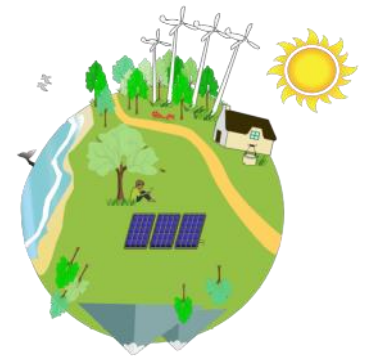


# Energiewende nachgerechnet



# Vorwort

- Ich bin (auch) kein Experte, nur ein Ingenieur.
- Ich spreche nicht über Geld.
  - Ein ungebremsster Klimawandel kostet in jedem Fall mehr!
- Ich spreche nicht über Rechtliches.
  - Gesetze kann man ändern, Naturgesetze nicht.

# Energie vs. Leistung

Joule, kJ, MJ...

Energie pro Zeit:

J/s = **Watt, kW, MW,...**

AKW-Block: ~1  
GW

Wasserkocher: ~2 kW  
PV-Modul: ~400 Wp

Peak

Leistung mal Zeit:

$W \cdot h \rightarrow Wh, kWh$

Autobatterie: ~1kWh



kWh/a



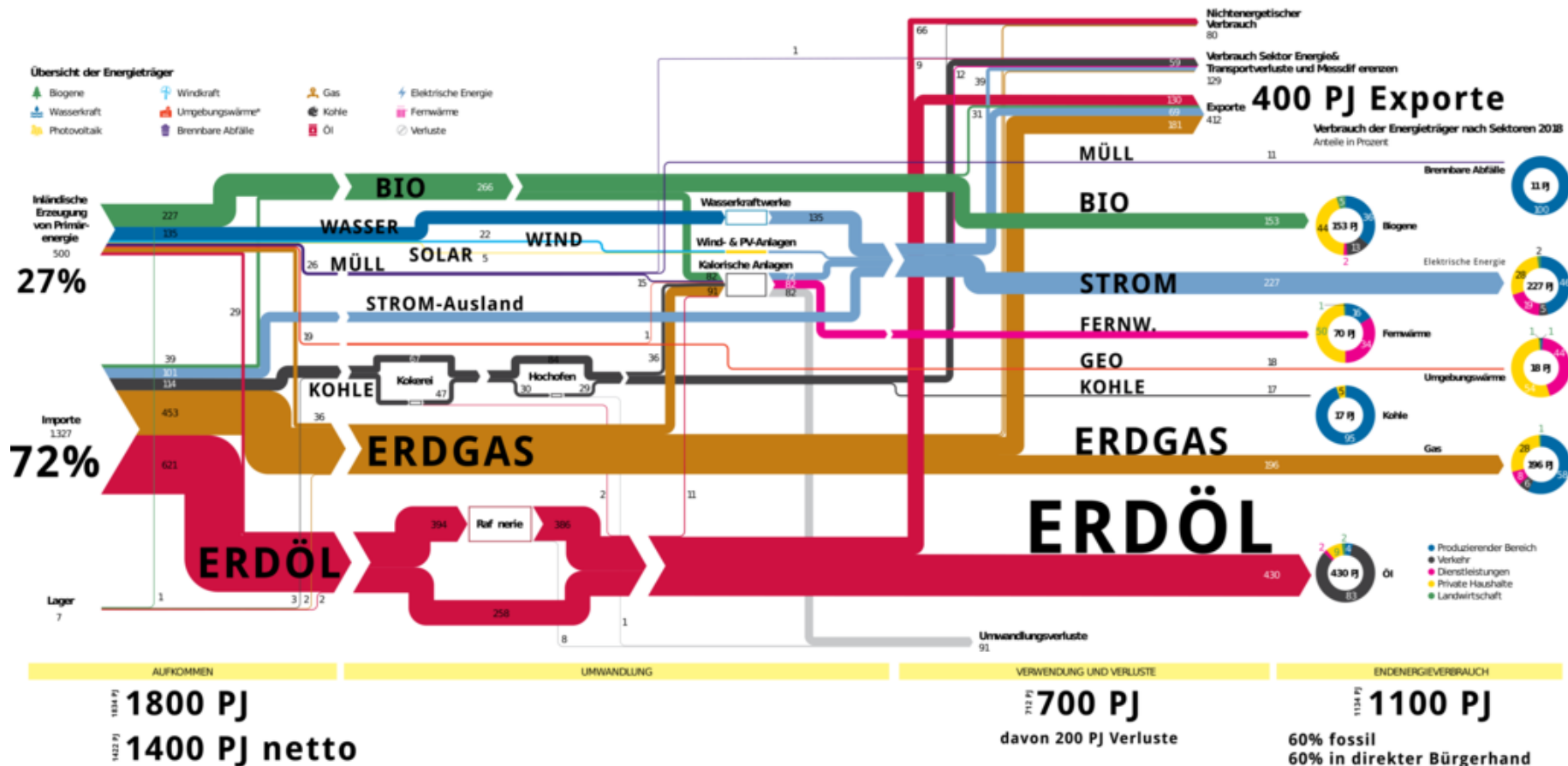
kilo	1 000
Mega a	1 000 000
Giga a	1 000 000 000
Ter	1 000 000 000 000 <sup>10</sup>

# Energiewende in Österreich...

## Energiefluss in Österreich 2018

in Petajoule auf Basis der vorläufigen Energiebilanz 2018

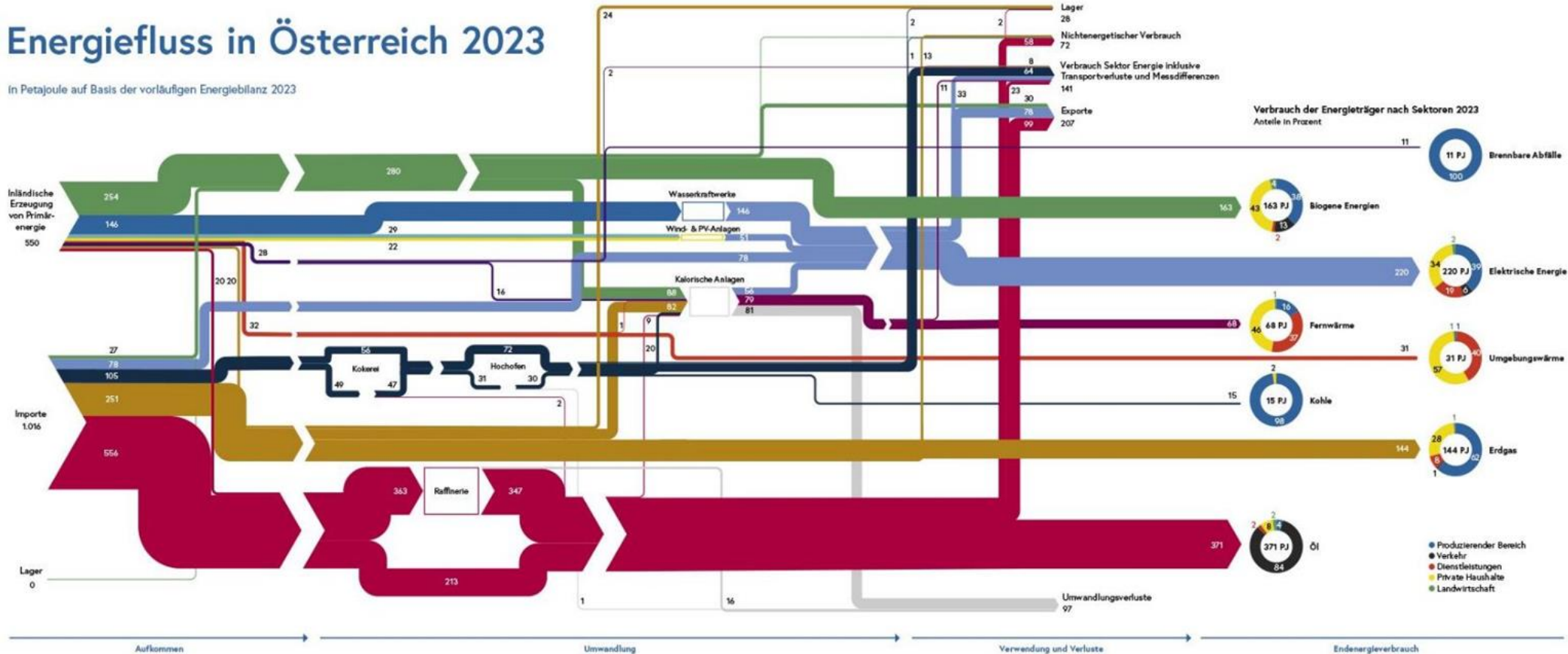
EA  
BUNDESMINISTERIUM  
Nachhaltigkeit und  
Tourismus



# Energiewende, jetzt aber...?

## Energiefluss in Österreich 2023

in Petajoule auf Basis der vorläufigen Energiebilanz 2023



# Energiewende, aber wie?

.Energetischer Endverbrauch 2019 [1]: 1,1 EJ -> **36 GW**

.**2/3** kommen aus fossiler Energie: **24 GW**

.Es braucht Alternativen zu allen fossilen Ressourcen,  
**nicht nur für Strom:**

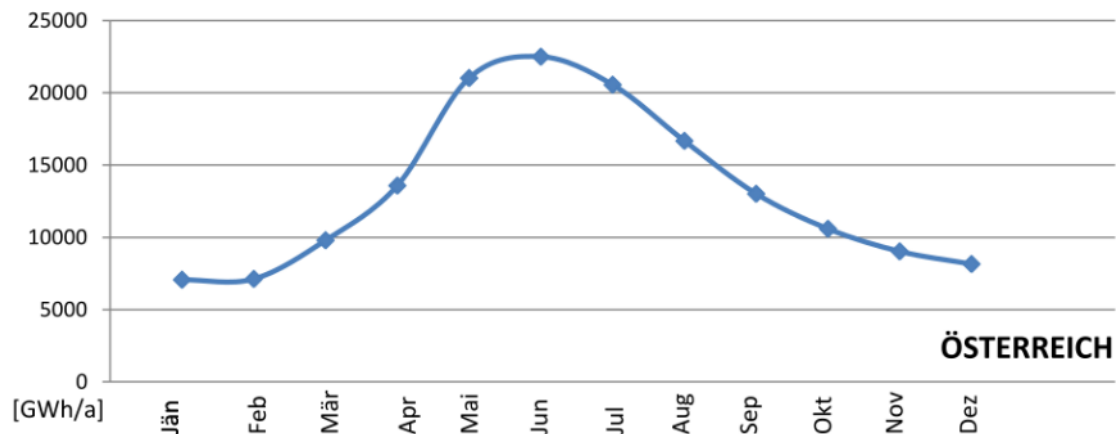
- Wasserkraft
- Bioenergie
- (Erdwärme)
- Kernenergie
- **Sonne (Strom und Wärme)**
- **Wind**

pro Kopf-Verbrauch: **4 kW**

davon **Strom:**  
**1 kW**

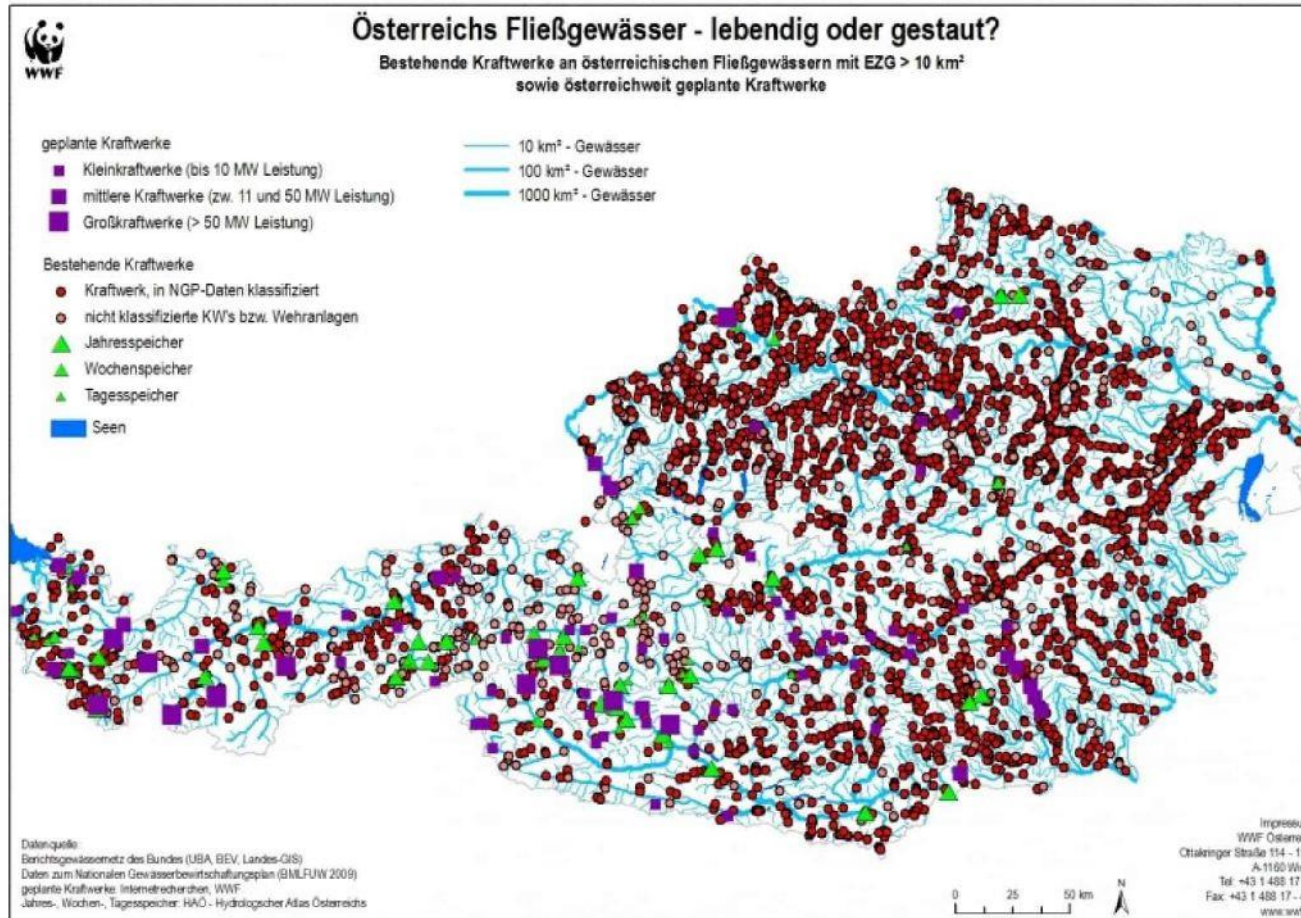
# Wasserkraft

- (theoretisches) Potential: 144 TWh/a [1] -> 16,5 GW
- in Österreich gut ausgebaut (aktuell 4.5 GW)
- meistens großer Eingriff in Natur
- im Sommer mehr als im Winter



[1] TU-Wien, 2010, „Ermittlung des Wasserkraftpotenzials in Österreich“

# Wasserkraftwerke



# Bioenergie

## •Biomasse:

- hauptsächlich Holz
- Energiepflanzen (Mais, Soja, Raps,...)
- Deponie- und Gärgas

## •Verwendung:

- Heizen
- Rohstoff / Baustoff
- Treibstoff (RME)
- Strom

•gesamt: 7,5 GW

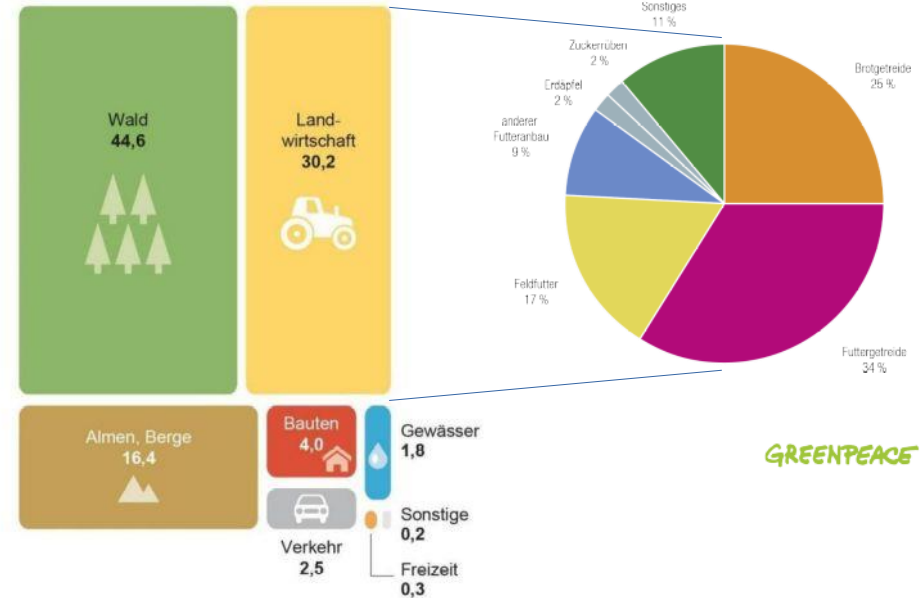


# Bioenergie pro und contra

- kann Energie gut speichern (auch saisonal)
- sehr geringe Leistungsdichte:
  - Brennholz:  $< 0,2 \text{ W/m}^2$
  - Energiepflanzen:  $\sim 0,5 \text{ W/m}^2$
- (derzeit) fossile Energie f. Dünger und Bewirtschaftung
  - (Haber-Bosch-Verfahren)
- Konkurrenz mit Lebens- / Futtermitteln
- Gefahr der Über-Bewirtschaftung

Flächennutzung in Österreich

In Prozent



GREENPEACE

Grafik: © APA, Quelle: BEV/Umweltbundesamt



# Kernenergie aktuell

•Hauptsächlich wird Uran in Leichtwasserreaktoren verwendet.

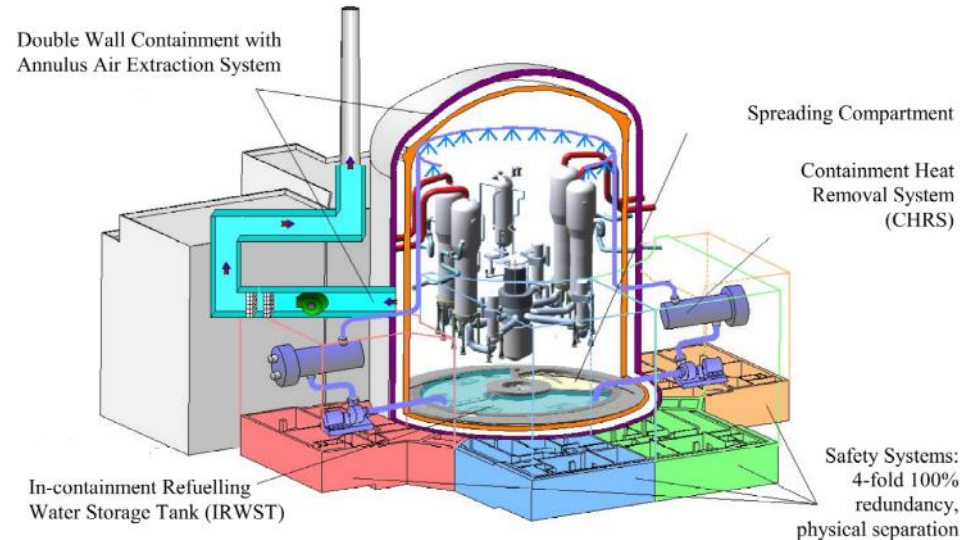
- nur ~0.6% des Urans ( $U^{235}$ ) werden genutzt.

•Verbrauch: 63 kt / a

•Uranreserven weltweit:  
7,6 Mt (< 260 USD / kg)

- das reicht ~120 Jahre

•erstes Endlager für Brennstäbe:  
Onkalo (Finnland) ab 2025



# Zukunft der Kernenergie

•Kernenergie ist statistisch gesehen sehr sicher.

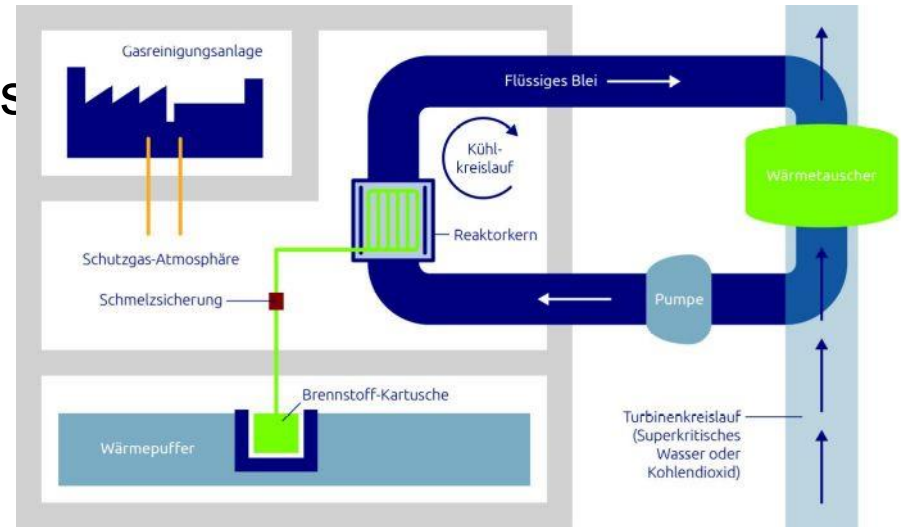
•Grundlastfähig, unabhängig vom Wetter

•viele neue Konzepte

z.B. Dual-Fluid-Reaktor:

- U238-Abfall oder Thorium als Spaltstoffe
  - d.h. Brennstoff im Überfluss
- (End-)Lagerzeit ca. 300 Jahre
- hohe inhärente Sicherheit

•auch Kernfusion ist Kernenergie



# Szenario - Energiewende Österreich

• Energetischer Endverbrauch bleibt bei **36 GW**

- Wasserkraft bleibt bei 4,5 GW
- Biomasse bleibt bei 7,5 GW
- keine Importe

• die fehlenden **24 GW** kommen von

- **PV**: 12 GW (2023: 0,7 GW)
- **Wind**: 12 GW (2023: 0,9 GW)

• Leistungs-Schwankungen werden (vorerst) nicht berücksichtigt

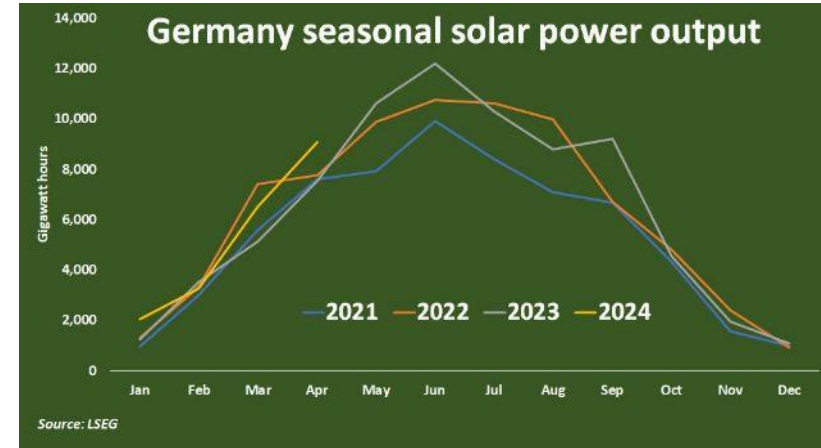
• Annahme: Effizienzsteigerung und Umwandlungsverluste halten sich die Waage

# Szenario - PV

•PV-Anlage Freifläche [1]: 1 MWp -> 2 ha, 50 Wp/m<sup>2</sup>

•Deutschland 2019 [2]:

- installierte PV-Leistung: 49 GWp
- Jahresertrag: 46 TWh -> 5,3 GW
- Nutzungsgrad von 10,8%
- Durchschnittsertrag: 5,4 W/m<sup>2</sup>



•12 GW brauchen ca. 2200 km<sup>2</sup>, **2,6% der Fläche Österreichs**, 240m<sup>2</sup> pro Person

•Potential der Dachflächen [3]: 1,8 GW, realistisch eher 1,3 GW

[1]: Helios Sonnenstrom GmbH, [2]: Wikipedia, [3]: „A Spatially Highly Resolved Ground Mounted and Rooftop Potential Analysis for Photovoltaics in Austria“, Christian Mikovits, et al.

# Szenario - Wind

•Windenergie in Deutschland 2019 (onshore) [1]:

- 101 TWh -> 11,6 GW
- 29456 Windkraftanlagen (ca. 1,8 MWp)
- 53,2 GWp installierte Leistung

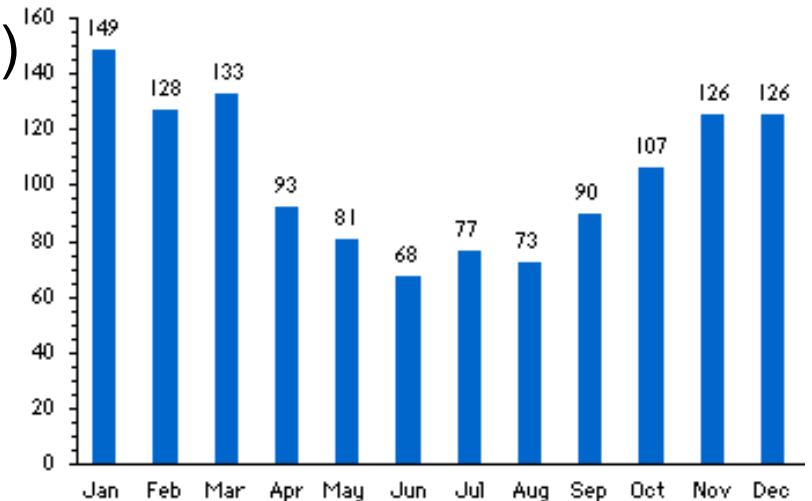
•Jahresdurchschnittsleistung  
pro Anlage: 391 kW

•~22% Nutzungsgrad

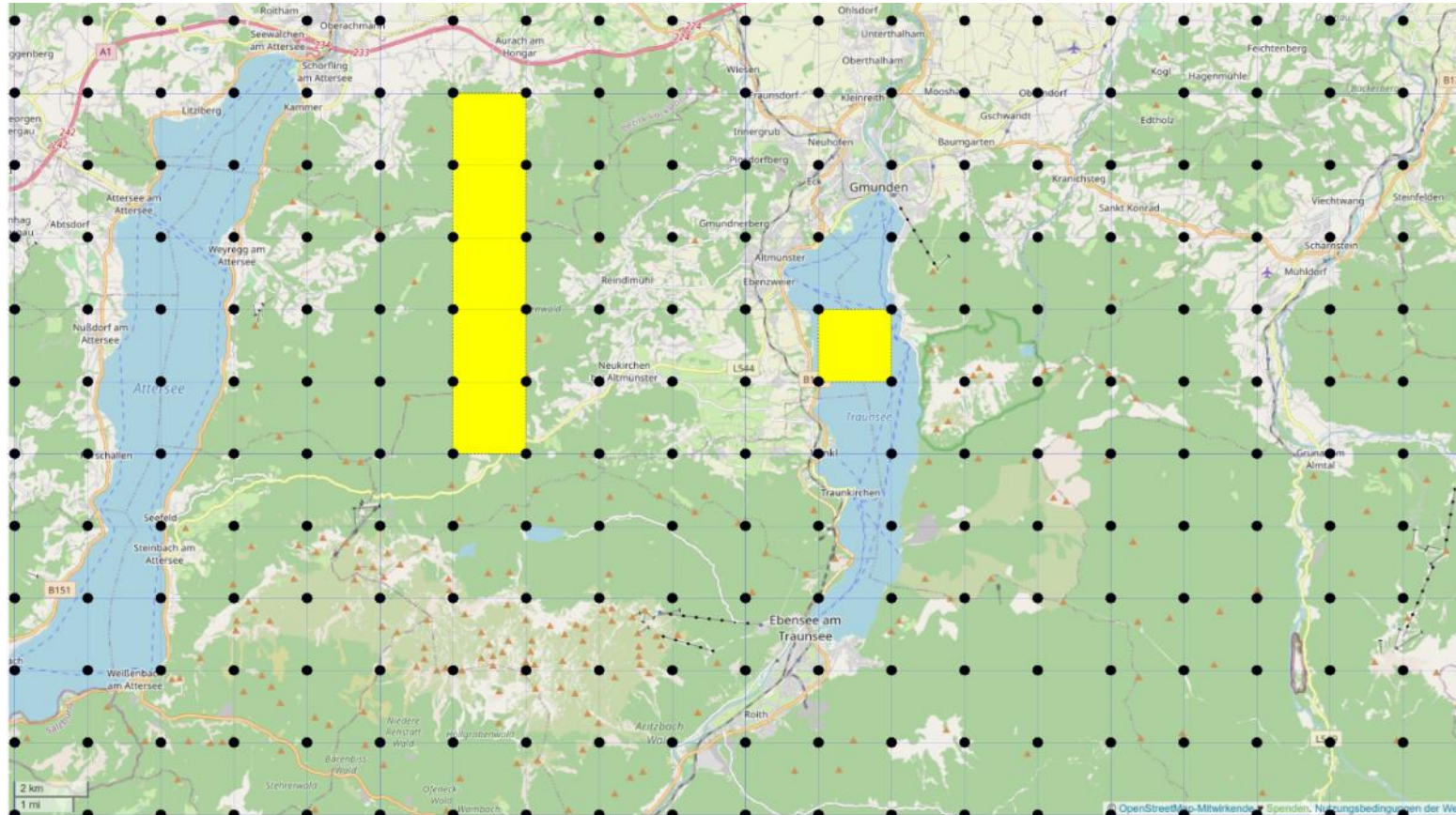
•12 GW -> 30700 Anlagen in Österreich

•-> Je ein Windrad in einem **Raster von 1,7 km !**

Wind Energy index, Denmark (average=100)



# Szenario - Traunsee / Attersee



# Energiespeicher

## •Leistungs-Schwankungen

- Erzeuger (besonders Erneuerbare)
- Verbraucher

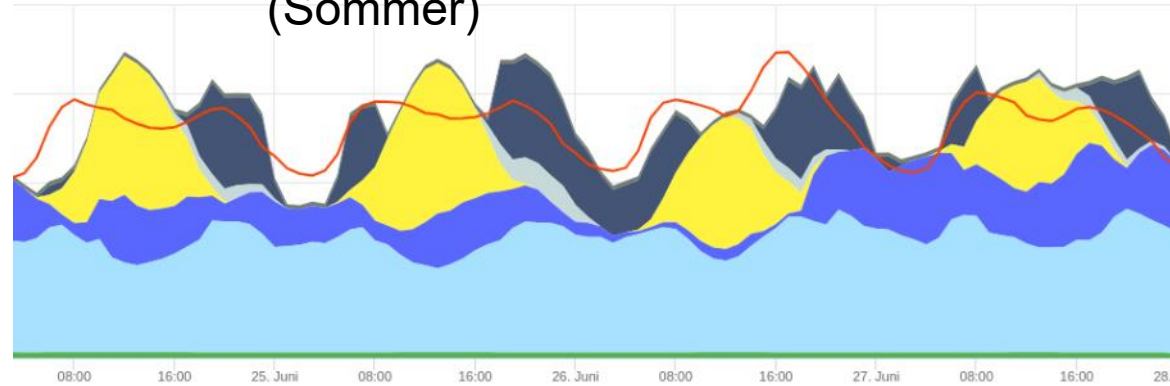
## •Es braucht Speicher für

- Tagesschwankungen
- saisonale Schwankungen

## •„Smart-Grid“: Verbraucher an Erzeuger anpassen

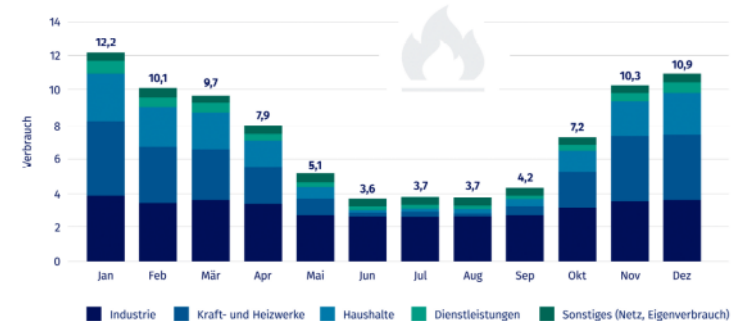
- funktioniert nur bedingt

Stromerzeugung und Verbrauch  
(Sommer)



Saisonaler Gasverbrauch

in TWh, Daten für 2021, in Österreich



# Rechenbeispiel - Batteriespeicher

- Akku Tesla Model 3 (2019): 50 kWh
- Wälzwirkungsgrad: > 90%
- Sonne über Nacht gespeichert:
  - $12 \text{ GW} * 12\text{h} = 144 \text{ GWh}$
  - -> 2,9 Millionen Akkus
  - PKW-Bestand in AT: 5,2 Millionen
- Wind und Sonne für 2 Wochen (Dunkelflaute)
  - $24 \text{ GW} * 24\text{h} * 14 = 8 \text{ TWh}$
  - 161 Millionen Akkus



# Pumpspeicher

- Kapazität (Pump-)Speicher in AT [1]: ~3 TWh

  - > 5 Tage bei 24 GW

- ABER: maximale Leistung [2]: *nur* 7,8 GW

  - > „Repowering“ meist fast ohne Natureingriff

    - z.B. Limberg 3 (Kaprun)  
September 2025  
2 x 430MW

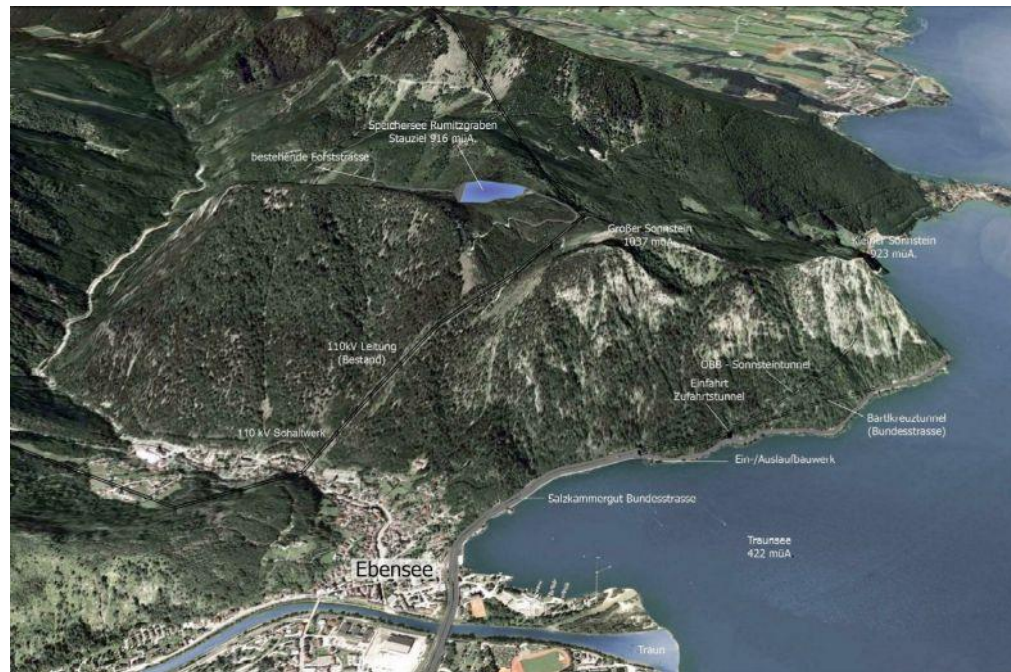


[1]: <https://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherkraftwerk>

[2]: [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_von\\_Wasserkraftwerken\\_in\\_%C3%96sterreich](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Wasserkraftwerken_in_%C3%96sterreich)

# Pumpspeicherer Ebensee

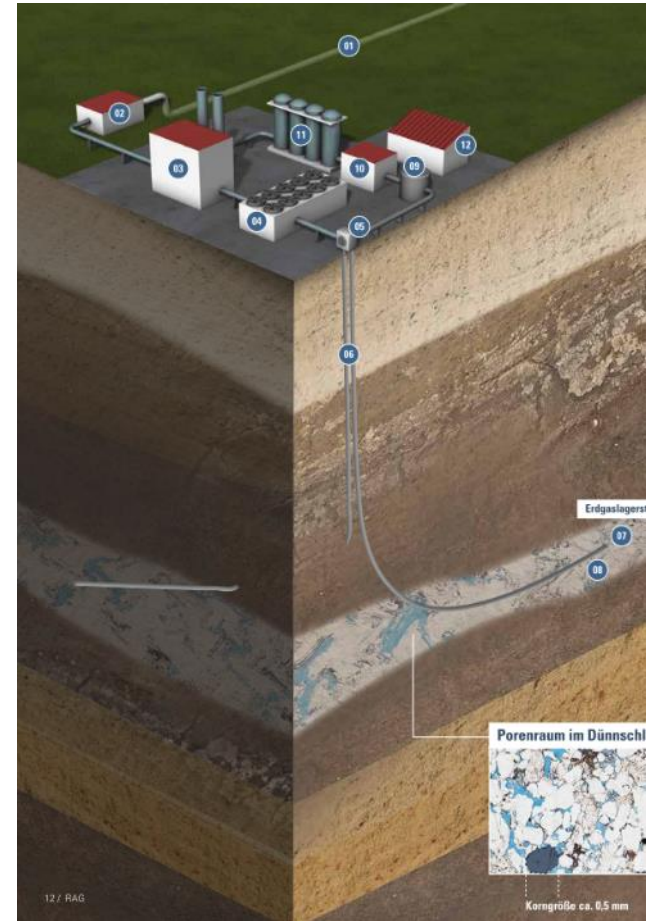
- Unterbecken: Traunsee
- Oberbecken: künstlich
- 170 MW
- Wälzwirkungsgrad: 78%
- 10 Stunden Vollast
- -> 1,7 GWh
- -> 34 000 Akkus  
zu je 50 kWh



# Tiefenspeicher

- 96 TWh Erdgasspeicher in AT [1]
  - reicht bei 36 GW etwa 4 Monate
- könnten teilweise auch H<sub>2</sub> speichern
- H<sub>2</sub> braucht aber 5 mal mehr Platz!
- Nicht alle Länder haben so viele Speicher wie Österreich!

[1]: stadt-wien.at: „Wo wird unser Gas gelagert? Gasspeicher in Österreich“



# Wasserstoff - H<sub>2</sub>

• Wirkungsgrade:

- Elektrolyse: ~80%
- Brennstoffzelle: ~60%
- Kraftwerk: ~60%  
mit Wärmenutzung ~85%
- Wälzwirkungsgrad < 50%

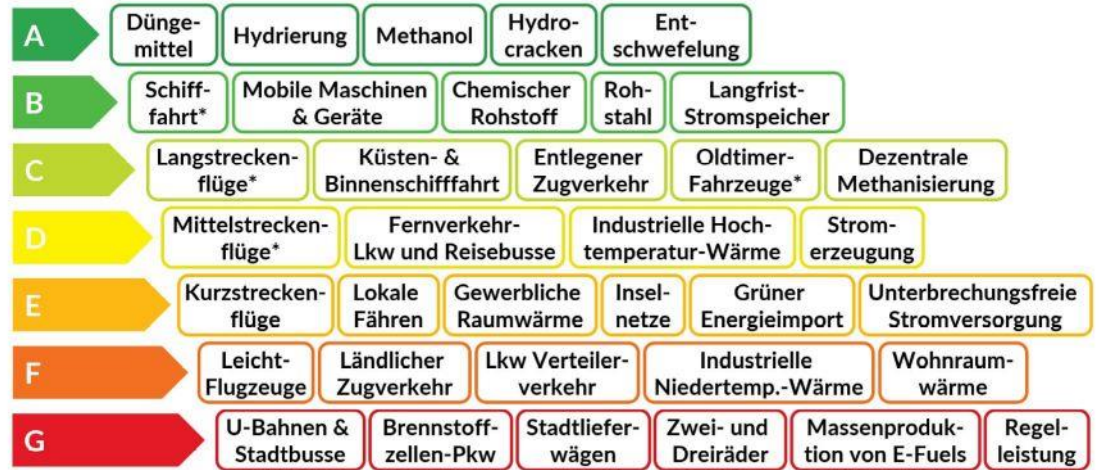
• Transport und Lagerung eher schwierig

• Wasserstoff wird derzeit zu >90% aus fossilen Quellen produziert!

## Einsatzbereiche sauberen Wasserstoffs

(Schätzungen, nach Michael Liebreich, 2021)

Alternativlos

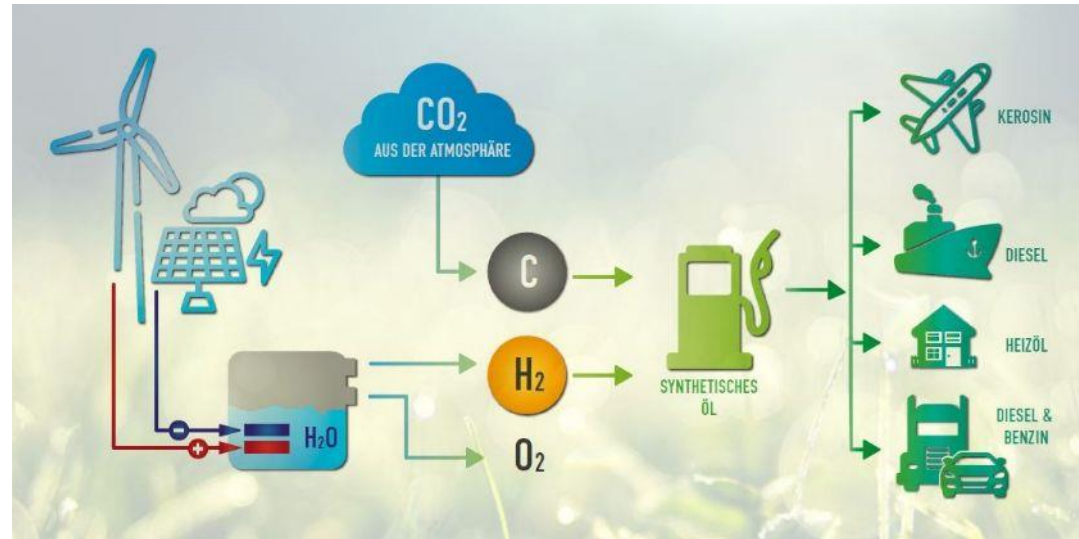


\* Sehr wahrscheinlich in Form von mittels Wasserstoff erzeugten E-Fuels oder Ammoniak.

© Jürgen Hegemann, Wulf Peter Jahn & Hans-Jürgen Janda, in: Michael Liebreich (Hrsg.), Clean Hydrogen (LBBW), 19. März 2021, Download unter: <https://www.lbbw.de/medien/2021/03/clean-hydrogen>

# E-Fuels

- synthetische Kohlenwasserstoffe
  - können mit normalen Verbrennungs-Motoren / Turbinen verbrannt werden
- H<sub>2</sub> aus Elektrolyse
- CO<sub>2</sub> aus der Luft !
- Fischer-Tropsch-Verfahren
- Wirkungsgrad (Herstellung): ~45% [1]



# E-Fuels im PKW?

## • Wirkungsgrad Verbrennungsmotor:

- max. 50% (Schiffsdiesel)
- im PKW eher 20-30%

## • Beispiel Golf 7:

- e-Golf: 12,7 kWh/100km
- 2.0 TDI (Diesel): 4,4 l/100km
  - Diesel: 10,4 kWh/l
  - -> 45,8 kWh/100km
  - **3,6 mal soviel wie e-Golf**

## • Anwendungsfelder nur wo es (gar)nicht anders geht:

- Langstreckenflüge, Lastenhubschrauber...



# Schlussfolgerungen

- Energie ist essentiell für unser Leben!
- Erneuerbare Energie braucht Platz.
- große Speicher sind knapp und ineffizient
- Energiesparen alleine reicht nicht.
- Dach-PV-Anlagen reichen nicht.
- Energiewende in den eigenen 4 Wänden ist zu wenig.
- Erneuerbare Energie wird sichtbar sein.
- Vieles wird mit Strom arbeiten.




# Was sollten wir tun?

ACHTUNG: MEINUNG!

- massiver Ausbau von Windkraft
- PV-Freiflächen-Anlagen (Agri-PV)
- europäisches Stromnetz ausbauen
- Batterie-Elektrische Antriebe für PKW (und LKW) + intelligentes Laden
- Wasserstoffwirtschaft aufbauen (Elektrolyse + Tiefenspeicher + GuD)
- Verbrauch reduzieren (Effizienz und Suffizienz)
- Kernenergie überdenken bzw. tolerieren
- CO<sub>2</sub> - neutrale Energie importieren

# PV-Anlage - Traunsee



- Erneuerbare Energie für die Region

- mögliches Bürgerprojekt

- modular erweiterbar

- PSKW-Ebensee dient als Puffer

- kein Verbrauch von Landfläche

- optimaler Wirkungsgrad

- mögliche Kombination:

- Restaurant

- Badeplatz

- Biotop

# Energiepark - Fahrnau



• Windkraft auch bei Nacht und im Winter

• PV oberhalb der Nebelgrenze

• optimale Anbindung:

- PSKW-Ebensee
  - Hochspannungsleitung
- g