

# Wind & Sonne – so gelingt die Energiewende!

---

Dr.-Ing. Jann Binder

Backnang, 12. April 2024



# Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

- Gemeinnützige Stiftung bürgerlichen Rechts
- rund 300 Mitarbeiter\*innen in Stuttgart und Ulm, sowie zwei Testfelder
- > 30 Jahre Erfahrung in Technologietransfer zur Photovoltaik, Batterien, Brennstoffzellen & Power-to-Gas
- Systemforschung, Vorhersage von Erzeugung aus PV und Windkraft, Integration Erneuerbarer Energien in die Netze
- Angewandte Forschung, Dienstleistung und Technologietransfer



➤ ZSW-Gebäude in Stuttgart-Vaihingen (STEP)  
mit PV Fassade

# Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

- Erneuerbare Energien gehören zu den wichtigsten Stromquellen in Deutschland und ihr Ausbau ist eine zentrale Säule der Energiewende. Unsere Energieversorgung soll klimaverträglicher werden und uns gleichzeitig unabhängiger vom Import fossiler Brenn-, Kraft- und Heizstoffe machen.



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz



11/2019 am ZSW (Foto: ZSW)

- **Wind- und Sonnenenergie** sind die wichtigsten erneuerbaren Energieträger.
  - „Freiheitsenergie“ → eine neue Erkenntnis? Nein!  
→ schon die Ölkrise 1973 wurde durch den Konflikt Israel gegen Ägypten & Syrien ausgelöst
- **EEG 2023 (Dez. 2022) - Ziele für 2030:**
- 80% der Stromerzeugung (d.h. 640 TWh von 800 TWh) sind aus Erneuerbaren Energien
  - die installierte PV Leistung steigt von heute 67 GWp auf 215 GWp; bis 2045 auf rund 450 GWp
- **Das PV Strategiepapier des BMWK vom 10.03.2023\* adressiert flankierende Maßnahmen**

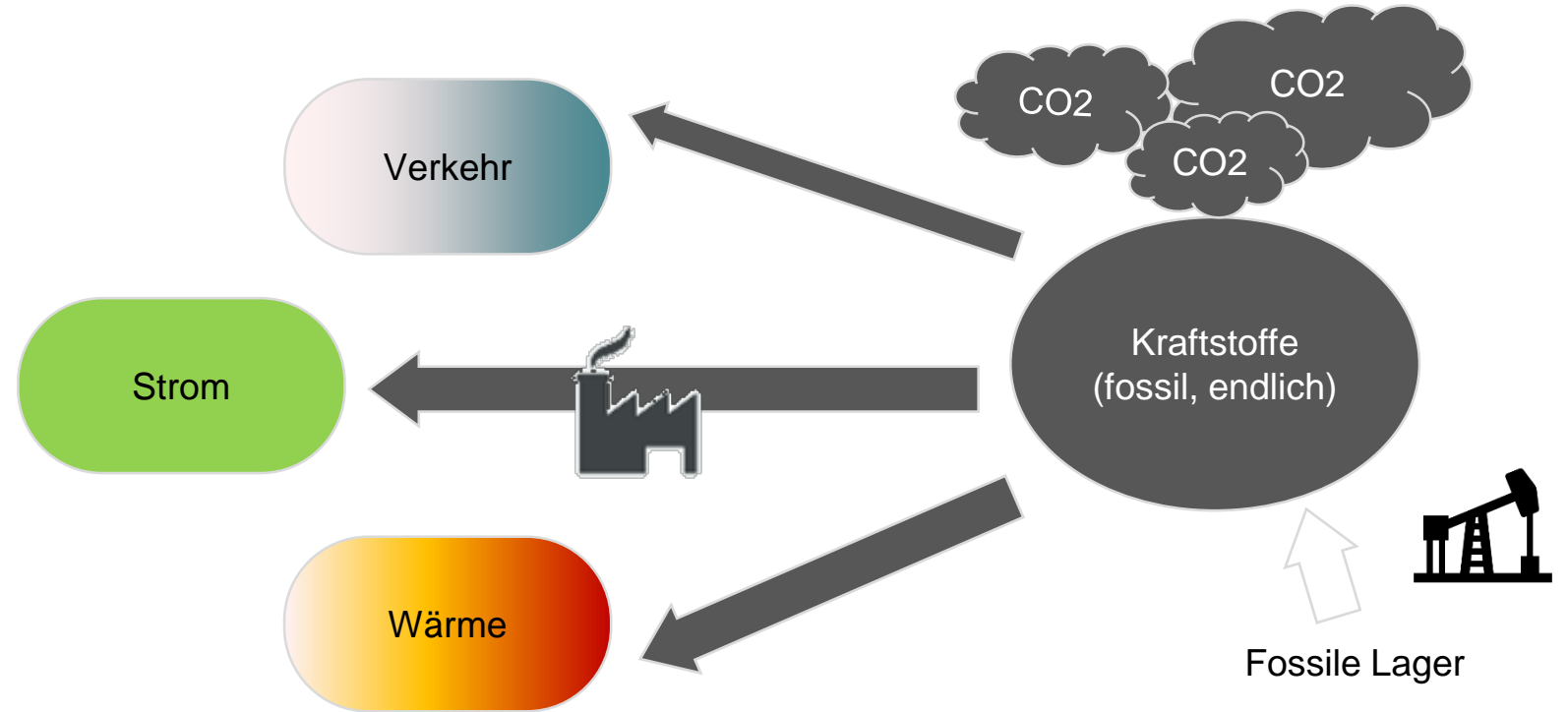
# So gelingt Energiewende

---

- I. Sonne und Wind liefern grünen Strom, Wärme und Kraftstoffe
- II. Erhöhung des Stromverbrauchs
- III. Sonne und Wind ergänzen sich  
→ 88% Stromversorgung aus EE möglich ohne Speicher
- IV. Faktencheck Windkraft
- V. PV Ausbauziele und PV Initiativen im Land Baden-Württemberg
- VI. Nutzung von Solarstrom vor Ort

# Transformation des Energiesystem

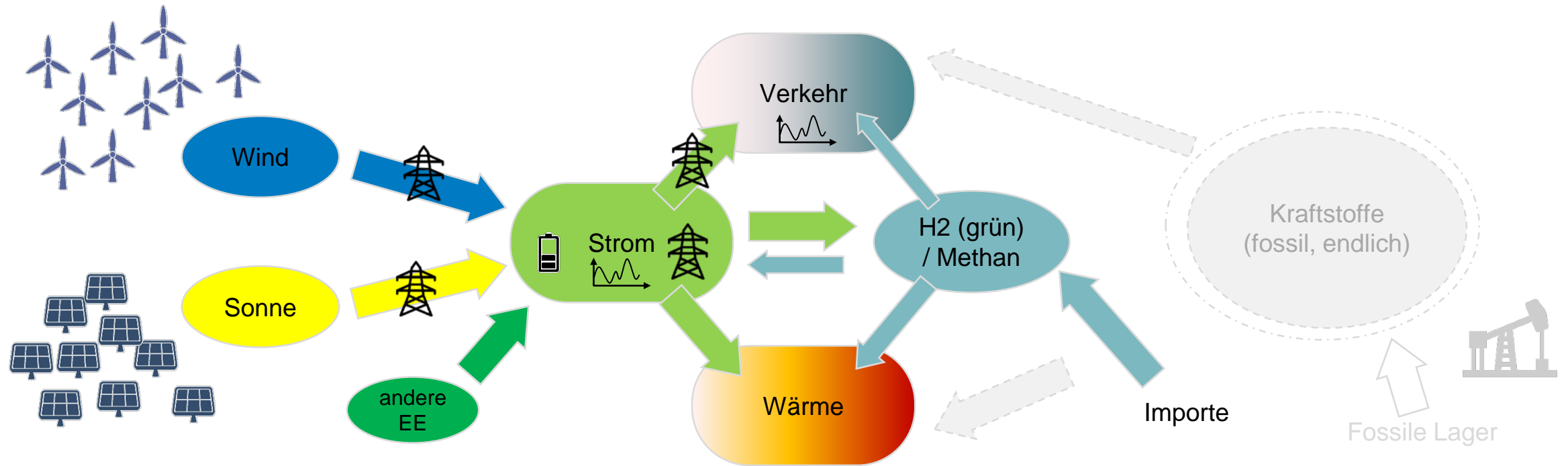
Alte, fossile Energiewelt



Grafik: ZSW

# Transformation des Energiesystem

Sonne und Wind liefern grünen Strom, Wärme und Kraftstoffe



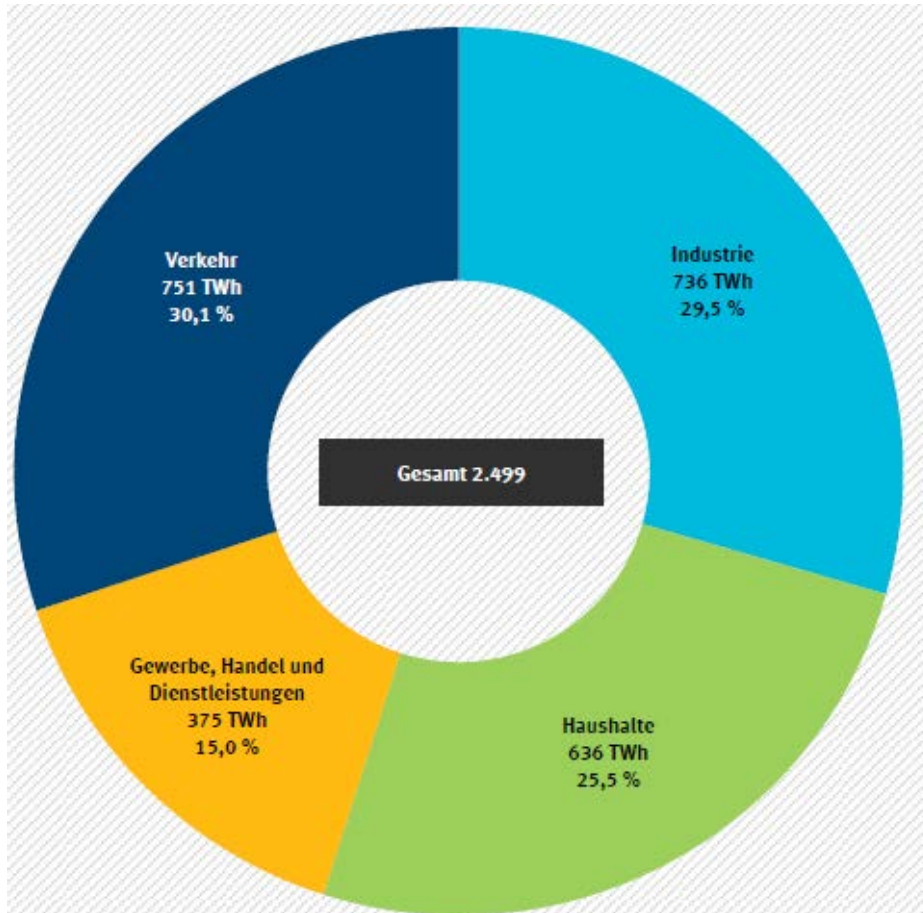
Grafik: ZSW



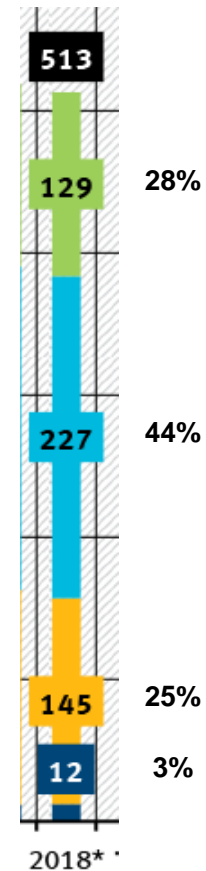
# Energie- und Strombedarf nach Sektoren

In 2018 verbrauchten Haushalte 129 TWh = 28% des Stroms

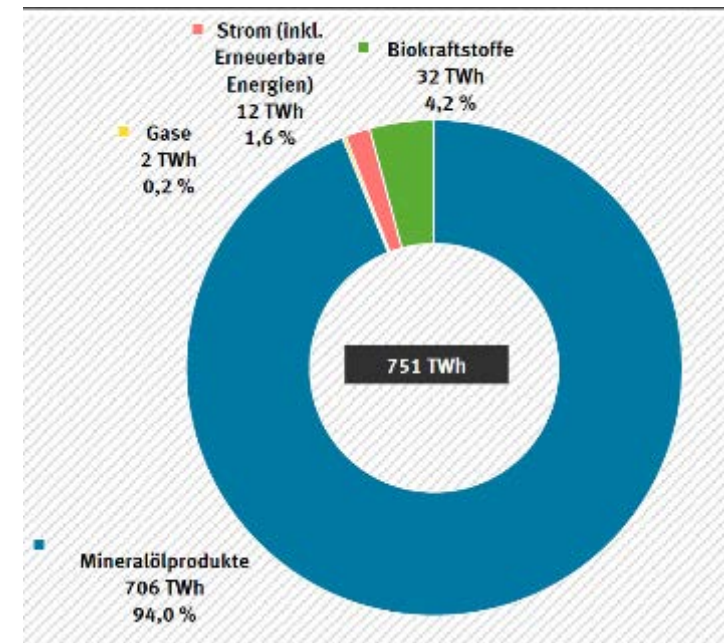
Endenergiebedarf



nur Strom in TWh



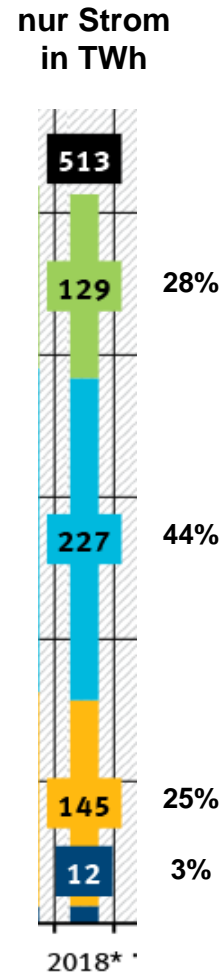
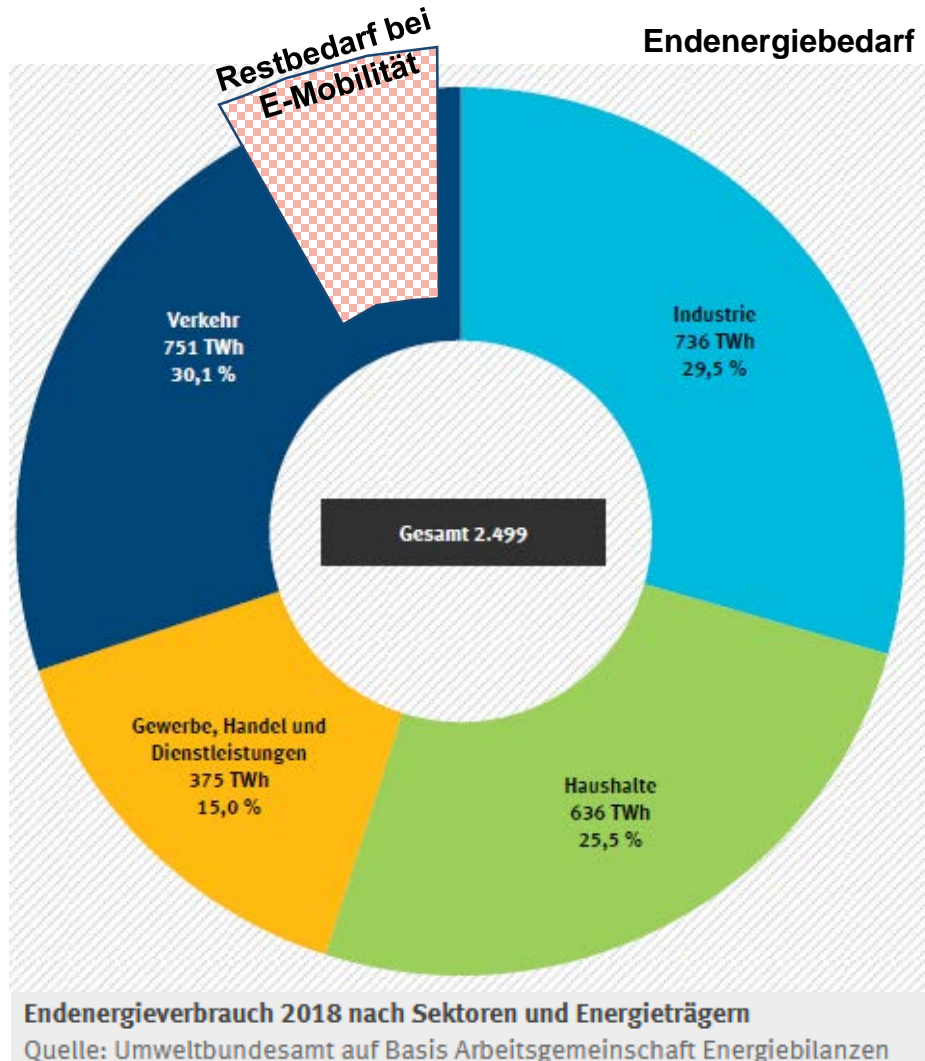
nur Verkehr



Endenergieverbrauch 2018 nach Sektoren und Energieträgern

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

# Reduktion des Energiebedarfs durch Elektrifizierung der Mobilität



durch E-Mobilität kann

- 706 TWh Benzinbedarf auf
- 220 TWh Strombedarf sinken
- und dieser Strom kann EE-Strom sein  
(gerechnet mit 20% Wirkungsgrad beim Verbrennungsmotor und 64% Wirkungsgrad bei Elektromobilität)

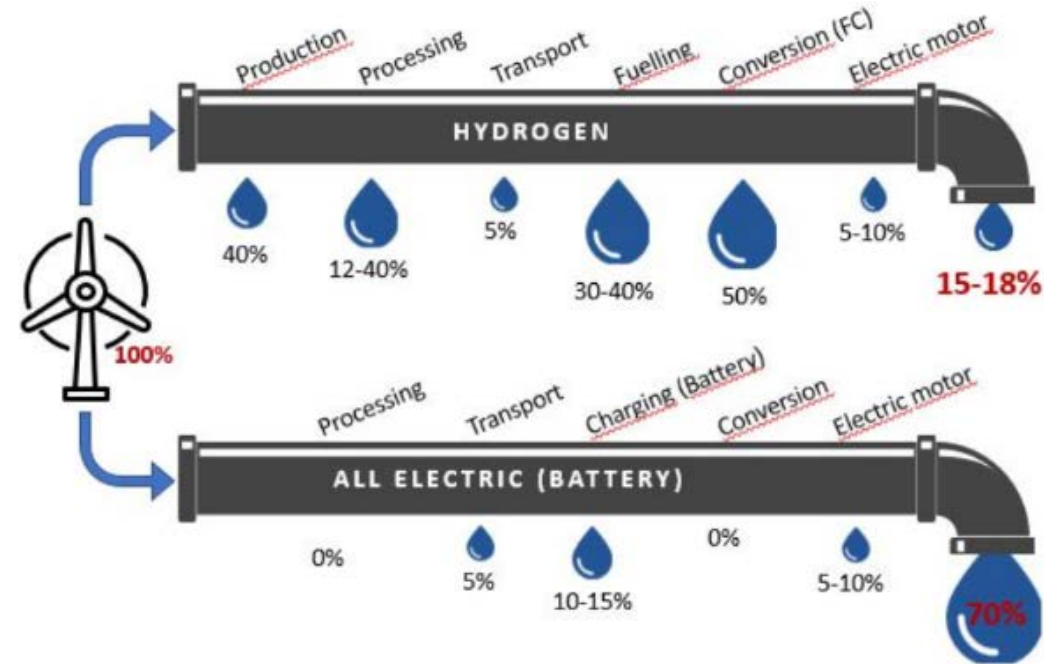
ein Auto mit 13.000 km/a Fahrleistung benötigt

- 11 m<sup>2</sup> PV für den benötigten Strom bei Elektromobilität
- 30 m<sup>2</sup> PV zur Herstellung von H<sub>2</sub> für ein Brennstoffzellenfahrzeug
- 70 m<sup>2</sup> PV zur Herstellung von E-Fuels für ein konventionelle Fahrzeug



# Vergleich der Wirkungsgrade von BEV und FCEV

(BEV = Battery Electric Vehicle; FCEV = Fuel Cell Electric Vehicle)



Quelle: <https://edison.media/von-fakten-und-traeumen-stromer-vs-wasserstoff/25216883/>

Energiequelle	Energieträger	Antrieb	Lokal emissionsfrei	Eine 3-MW-Windkraftanlage versorgt...
Strom  z.B. Windkraftanlage 3 Megawatt Leistung, 2000 Stunden Volllast pro Jahr	Strom	 BEV		 1600 Fahrzeuge
	Wasserstoff	 FCEV		 600 Fahrzeuge
	eFuel	 ICE		 250 Fahrzeuge

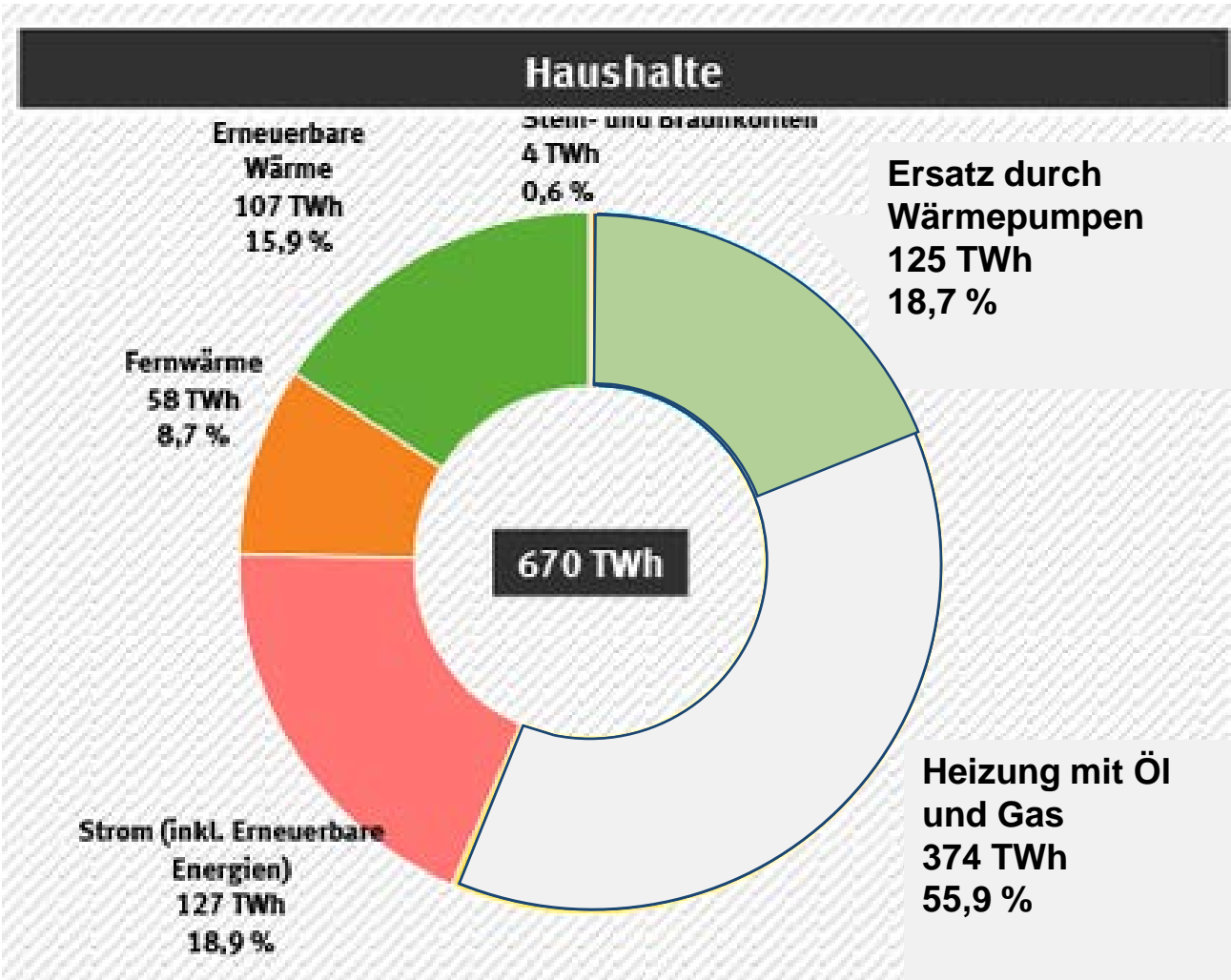
Quelle: VDE

©ADAC e.V. 04.2022

**!!! 1% des Kraftstoffbedarfs für Mobilität in D würden 2.300 Offshore Windräder benötigen\* !!!**

\* Quelle: P. Kasten, Öko-Institut in der ZEIT; derzeit 1.539 Anlagen in D

# Reduktion des Energiebedarfs durch Elektrifizierung der Wärmeerzeugung

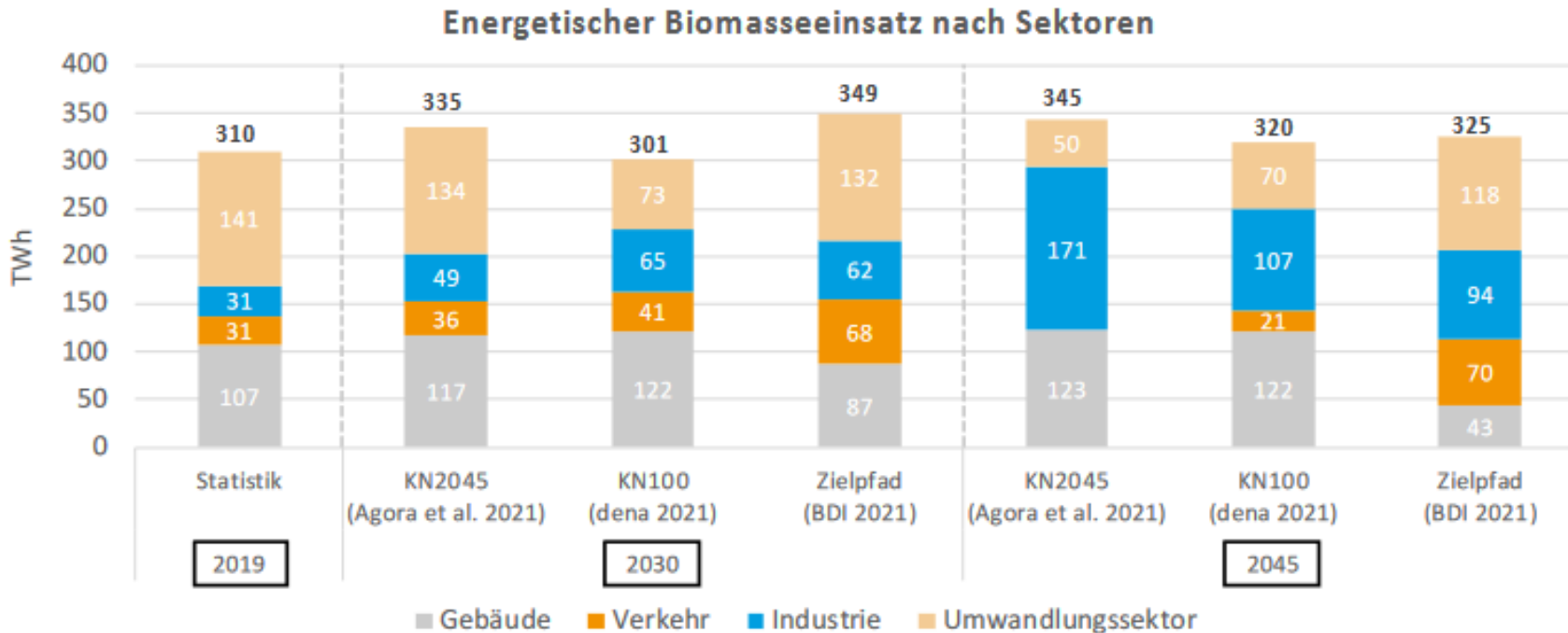


- Ersatz von Gas und Öl-Heizung durch Wärmepumpen reduziert den Energiebedarf um 40%
- Auch in der Industrie bezieht sich 40% des Wärmebedarfs auf Niedertemperaturwärme\*

\*Agora Energiewende and AFRY Management Consulting (2021): No-regret hydrogen: Charting early steps for H<sub>2</sub> infrastructure in Europe

# Nutzung von Biomasse

wenig Spielraum für zusätzliche Nutzung in der Gebäudeheizung oder Verkehr



- bei gleichbleibender Verfügbarkeit von Biomasse (begrenzte Flächen!)
- abnehmende Nutzung für die Stromerzeugung
- zunehmende Nutzung für Hochtemperaturanwendungen in der Industrie
- **kein Spielraum für zusätzliche Nutzung von Biomasse in der Gebäudeheizung**
- Gesamtbedarf Wärme in D: 1.164 TWh<sub>th</sub>\*

*Hinweis: In KN100 wird der Biomasseeinsatz im Basisjahr im Umwandlungssektor niedriger angegeben als in der Statistik und in anderen Szenarien. Evtl. wird hier also nicht die gesamte Biomassenutzung erfasst, was zu einer Unterschätzung auch für 2030 und 2045 führen könnte.*  
*Hinweis: Es liegen keine vollständigen Daten zur Biomassenutzung für die TN-Szenarien vor.*

Graphik - Quelle: Rosenow, Jan (2022): Martin Dotzauer et.al., Kurzstudie zur Rolle von Biogas für ein klimaneutrales, 100 % erneuerbares Stromsystem 2035; DBFZ und WIK, 07.07.2022  
 \* <https://www.bioenergie.de/themen/waerme> (Abruf 17.03.2023)

# So gelingt Energiewende

---

- I. Sonne und Wind liefern grünen Strom, Wärme und Kraftstoffe
- II. Erhöhung des Stromverbrauchs
- III. Sonne und Wind ergänzen sich  
→ 88% Stromversorgung aus EE möglich ohne Speicher
- IV. Faktencheck Windkraft
- V. PV Ausbauziele und PV Initiativen im Land Baden-Württemberg
- VI. Nutzung von Solarstrom vor Ort

# Verdopplung des Stromverbrauchs bis 2045 und Ausbau EE

Ausbau PV und Wind für erhöhten Stromverbrauch und Elektrolyse

Jahr	PV	Wind an Land	Wind auf See	Strom aus Erneuerbaren Energien (Netto)	Stromverbrauch Elektrolyse***	Bruttostromverbrauch beim Kunden	Erhöhung Stromverbrauch für Verkehr und Wärme
2022*	68 GW	58 GW	8 GW	250 TWh	0 TWh	550 TWh	0%
2030**	216 GW	115 GW	30 GW	600 TWh	31 TWh	750 TWh	36%
2045***	450 GW	200 GW	66 GW	1400 TWh	300 TWh	1100 TWh	100%

- Der Strombedarf beim Kunden steigt aufgrund von Wärmepumpen und Elektromobilität – und ersetzt die sonst notwendigen Brennstoffe (Gas, Öl, Benzin, ...)

\* Zahlen zu Erneuerbare Erzeugung für 2022 aus den energy-charts.de

\*\* Zahlen für 2030 entsprechen dem Ausbauplan der Bundesregierung

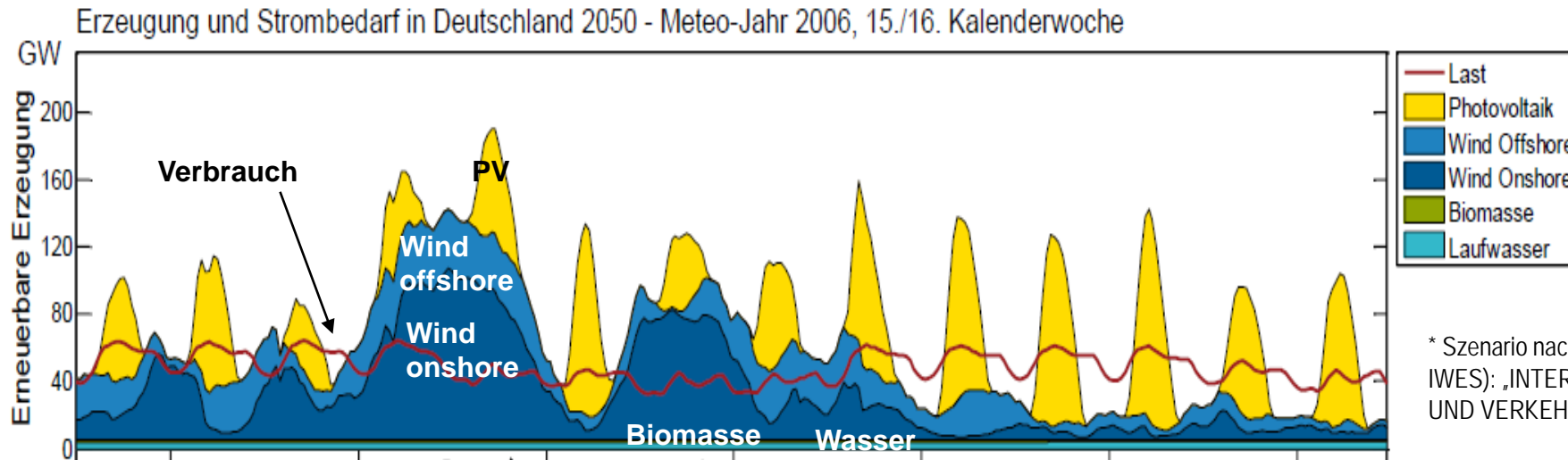
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/energiewende-beschleunigen-2040310>

\*\*\* Zahlen für 2045 und der Strombedarf für Elektrolyse ist aus den energy-charts.de entnommen; Referenz-Szenario



# Profile der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien

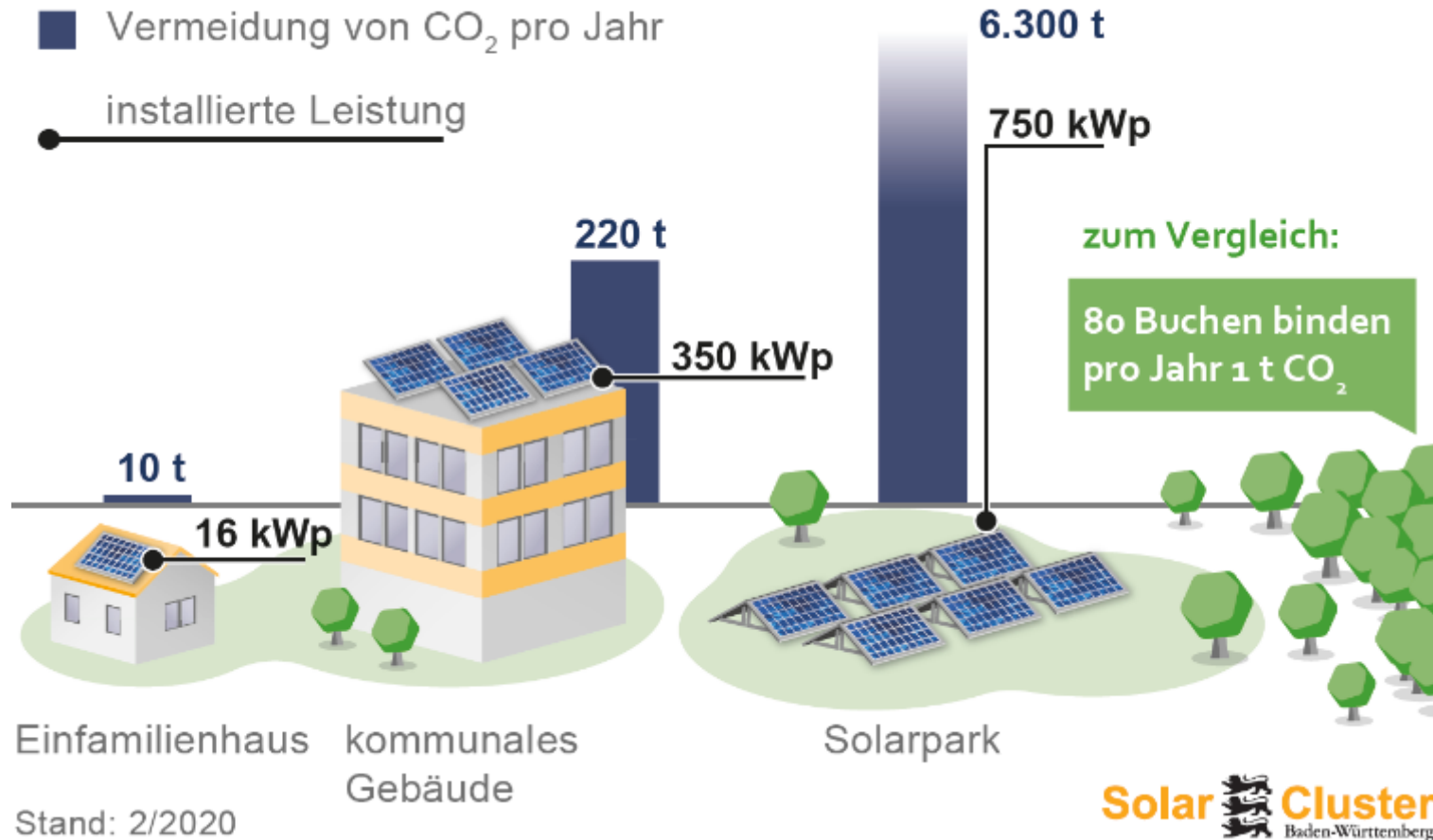
2 Beispielwochen im Jahr 2050\*



\* Szenario nach Norman Gerhard, (Fraunhofer IWES): „INTERAKTION EE-STROM, WÄRME UND VERKEHR“, Endbericht, Sept. 2015

- Der Überschuss aus Windkraft und solarer Stromerzeugung wird genutzt zur
  - Zwischenspeicherung von elektrischer Energie (für Dunkelflauten)
  - für E-Mobilität (Batteriespeicher) und Raumwärme über Wärmepumpen
  - zur Erzeugung von grünem Wasserstoff und Methan

# Effizient der Flächennutzung von Photovoltaik und Wind



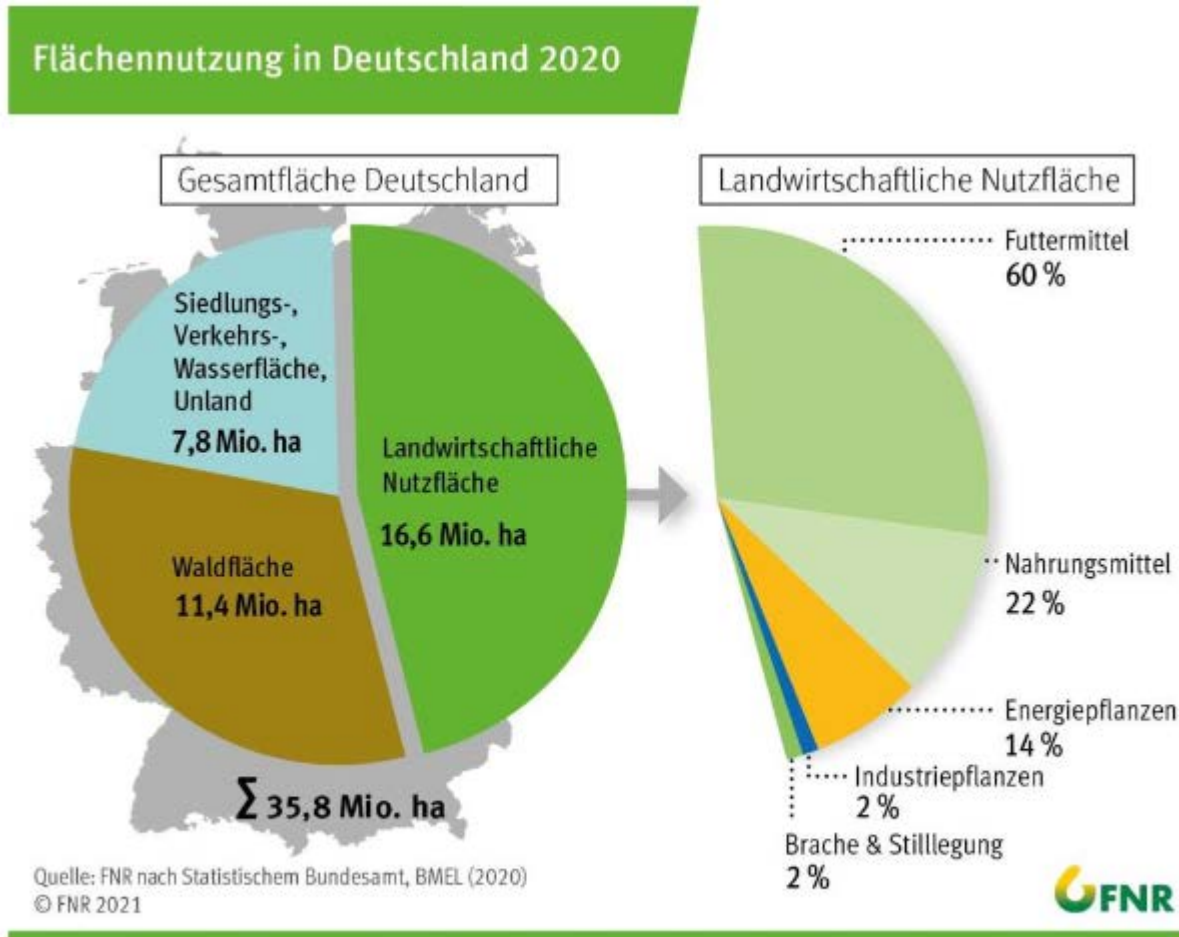
1 ha Wald speichert ca. 13 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr

1 ha Photovoltaik (1 MWp) vermeidet rund 8.400 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr

1 Windkraftanlage (5 MWp) ersetzt 12,5 ha an PV-Anlagen und vermeidet rund 100.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr

1 ha PV erzeugt 40 mal mehr Strom als 1 ha Biomais

# Flächennutzung in Deutschland



- für Siedlung und Verkehr: 14% der Fläche
- für Energiepflanzen: 6,5% der Fläche aufgeteilt in
  - 4,2% für Biogas (Mais, Silage) *erzeugt 4% (23 TWh/a) des aktuellen Strombedarfs (615 TWh/a)*
  - 1,3% für Biodiesel (Raps etc.)
  - 0,1% für Holz
  - 0,9% für Bioethanol
- für Photovoltaik (450 GWp in 2045): **0,6% der Fläche**
  - d.h. 30 m<sup>2</sup> pro Person
  - davon können 50 % auf die Dächer
  - in BaWü wurden in 2018 erst 14% der Dächer genutzt

Abbildung 1: Flächennutzung in Deutschland 2020 (FNR, 2021)

Quelle: Marktmonitoring Bioenergie 2022, dena

# So gelingt Energiewende

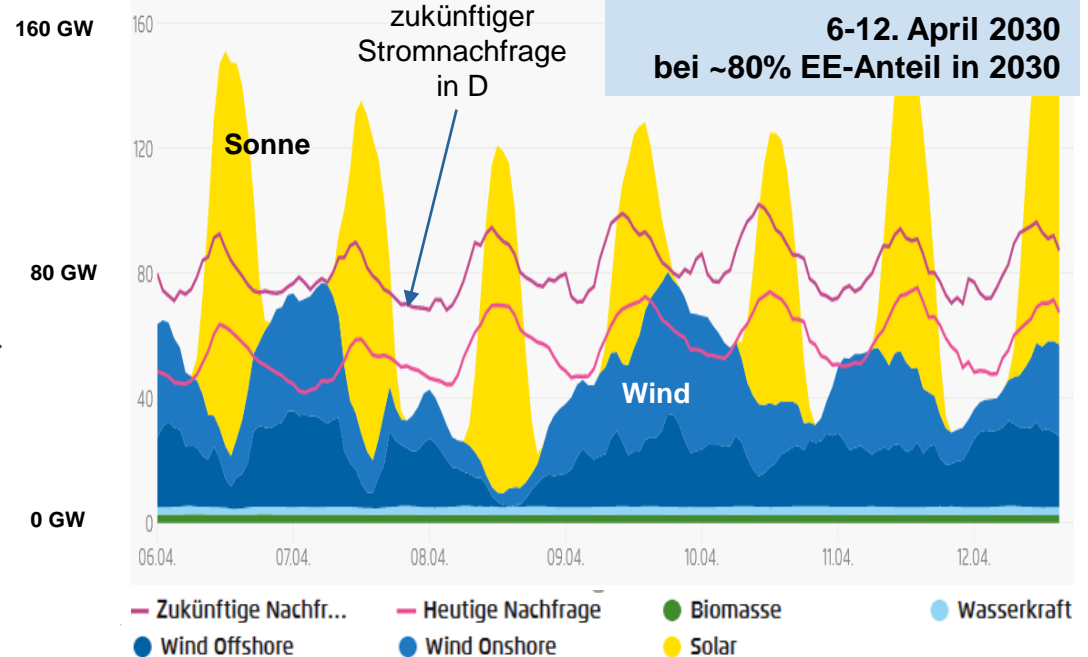
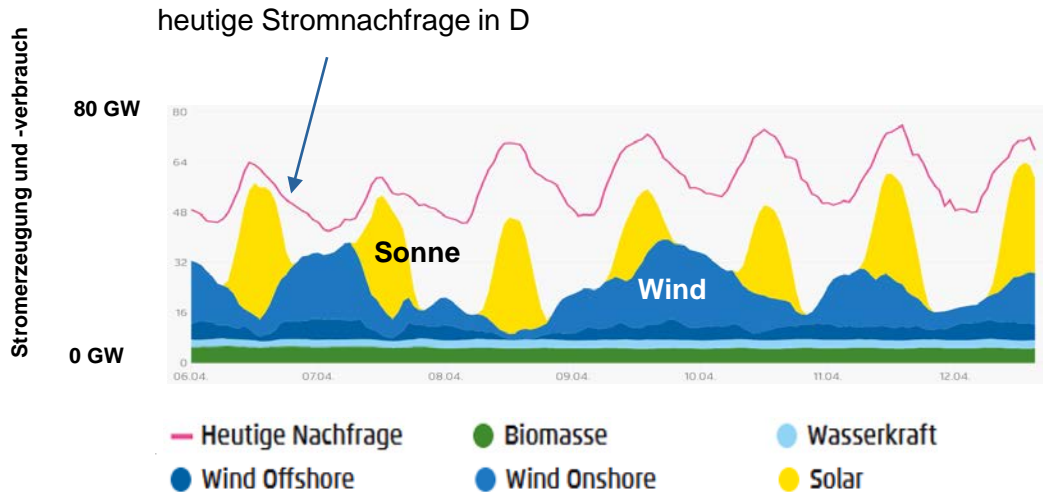
---

- I. Sonne und Wind liefern grünen Strom, Wärme und Kraftstoffe
- II. Erhöhung des Stromverbrauchs
- III. Sonne und Wind ergänzen sich  
→ 88% Stromversorgung aus EE möglich ohne Speicher
- IV. Faktencheck Windkraft
- V. PV Ausbauziele und PV Initiativen im Land Baden-Württemberg
- VI. Nutzung von Solarstrom vor Ort

# Herausforderungen „Energiebereitstellung“ und „Netzintegration“

was bedeutet das Ziel der Bundesregierung von 80% EE-Anteil im Strom in 2030

6-12. April 2024  
 ~58% EE-Anteil vom 6-12.4.24  
 55% EE-Anteil in 2023



<https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter>  
 (Abruf 12.04.2024 – dort 79% EE ausgewählt)

## Heute

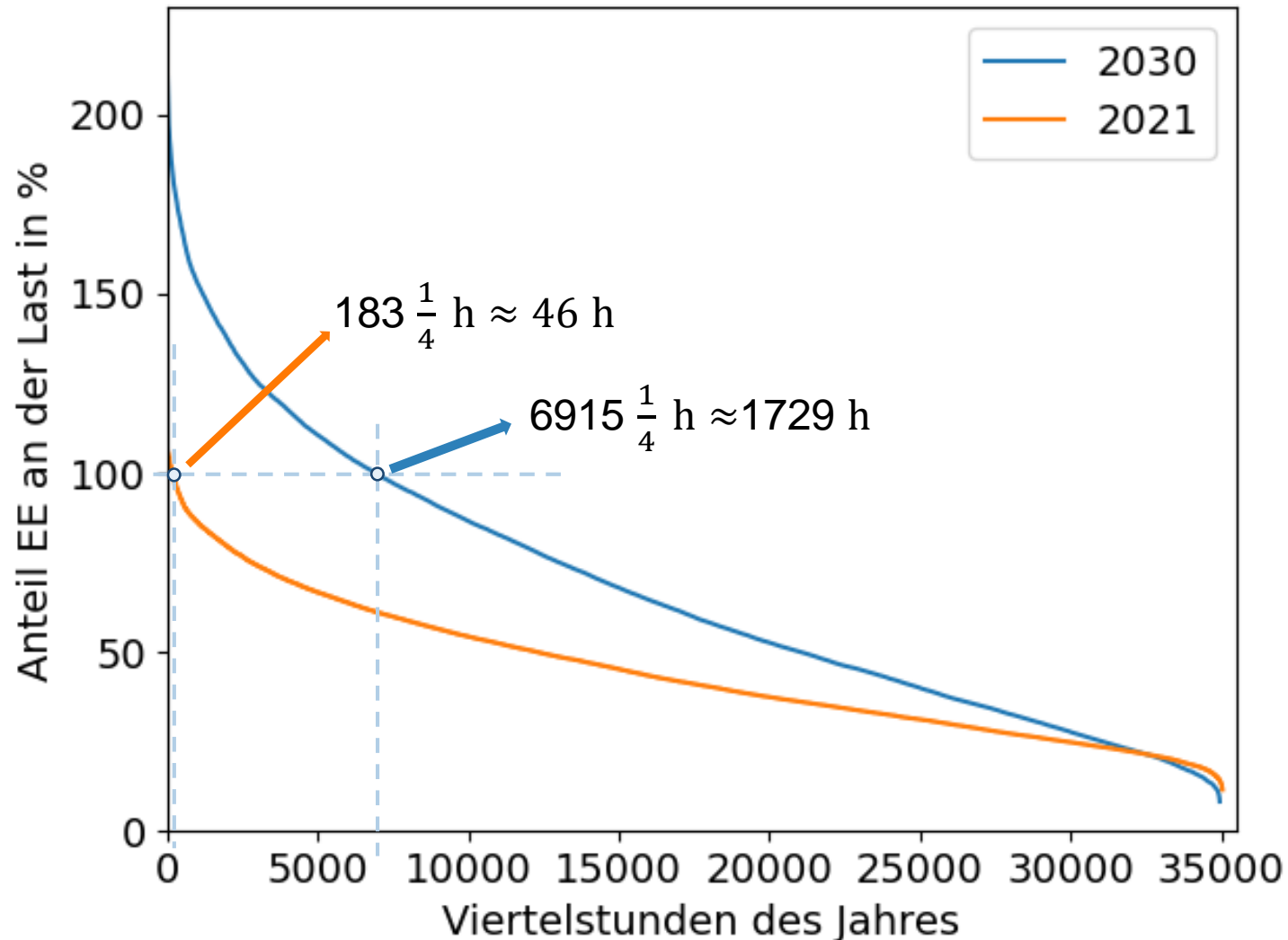
- nur selten deckt oder übertrifft die Stromerzeugung aus Erneuerbarer Energien den Stromverbrauch
- ein hoher Anteil an Erneuerbaren Energien senkt den Strompreis deutlich
- Woche

## In 2030

- die Stromerzeugung aus EE übertrifft den Stromverbrauch über einen Zeitraum von mehr als 1700 Stunden pro Jahr (20% der Jahresstunden)
- durch Flexibilisierung des Verbrauchs, kann mehr Strom genutzt werden, ohne Bedarf für Speicherung



# Anteil EE an der Last: 2021 vs. 2030



## Bisher:

Nur sehr geringe Überschüsse an EE-Strom im System

## in 2030:

zu 20% der Zeit (1729 h von 8.760 h/a) reichen PV und Windstrom um den Bedarf zu decken.

## in 2045:

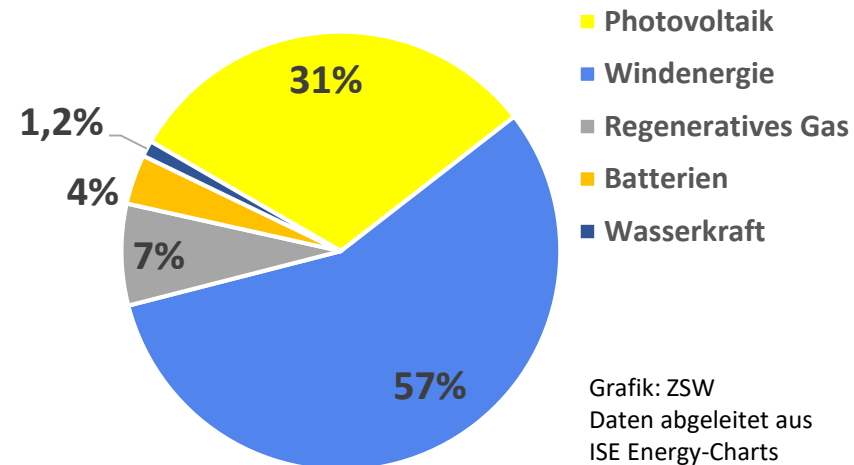
zu 88% der Zeit reichen PV und Windstrom um den Bedarf zu decken.

# Anteile von Solar- und Windenergie in 2045

88% direkt verfügbar, 12% benötigen Zwischenspeicherung



- 88 % des Strombedarfs aus PV und Wind ohne Zwischenspeicherung
- 4% über Zwischenspeicherung in Batterien
- 7% über Regeneratives Gas aus PV und Windüberschuss (~ 30% Wirkungsgrad)
- 1 % aus Wasserkraft



Grafik: ZSW  
Daten abgeleitet aus  
ISE Energy-Charts  
Referenz-Szenario 2045

# Bedarf an Elektrolysekapazität zur Wasserstoffherstellung

für das 100% EE-Szenario in 2050

## Elektrolyse (H<sub>2</sub>)

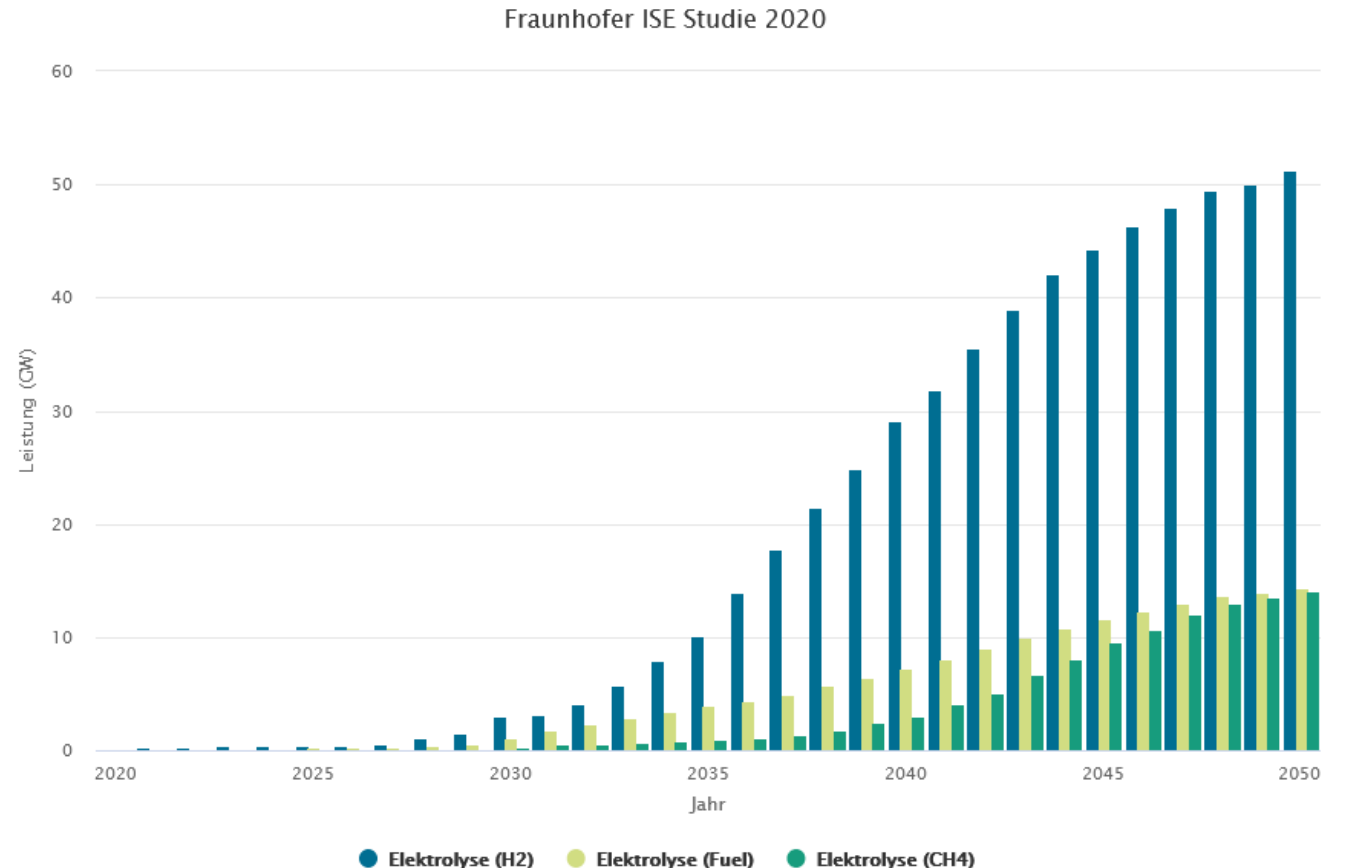
- ab 2026 in steigendem Maß notwendig
- frühzeitig in diese Technologie einsteigen → Arbeitsplätze

## Elektrolyse (H<sub>2</sub> und weiter zu CH<sub>4</sub> und Fuel)

- für Schwerlastverkehr, Schiffsverkehr, Flugverkehr
- für Hochtemperaturprozesse in der Industrie, Stahlherstellung, Chemie
- H<sub>2</sub>\* und E-Fuels\*\* nicht für Gebäudewärme und Individualverkehr, da ineffizient bzw. weltweite Verfügbarkeit zu gering

\*\* Quelle: Rosenow, Jan (2022): Is heating homes with hydrogen all but a pipe dream? An evidence review. In: Joule 6 (10), S. 2225–2228. DOI: 10.1016/j.joule.2022.08.015.

\* <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/verbrenner-aus-e-fuels-101.html>



Energy-Charts.info; Datenquelle: Fraunhofer ISE; Letztes Update: 18.01.2021, 23:20 MEZ

[https://energy-charts.info/charts/remod\\_installed\\_power](https://energy-charts.info/charts/remod_installed_power)  
(Referenz 100 – Szenario)

# So gelingt Energiewende

---

- I. Sonne und Wind liefern grünen Strom, Wärme und Kraftstoffe
- II. Erhöhung des Stromverbrauchs
- III. Sonne und Wind ergänzen sich  
→ 88% Stromversorgung aus EE möglich ohne Speicher
- IV. Faktencheck Windkraft
- V. PV Ausbauziele und PV Initiativen im Land Baden-Württemberg
- VI. Nutzung von Solarstrom vor Ort

# Stromanteil von Oppenweiler am deutschen Stromverbrauch

---

- In Deutschland 83 Mio Einwohner; Stromverbrauch 550 TWh/a; also 6627 kWh/a pro Einwohner
- In Oppenweiler 4300 Einwohner → 28,49 MWh/a; Eine Windkraftanlage erzeugt 12,5 MWh/a
- Um den derzeitigen Stromanteil von Oppenweiler zu decken wären  $28,49 / 12,5 = 2,3$  **Windkraftanlagen** notwendig

Damit ist jedoch nicht berücksichtigt

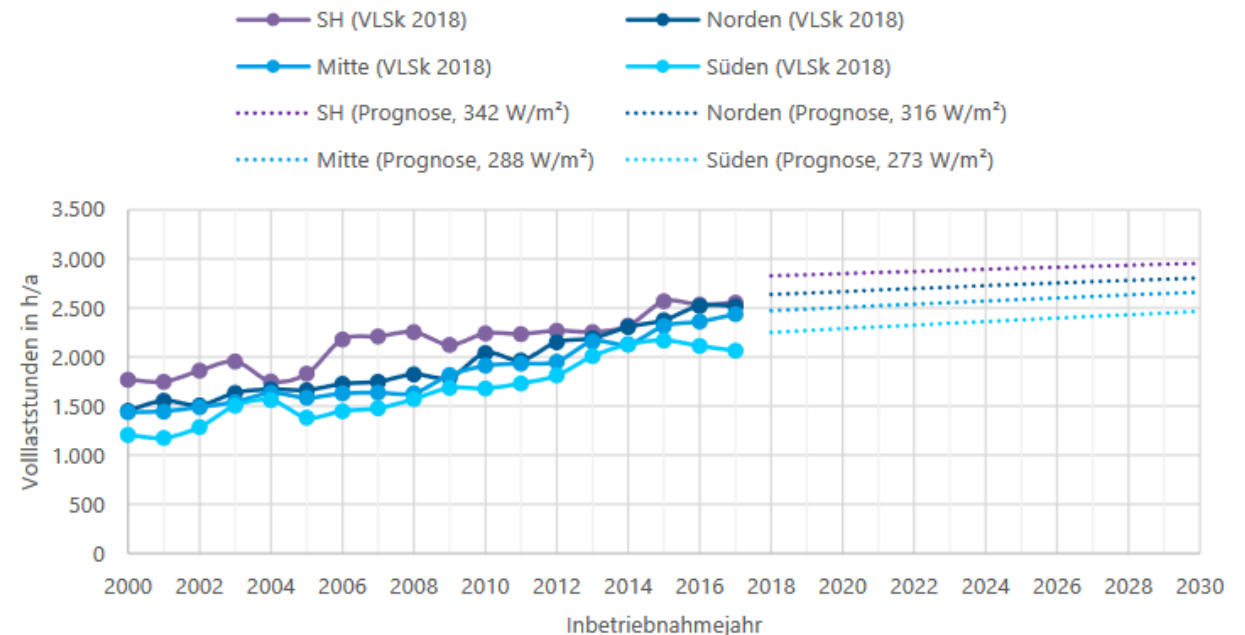
- dass sich der Strombedarf über Wärmepumpen und Elektromobilität verdoppelt
- aus dem Land auch die Stadt mit Strom beliefert werden muss
- Die Stadt kann weder Windstrom erzeugen noch relativ zu Einwohnerzahl im selben Maße PV Strom vom Dach, weil die verfügbare Dachfläche im Mehrfamilienhaus pro Person viel geringer ist.
- Tendenziell verbraucht eine Person auf dem Land mehr Energie als ein Städter für Heizung und Pendeln, da die Person auf dem Land eher in einem Einfamilienhaus oder Doppelhaus lebt und eher mit dem Auto längere Strecken zur Arbeit pendelt.



# Argumente der Windkraftgegner

## Faktencheck

- **Zitat „Landschaftsbild beeinträchtigt“** → das ist subjektiv; jedoch, es gibt keine Alternative zu Sonne und Wind als primäre Quelle für Strom; alle anderen Technologien (Wasser, Geothermie) können Deutschland nur zu wenigen Prozent versorgen; Atomenergie ist teurer und beinhaltet zusätzliches Risiko und Kosten für kommende Generationen aufgrund des radioaktiven Abfalls
- **Die Wirtschaftlichkeit des Betriebs von Windkraftanlagen wird mit Verweis auf 13% Auslastungsgrad bezweifelt** → 13% ist veraltet; hierzu zitiert die Stgt. Zeitung das ZSW und Fraunhofer ISE: <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.erneuerbare-energien-windraeder-im-suedwesten-holen-auf.f7722249-8596-431e-bf2c-9a09eaf772e2.html>
  - In Baden-Württemberg waren es im Jahr 2011 bis 2014 im Mittel 1250 Voll-Laststunden (von 8760 Stunden im Jahr).
  - die Anlagen werden höher; 2017 waren es für Anlagen aus 2015 in BaWü dann 2250 Voll-Laststunden
  - Heute werden auch in BaWü für sehr gute Standorte 3000 Voll-Laststunden erreicht.



Datenbasis: MaStR, AnIR, ÜNB-Bewegungsdaten, BNetzA Quartalsberichte, Anemos-Ertragsindex  
Die Berechnung der bisher erreichten Volllaststunden basiert auf den zum Zeitpunkt der Studiererstellung aktuellen Bewegungsdaten für das Jahr 2018.

# Argumente der Windkraftgegner

## Faktencheck

---

- **Zitat: „Den Nachteilen stehen keine entsprechende Vorteile gegenüber“** → doch, es gibt den Vorteil Strom zu haben; die Alternative ist kein Strom zu haben; PV allein reicht nicht (s.o.)
- **Zitat „Jährlich fallen WKA viele Tausend Fledermäuse und Greifvögel zum Opfer“**; dazu der BUND bzgl. Vögel <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/voegel/gefaehrdungen/24661.html>
  - 20-100 Mio Opfer pro Jahr durch Hauskatzen
  - 100-115 Mio. durch Glasscheiben, 70 Mio. durch Straßen und Bahnverkehr
  - 1,5 bis 1,8 Mio durch Stromleitungen
  - 100.000 durch Windkraftanlagen → hier gibt es Bestrebungen in Zukunft Bird-Recorder einzusetzen und die Anlagen abzuschalten, wenn gefährdete Vogelarten sich nähern
  - In den Dämmerungsstunden werden bereits heute WKA tlw. abgeschaltet zum Schutz von Fledermäusen
- **Zitat: „Rodung von 5 bis 8 ha Wald“**
  - 1 ha Wald speichert ca. 13 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr;
  - eine Windkraftanlage vermeidet pro Jahr rund 15.000 Tonnen CO<sub>2</sub>

# Argumente der Windkraftgegner

## Faktencheck

- **„Waldboden als Wasserspeicher geht verloren – mit noch unbekannter Wirkung auf das Klima“**
  - das sollte gerne quantifiziert werden und in Relation zur Reduktion von Erderwärmung und Austrocknung von Böden durch weniger CO<sub>2</sub>-Emission aufgrund von Windkraft gesetzt werden. Erste Abschätzung → der Effekt ist vernachlässigbar.
- **Beeinträchtigung von Gesundheit**
  - im Labor dem Infraschall (tiefe Frequenzen) einer WKA ausgesetzt, erkennen Menschen nicht, ob der Infraschall an oder aus ist.
  - ist ähnlich wie Homöopathie – man muss dran glauben, dass es eine Beeinträchtigung gibt; dann wird es auch eine geben – solange man die laufende WKA optisch sieht.
- **„Immobilienwerte sinken“**
  - das kann sein; jedoch musste auch in der Vergangenheit das Land die Nahrung für die Stadt produzieren und dafür die Misthäufen im Dorf tolerieren. Es kann ja nicht sein, dass die privilegierten Besitzer von großflächigem Wohneigentum auf dem Land, das mehr Fläche versiegelt als eine Stadtwohnung, jetzt auch noch einen Schutz Ihres Eigentums vor Wertverlust verlangen und mit diesem Argument die notwendige Beteiligung an der dezentralen Stromerzeugung verweigern. In der Stadt kann man kein Windrad bauen.
- **Zitat von Reinhold Messner – fordert nachhaltige Energieerzeugung behutsam einzusetzen**
  - In Österreich gibt es erheblich mehr Windkraft fern ab der Küste, als in Deutschland. Was „Behutsam eingesetzt ist“ – ist eine Auslegungssache. Eine komplette Ablehnung hat nix mit „behutsam eingesetzt“ zu tun.

# Argumente der Windkraftgegner

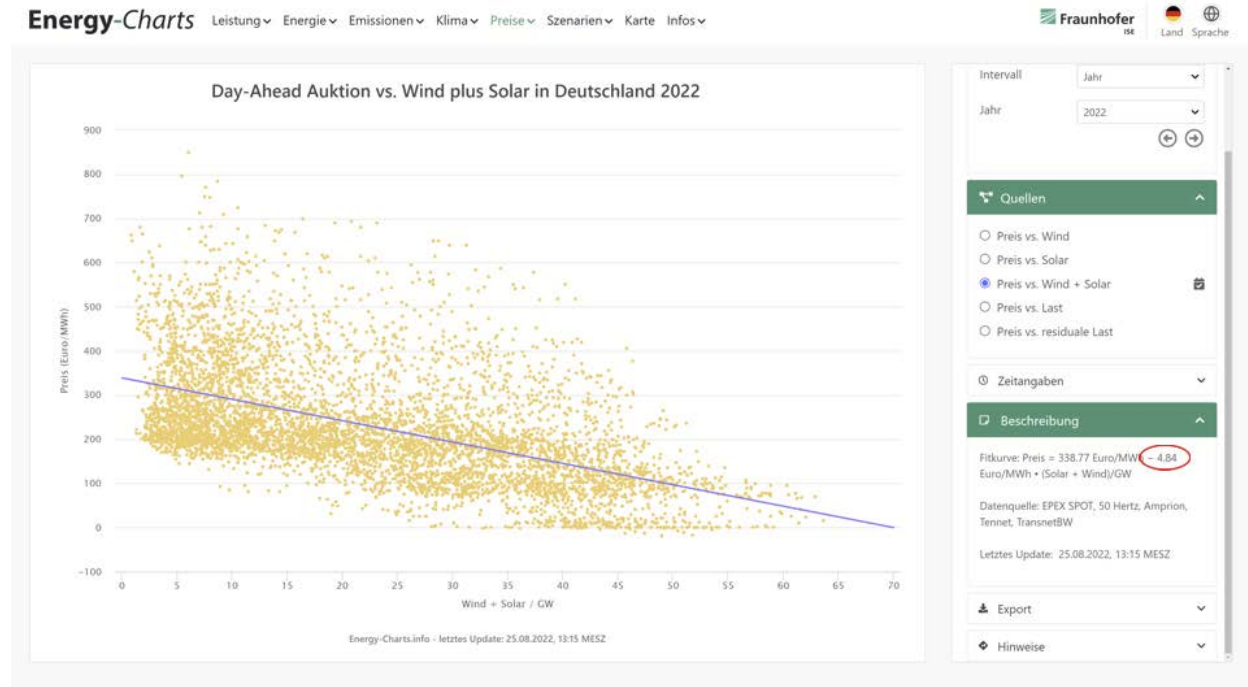
## Faktencheck

### ■ Windkraftindustrie - Gewinne für wenige

- ohne Automatisierung und Industrie kein Wohlstand; wieso keine „grüne Industrie“ aufbauen?
- Solarbranche braucht Hunderttausende Fachkräfte (Tagesschau 2.10.2023)
- Jeder kann sich an Windkraftfonds beteiligen z.B. mit 3 -4,5% p.a. mit 2,3 oder 6 Jahren Laufzeit  
z.B. <https://www.gruene-sachwerte.de/windkraftfonds/>

### ■ Explodierende Strompreise

- Die Stromkosten der Erneuerbaren Energie sind durch das Invest der Anlagen gegeben, das über den Stromertrag abbezahlt wird; die Stromkosten sind daher vorhersehbar und konstant.
- Stromgestehungskosten für PV rund 6 ct/kWh auf der Freifläche; 8-10 ct/kWh auf Industriedächern, 15 ct/kWh auf Hausdächern (bei 2% Darlehnszins – steigt um etwa 1 ct/kWh pro 2% Zinserhöhung)
- Stromgestehungskosten für Wind rund 6 ct/kWh
- [https://www.energy-charts.info/charts/price\\_scatter/chart.htm?l=de&c=DE&enemy=wind\\_solar](https://www.energy-charts.info/charts/price_scatter/chart.htm?l=de&c=DE&enemy=wind_solar)
- Jedes zusätzliche GW Solar und Wind hat dieses Jahr im Durchschnitt den Day-Ahead Börsenstrompreis um 0,484 Cent/kWh gesenkt
- 10 GWp mehr installierte PV (Ausbauziel für 2023) würde über Mittag (7,5 GW mittlere Leistung) den Börsenstrompreis um 3,6 ct/kWh senken



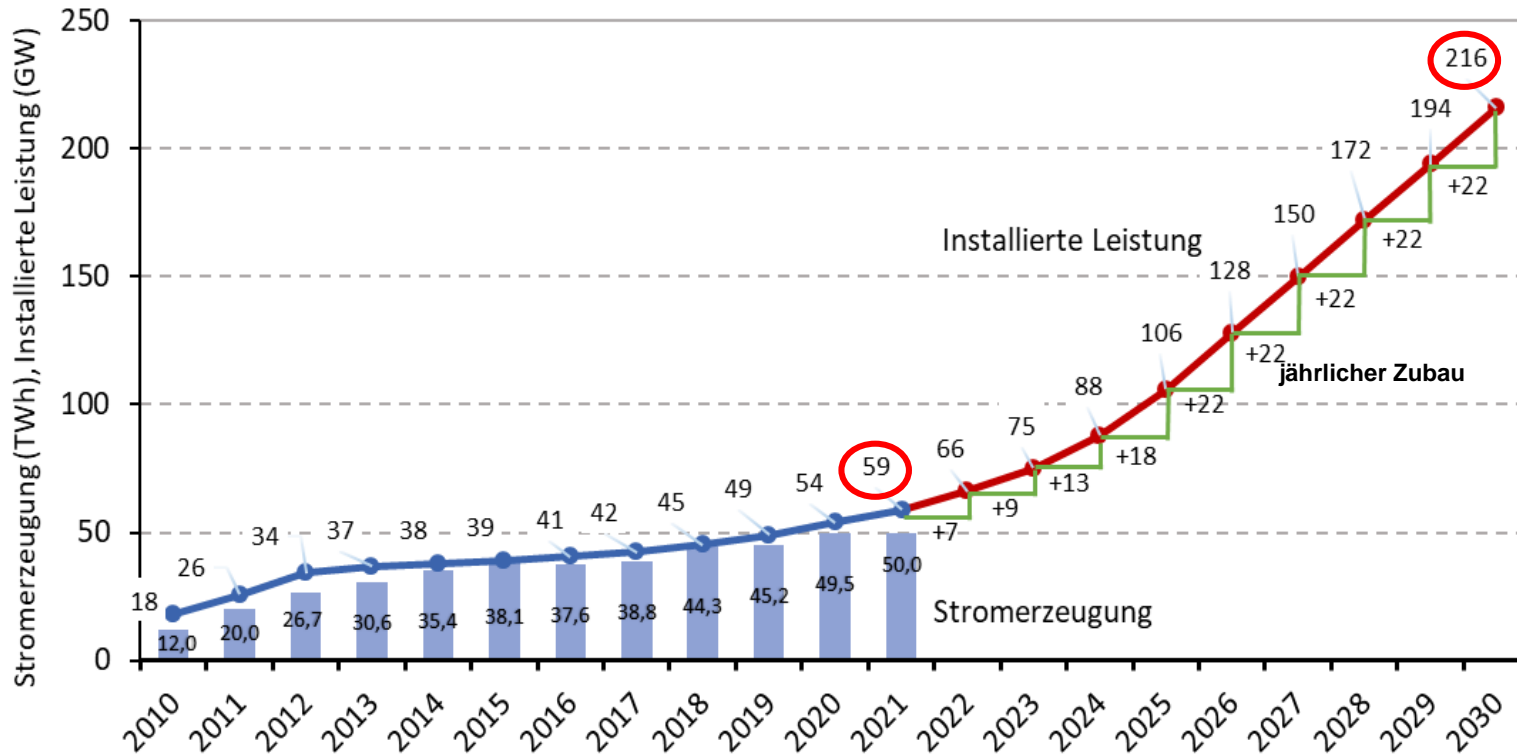
# So gelingt Energiewende

---

- I. Sonne und Wind liefern grünen Strom, Wärme und Kraftstoffe
- II. Erhöhung des Stromverbrauchs
- III. Sonne und Wind ergänzen sich  
→ 88% Stromversorgung aus EE möglich ohne Speicher
- IV. Faktencheck Windkraft
- V. PV Ausbauziele und PV Initiativen im Land Baden-Württemberg
- VI. Nutzung von Solarstrom vor Ort

# PV in Deutschland

Ziel: 80% EE-Strom in 2030 → 200 GWp installiert



Grafik: ZSW

Jährlicher PV-Zubau  
(angestrebt im EEG-Osterpaket)

- 2021 5,6 GWp
- 2023 9 GWp
- 2026 22 GWp

Ziel 2030

- 80% der Stromversorgung aus Erneuerbaren Energie (Osterpaket)

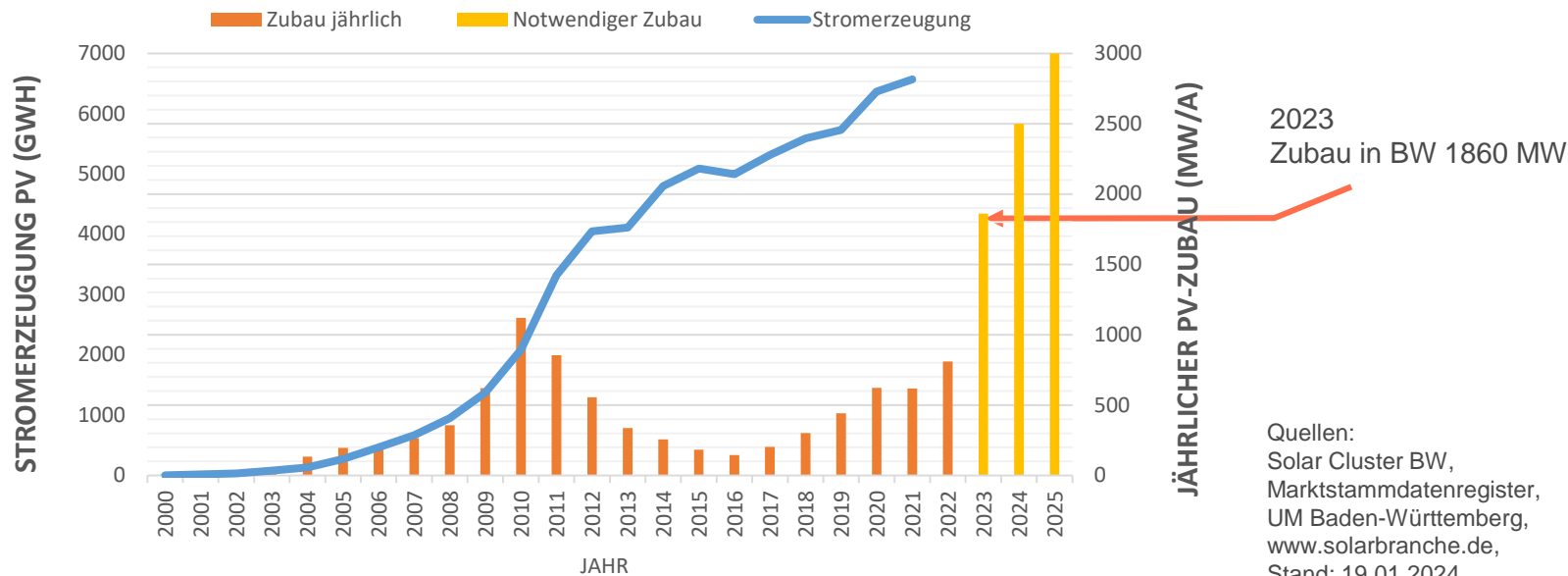
Ziel 2035

- 30% der Stromversorgung sind aus Photovoltaik (PV Strategie 10.3.2023)



# Entwicklung der PV in Baden-Württemberg

Ziel: ab 2026 durchschnittliche ca. 4000 MW/Jahr (Forderung des Solar Cluster BW e.V.)



## Beispielrechnung für 4000 MW/Jahr:

erfordert **pro Tag** die Installation von

- 350 mittleren Dachanlagen (~10 kWp)
- 10 Anlagen auf Industriedächern oder PV überdachtetem Parkplatz (~350 kWp)
- 1 Freiflächenanlage (~4 MWp)

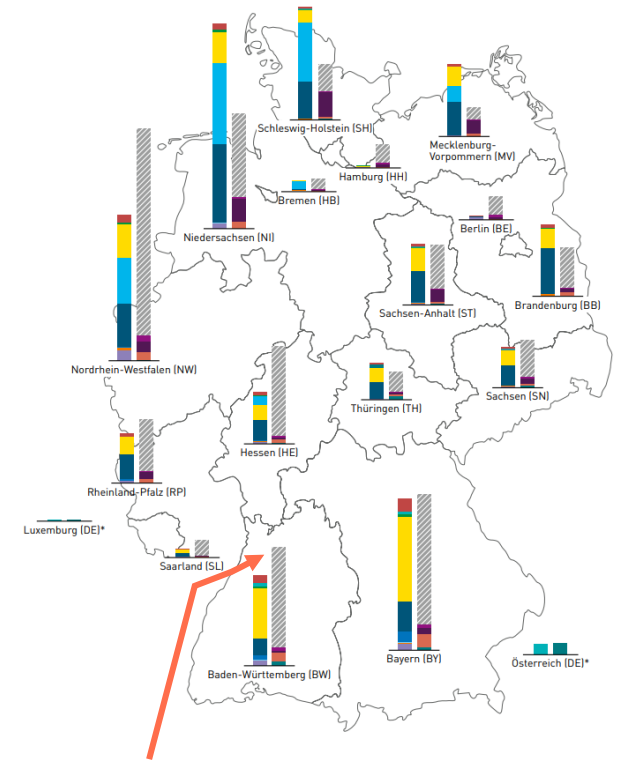
Quellen:  
Solar Cluster BW,  
Marktstammdatenregister,  
UM Baden-Württemberg,  
[www.solarbranche.de](http://www.solarbranche.de),  
Stand: 19.01.2024

1300 MW

1300 MW

1400 MW

Energiebilanz Szenario B 2037  
(PV BW von 10 GWp in 2023 auf 45,7 GWp in 2037)



## Zum Vergleich -

Netzentwicklungsplan:

bei 2,6 GW/a noch eine  
Stromlücke von 25 GWh/a  
in 2037 in BaWü

# PHOTOVOLTAIK-NETZWERK BADEN-WÜRTTEMBERG



Faktenpapier, Leitfäden,  
Fachkurse, Vorträge



## Auch 2022 - 2024: Gemeinsam die Photovoltaik schneller voranbringen



- Teil der **Solaroffensive** des Landes BW  
Gefördert durch



Baden-Württemberg  
MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

- Ab 2022 für weitere 3 Jahre
- 12 regionale Photovoltaik-Netzwerke
- Unterstützung / Anlaufstelle für
  - Kommunen, Landkreise, Unternehmen, Landwirte, Bürger\*innen, ...
- > 450 lokale / regionale Akteure
- Landesweit koordiniert



Quelle: fokus.energie



Information, Beratung,  
Wissenstransfer & Vernetzung

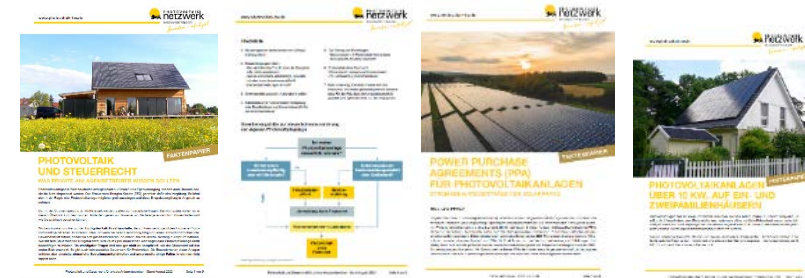


Franz Pöter

Solar Cluster Baden-Württemberg e.V.  
[info@solarcluster-bw.de](mailto:info@solarcluster-bw.de)  
[www.solarcluster.de](http://www.solarcluster.de)

### Faktenpapiere:

- Photovoltaik und Steuerrecht
- Photovoltaikanlagen über 10 kWp auf Ein- und Zweifamilienhäusern
- Weiterbetrieb Ü20 – Photovoltaik-Anlagen – Stand Juni 2020 (EEG 2017)
- PPA – Power purchase Agreement für große Solarparks



### Broschüren:

- „Photovoltaik in Kommunen“
- „Photovoltaik in Gewerbe und Industrie“ 21.12.2021
- „PV Parkplätze“ 09.02.2022



Quelle: Solar Cluster Baden-Württemberg / PV-Netzwerk BW

Download unter: [www.photovoltaik-bw.de](http://www.photovoltaik-bw.de) & [www.solarcluster-bw.de](http://www.solarcluster-bw.de)



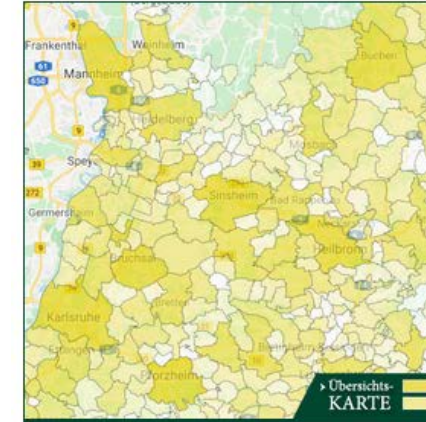


Dachflächen



Freiflächen

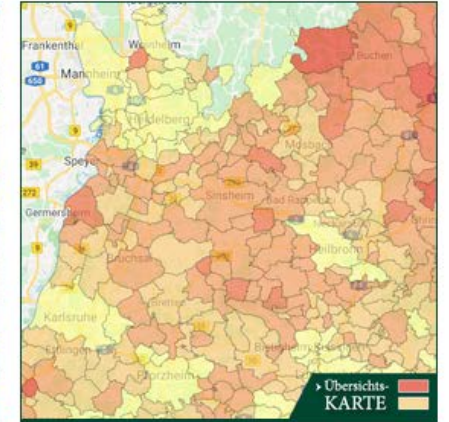
- Installierte PV Anlagen auf Dachflächen und Freiflächen
- Potentiale für PV auf Dachflächen und Freiflächen
- PV Rechner



Installierte Leistung bestehender PV-Dachanlagen

Die Karte zeigt die installierte Leistung in MW bestehender Photovoltaikanlagen auf Dachflächen als Summe einer Gemeinde, eines Kreises oder einer Region in Baden-Württemberg (Stand 2018). Es handelt sich um Daten der Übertragungsnetzbetreiber...

► mehr



Stromerzeugung je Einwohner mit bestehenden PV-Dachanlagen

Die Karte zeigt die berechnete Stromerzeugung mit bestehenden Photovoltaikanlagen auf Dachflächen je Einwohner als Summe einer Gemeinde, eines Kreises oder einer Region in Baden-Württemberg (Stand 2018). Es handelt sich um Daten der...

► mehr



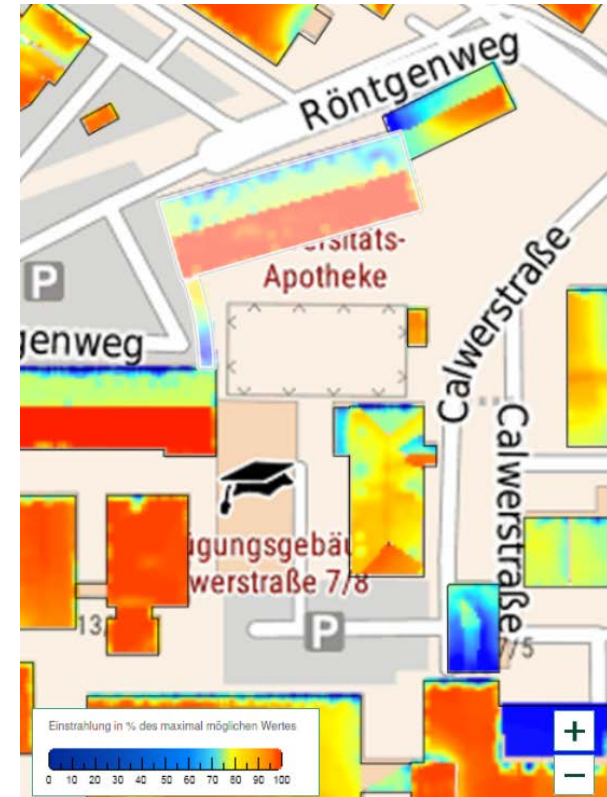
Solarpotenzial auf Dachflächen



PV-Potentiale auf Gebietsebene

## Vorgehensweise für Ertragsrechnung und Wirtschaftlichkeit

- Dach suchen auf Seite „Solarpotenzial-auf-dachflächen“
- Farbskala zeigt Attraktivität der Dachflächen
- Dach anklicken → zeigt Dachattribute und max. installierbare PV Leistung mit Ertrag
- Button „Wirtschaftlichkeit berechnen“ erlaubt
  - Auswahl „Art des Haushalts“
  - Eingabe des Jahresverbrauchs
  - Voll- und Teilbelegung des Daches
  - Konfiguration von elektrischem Speicher und Verbrauchern (E-Auto, Wärmepumpe, E-Bike)



ATTRIBUTE	
Name Gemeinde	Tübingen
Einstrahlungskategorie	Sehr hohe Einstrahlung
Geeignete Dachfläche für PV-Module	298,8 m <sup>2</sup>
Maximal installierbare Anzahl PV-Module	144
Maximal installierbare PV-Leistung	46,3 kWp
Maximal möglicher Stromertrag pro Jahr	49.586 kWh/a
Herkunft der Daten	LUBW, Geoplex GIS GmbH
Datum der Berechnung	2021
Jahr der Befliegung	2016-2021
Auflösung der Befliegungsdaten	26,9 Pkt./m <sup>2</sup>

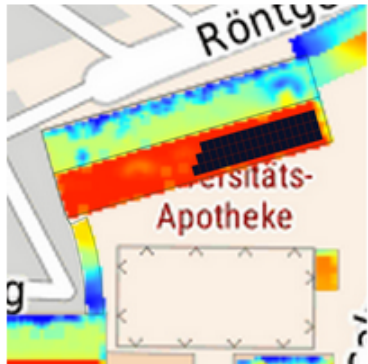
**WIRTSCHAFTLICHKEIT BERECHNEN**

# PV Rechner



<https://www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflächen/solarpotenzial-auf-dachflächen>

## Ihre Photovoltaikanlage

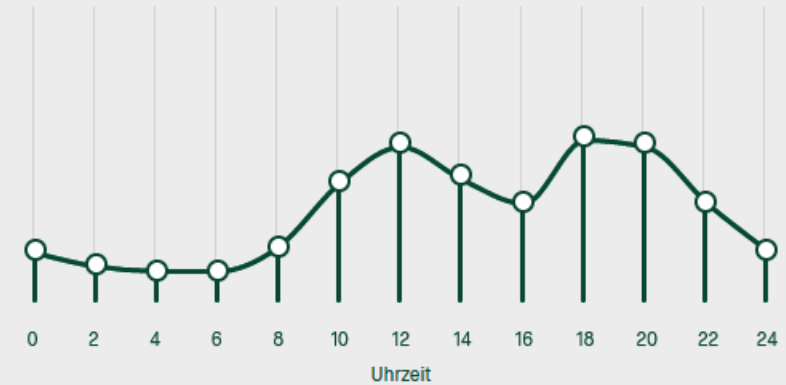


<b>Kosten</b>	21.578 € (netto)
<b>Belegungsvariante</b>	Eigene Belegung
<b>Leistung</b>	19,98 kWp
<b>Ertrag/kWp</b>	1.018,1 kWh
<b>Gesamtertrag/Jahr</b>	20.342 kWh
<b>Speicher</b>	Kein Speichersystem
<b>Module</b>	54 Module à 370 Wp

Stromverbrauch

6000 kWh/Jahr

Konfigurieren Sie Ihren Stromverbrauch im Tagesverlauf



Zusätzliche Verbraucher (optional)



Wärmepumpe  
hinzufügen

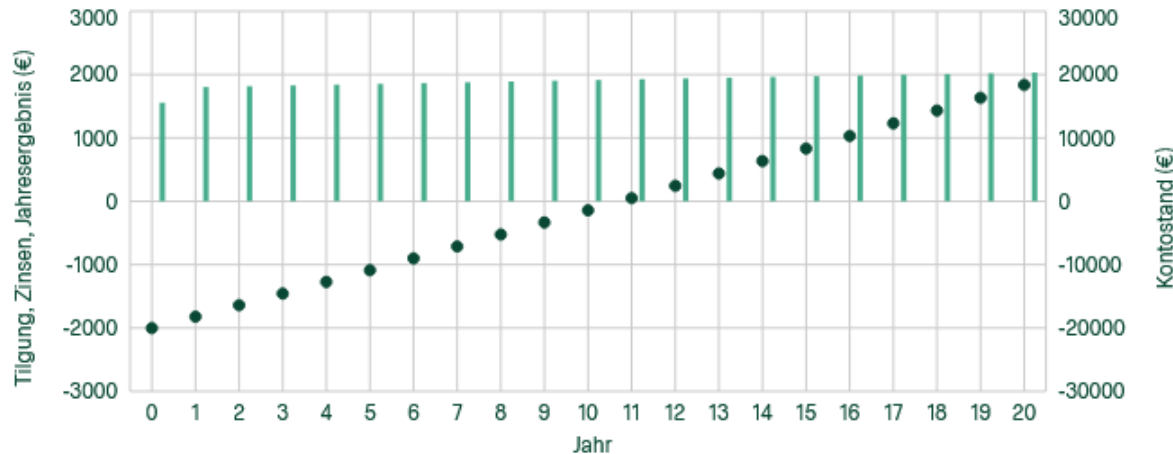


E-Auto  
hinzufügen



E-Bike  
hinzufügen

## Wirtschaftlichkeit (grafisch)



Eigenverbrauch

17,5 %



Autarkie

55,9 %



Rendite

7 %



Amortisationszeit

11 Jahre



Gewinn nach 20 Jahren

18.357 €



# PV Freiflächen

bundesweit bisher: 1/3 der installierten PV-Leistung auf Freiflächen + 2 Mio. Dachanlagen

## in Baden-Württemberg - Nachholbedarf

- nur 10% der PV-Leistung auf Freiflächen
- Ziel in BW sollte sein 1/3 auf Freifläche; im Bund ist 50:50 das Ziel.



Solarpark Leutkirch der enBW, Inbetriebnahme 2014  
Leistung und Fläche: 2,9 MWp auf 6,9 ha (3.200 MWh/a)



Solarpark Zwiefalten der enBW, Inbetriebnahme 2017  
Leistung und Fläche: 5,2 MWp auf 7 ha (5.800 MWh/a)

Quelle:  
<https://www.enbw.com/landingpage/s/freiflaechen-solarprojekte-bw/>

## Vorteile

- extensive Flächennutzung unter den PV Modulen möglich
- elektrischer Ertrag von PV pro ha: 500–800 MWh/a (Energienmais 20–25 MWh/a)
- selbst bei Elektrolyse und Methanisierung von Solarstrom ist der Ertrag pro ha noch 15 mal höher als bei Energienmais

# Die Rolle der PV bei der Energiewende

---

- I. Sonne und Wind liefern grünen Strom, Wärme und Kraftstoffe
- II. Sonne und Wind ergänzen sich  
→ 80% Stromversorgung aus EE möglich ohne Speicher
- III. Ausbauziele PV und Windkraft
- IV. Faktencheck - Windkraft
- V. PV Initiativen im Land Baden-Württemberg
- VI. Nutzung von Solarstrom vor Ort

# PV Carports

bei mehr als 35 Stellplätzen ist eine PV Überdachung in Baden-Württemberg Pflicht im Neubau



Quelle: Bickel - Eitroplan – Projekt LuCa



Quelle: C&C Architekten BDA



# PV Carport bei Eltroplan

## Förderprojekt Luca – Optimiertes Laden

Gefördert vom



Ministerium für Umwelt, Klima und  
Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Laufzeit: 09.2021 – 12.2022

- 308 kWp Solar Carport
- Umfrage unter Beschäftigten zum Mobilitätsverhalten
  - gefahrene km
  - Laden am Arbeitsplatz?
  - Simulation für 80% Anteil von E-Autos

### Ergebnis für optimiertes Laden

- erzeugt keine erhöhte Lastspitzen
- reduziert Ladekosten um 7,7 ct/kWh ohne weitere Batterie durch Nutzung von lokalem Solarstrom



*Dennis Huschenhoefer (ZSW) et.al., PV Charging at company car park: investigation of future use, and resulting charging requirements, 7th E-Mobility Power System Integration Symposium, Copenhagen, Denmark, 25. Sept. 2023*

# PV-Fassaden des ZSW

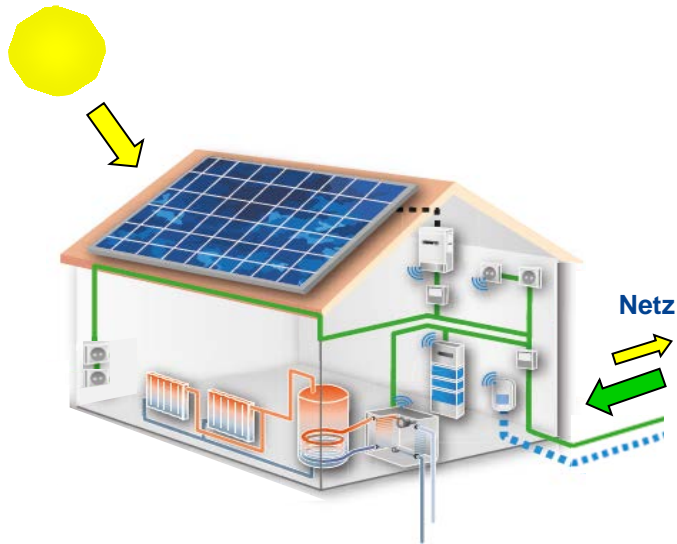
- PV-Module: CIGS Glas/Glas, blendfrei, gerahmt, Zustimmung im Einzelfall
- Hersteller: Nice Solar Energy
- Systemplanung: ZSW
- Modulfläche: 246 m<sup>2</sup>
- Gesamtleistung: 28 kWp
- Orientierung: SO, SW, NW
- Verschattung: SO: Nachbargebäude  
SW, NW: minimal



Blick von Süden

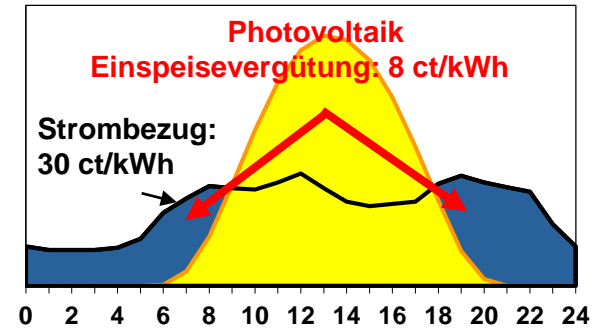
# Energiewende zuhause

Mein Haus ist mein Kraftwerk



Solar- und Windstrom für die Wärmepumpe!!

Flexible Stromtarife nutzen!



Energiebezug aus Sonne und Netz

steuerbare  
Haushaltsgeräte  
Wärmepumpe  
PV Wechselrichter  
elektrische Speicher  
thermische Speicher

Intelligente Steuerung

Ziel: erhöhte  
Eigendeckung &  
stabile Energiekosten

Nutzung: Wärme,  
Kälte, Kraft, Mobilität,  
Kommunikation,  
Netzeinspeisung

## Bedarf an PV-Fläche

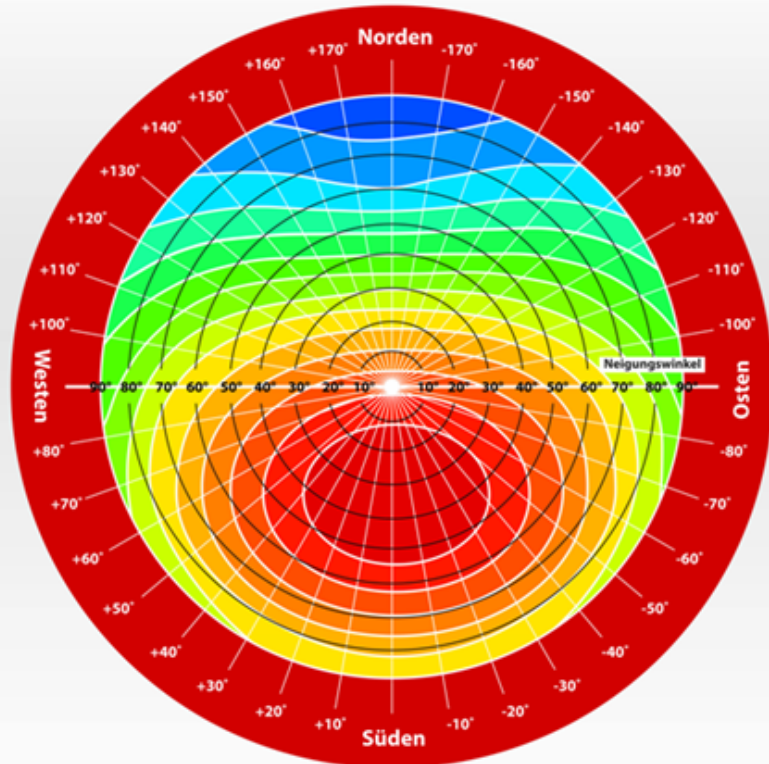
- 22 m<sup>2</sup> (4 kWp) für Haushaltsstrom
- 22 m<sup>2</sup> (4 kWp) für Wärmepumpe im gut gedämmten Haus
- 11 m<sup>2</sup> (2 kWp) für ein E-Auto
  
- jedoch nur 28% des Strombedarfs fällt im Haushalt an!!
- **daher:** macht die Dächer voll!!



# Geeignete Dächer - Batteriespeicher ja/nein

Mein Haus ist mein Kraftwerk

## EINSTRAHLUNGSSCHEIBE



**Süd, Ost & West Ausrichtung sehr gut; bis zu N/O und N/W wirtschaftlich bei flachen Dächern**

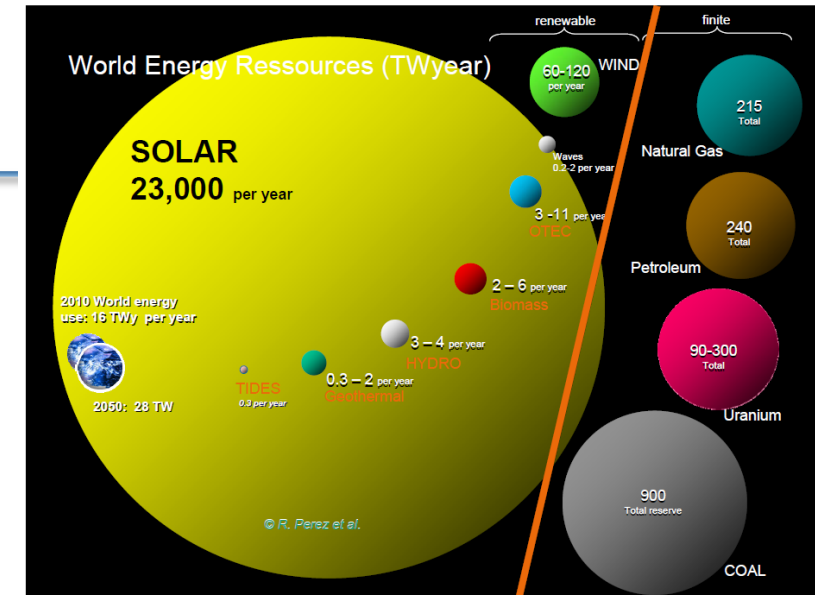
- da Modulkosten heute nur rd. 1/3 der Anlagenkosten
- Grundaufwand für Wechselrichter, Kabelführung und Gerüst in Summe relativ hoch

**Batteriespeicher ja/nein**

- wenn überhaupt, dann Speicher in kWh kleiner als PV Anlage in kWp (z.B. Speicher mit 5-8 kWh für PV Anlage mit 10 kWp) – sonst Zyklenzahl zu gering
- Speicherammortisation – Zahlenbeispiel
  - Speicherkosten pro kWh (z.B. 800 €/kWh)
  - Zahl der Zyklen pro Jahr 200-250; bei 250 Zyklen ist der Durchsatz in 15 Jahren 3750 kWh pro kWh. Jedoch Verlust 90%, Degradation 80% nach 10 Jahren → rd. 3000 kWh
  - Kosten je kWh aus dem Speicher (obiges Beispiel):  
[800 €/ 3000 kWh = 27 ct/kWh] + verlorene Einspeisevergütung [8 ct/kWh] → rd. 35 ct/kWh

# So gelingt Energiewende

- Sonne und Wind liefern grünen Strom, Wärme und Kraftstoffe
- Elektrifizierung von Verkehr und Wärmeversorgung verdoppeln den Stromverbrauch
  - Elektrifizierung ermöglicht den Umstieg auf nachhaltige Quellen
  - senkt den Energieverbrauch gegenüber fossilen Quellen um je 70%
- Den erhöhte Stromverbrauch können PV und Windkraft decken
  - 0,6% der Fläche von D für PV notwendig
  - 2% der Fläche von D für Windkraft auszuweisen - 1,2 % der Fläche benötigt (1,2% ergibt sich aus angenommenen 16,5 ha Flächenbedarf pro Anlage)  
<https://www.energiezukunft.eu/erneuerbare-energien/wind/windenergie-was-zwei-prozent-der-landesflaeche-bedeuten/>
  - Zum Vergleich: derzeit sind 14% der Fläche von D Siedlungsfläche und 4% der Fläche Biomais
- Wasserstoff wird ein knappes Gut - notwendig für
  - Dunkelflaute
  - Hochtemperaturprozesse in der Industrie
  - Schwerlastverkehr > 500 km ohne Ruhepause (2 Fahrer)



# VIELEN DANK

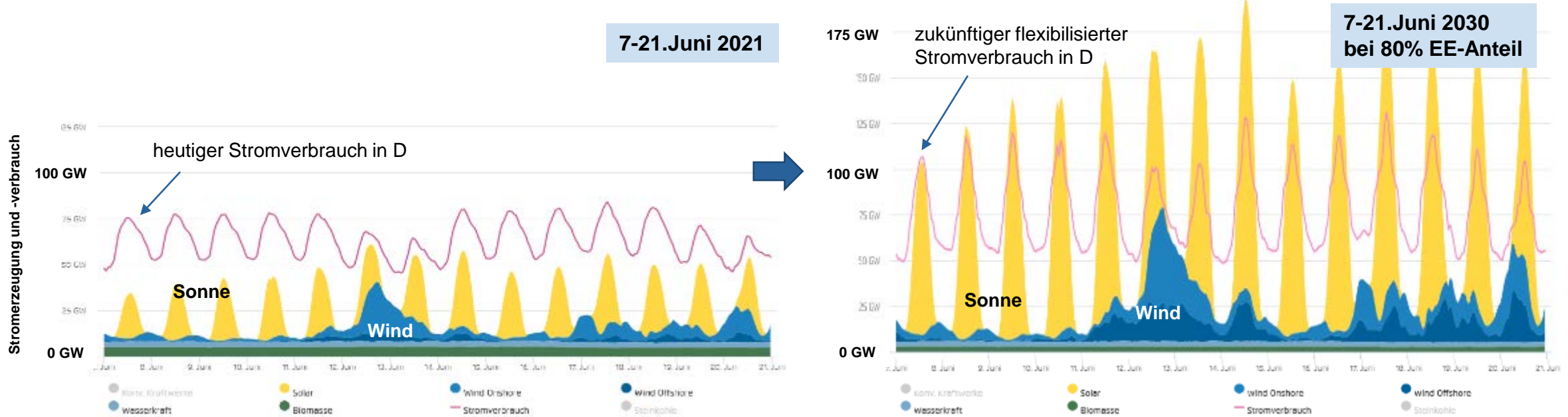
---

Dr.-Ing. Jann Binder



# Herausforderungen „Energiebereitstellung“ und „Netzintegration“

was bedeutet das Ziel der Bundesregierung von 80% EE-Anteil im Strom in 2030



<https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter>  
 (Abruf 27.02.2022 – dort Jahr 2035 mit 78% EE ausgewählt)

## Heute

- nur selten deckt oder übertrifft die Stromerzeugung aus Erneuerbarer Energien den Stromverbrauch
- ein hoher Anteil an Erneuerbaren Energien senkt den Strompreis deutlich

## In 2030

- die Stromerzeugung aus EE übertrifft den Stromverbrauch über einen Zeitraum von mehr als 1700 Stunden pro Jahr (20% der Jahresstunden)
- durch Flexibilisierung des Verbrauchs, kann mehr Strom genutzt werden, ohne Bedarf für Speicherung