++
PLUSPLUS
PRINZIP

HERZLICH WILLKOMMEN!

ERNEUERBARE ENERGIEN AM UNTERNEHMENSSTANDORT

Online-Seminar mit Dr. Kirsten Kubin & Ates Calak

22.11.2022, 10:00 – 11.30 UHR

Das PlusPlus-Prinzip – Eine Klimaschutzkampagne der deutschen Ernährungsindustrie

Bundesvereinigung der Deutschen ERNÄHRUNGSINDUSTRIE

Gemeinsam mit unseren Partner-unternehmen

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

enersuma Energy & Sustainability Management Consulting GmbH

ifeu INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

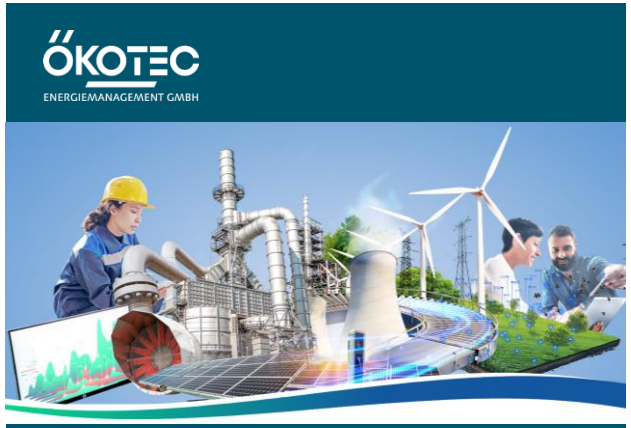
ORGANISATORISCHE HINWEISE

++ PLUSPLUS PRINZIP

- **Fragen bitte über die Chatfunktion stellen**
  die Fragen erscheinen nur bei den Organisatoren und sind somit für alle anderen anonym
- **Fragen werden gesammelt und direkt oder am Ende des Vortrags beantwortet**
- **Antworten auf ungeklärte Fragen erhalten Sie im Nachgang persönlich**
- **Folien werden auf der Webseite <u>www.pluspluspprinzip.de</u> zur Verfügung gestellt**

VORSTELLUNG

- Beratungs- und Softwareunternehmen für Energie- und Ressourceneffizienz seit 1999
- Ein Unternehmen von Veolia seit 2016
- CO_2-Vermeidung und -Reduzierung durch technische und organisatorische Maßnahmen
- Erfahrung in allen relevanten Industriebranchen, Gewerbe und Gebäuden
- Interdisziplinäres Team mit 60 Personen



www.oekotec.de

Über 2.000 Projekte

in über 30 Ländern

VORSTELLUNG

- Beratung, Schulung, Trainings zu Energie- und Klimamanagement, Klimastrategie und Maßnahmen zur CO_2-Reduzierung / -Vermeidung
- Moderatorin und fachliche Begleitung von Netzwerken für Energieeffizienz und Klimaschutz
- Projektleiterin bei ÖKOTEC zur Koordinierungsstelle Energieeffizienz und Klimaschutz im Betrieb des Berliner Senats
- Fachpartnerin diverser Projektträger bei der Entwicklung und Weiterentwicklung von Förderprogrammen

Dr. Kirsten Kubin

Head of Energy Efficiency

ÖKOTEC Energiemanagement GmbH

RÜCKFRAGEN ZU FÖRDERPROGRAMMEN? UNSER HELP-DESK HILFT WEITER!

Ates Calak
plusplus@oekotec.de
Fon: +49 (30) 536397-37

Kontaktierung Sie uns!

- ✓ Wir geben Unternehmen der Ernährungsindustrie eine erste Einschätzung zur Förderfähigkeit ihrer Vorhaben
- ✓ Sie erhalten bei Nennung der Eckdaten eine Auswertung anhand des Vorteilsrechners

AGENDA

PLUSPLUS PRINZIP

Erneuerbare Energien am Unternehmensstandort

1. Hintergrund
2. Stromerzeugung
   - Photovoltaik
   - Windenergie
3. Wärmeerzeugung
   - Solarthermie
   - Wärmepumpen / Geothermie
   - Erneuerbare Brennstoffe
4. Fazit und Ausblick

PLUSPLUS
PRINZIP

HINTERGRUND

Erneuerbare Energien

KLIMA UND RESSOURCEN AM SCHEIDEWEG

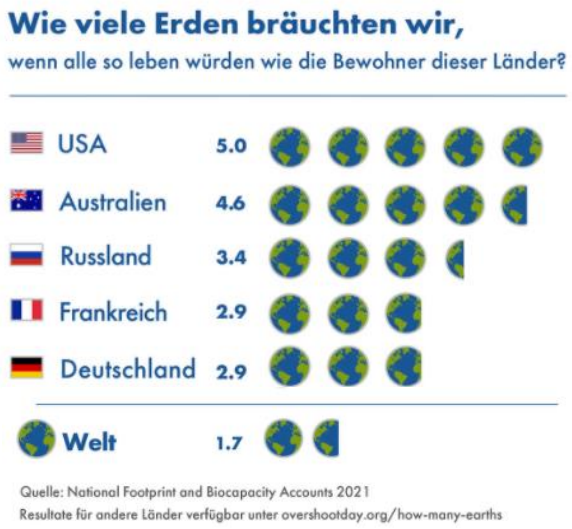
„Earth Overshoot Day“ (Erdüberlastungstag):
Tag, ab dem wir aus ökologischer Sicht über unseren Verhältnissen leben

- **2019: 26.07.**
- **2020: 22.08.** aufgrund von Corona und anderer Effekte
- **2021: 29.07.**

5. Sonderbericht IPCC (10/2018)

- CO_2-Restbudget: 420 Gigatonnen,
  aktuell: **314 Gigatonnen***
- CO_2-Budget in 9-10 Jahren aufgebraucht,
  aktuell: **7 Jahre, 5 Monate***

*) MCC 1,5°C Pfad, 14.02.2022



Quelle: Carbon Clock © Andreas Schwarz EUREF AG

POLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

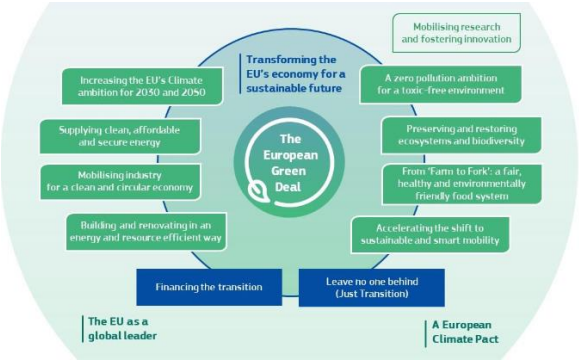
Global

- **Vereinte Nationen: 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (2015)**
- **Pariser Klimaabkommen: Globale Erderwärmung auf < 2°C begrenzen, Dekarbonisierung (2015)**

[1]

Europäische Union

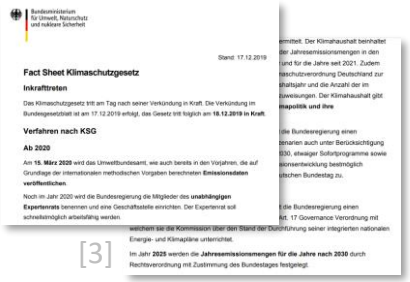
- **Green Deal: Klimaneutralität bis 2050 (2019)**



[2]

Deutschland

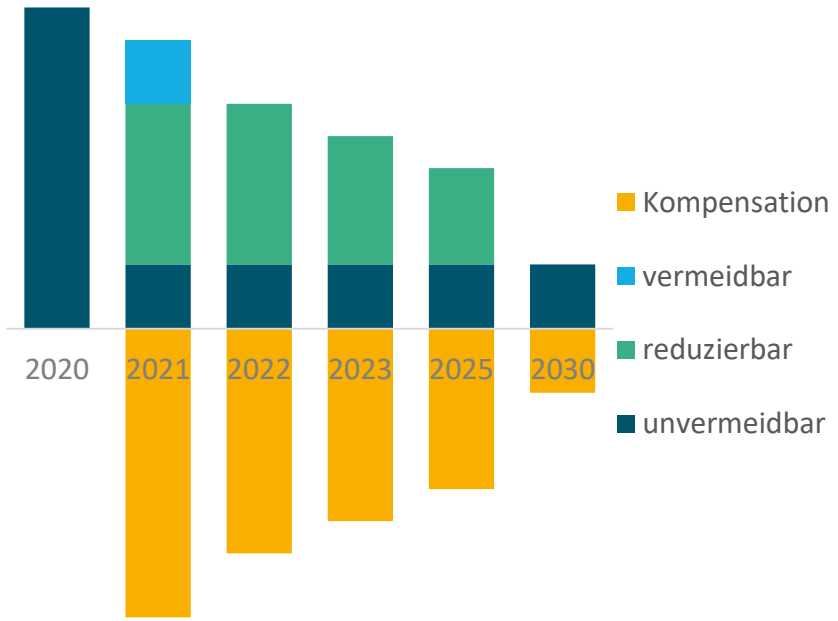
- **Klimaschutzplan (2016)**
  - Treibhausgas- (THG) Neutralität bis 2045
  - Reduktion THG-Emissionen um 65% bis 2030 (Basis 1990)
- **Klimaschutzgesetz in Deutschland (2019)**



[3]

[1] https://sdg-portal.de/de [2] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/ ?qid=1588580774040 &uri =CELEX:52019DC0640
[3] https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/fact_sheet_klimaschutzgesetz_bf.pdf

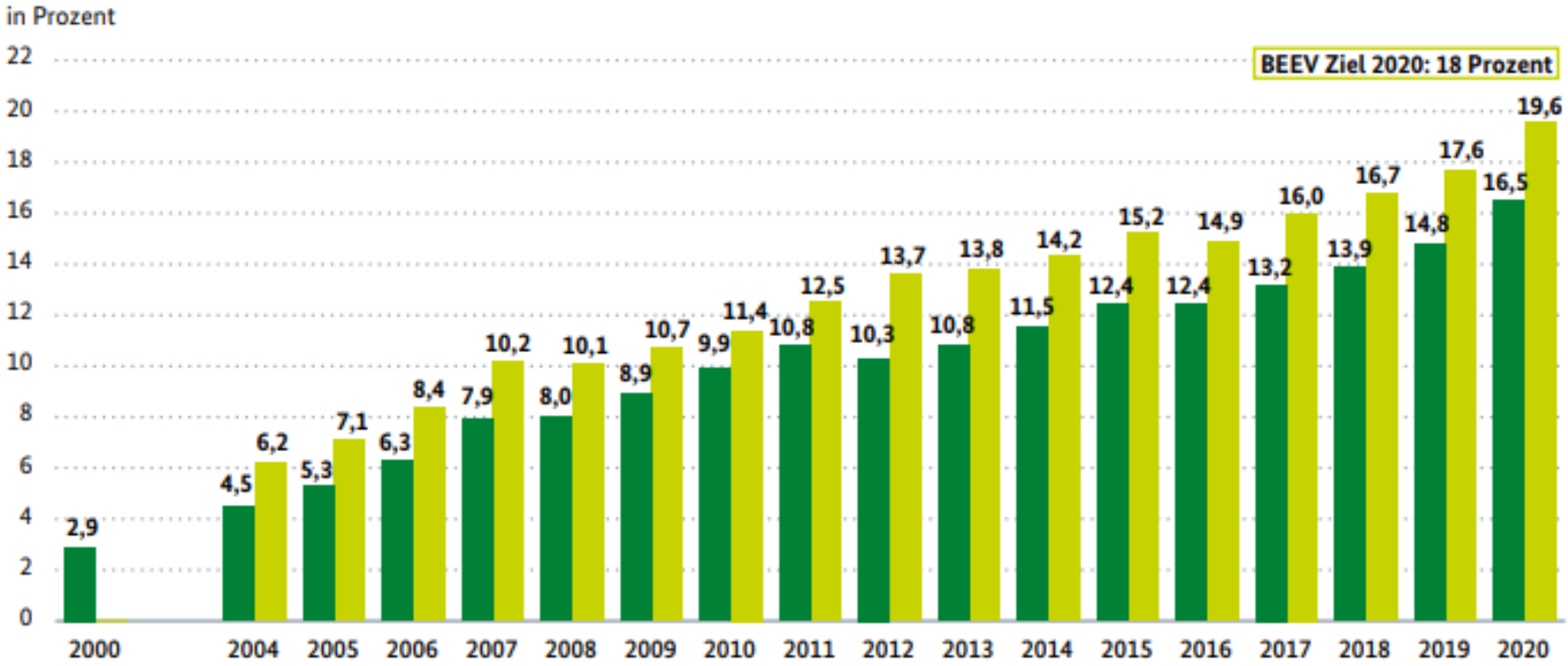
ERREICHUNG VON KLIMANEUTRALITÄT



Grundprinzip einer Klimastrategie:

Vollständige Vermeidung und Reduktion der CO_2-Emissionen ist allein mit Energieeffizienz-Maßnahmen nicht möglich. Erneuerbare Energien sind der Schlüssel zur Erreichung der Klimaneutralität!

STETIG STEIGENDE ANTEILE ERNEUERBARER ENERGIEN

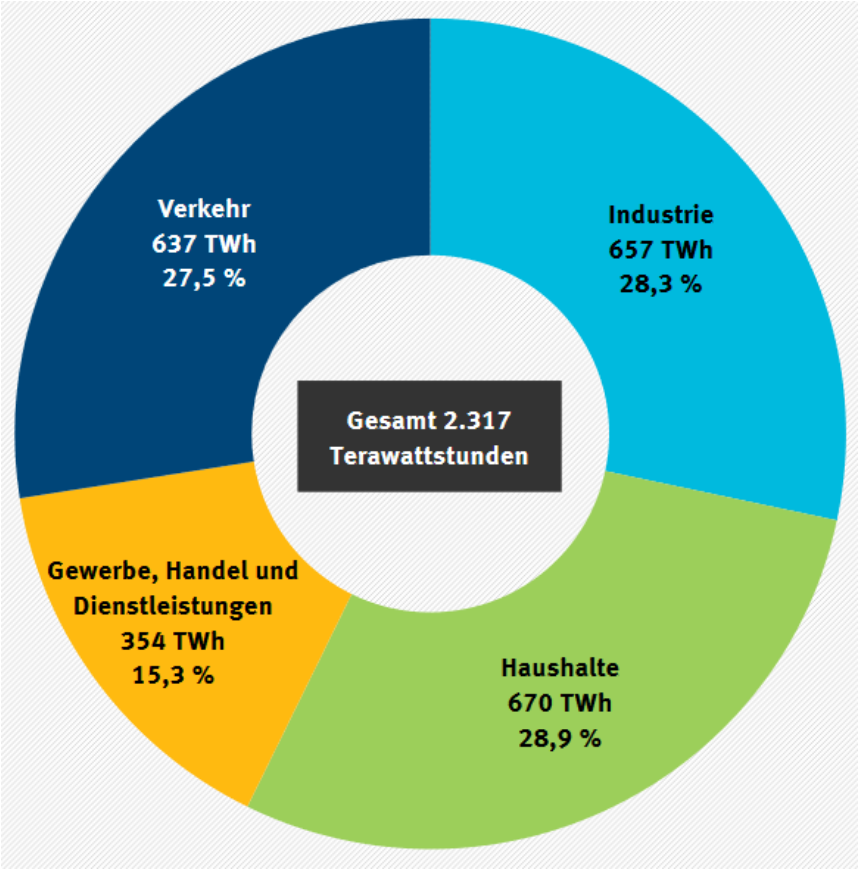


Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch PEV

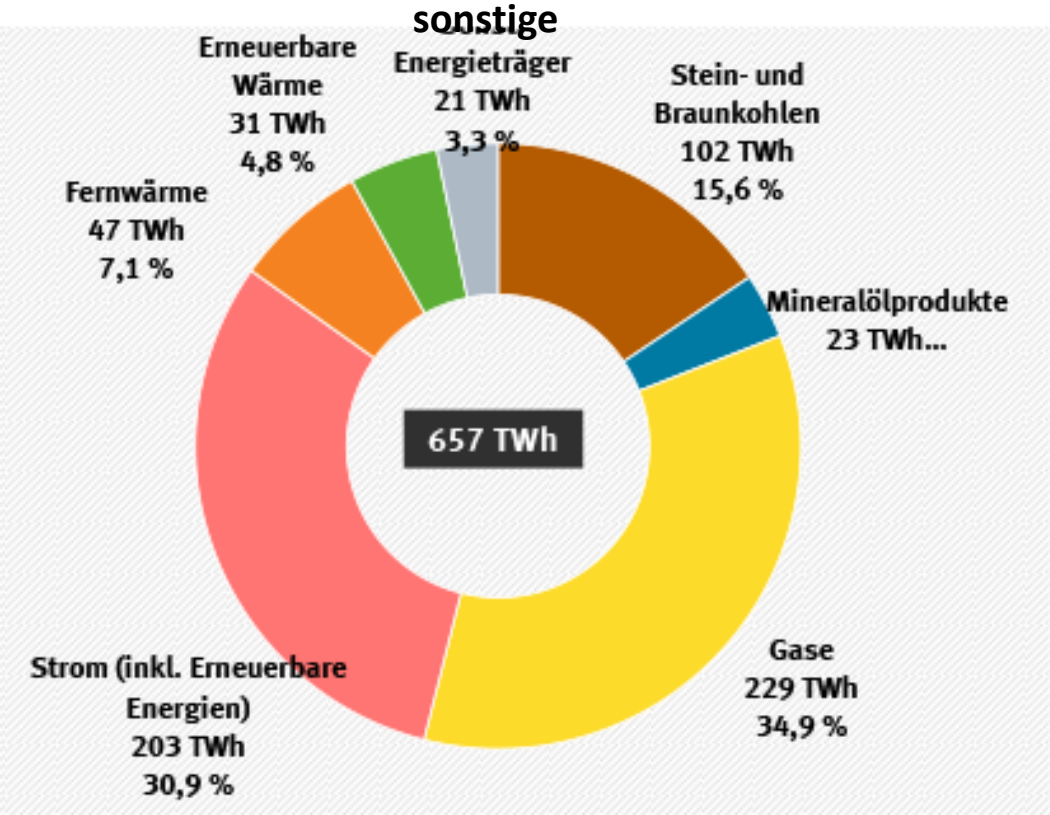
Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch BEEV

Quelle: Erneuerbare Energien in Zahlen 2020, BMWi

ENDENERGIEVERBRAUCH DER INDUSTRIE 2020

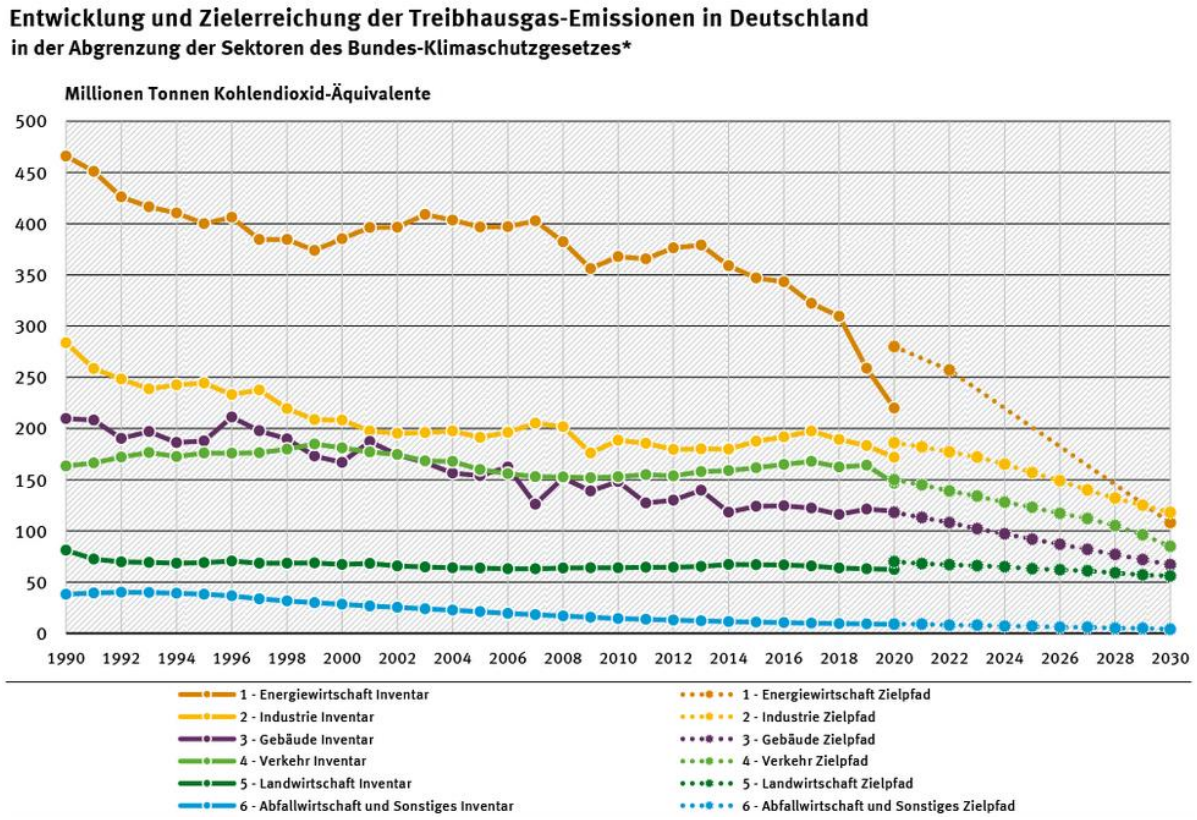


Endenergieverbrauch der Industrie



Quelle: UBA auf Basis AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, Stand 09/2021

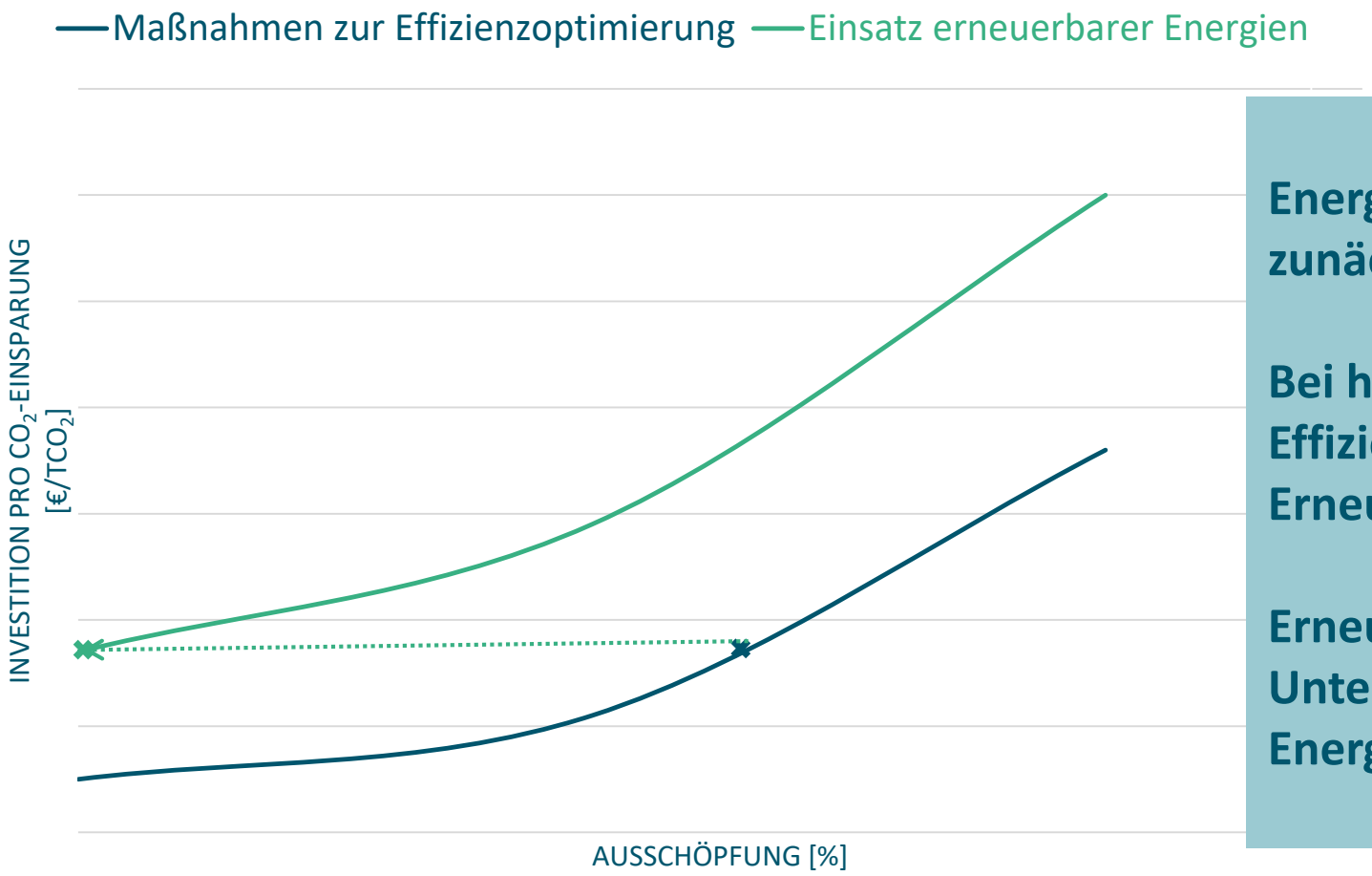
TREIBHAUSGASEMISSIONEN UND ZIELE IM SEKTOR INDUSTRIE



Quelle: Umweltbundesamt

- **Sektorziele für Emissionsminderung sind im Klimaschutzplan festgelegt**
- **Ziel 2030 im Sektor Industrie: Minderung von 58% ggü. 1990 (118 Mio. t CO2-Äquivalente)**
- **Netto-Null-Emission bis 2045**

MAßNAHMEN AM STANDORT



Energieeffizienzmaßnahmen sind zunächst wirtschaftlicher

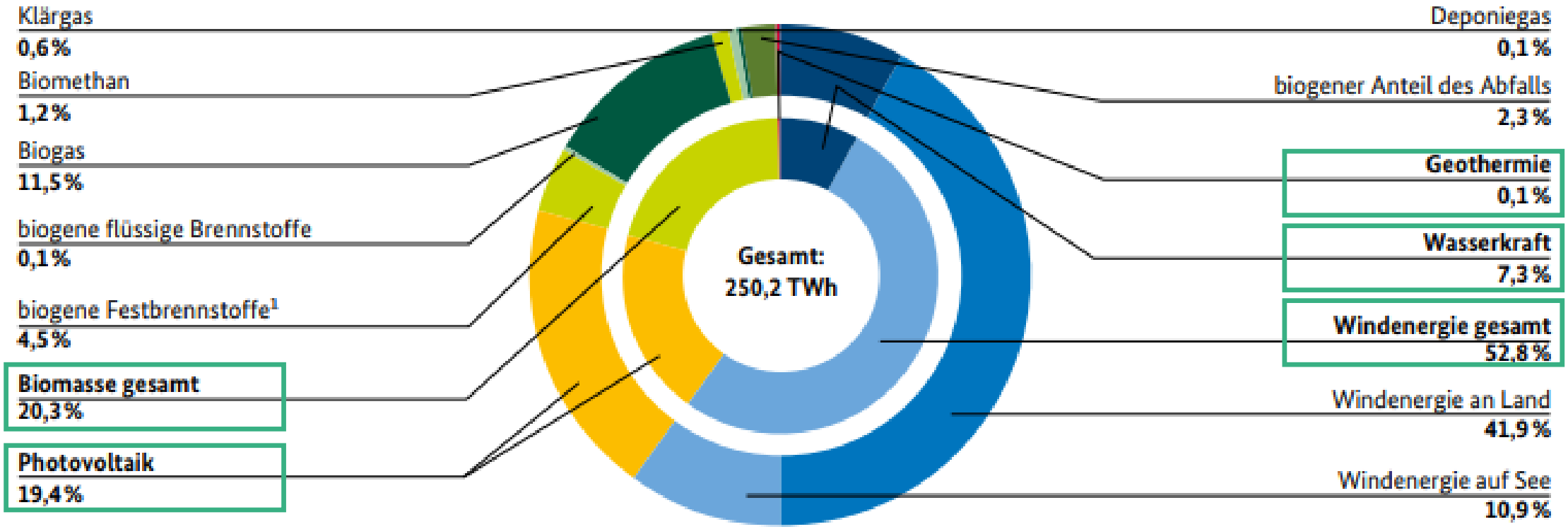
Bei hoher Ausschöpfung der Effizienz-Potenziale wird Fokus auf Erneuerbare Energien attraktiv

Erneuerbare Energien im Fokus von Unternehmen mit fortgeschrittenem Energiemanagement

PLUSPLUS
PRINZIP

STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

BRUTTOSTROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN (2020)



1 inkl. Klärschlamm

Quelle: Erneuerbare Energien in Zahlen 2020, BMWi

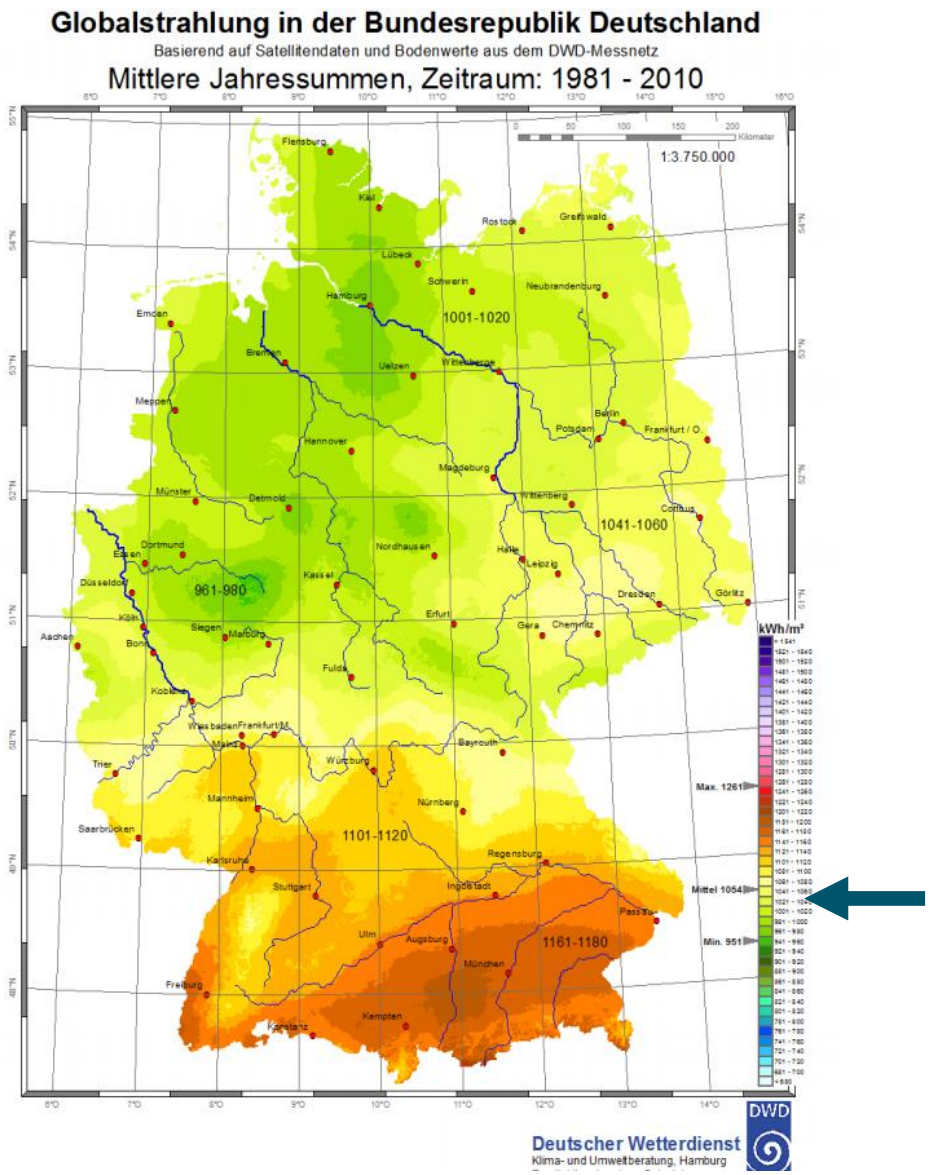
PLUSPLUS PRINZIP

STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN AM STANDORT

Photovoltaik

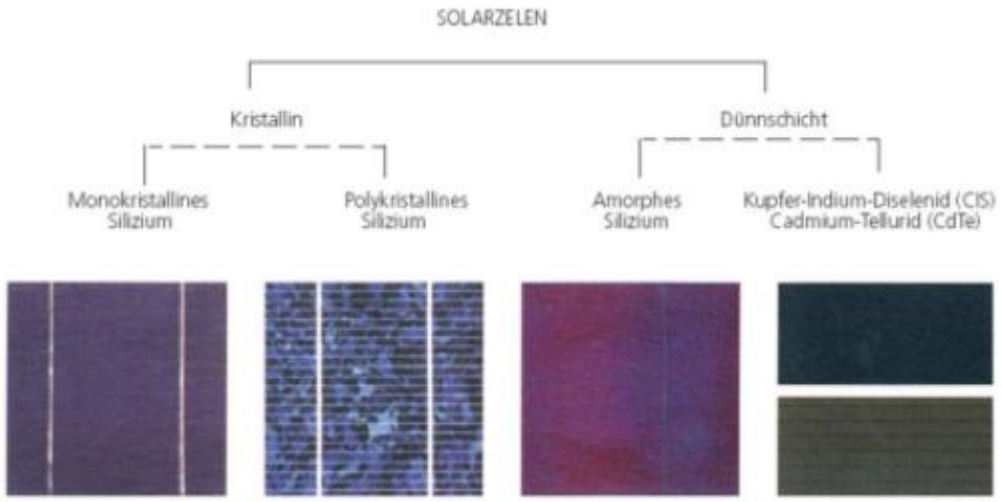
SONNENENERGIE

- **Möglicher Solarertrag abhängig vom Unternehmensstandort**
- **Globalstrahlung in Deutschland ca. 1000 kWh pro m² und Jahr**
- **Tendenziell: Im Süden mehr als im Norden, im Osten mehr als im Westen**



Quelle: Deutscher Wetterdienst

PHOTOVOLTAIK



Quelle: Solar Engineering, Dr.-Ing. Markus Spinnler

	Monokristallines Silizium	Polykristallines Silizium	Amorphes Silizium	CIS/CIGS & CdTe
Wirkungsgrad [%]	>21	17-18	7-9	7-12
Fläche [m^2/kWp]	5	8	15	>10
Ertrag [kWh/(a*kWp)]	≈1000 (in Norddeutschland)			

- Umwandlung Sonnenenergie in elektrische Energie
- Modulpreise stark gefallen, limitierender Faktor sind die Flächen
- Fokus auf Technologien mit hohem Stromertrag pro Fläche
- Größter Marktanteil: mono- und polykristalline Zelltypen (Wirkungsgrade bis ca. 20%)
- Keine bewegten Teile, daher sehr robust und geringe Wartungskosten

STANDORTBEDINGUNGEN PV-ANLAGE

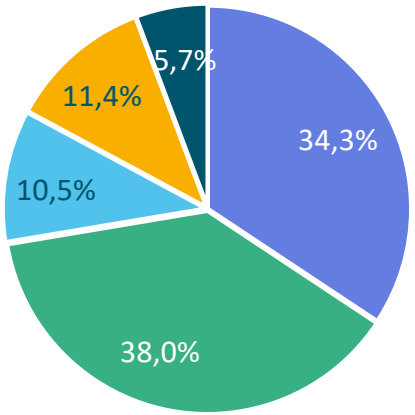
- **Optimale Planung PV-Anlage auf Flachdächern hat sich verändert:**
  - Früher: Süden, 30° Neigung (Optimierung anhand maximalem Ertrag/m²)
  - Heute: Maximale Flächenausnutzung, Neigung 20° zur Selbstreinigung u. Schutz Vereisung

Dachneigung	Ausrichtung (Abweichung in Grad von Süden)																		
	Süd	SüdOst SüdWest								Ost West	NordOst NordWest								Nord
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
0°	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%
10°	93%	93%	93%	92%	92%	91%	90%	89%	88%	86%	85%	84%	83%	81%	81%	80%	79%	79%	79%
20°	97%	97%	97%	96%	95%	93%	91%	89%	87%	85%	82%	80%	77%	75%	73%	71%	70%	70%	70%
30°	100%	99%	99%	97%	96%	94%	91%	88%	85%	82%	79%	75%	72%	69%	66%	64%	62%	61%	61%
40°	100%	99%	99%	97%	95%	93%	90%	86%	83%	79%	75%	71%	67%	63%	59%	56%	54%	52%	52%
50°	98%	97%	96%	95%	93%	90%	87%	83%	79%	75%	70%	66%	61%	56%	52%	48%	45%	44%	43%
60°	94%	93%	92%	91%	88%	85%	82%	78%	74%	70%	65%	60%	55%	50%	46%	41%	38%	36%	35%
70°	88%	87%	86%	85%	82%	79%	76%	72%	68%	70%	58%	54%	49%	44%	39%	35%	32%	29%	28%
80°	80%	79%	78%	77%	75%	72%	68%	65%	61%	56%	51%	47%	42%	37%	33%	29%	26%	24%	23%
90°	69%	69%	69%	67%	65%	63%	60%	56%	53%	48%	44%	40%	35%	31%	27%	24%	21%	19%	18%

Quelle: solarterasse.de

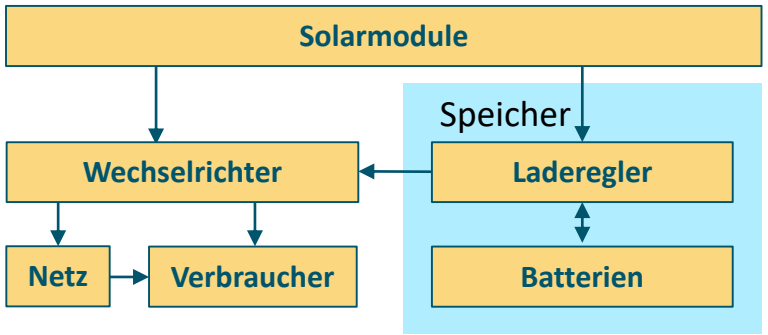
Quelle: Georg Ratjen ÖKOTEC, eigenes Foto einer aktuellen PV-Anlage

PREISZUSAMMENSETZUNG PV-SYSTEM



- Solarmodule 4 kWp
- Solarspeicher 4 kWh
- Wechselrichter
- Elektro-/Modulmontage
- Planung/Netzanschluss

Quelle: sonnenstrom.net/ installation/wirtschaftlichkeit/



Quelle: Eigene Abbildung

CAPEX	PV Dach Kleinanlagen (≤ 30 kWp)	PV Dach Großanlagen (> 30 kWp)	PV Freiflächenanlagen (> 1 MWp)	Batteriespeicher für PV Kleinanlagen (≤ 30 kWp, PV-Leistung zu Batteriekapazität 1:1)	Batteriespeicher für PV Dach Großanlagen (> 30 kWp, PV-Leistung zu Batteriekapazität 2:1)	Batteriespeicher für PV-Freiflächenanlagen (> 1 MWp, PV-Leistung zu Batteriekapazität 3:2)
Einheit	[EUR/kWp]	[EUR/kWp]	[EUR/kWp]	[EUR/kWh]	[EUR/kWh]	[EUR/kWh]
2021 niedrig	1000	750	530	500	600	500
2021 hoch	1600	1400	800	1200	1000	700

Tabelle 1: Spezifische Anlagenkosten EUR/kW bzw. EUR/kWh bei aktuellen Anlagen im Jahr 2021 (ohne Mehrwertsteuer).

Quelle: Frauenhofer ISE 2021: Stromgestehungskosten erneuerbarer Energien

HÄUFIGE THEMEN IM ZUSAMMENHANG MIT PV-ANLAGEN

Merkliste (nicht vollständig)
Statische Sicherheit und beständige Befestigung bei Schrägdächern
Dachdichtigkeit, kein Eindrücken der Wärmedämmung
Keine Behinderung des Regenabflusses
Elektrische Sicherheit
Brandschutz
Zugänglichkeit anderer Anlagen (z. B. Freikühler) bzgl. Wartung
Sicherheitsabstände zu Dachrändern
evtl. Baugenehmigung nötig
Regelmäßige Instandhaltung und Wartung
Mögliche Steuern und Umlagen
Vermarktungspflichten ab bestimmten Ausbaugraden
Ausstattung mit Messtechnik und netzdienlicher Regelungstechnik

EINSPEISEVERGÜTUNG PV-ANLAGEN

Durch Neuerungen des EEG 2023:

- Wahl zwischen Volleinspeisung und Teileinspeisung (Einspeisung des Überschusses bzw. reine Eigennutzung)
- Bis 100 kWp Wahl zwischen feste Einspeisevergütung und Direktvermarktung Darüber hinaus wird Direktvermarktung Pflicht
- Das Marktprämienmodell garantiert weiterhin ein Mindestpreis. Keine Preis Degression bis 2024

Typ	Leistung in kW_p	Einspeisevergütung in ct/kWh Teileinspeisung	Einspeisevergütung in ct/kWh Volleinspeisung
Gebäude, Schallschutz mauer gemäß § 48 EEG 2023	0 bis 10	8,6	13,4
	> 10 bis 40	7,5	11,3
	> 40 bis 100	6,2	11,3
	>100 bis 400	6,2	9,4
	>400 bis 1.000	6,2	8,1
Freiflächen/ sonstige Anlagen	Bis 1.000	7,0	7,0

Bei aktuelle Strompreise:

1. Deckung Eigenverbrauch ist wirtschaftlicher als Einspeisung!
2. Direktvermarktung lohnt sich auch bei kleine Anlagen!

WEITERE ASPEKTE VON PV-ANLAGEN > 100 KWP NENNLEISTUNG

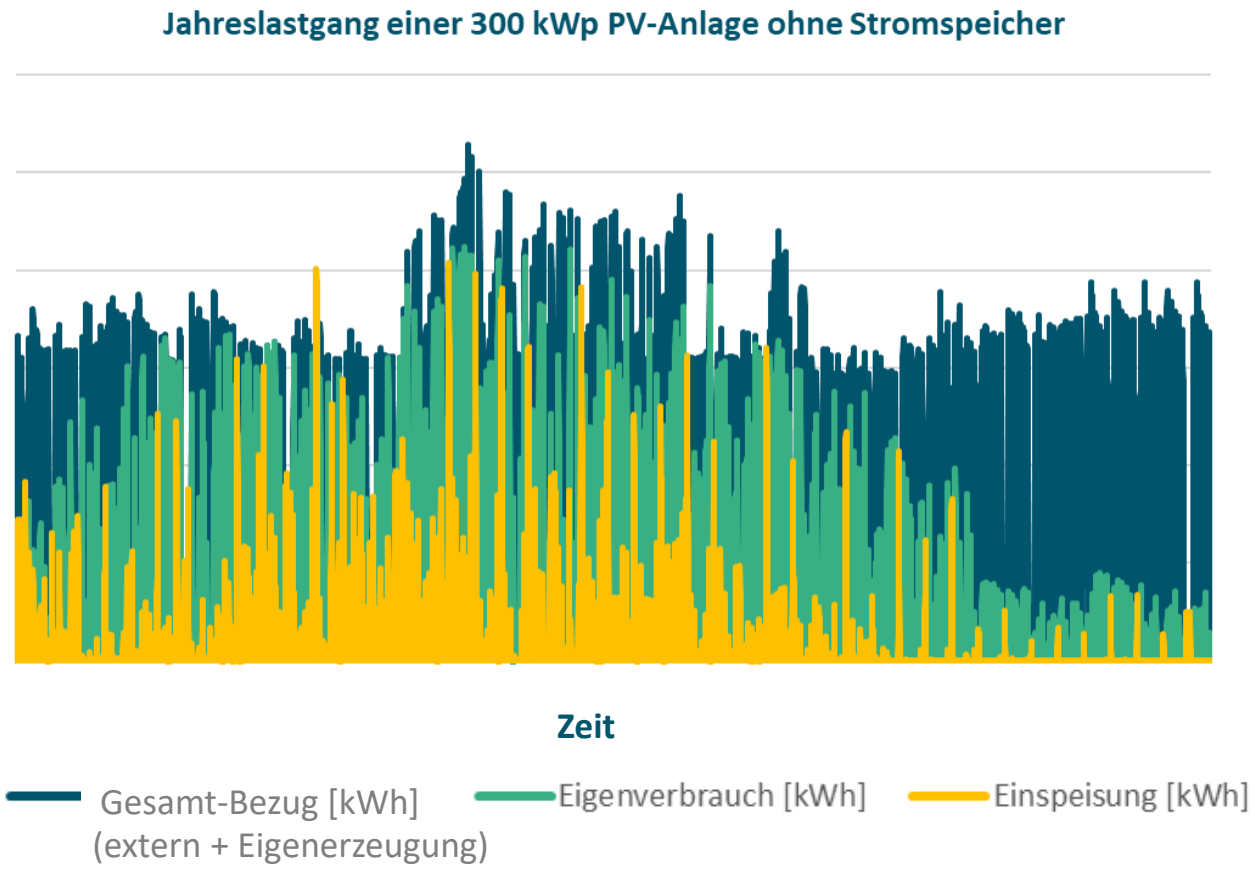
Nennleistung größer 100 kWp	
Anlagen mit einer Nennleistung von 100 – 1000 kWp	Pflicht zur Direktvermarktung mit weiteren Vorschriften (Fernsteuerbarkeit durch den Netzbetreiber, Ertragsprognosepflicht…)
neue Anlagen mit einer Nennleistung von 1000 kWp bis 20 MWp	verpflichtet zur Teilnahme an Ausschreibungen, Eigenversorgung zulässig; das jährliche Ausschreibungsvolumen wurde durch EEG 2023 wesentlich ausgebaut
PV-Freiflächenanlagen auf 20 MW begrenzt	

PLUSPLUS PRINZIP

STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN AM STANDORT

HILFSTECHNOLOGIE: STROMSPEICHER

STROMSPEICHER

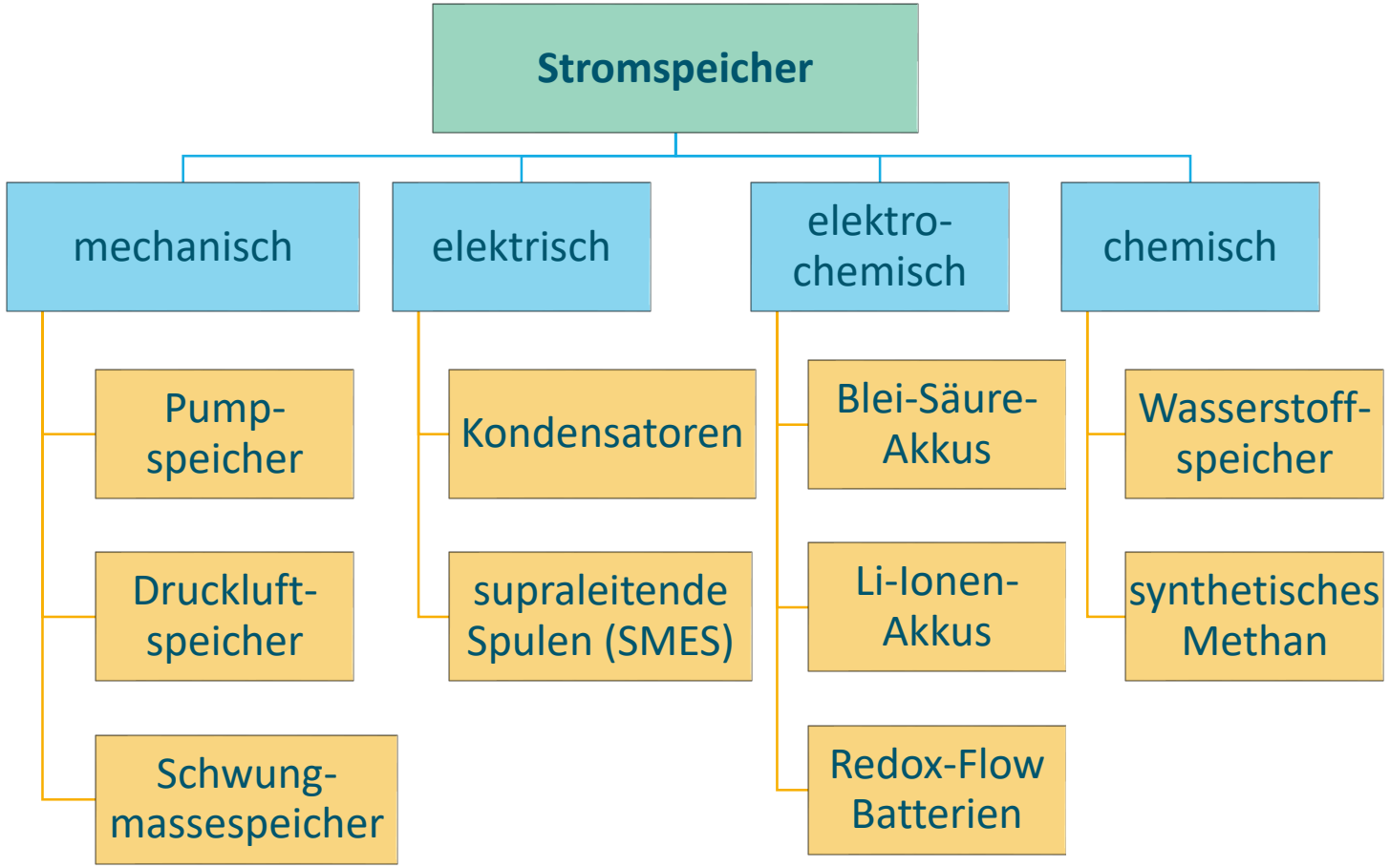


Quelle: ÖKOTEC

Motivation für Stromspeicher

- Zuverlässige, unterbrechungsfreie Stromversorgung
- Vermeidung von Netzeinspeisung bei „Überschüssen“
- Zusätzliche Flexibilitätsoptionen beim Stromeinkauf
- Lastmanagement

STROMSPEICHER



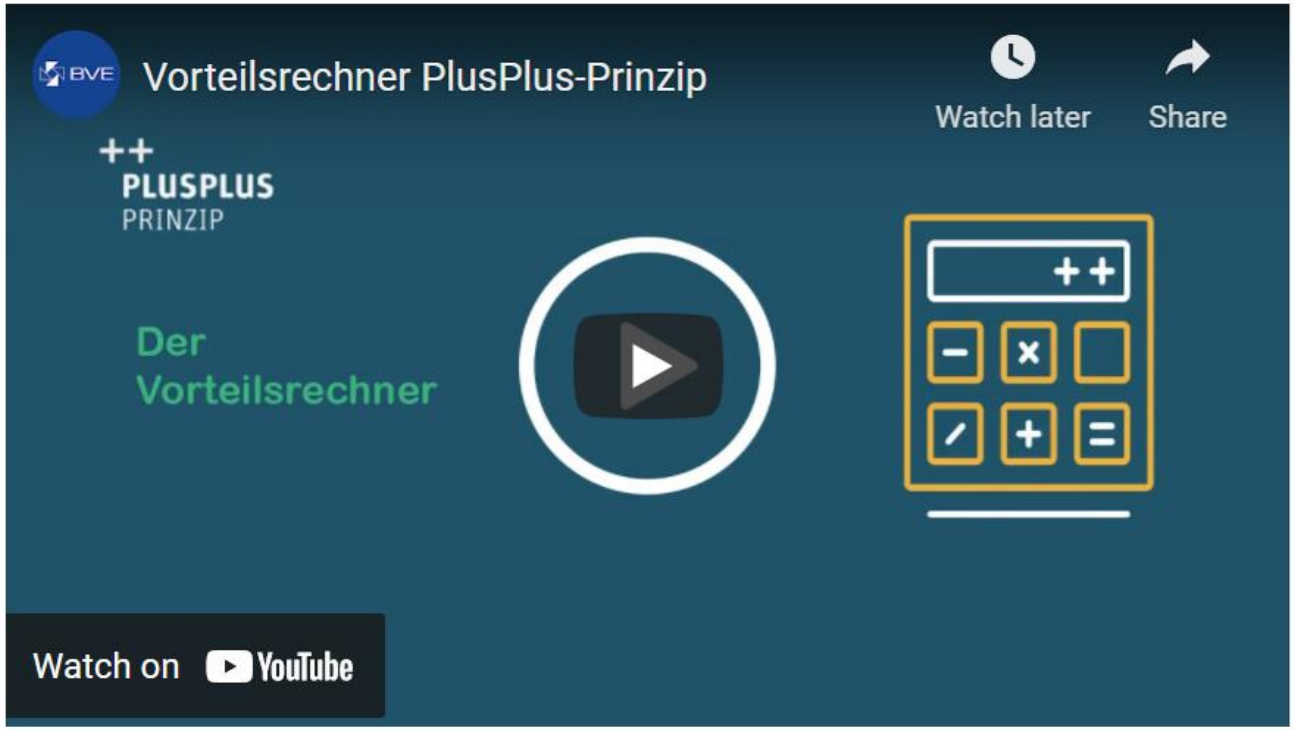
Quelle: ÖKOTEC auf Basis: Wissenschaftlicher Dienst des Deutschen Bundestags

Batteriespeicher Li-Ion (gängigste Form aufgrund Zyklen und Effizienz):

- **ca. 800 € pro kWh(el) bei 20 kWh(el) Speichervolumen**
- **ca. 6.000 Zyklen bei 95% Entladung**

PHOTOVOLTAIK MIT UND OHNE STROMSPEICHER

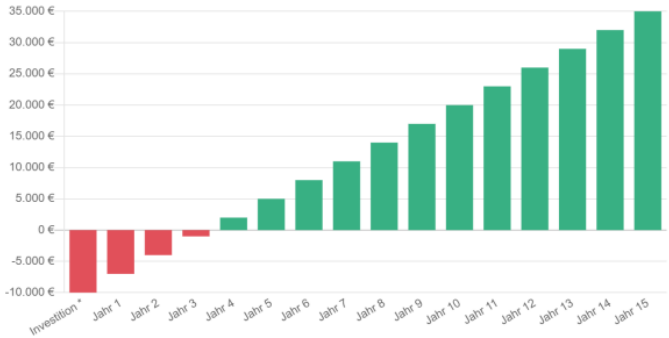
Rechenbeispiel mit dem 5-Minuten-Vorteilsrechner



WIRTSCHAFTLICHKEITSKENNZAHLEN

dynamische Amortisationszeit	3,33 Jahre
Kapitalwert	35.000,00 €
Annuität	2.333,33 €/a
Interne Verzinsung	29,37 %
Return on Investment	175,00 %

KUMULIERTE CASH-FLOWS (BARWERTE)



* incl. Fördersumme

CO2- UND KOSTENEINSPARUNGEN PRO JAHR

	IST-Zustand	SOLL-Zustand
CO2-Emissionen	161,10 tCO2	107,40 tCO2
Einsparungen CO2-Emissionen		53,70 tCO2
Energiekosten	9.000,00 €	6.000,00 €
Einsparungen Energiekosten		3.000,00 €
Weitere Kosten	0,00 €	

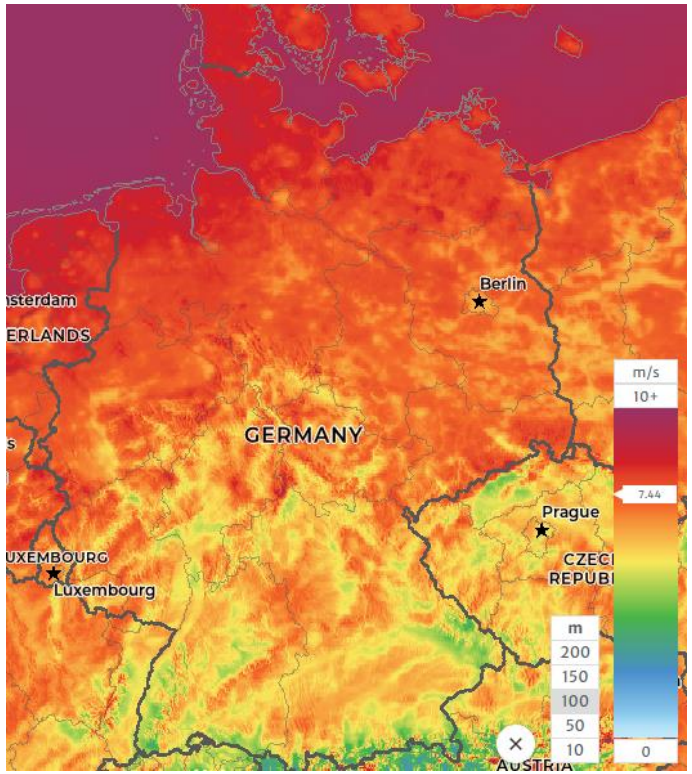
PLUSPLUS
PRINZIP

STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN AM STANDORT

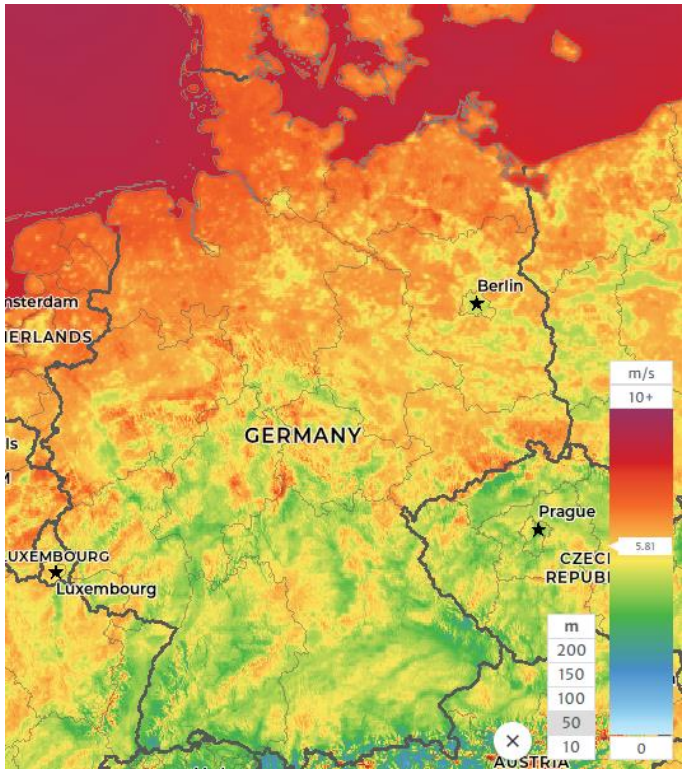
WINDENERGIE

WINDKRAFTANLAGEN

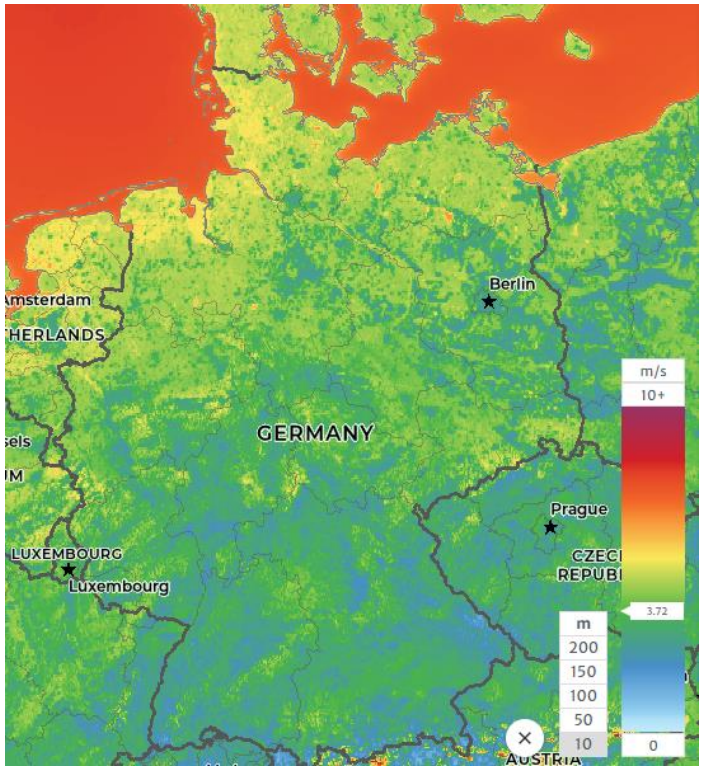
Je höher, desto mehr Windstärke



7,4 m/s auf 100m (Eisenach)



5,8 m/s auf 50m (Eisenach)



3,7 m/s auf 10m (Eisenach)

Quelle: Global Wind Atlas

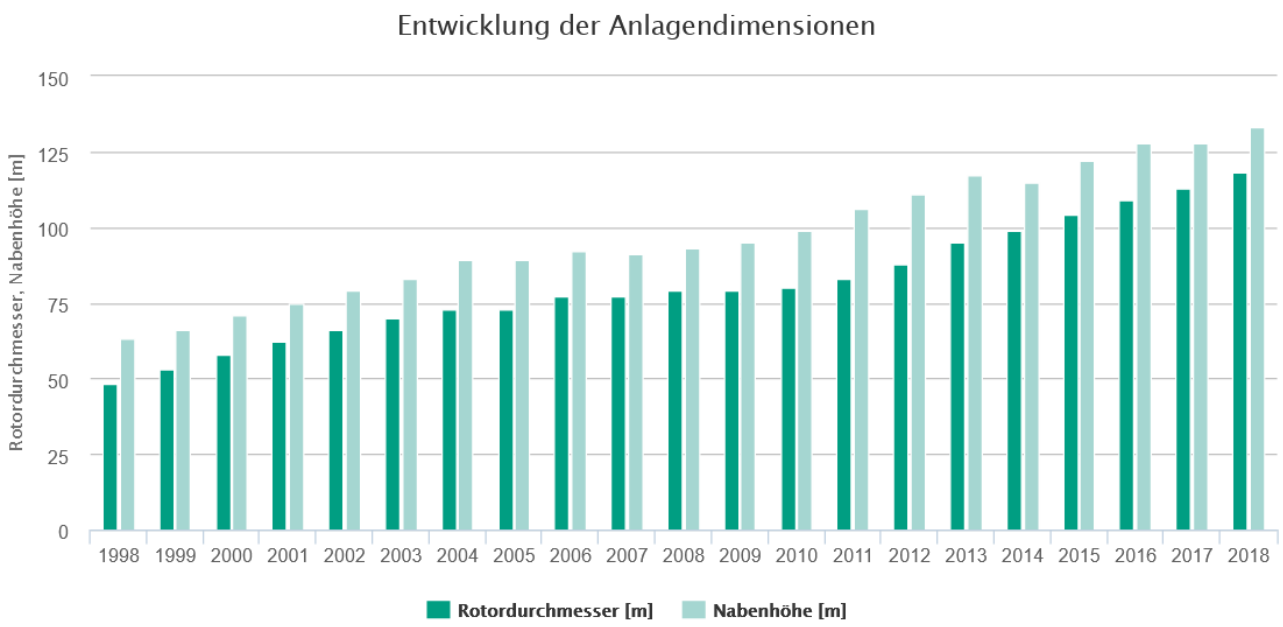
WINDKRAFTANLAGEN

- **Windgeschwindigkeit geht mit <u>drittem Grad</u> in Windleistung ein!**

$$P_{Wind} = \frac{1}{2}\rho\pi R^2 v^3$$

- **Rotorradius geht <u>quadratisch</u> ein**

→ Windräder sollen groß sein
→ Windräder sollen weit über dem Boden sein



Quelle: Fraunhofer IEE

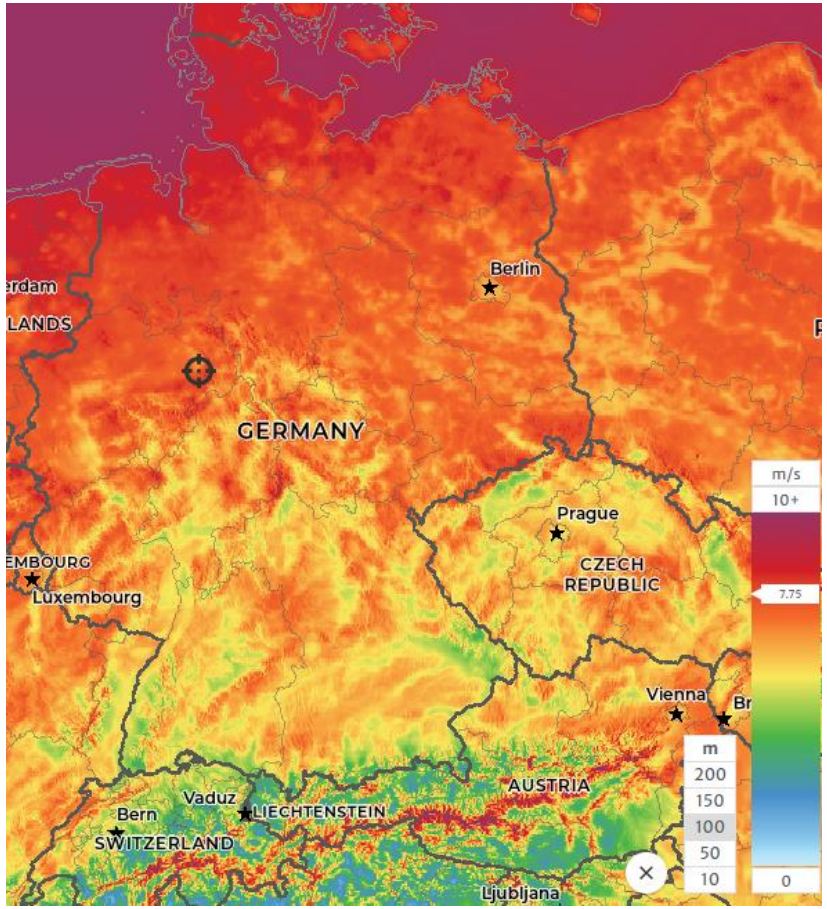
EIGENE WINDKRAFTANLAGE: GROßWINDANLAGE

Allgemeiner Richtwerte Onshore Großwindanlage

- 1400 bis 2000 € pro kW Nennleistung
- 1800 bis 3200 Volllaststunden je nach Standort

Quelle: Fraunhofer ISE, 2021

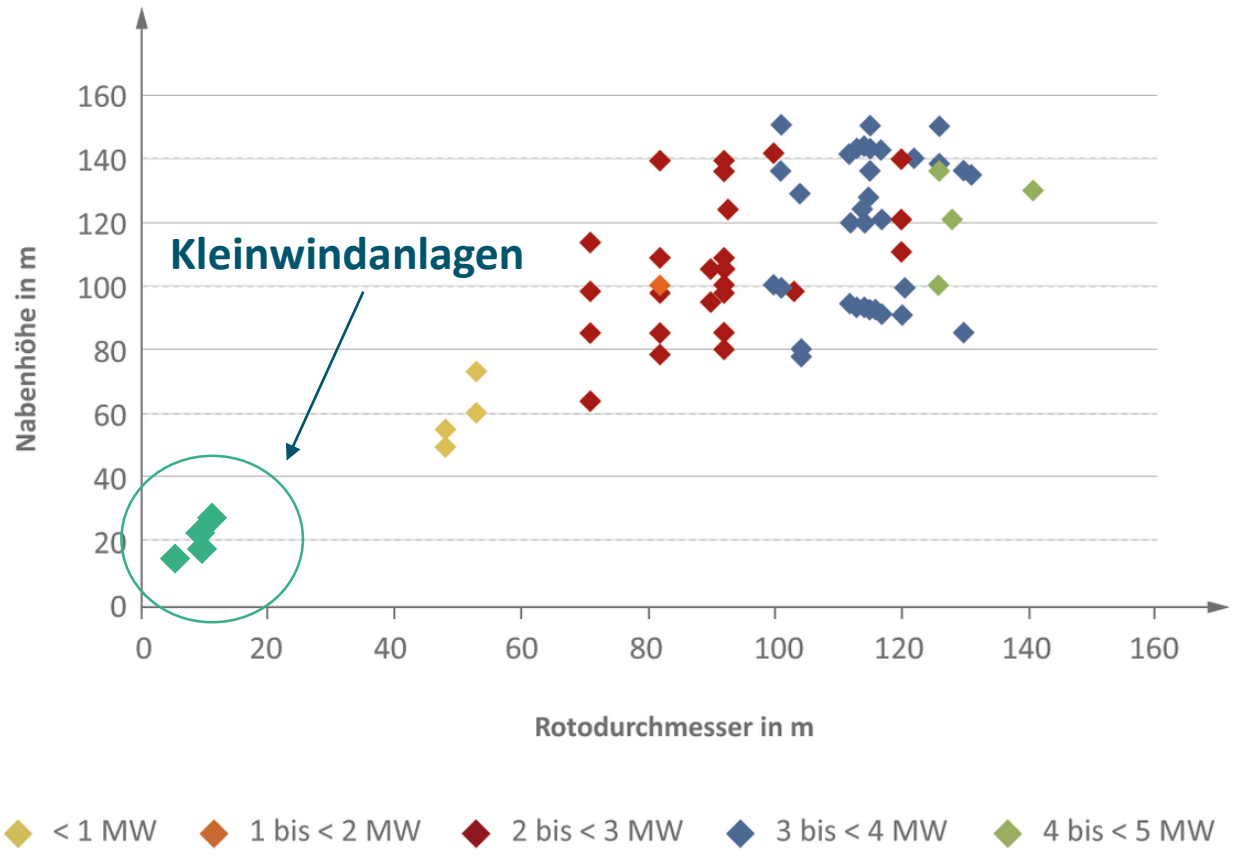
Quelle: Matthias Boeckel /pixabay.com



Quelle: Global Wind Atlas

7,8 m/s auf 100m (bei Paderborn)

WINDKRAFTANLAGEN



Quelle: wind-energie.de

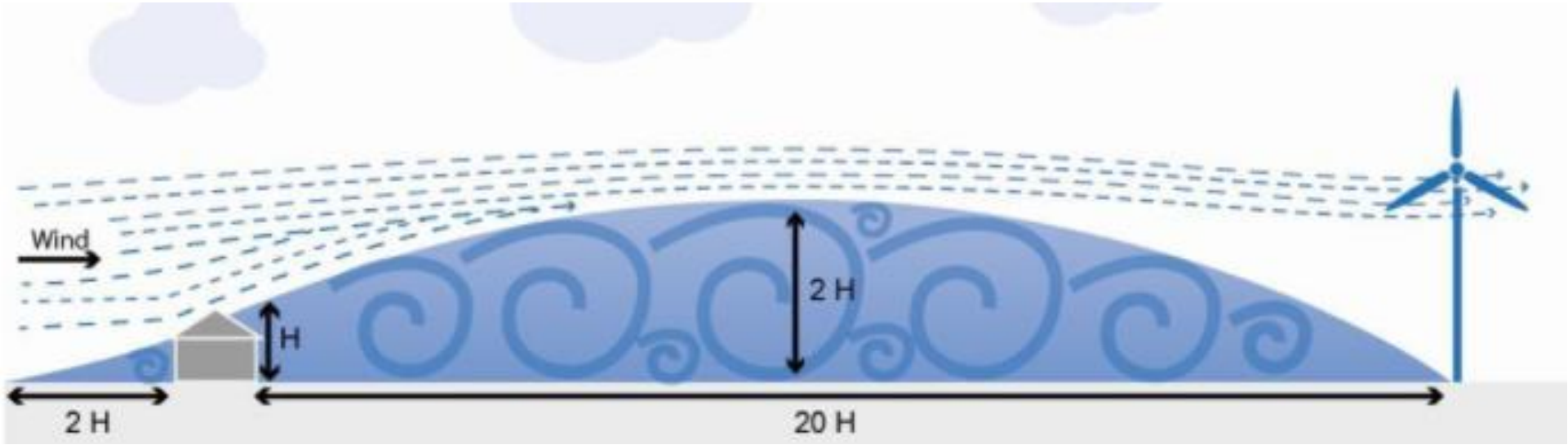
Quelle: pixabay.com

- Kleinwindanlage bis 75 kW
- Kosten: > 5.000 €/kW Nennleistung
- Wartungskosten (bewegte Teile!)
- weniger Volllaststunden

WINDKRAFTANLAGEN

Auch relativ weit entfernte Hindernisse beeinträchtigen Leistung

→ Möglichst freie Fläche vor Windkraftanlagen nötig



Quelle: Patrick Jüttemann

GESETZLICHE ANFORDERUNGEN AN WINDKRAFTANLAGEN

Bis 10 Meter Höhe	genehmigungsfrei
Ab 30 m Höhe	Einstufung als Sonderbau: steigende Anforderung in manchen Bundesländern
Ab 50 m Gesamthöhe	Großwindkraftanlagen: Genehmigungsverfahren richtet sich nach Bundes-Immissionsschutzgesetz

Weitere Regelungen beachten:

- Licht- und Lärmemissionen
- Natur- und Landschaftsschutz
- Denkmalschutz
- Teils Vetorechte der Kommunen

WINDKRAFTANLAGEN

Rahmenbedingungen

- keine EEG-Umlage mehr durch EEG 2023
- Windenergieanlagen an Land mit einer installierten Leistung ab 1000 kW (anstatt 750 kW) müssen ausgeschrieben werden
- Kleinwindkraftanlagen durch das Förderprogramm 270 der KfW förderfähig
- Selbstversorgungsverbot entfällt

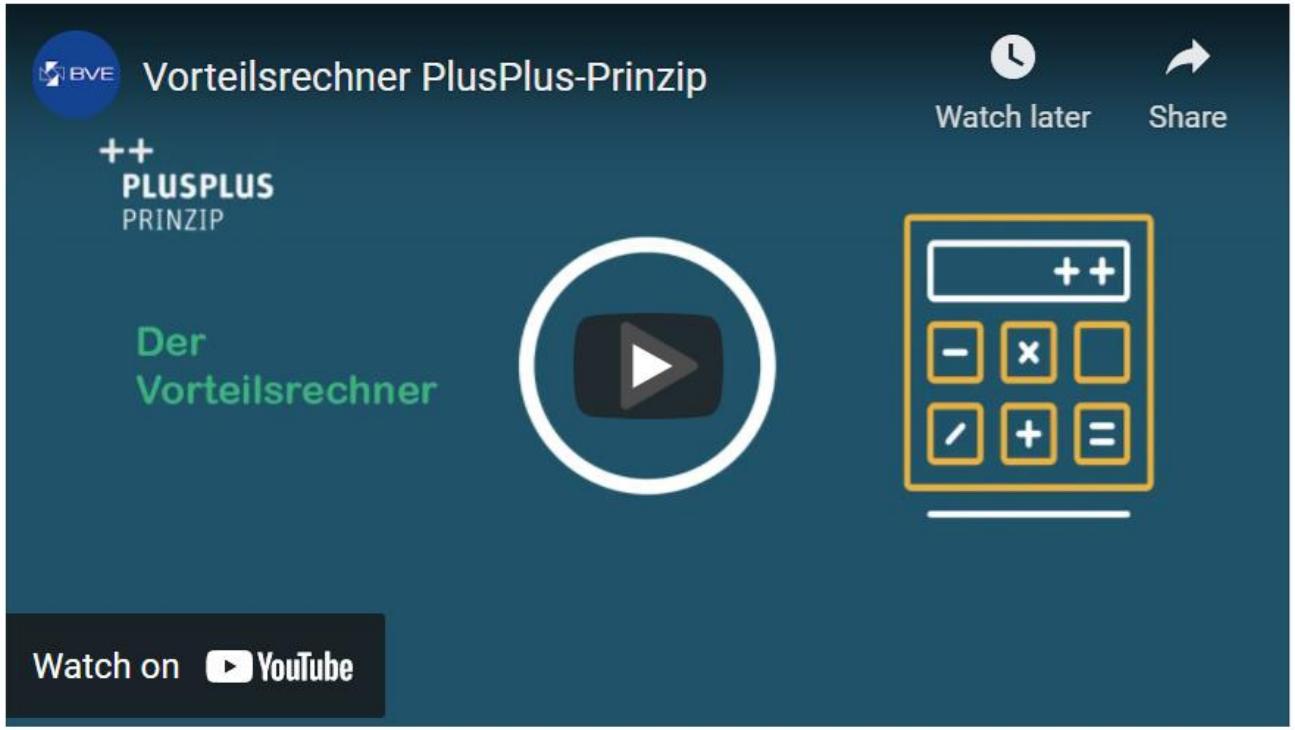
Einspeisevergütung

- Vergütungssätze werden jährlich individuell festgelegt und sind abhängig von den Ausschreibungen für Windenergie an Land im vorherigen Jahr (komplexes Verfahren)
- Für das Jahr 2022 wurde ca. 8,4 ct/kWh

Deckung des Eigenverbrauchs auch hier wirtschaftlicher als Einspeisung!

KLEINWINDANLAGE

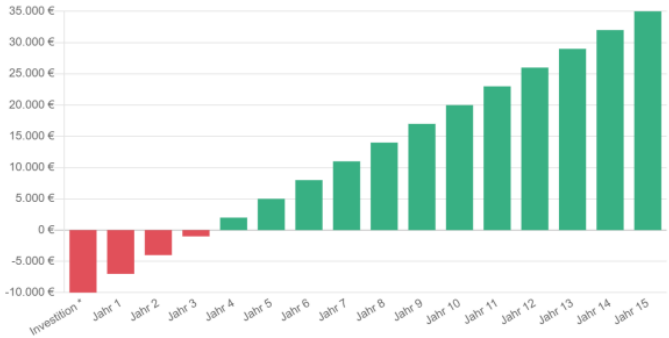
Rechenbeispiel mit dem 5-Minuten-Vorteilsrechner



WIRTSCHAFTLICHKEITSKENNZAHLEN

dynamische Amortisationszeit	3,33 Jahre
Kapitalwert	35.000,00 €
Annuität	2.333,33 €/a
Interne Verzinsung	29,37 %
Return on Investment	175,00 %

KUMULIERTE CASH-FLOWS (BARWERTE)



* incl. Fördersumme

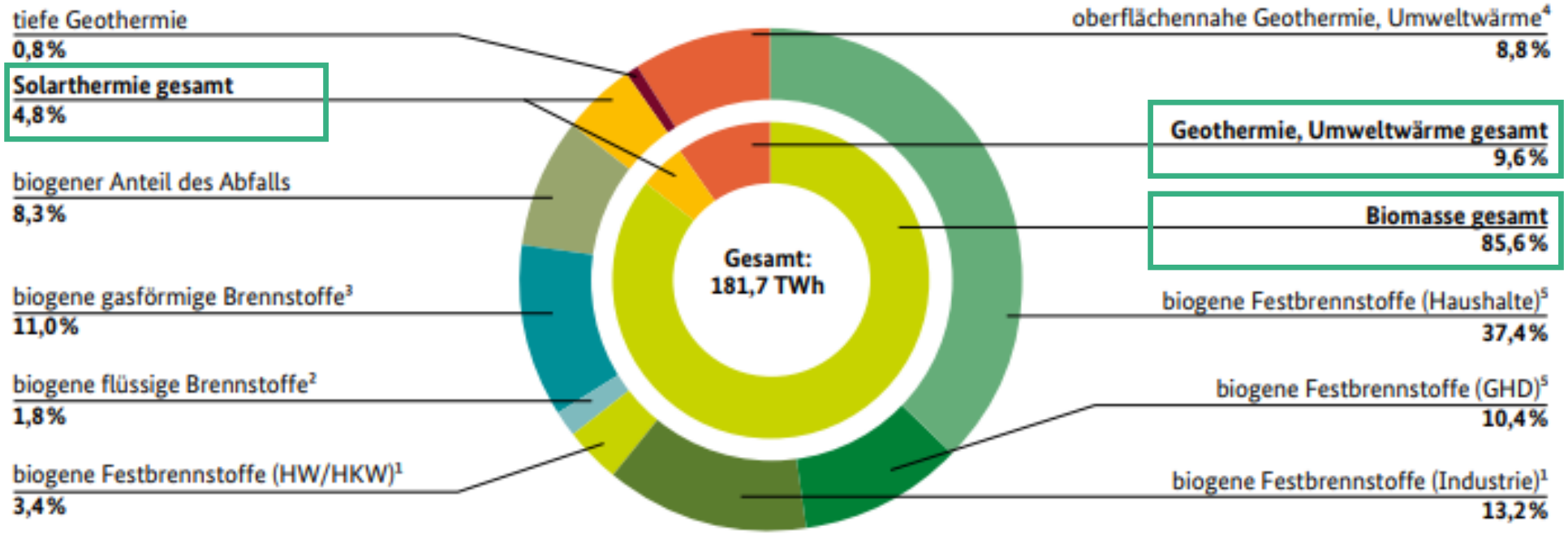
CO2- UND KOSTENEINSPARUNGEN PRO JAHR

	IST-Zustand	SOLL-Zustand
CO2-Emissionen	161,10 tCO2	107,40 tCO2
Einsparungen CO2-Emissionen		53,70 tCO2
Energiekosten	9.000,00 €	6.000,00 €
Einsparungen Energiekosten		3.000,00 €
Weitere Kosten	0,00 €	

PLUSPLUS
PRINZIP

WÄRMEERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

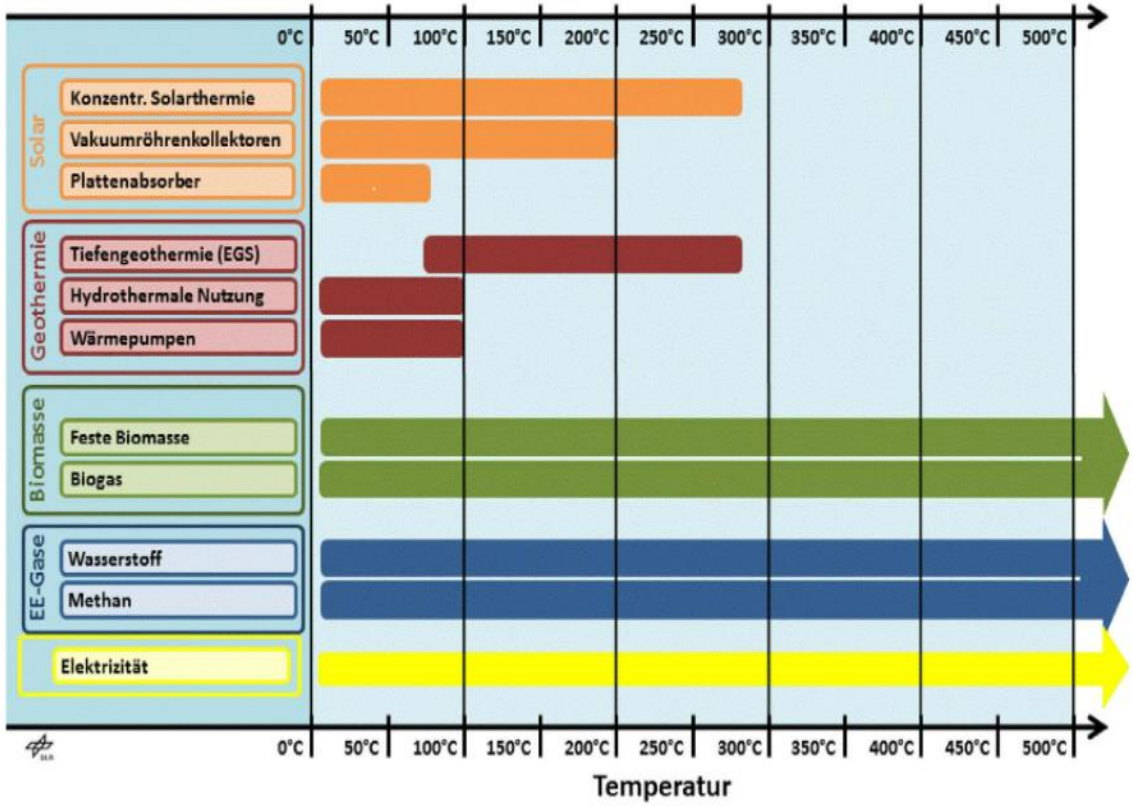
ENDENERGIEVERBRAUCH WÄRME AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN (2020)



1 inkl. Klärschlamm
2 inkl. Biodieselverbrauch für Land- und Forstwirtschaft, Baugewerbe und Militär
3 Biogas, Biomethan, Klär- und Deponiegas
4 durch Wärmepumpen nutzbar gemachte emeuerbare Wärme (Luft/Wasser-, Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen sowie Brauchwasser- und Gaswärmepumpen)
5 inkl. Holzkohle
Der Begriff „Endenergieverbrauch Wärme" umfasst auch den Endenergieverbrauch für Kälteanwendungen.

Quelle: Erneuerbare Energien in Zahlen 2020, BMWi

EINSATZMÖGLICHKEITEN ERNEUERBARER PROZESSWÄRME



Quelle: Prozesswärme für die Industrie, DLR, 2016

Prozesstemperatur in der Ernährungsindustrie

Vorwärmung Zusatzwasser		■	■	■	■	■							
Reinigen		■	■	■	■								
Rösten							■	■					
Extrudieren							■	■	■	■	■		
Zuckerlösen		■	■	■									
Waschen				■	■	■							
Verdampfen			■	■	■	■							
Backen,Braten Grillen, usw.									■	■	■	■	■
Schälen				■	■	■							
Trocknen		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Pasteurisieren				■	■	■							
Sterilisieren						■	■	■					
Kochen				■	■	■	■	■	■	■			
Temperatur [°C]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240

Quelle: Leitfaden solare Prozesswärme Ernährungsindustrie, Solarzentrum Hamburg, 2020

PLUSPLUS PRINZIP

WÄRMEERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN AM STANDORT

SOLARTHERMIE

SOLARTHERMIE

Quelle: fm-solar.de

Quelle: P3 – DLR

Flachkollektor
Für Temperaturen bis 70°C
spez. Kosten: 300 – 400 €/m²
Wirkungsgrad 60-85%

Vakuumröhren
Für Temperaturen bis 200 °C
spez. Kosten: 400 – 600 €/m²
Wirkungsgrad bis zu 90%

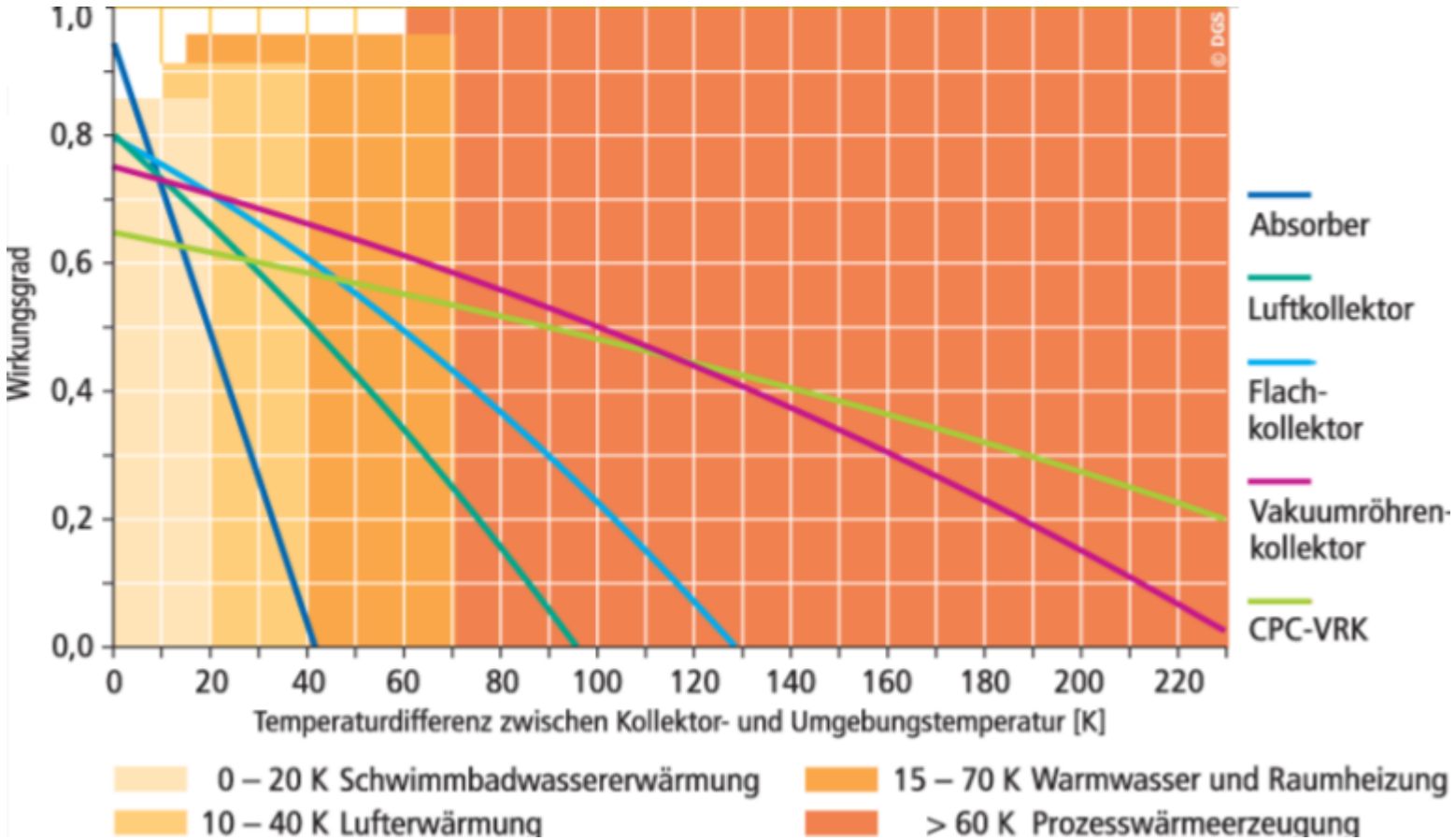
Parabolrinnenkollektor*
Für Temperaturen bis 400 °C,
Dampferzeugung
Wirkungsgrad ca. 80%

Quelle: Bosch Thermotechnik GmbH

*In DE nicht im Einsatz, aber Zukunftspotential trotz diffusem Licht

Wichtigste Faktoren zur Auslegung: Systemart und -größe, Sonnenstrahlung am Standort (W/m²), Speicherart und -größe und Nutzungstyp bzw. erforderliche Temperatur

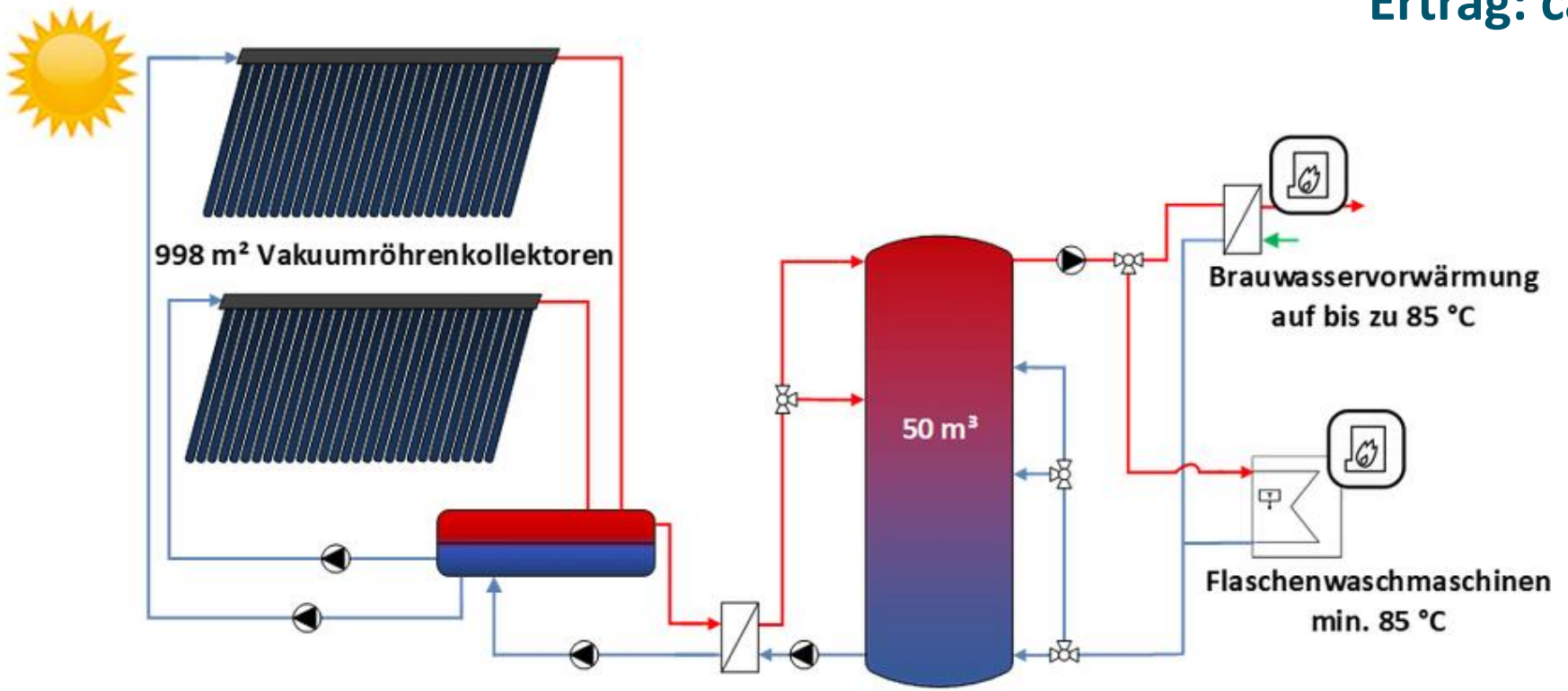
SOLARTHERMIE – WIRKUNGSGRAD IST STARK ABHÄNGIG VON ΔT



Quelle: Prof. Dr. Ing Lars Kühl, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften

SOLARTHERMIE - PRAXISBEISPIEL

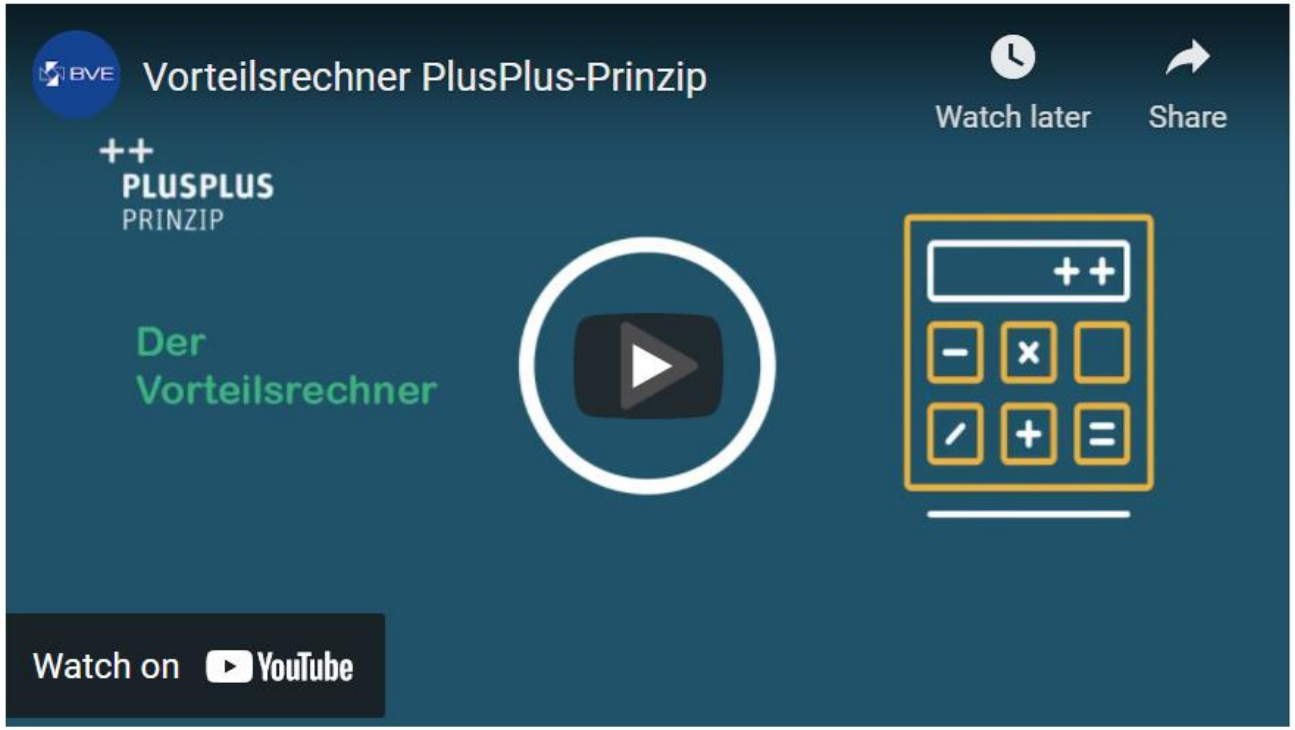
Ertrag: ca. 400 MWh/a



Quelle: https://www.solare-prozesswärme.info/best-practice/solare-prozesswaerme-bei-der-rothaus/#more-1436

SOLARTHERMIE IN 2 SZENARIEN

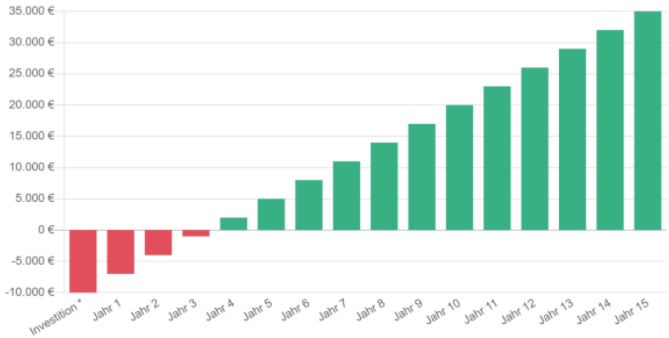
Rechenbeispiel mit dem 5-Minuten-Vorteilsrechner



WIRTSCHAFTLICHKEITSKENNZAHLEN

dynamische Amortisationszeit	3,33 Jahre
Kapitalwert	35.000,00 €
Annuität	2.333,33 €/a
Interne Verzinsung	29,37 %
Return on Investment	175,00 %

KUMULIERTE CASH-FLOWS (BARWERTE)



* incl. Fördersumme

CO2- UND KOSTENEINSPARUNGEN PRO JAHR

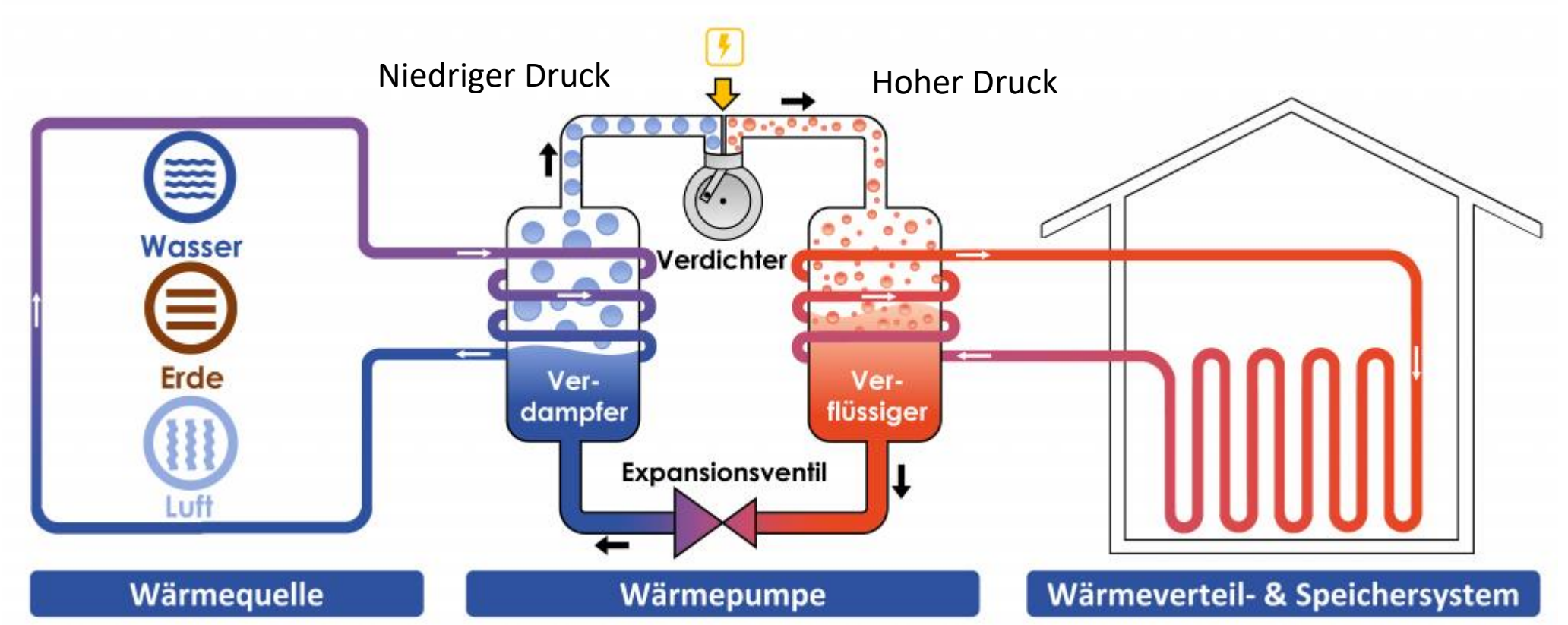
	IST-Zustand	SOLL-Zustand
CO2-Emissionen	161,10 tCO2	107,40 tCO2
Einsparungen CO2-Emissionen		53,70 tCO2
Energiekosten	9.000,00 €	6.000,00 €
Einsparungen Energiekosten		3.000,00 €
Weitere Kosten	0,00 €	

PLUSPLUS PRINZIP

WÄRMEERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

WÄRMEPUMPEN, GEOTHERMIE

WÄRMEPUMPE – DIE THERMODYNAMISCHE HEIZUNG

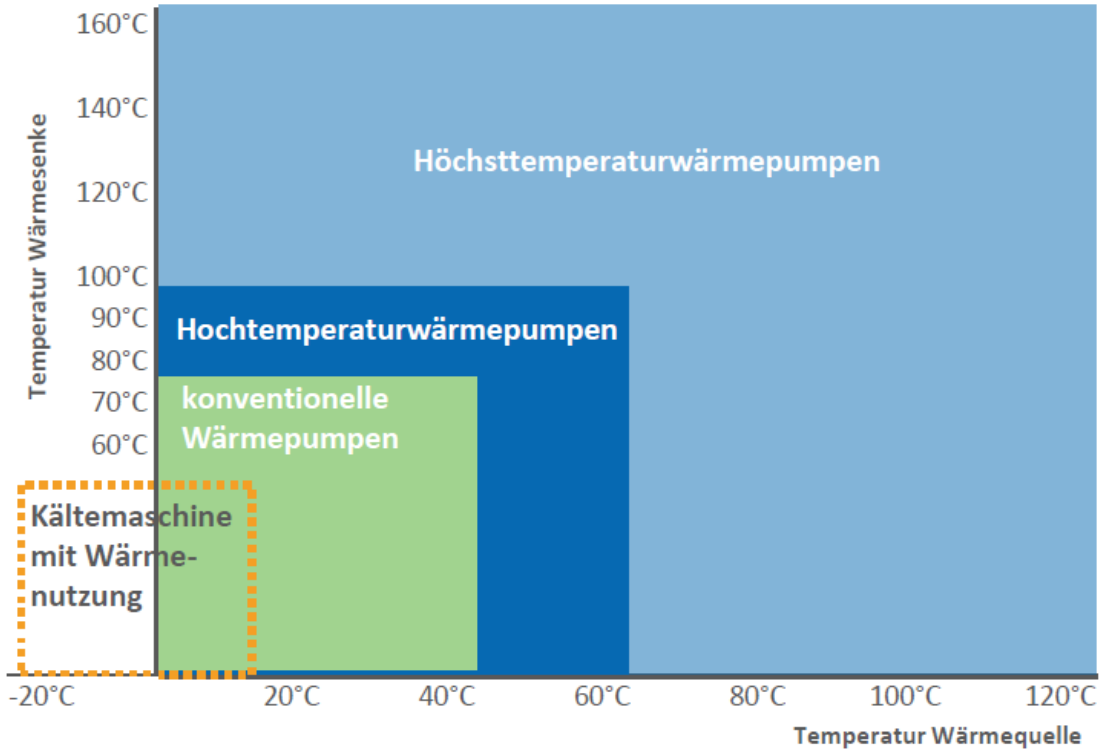


Quelle: CARMEN e. V.

- **Ideales Gasgesetz:** (Druck * Volumen) / Temperatur = konstant
- **Phasenübergang:** Latente Wärme Eintrag bei flüssig zu Gas, latente Wärme Abgabe bei Gas zu flüssig

WÄRMEPUMPEN – EINSATZBEREICHE UND EFFIZIENZ

Einteilung nach der Betriebstemperatur:



Quelle: eigene Darstellung

Coefficient of Performance (COP):

- Verhältnis von bereitgestellter Wärme und erforderlicher Stromaufnahme
- Je niedriger die Temperaturdifferenz zw. Wärmequellen- und Vorlauftemperatur, desto höher der mögliche COP
- Gefahr der falschen Auslegung hoch (und dann teure Heizung mit Heizstab)

WÄRMEPUMPEN – EFFIZIENZ

Beispiele für reale Leistungszahlen (COP) unterschiedlicher Wärmepumpen:

Bauart der Wärmepumpe	Wärmequellen-/ Vorlauftemperatur	Beispiele für COPs
Luft-Luft-Wärmepumpe	2°C/35°C	3-3,4
Luft-Luft-Wärmepumpe	-15°C/50°C	1,4-1,7
Luft-Wasser-Wärmepumpe	2°C/35°C	3,6-3,8
Luft-Wasser-Wärmepumpe	0°C/50°C	2,0-2,2
Sole-Wasser-Wärmepumpe	0°C/35°C	4,3-4,5
Sole-Wasser-Wärmepumpe	0°C/50°C	2,7-3,2
Wasser-Wasser-Wärmepumpe	10°C/35°C	5,1-5,8
Wasser-Wasser-Wärmepumpe	10°C/50°C	3,8-4,1

Quelle: Ingenieurbüro Junge

Bereich COP-Werte industrieller HTWP: 2,4-5,8 (bei ΔT 40-95 °C)

Quelle: Hochtemperatur Wärmepumpen, Dr. Cordin Arpagaus

WÄRMEQUELLEN VON WÄRMEPUMPEN

- **Mögliche Wärmequellen:**
  - Umgebungsluft
  - Erdreich
  - Grundwasser
  - Sonnenenergie
  - Abwärme (Abluft, Abgas oder Abwasser)
  - gespeicherter latenter Wärme (z. B. in einem Eisspeicher)

OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE ALS WÄRMEQUELLE FÜR WÄRMEPUMPEN

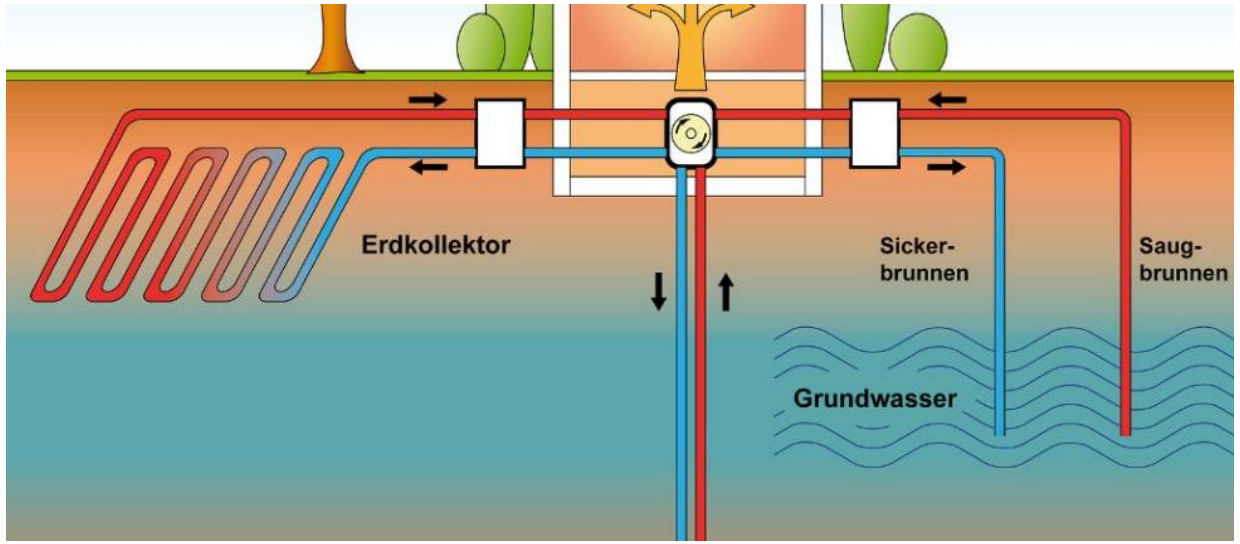
Oberflächennahe Geothermie an vielen Orten möglich

- In Deutschland meist <25 °C

- **Erdkollektoren**
  - 1,2 m bis 1,5 m Tiefe und Erträge von 10 bis 35 W/m²

- **Erdsonden**
  - Tiefenbohrung mit bis zu 100 m Tiefe und Erträgen von 30 bis 50 W/m

- **Offene Systeme: Sicker- und Saugbrunnen**
  - Je in 20 bis 30 m Tiefe und ca. 50 kW/Brunnen



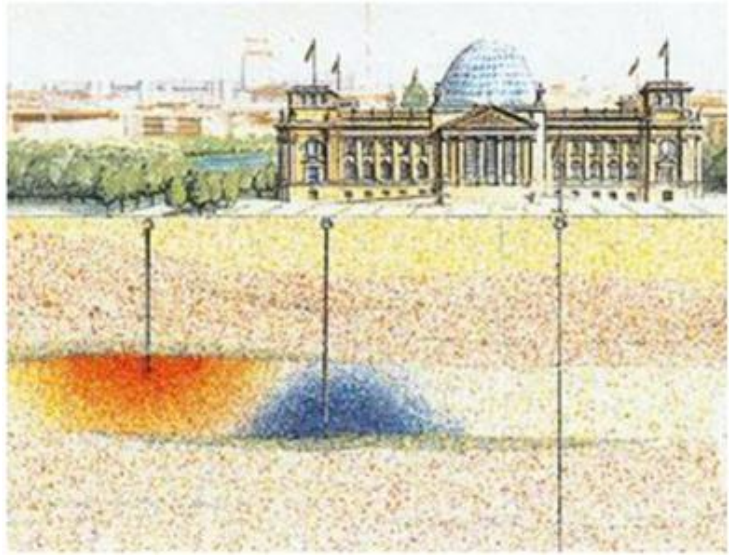
Quelle: muenchen.de

OBERFLÄCHENGEOTHERMIE - REGENERATION DES ERDREICHS

- **Wärme regeneriert sich, sofern Entnahme den Eintrag nicht übersteigt**

- **mögliche Wärmequellen für Regeneration (in Sommermonaten)**
  - Abwärmenutzung aus Produktionsprozesse, Kältemaschinen, Druckluftanlagen usw.
  - Luft/Sole-Wärmetauscher oder Abwasser/Sole-WT
  - Geocooling (Gebäudekühlung im Sommer über Erdsonden)
  - Solarwärme

- **Gemäß VDI-Richtlinie 4640 darf Temperaturänderung gegenüber der ungestörte Erdreichtemperatur nicht 11 Kelvin überschreiten!**



Quelle: Socaciu, Lavinia. (2012). SEASONAL THERMAL ENERGY STORAGE CONCEPTS. 55. 775-784

PLUSPLUS PRINZIP

WÄRMEERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

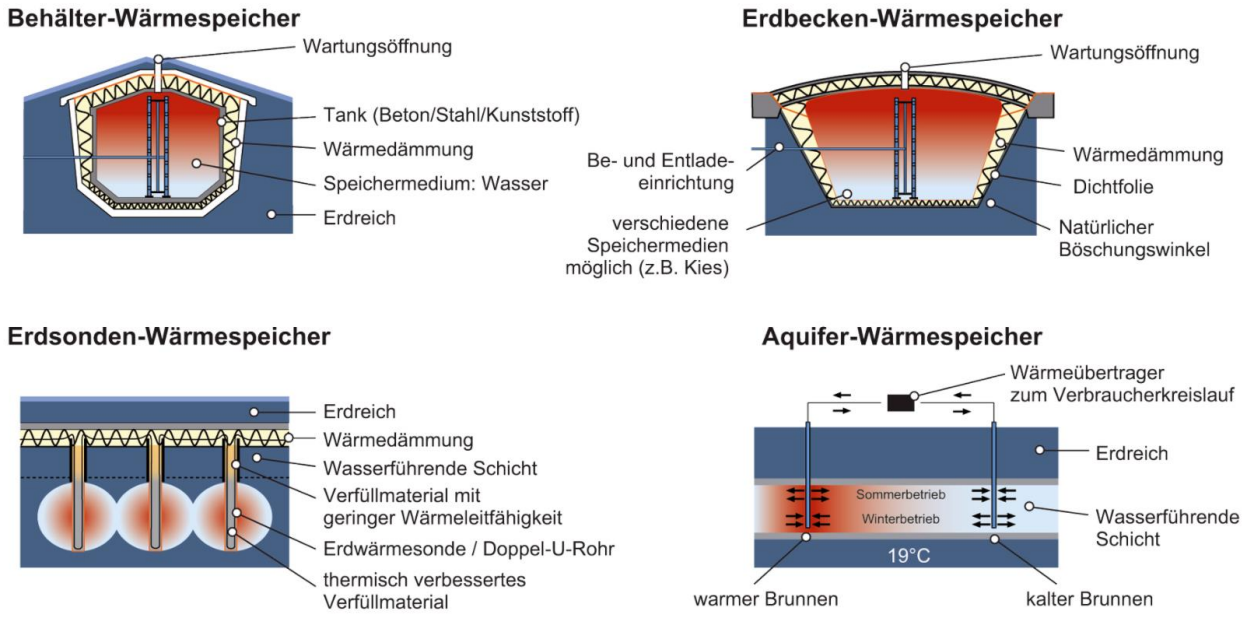
HILFSTECHNOLOGIEN: WÄRMESPEICHER

SENSIBLE WÄRMESPEICHER

- **Nutzung der fühlbaren Wärme des flüssigen oder festen Speichermediums**
- **Gespeicherte Energie abhängig von spezifischer Wärmekapazität des Speichermediums**
- **Üblichste Methode zur thermischen Speicherung in Form von Warmwasserspeichern**

- **Zwischenspeicherung ein Teil der tagsüber gewonnenen Wärme**
  - Pufferspeicher für kurzzeitige Wärmespeicherung
  - Saisonale Speicher für Speicherung über Wochen oder Monate

- **Typische Medien:**
  - Wasser, Magnesit, Beton, Erde

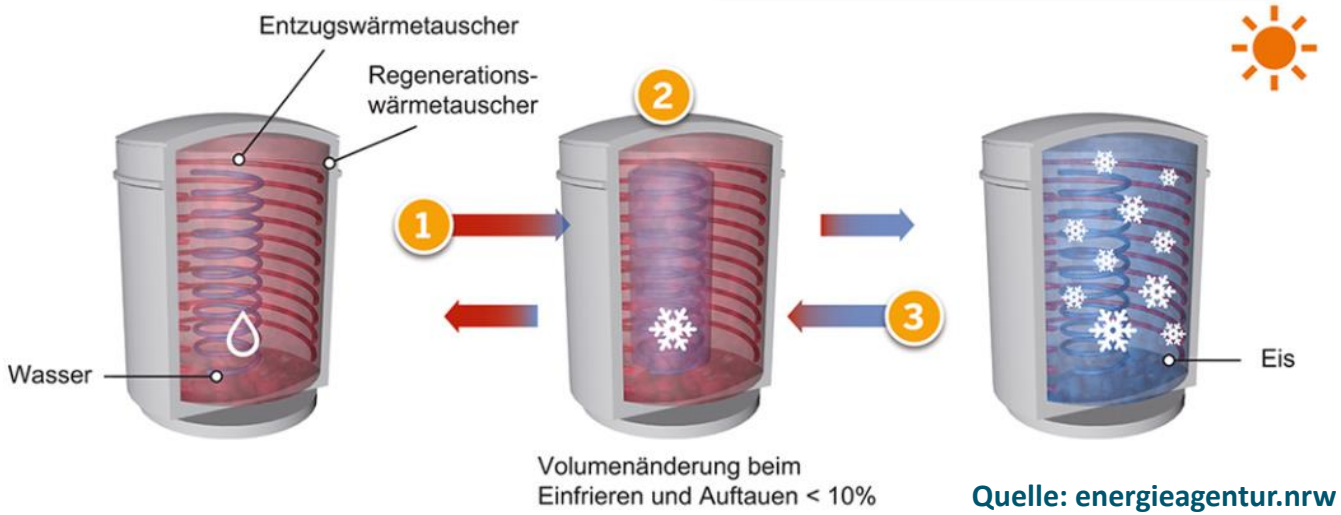


Quelle: energieagentur.nrw

LATENTE WÄRMESPEICHER

- **Nutzung der Änderung des Aggregatzustands vom Speichermedium:**
  - latente Wärme bleibt im Stoff gebunden und kann zum späteren Zeitpunkt freigesetzt werden
- **Wärmeaufnahme = Aggregatzustandsänderung fest -> flüssig**
- **Speichermedien: Phase-Change-Materials (PCM)**
  - Salzhydrate
  - Paraffine
  - wässrige Salzlösungen

Eisspeicher ist ein übliches Beispiel für latente Wärmespeicher



Quelle: energieagentur.nrw

PLUSPLUS PRINZIP

WÄRMEERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

ERNEUERBARE BRENNSTOFFE (KURZER ÜBERBLICK)

HOLZ, PELLETS, HOLZHACKSCHNITZEL

- **Bereitstellung Prozesswärme bis zu 500 °C**
- **CO_2-Emissionen nur bzgl.** Verarbeitung, Transport
- **Langfristige Lagerung möglich**

- **Holz zwar erneuerbar, aber nur begrenzt verfügbar**
- **hoher Platzbedarf für Silos**
- **Trockenhaltung der Biomasse gegen Pilzwachstum und bakterielle Prozesse nötig**

Vorteile:
- ✓ gut lagerfähig
- ✓ hohe Nutztemperaturen erreichbar
- ✓ Nachhaltig wenn Industrieabfälle

Nachteile:
- – höhere Kosten pro kWh
- – nicht vollständig CO_2-neutral
- – Ausbaupotenziale begrenzt
- – Nicht Nachhaltigkeit wenn Flächenkonkurrenz

Heizen mit Festbiomasse (z.B. Pellets) ist technisch eine gute Alternative zu Erdgaskesseln. Aber: Aufgrund von steigender Nachfrage und begrenzter Menge werden in naher Zukunft volatile Preise erwartet!

BIOGAS UND BIOMETHAN

Biogas (z. B. aus anaerober Vergärung)

- entsteht durch Vergärung von Biomasse jeder Art
- insbesondere sinnvoll: Biogas-produktion aus Bioabfällen
- Bereitstellung von Strom und Wärme z. B. mittels spezieller biogasbetriebener BHKW

Biomethan

- entsteht durch anschließende Aufbereitung von Biogas
- Chemische Eigenschaften vergleichbar zu Erdgas (daher auch „Bioerdgas“ genannt)
- Vorhandene Infrastruktur oft weiter nutzbar
- Einspeisung ins Erdgasnetz möglich
- Prozesswärme bis zu 1000 °C

Reduzierung der THG-Emissionen: Vergärung von Gülle und Bioabfälle führt zu weniger THG-Emissionen (N_2O und etwas CH_4) als bei der Lagerung dieser Reststoffe!

WEITERE ERNEUERBARE BRENNSTOFFE

„Grüner“ Wasserstoff

- Hergestellt z. B. mittels PEM Elektrolyse
- Elektrolyse bis 80% Wirkungsgrad
- Speicherung (unter Druck) energieaufwändig, ca. 50% Wirkungsgrad
- Leichte Entzündbarkeit

„Grüne“ Kohlenwasserstoffe

- Synthese von grünem Wasserstoff und grünem CO2
- Viele fossile Brennstoffe in chemischen Eigenschaften nachbildbar (z. B. Fischer Tropsch Prozess, Methanisierung)
- Mehrere Entwicklungsprojekte, am Markt noch kaum verfügbar
- Sehr energieaufwändig in der Herstellung, außerdem CO2-Quelle benötigt

In Ernährungsindustrie kaum relevant, da direkte Elektrifizierung thermischer Prozesse möglich

PLUSPLUS
PRINZIP

FAZIT UND AUSBLICK

FAZIT

Die wichtigsten Botschaften zum Mitnehmen

- **Investition in PV und Großwindanlagen (mehrere MW) und Solarthermie (für niedrige Temperaturniveaus) schon jetzt wirtschaftlich**
- **Wärmepumpen sind Schlüsseltechnologie zur Elektrifizierung der Wärmeerzeugung, aber hoher Preisunterschied zwischen Strom und Gas verhindert noch die Wirtschaftlichkeit**
- **Hochtemperaturwärme aus erneuerbaren Energiequellen im Moment nur mit erneuerbaren Brennstoffen oder elektrischer Direktheizung möglich**
- **Grüner Wasserstoff und grüne Kohlenwasserstoffe für Ernährungsindustrie kaum relevant**
- **Für die CO_2-Neutralität ist eine Kombination von Energieeffizienz, Einsatz Erneuerbarer Energien und Elektrifizierung der Prozesse der beste Weg**

WEITERE INFORMATIONEN

++ PLUSPLUS PRINZIP

Besuchen Sie die Kampagnen-Website für weitere Informationen & Unterlagen

www.pluspluspprinzip.de

Online-Checklisten

Vorteilsrechner

Online-Seminare

Nächste Termine:

Effiziente Lüftung am 09.12.2022, 10.00 Uhr

pluspluspprinzip.de/weiterbilden

++ PLUSPLUS PRINZIP

VIELEN DANK

Das PlusPlus-Prinzip –
Eine Klimaschutzkampagne
der deutschen Ernährungsindustrie

www.pluspluspprinzip.de

Dr. Kirsten Kubin

ÖKOTEC Energiemanagement GmbH
EUREF-Campus, Haus 13
Torgauer Straße 12-15
10829 Berlin
www.oekotec.de

Das PlusPlus-Prinzip – Eine Klimaschutzkampagne der deutschen Ernährungsindustrie

Bundesvereinigung der Deutschen ERNÄHRUNGS INDUSTRIE

Gemeinsam mit unseren Partner-unternehmen

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

enersuma Energy & Sustainability Management Consulting GmbH

ifeu INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages