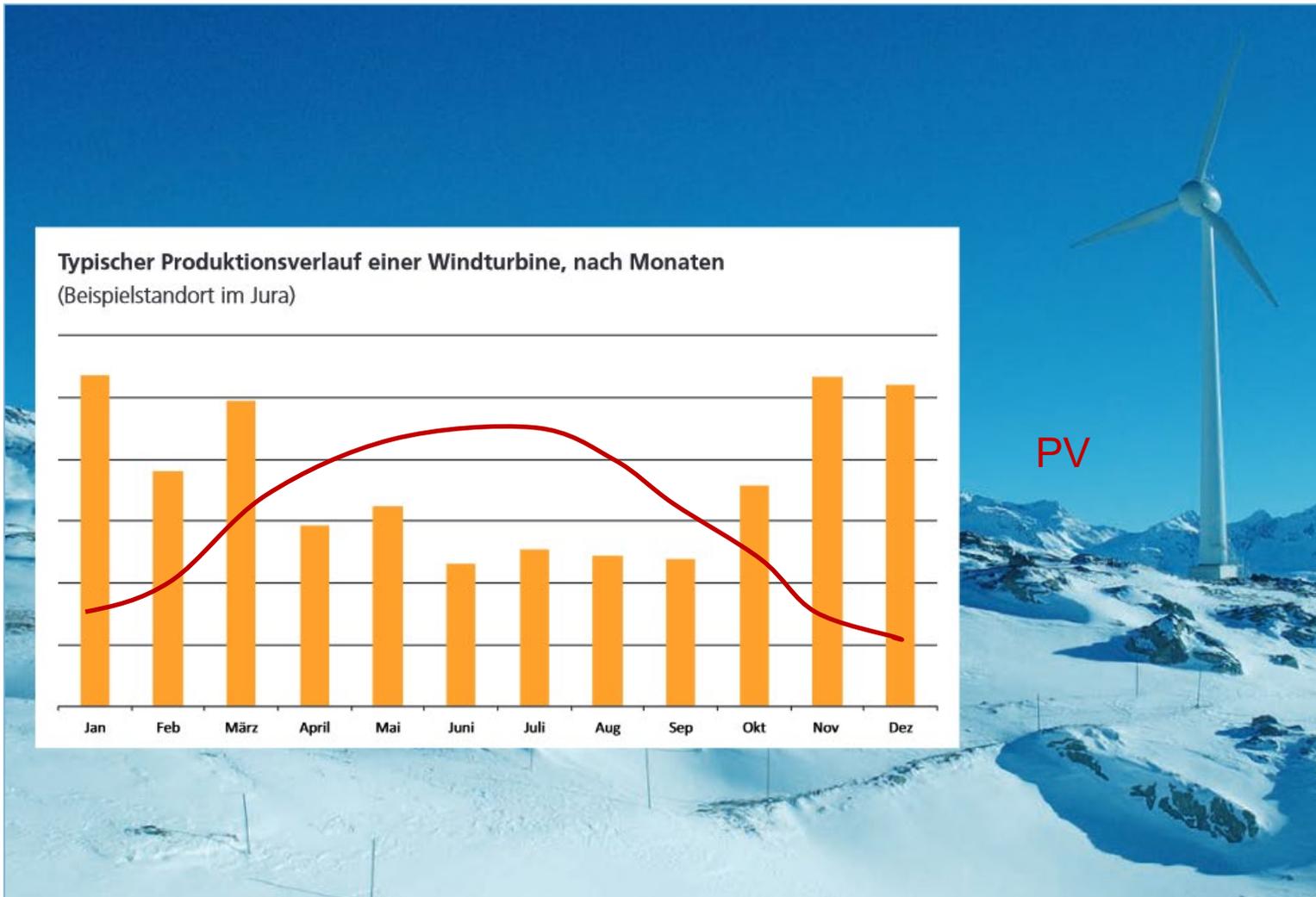
Der Winterstrombedarf hängt von der **Effizienz des gesamten Energiesystems**, von der Zubaurate an erneuerbaren Energien und vom Zubau von Energiespeichern ab. Ansatzpunkte:

- Bedarf senken:** Gebäudesanierungen, Elektroheizungen ersetzen, Effizienz und Suffizienz in allen Bereichen
- Produktion erhöhen:** Windkraft, Photovoltaik (speziell an Fassaden und in den Alpen), Blockheizkraftwerke, evtl. Gaskraftwerke mit CCS
- Speicherung:** Speicherseen, Power to Gas, Power to X, evtl. Batterien

Effizienz des Energiesystems ist entscheidend

- für den Landbedarf der Energieproduktion
- ob sich die Schweiz mit Energie selber versorgen kann oder weiterhin auf Importe angewiesen sein wird

## Windkraft: 2/3 des Ertrages im Winter



Photovoltaik und Windenergie ergänzen sich optimal Tag/Nacht und Sommer/Winter.

**Windkraftwerke reduzieren den Bedarf an Stromspeichern.**

## Saisonale Stromspeicherung

- Heutige Kapazität Speicherseen ca. 9 TWh, Erhöhung auf 11 TWh realistisch
- Speicherseen werden heute nicht zur Selbstversorgung bewirtschaftet sondern zur Gewinnmaximierung.
- Stromspeicherung in Form von Gas und Rückverstromung hat Wirkungsgrad von ca. 30%, ist aber technisch gut möglich.

Damit Strom gespeichert werden kann, muss er zuerst einmal produziert werden!

## PV im Flachland ausbauen und Power to Gas

- Dynamisches Peak-Shaving auf 35% gemäss NR Roger Nordmann:  
=> 20 % Verluste bzw. maximal verfügbar für Power to Gas (PtG)
- Bei 50 TWh Ausbau -> max. 10 TWh für PtG -> max. 3 TWh flexiblen Winterstrom => erfordert Gasspeicher für 70 Mio. Nm<sup>3</sup> Gas (bei 30 bar Druck gibt dies einen Würfel mit 132 m Seitenlänge)
- Heute haben wir in der Schweiz keine saisonalen Gasspeicher
- «Zu viel» PV-Strom im Sommer frühestens ab 2035 (je nach PV-Ausbautempo).
- Anzahl Betriebsstunden für Elektrolyse und Brennstoffzellen?  
(-> Wirtschaftlichkeit)

Damit Strom in Gas umgewandelt werden kann, muss der Strom zuerst einmal produziert werden!

## Weitere Optionen für den Winter

- Stärkerer PV-Ausbau im Flachland -> die PV-Erträge steigen automatisch auch im Winter, aber im Sommer muss Strom abgeregelt werden (Verluste). Produktionsanteile: 25 – 30% im Winter, 70 – 75% im Sommer.
- PV in den Alpen: 50% der Produktion im Winter, 50% im Sommer
- Blockheizkraftwerke mit Biogas oder Holz
- Mehr Windkraftwerke (2/3 der Produktion im Winter)
- Flexible Stromtarife (-> Anreize zum Bau von Winterstrom-Anlagen bzw. zur Reduktion des Winterstrombedarfes)
- Saisonale Wärmespeicher
- Importe (?)

**Wir müssen die Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen massiv und viel rascher ausbauen. Völlig unabhängig davon, wie wir die Stromversorgung im Winter lösen wollen.**

## Take Home Messages

- 1) Um ihren fairen Beitrag im Kampf gegen die Klimaerhitzung zu leisten, muss die Schweiz mindestens 5 Mal schneller auf erneuerbare Energien umsteigen und Energie sparen als heute.
- 2) Aktuell sollten wir auf den raschen Ausbau der gesamten Stromproduktion fokussieren (PV, Windkraft). Winterstrom-Engpässe können erst danach gelöst werden (dafür sind mehrere Optionen verfügbar).
- 3) Die Energiewende in der Schweiz kann man effizient oder sehr ineffizient gestalten. Die Verlierer bei der Energiewende verteidigen ihre Pfründe.
- 4) Die Schweiz kann sich praktisch 100 % selbst mit Energie versorgen, wenn wir ein effizientes Energiesystem bilden (-> Versorgungssicherheit, Arbeitsplätze).

## Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Adresse für Rückfragen:

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

[Juerg.Rohrer@zhaw.ch](mailto:Juerg.Rohrer@zhaw.ch)    Tel. 058 934 54 33  
[www.zhaw.ch/iunr/erneuerbareenergien/](http://www.zhaw.ch/iunr/erneuerbareenergien/)