



Anschaffung und Integration von Erneuerbaren Energien: PV, Solarthermie, BHKW, Erdwärme

Dr. Kirsten Kubin





Agenda

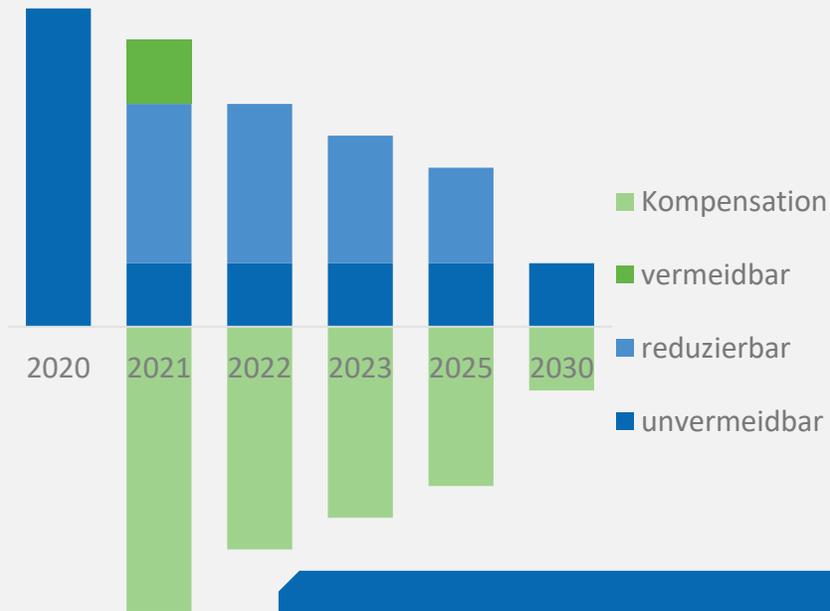
- 1 Hintergrund
- 2 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 2.1 Windenergie
 - 2.2 Solarenergie - Photovoltaik
- 3 Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 3.1 Solarthermie
 - 3.2 Geothermie
 - 3.3 Wärmepumpen
- 4 Blockheizkraftwerke
- 5 Fazit und Ausblick



Agenda

- 1 Hintergrund
- 2 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 2.1 Windenergie
 - 2.2 Solarenergie - Photovoltaik
- 3 Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 3.1 Solarthermie
 - 3.2 Geothermie
 - 3.3 Wärmepumpen
- 4 Blockheizkraftwerke
- 5 Fazit und Ausblick

Hintergrund Erreichung von Klimaneutralität



Grundprinzip einer Klimastrategie:



vermeiden



reduzieren



kompensieren

Vollständige Vermeidung und Reduktion der CO₂-Emissionen ist allein mit Energieeffizienz-Maßnahmen nicht möglich.

Erneuerbare Energien sind der Schlüssel zur Erreichung der Klimaneutralität!



Agenda

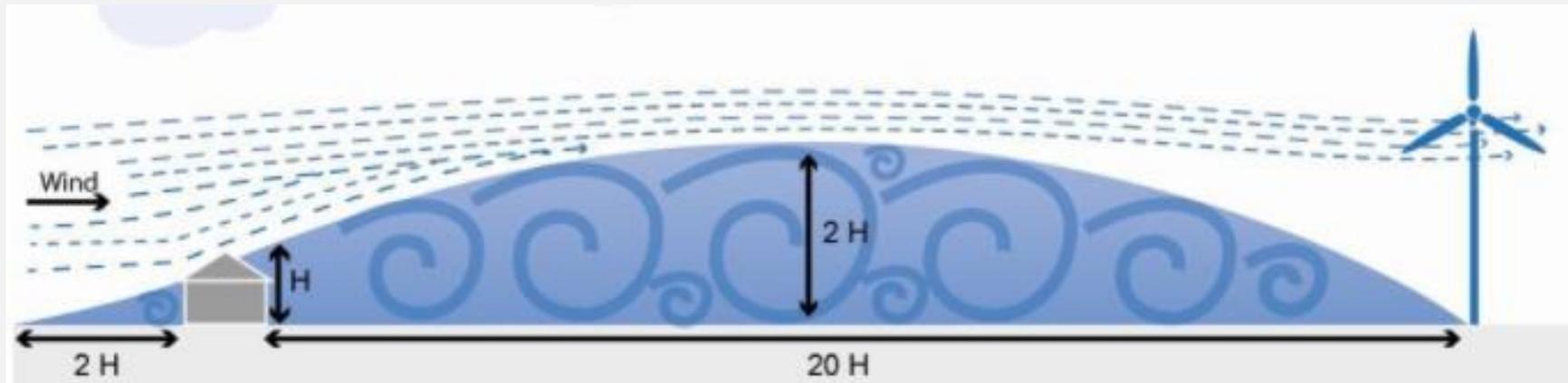
- 1 Hintergrund
- 2 **Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien**
 - 2.1 **Windenergie**
 - 2.2 Solarenergie - Photovoltaik
- 3 **Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien**
 - 3.1 Solarthermie
 - 3.2 Geothermie
 - 3.3 Wärmepumpen
- 4 Blockheizkraftwerke
- 5 Fazit und Ausblick

Windenergie

Voraussetzungen

- Windgeschwindigkeit geht mit drittem Grad in Windleistung ein, der Rotorradius quadratisch
 - Windräder sollen groß sein
 - Windräder sollen weit über dem Boden sein
- Möglichst freie Fläche Anströmung

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



Quelle: Patrick Jüttemann



Windenergie

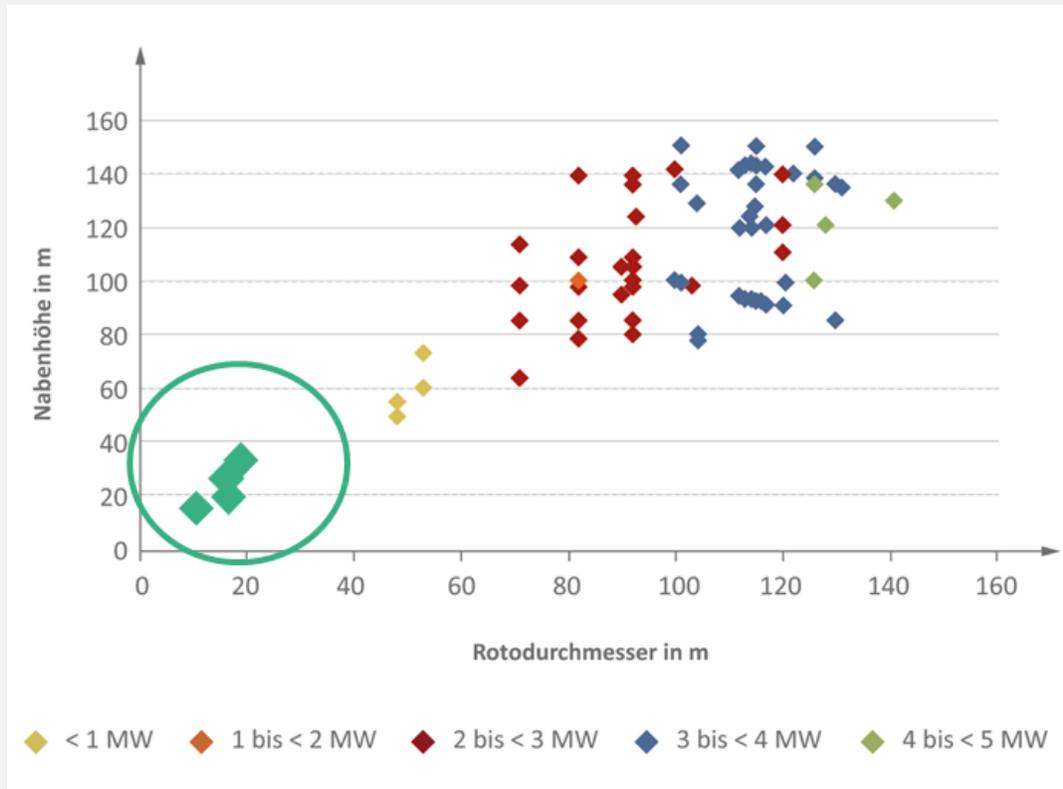
Gesetzliche Anforderungen an Windkraftanlagen

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

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

Windenergie Kleinwindanlagen



Quelle: pixabay.com

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

Windenergie

Hintergründe und Maßnahmen für Berlin

- Aktuell sechs Großwindanlagen in Betrieb, Gesamt-Bruttoleistung ca. 16,5 MW
 - Weitere 16 Anlagen mit 68 MW Leistung werden von den Berliner Stadtwerken auf den Berliner Stadtgütern und anderen Flächen in Brandenburg betrieben, die jedoch nicht auf die Energiebilanz des Landes Berlin angerechnet werden
- Senat wird Informationen bereitstellen
 - Zur technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit
- Perspektivisch überprüft der Senat, die technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeiten sowie die Genehmigungspraxis bei Klein-WKA
- Fazit: Zur Zeit nicht umsetzbar aber beobachten, was passiert



Quelle: <https://energieatlas.berlin.de>



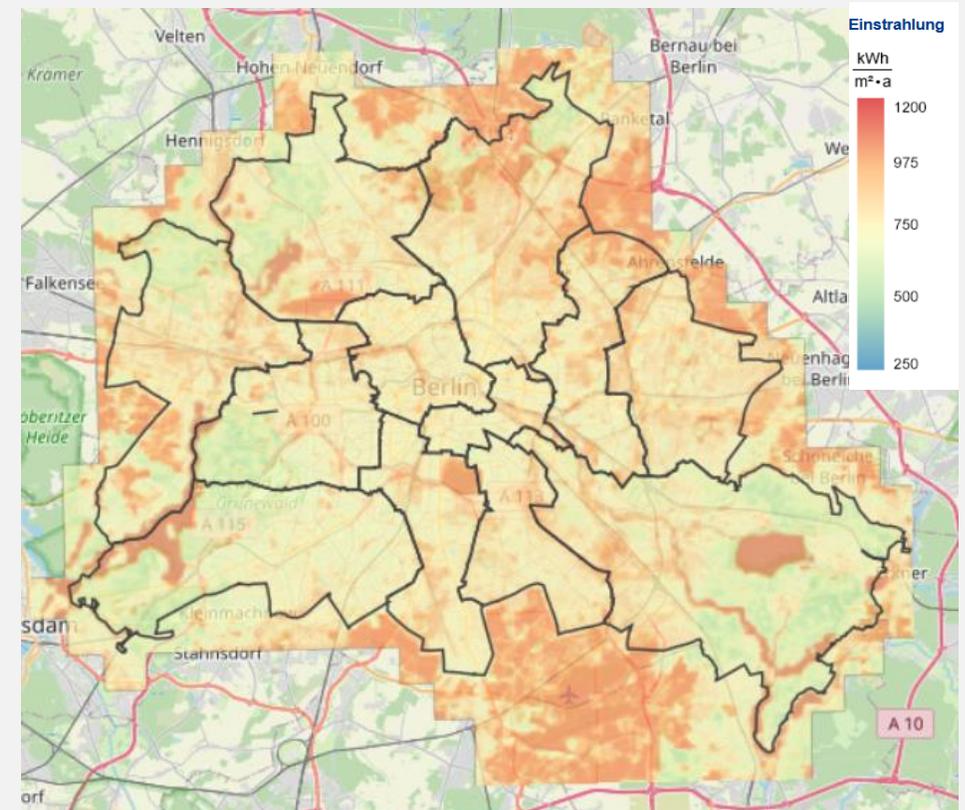
Agenda

- 1 Hintergrund
- 2 **Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien**
 - 2.1 Windenergie
 - 2.2 **Solarenergie - Photovoltaik**
- 3 Wärmeezeugung aus erneuerbaren Energien
 - 3.1 Solarthermie
 - 3.2 Geothermie
 - 3.3 Wärmepumpen
- 4 Blockheizkraftwerke
- 5 Fazit und Ausblick

Solarenergie - Photovoltaik

Voraussetzungen

- Solarertrag abhängig vom Unternehmensstandort
- Globalstrahlung in Deutschland ca. 1000 kWh pro m² und Jahr
 - entspricht ca. 1 MWh im Jahr pro 1kWp
 - Davon ca. 200 kWh pro 1kWp im Winter (Oktober – März)
- Maximalwerte am Beispiel Berlin
 - Horizontaler Fläche: 1.010 kWh/(m²·a)
 - Optimal nach Süden ausgerichtete, unverschattete Fläche: 1.133 kWh/(m²·a)



Quelle: <https://energieatlas.berlin.de>

Photovoltaik

Modultypen und Standortbedingungen

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

*) Kupfer-Indium-Diselenid; Cadmium-Tellurid

		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
Dachneigung	0°	87%	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%	79%
	20°	97%	97%	97%	96%	95%	93%	91%	89%	87%	85%	82%	80%	77%	75%	73%	71%	70%	70%	70%	70%
	30°	100%	99%	99%	97%	96%	94%	91%	88%	85%	82%	79%	75%	72%	69%	66%	64%	62%	61%	61%	61%
	40°	100%	99%	99%	97%	95%	93%	90%	86%	83%	79%	75%	71%	67%	63%	59%	56%	54%	52%	52%	52%
	50°	98%	97%	96%	95%	93%	90%	87%	83%	79%	75%	70%	66%	61%	56%	52%	48%	45%	44%	43%	43%
	60°	94%	93%	92%	91%	88%	85%	82%	78%	74%	70%	65%	60%	55%	50%	46%	41%	38%	36%	35%	35%
	70°	88%	87%	86%	85%	82%	79%	76%	72%	68%	70%	58%	54%	49%	44%	39%	35%	32%	29%	28%	28%
	80°	80%	79%	78%	77%	75%	72%	68%	65%	61%	56%	51%	47%	42%	37%	33%	29%	26%	24%	23%	23%
	90°	69%	69%	69%	67%	65%	63%	60%	56%	53%	48%	44%	40%	35%	31%	27%	24%	21%	19%	18%	18%

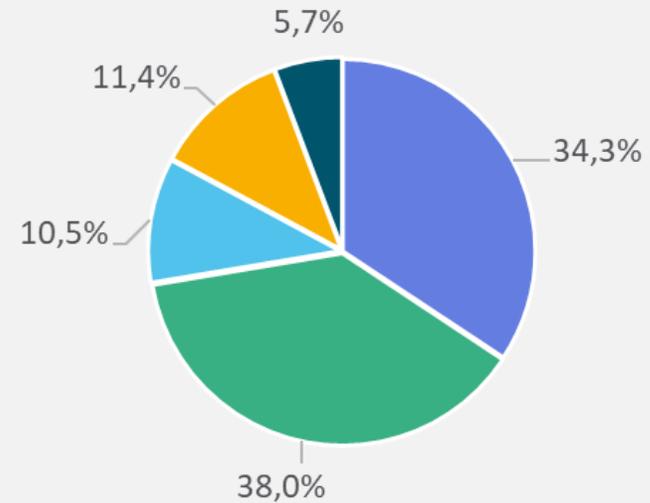
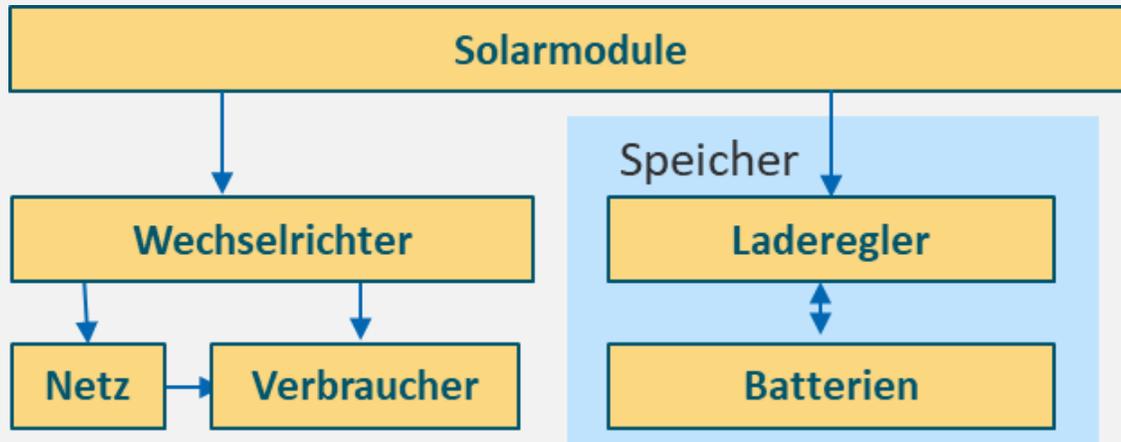
Quelle: solarterasse.de

- 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%)
- **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



Photovoltaik

Preiszusammensetzung PV-System



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



Photovoltaik

Eigennutzung und Ausspeisung (Stromverkauf)

- Grundsätzlich sind für neue Anlagen immer 2 Fälle je Anlage möglich:
 - Teilausspeisung (Eigennutzung und Ausspeisung des Überschusses bzw. reine Eigennutzung)
 - Vollausspeisung
- Vergütungsregelungen
 - Feste Einspeisevergütung: fester Betrag (bis 100 kWp)
 - Marktprämienmodell: Erlös an der Strombörse durch Direktvermarkter mit Mindestpreisgarantie (freiwillig unter 100 kWp, Pflicht über 100 kWp)
- Achtung: Für Bestandsanlagen gelten in der Regel die Preise und Bedingungen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme
- Alternativen
 - direkt langfristig mit Festpreis an Dritte verkaufen (Power Purchase Agreements)
 - die Anlage eines Dritten pachten
 - die eigene Dachfläche verpachten

Photovoltaik

Einspeisevergütung nach Leistungsklassen

- Einspeisevergütung nach Leistungsklassen
ab Juli 2022

Typ	Leistung in kW _p	Einspeisevergütung in ct/kWh Eigennutzung	Einspeisevergütung in ct/kWh Volleinspeisung
Gebäude, Schallschutzmauer gemäß §100 EEG 2021	0 bis 10	8,6	13,4
	> 10 bis 40	7,5	11,3
	> 40 bis 100	6,2	11,3
	>100 bis 300	6,2	9,4
	>300 bis 750	6,2	6,2
Freiflächen/ sonstige Anlagen	Bis 750	6,01	6,01
bis 31.12.22	> 300	Anspruch Vergütung nur für 80% der erzeugten Strommenge	

ab Januar 2023

Typ	Leistung in kW _p	Einspeisevergütung in ct/kWh Eigennutzung	Einspeisevergütung in ct/kWh Volleinspeisung
Gebäude, Schallschutzmauer 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

Deckung Eigenverbrauch ist wirtschaftlicher als Einspeisung!



Photovoltaik

Hintergründe und Maßnahmen für Berlin

- Berliner Senat beschloss im März 2020 den »Masterplan Solarcity« (Maßnahmenkatalog)
- Solarberatung über das Solarzentrum Berlin
- Solargesetz Berlin vom 15. Juli 2021:
Ab 01.01.2023 gilt eine **Solarpflicht** für Neubauten und für Bestandsgebäuden bei wesentlichen Umbauten des Daches
 - Bei Neubauten sind 30 Prozent der Bruttodachfläche und bei Bestandsgebäuden 30 Prozent der Nettodachfläche mit einer PV-Anlage zu belegen.
 - Die Pflicht gilt für nicht-öffentliche Gebäude.
 - Öffentliche Gebäude werde im Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz adressiert.
- Ab 01.09.2022 neues Förderprogramm „SolarPLUS“, um die Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen zu verbessern



Agenda

- 1 Hintergrund
- 2 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 2.1 Windenergie
 - 2.2 Solarenergie - Photovoltaik
- 3 Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien**
 - 3.1 Solarthermie**
 - 3.2 Geothermie
 - 3.3 Wärmepumpen
- 4 Blockheizkraftwerke
- 5 Fazit und Ausblick

Solarthermie Modultypen



Flachkollektor

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

Quelle: Bosch Thermotechnik GmbH

Quelle: fm-solar.de



Vakuurröhren

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

Quelle: P3 – DLR



Parabolrinnenkollektor*

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

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



Solarthermie

Einsatzmöglichkeiten

- Einsatz abhängig vom **saisonalen Nutzungsprofil** und **Speichermöglichkeiten** für die solarthermisch erzeugte Wärme
 - Investition in Solarthermie lohnt sich nur, wenn im Sommer viel Warmwasser benötigt wird (Hotels, Krankenhäuser usw.)
 - Solarthermische Speicher müssen nach Überhitzungsschutz für Solarkollektoren ausgelegt werden, nicht nach tatsächlichem Wärmebedarf → ggf. unwirtschaftlich
- Wichtigste Faktoren zur Auslegung:
 - Systemart und -größe,
 - Sonnenstrahlung am Standort (W/m^2)
 - Speicherart und -größe
 - Nutzungstyp bzw. erforderliche Temperatur



Solarthermie

Flächen-Konkurrenz

- Flächenkonkurrenz zwischen Solarthermie und Photovoltaik
 - Wärme: Abwägen zwischen direkter solarthermischer Wärmeproduktion und Wärmeproduktion über mit PV-Strom angetriebenen Wärmepumpen
 - Warmwasser: Einsatz Solarthermie nur für Warmwasser ist weder wirtschaftlich noch ökologisch, Warmwasser lässt sich über einen Heizstab im Warmwasserspeicher aus Solarstrom erzeugen oder auch über Wärmepumpen, die mit Solarstrom laufen.



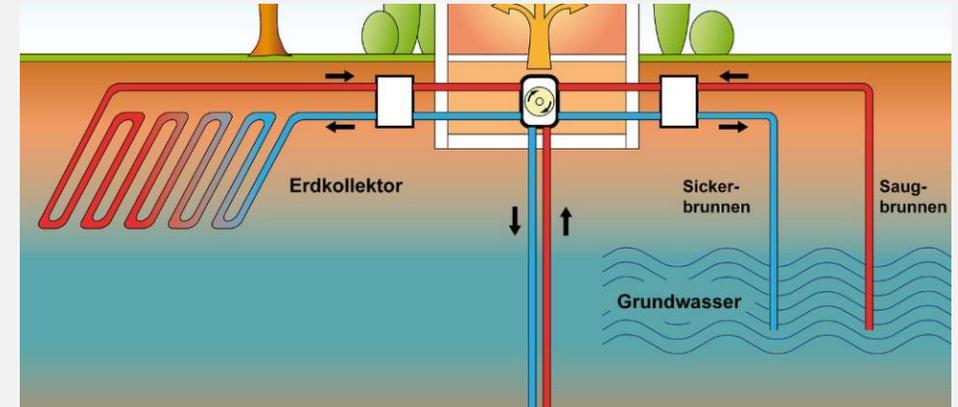
Agenda

- 1 Hintergrund
- 2 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 2.1 Windenergie
 - 2.2 Solarenergie - Photovoltaik
- 3 Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien**
 - 3.1 Solarthermie
 - 3.2 Geothermie**
 - 3.3 Wärmepumpen
- 4 Blockheizkraftwerke
- 5 Fazit und Ausblick

Geothermie

Oberflächennahe Geothermie

- Oberflächennahe Geothermie an vielen Orten möglich
 - In Deutschland meist $< 25\text{ °C}$
- Technologien für oberflächennahe Erdwärme
 - Erdkollektoren: 1,2 m bis 1,5 m Tiefe und Erträge von 10 bis 35 W/m^2
 - 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
- Gemäß VDI-Richtlinie 4640 darf Temperaturänderung gegenüber der ungestörte Erdreichtemperatur 11 Kelvin nicht überschreiten (Regeneration des Erdreichs zu berücksichtigen)



Quelle: muenchen.de

Geothermie

Erfordernisse für Leistungsklassen

- Hauptkostenfaktor ist die Bohrung, richtige Dimensionierung wichtig
 - Zu klein: Gefrierproblematik
 - Zu groß: hohe Bohrkosten

Leistung	Genehmigungsverfahren
< 30 kW	Mind. Bohrung anzeigen, ggf. auch wasserbehördliche Genehmigung
> 30 kW	Geothermal Response Test (GRT), Wasserbehördliche Genehmigung erforderlich
> 30 kW bis 50 kW	Ggf. außerdem Thermohydrodynamische Modellierung: Einzelfallentscheidung
> 50 kW	Zusätzlich eine thermohydrodynamische Modellierung verpflichtend



Geothermie

Status und Auszug rechtlicher Rahmenbedingungen in Berlin

- Steigender Trend der Installationen (2018: 3.500 Geothermieanlagen)
- Bisher fast ausschließlich oberflächennahe Geothermie (max. 100 m Tiefe)
- Rechtliche Rahmenbedingungen u.a.:
 - Erdwärmekollektoren mit mind. 1 m Abstand zum erwarteten höchsten Grundwasserstand sind von der wasserbehördlichen Erlaubnis befreit
 - Wärme aus Grundwasser: wasserbehördliche Genehmigung erforderlich
 - Geothermie in Wasserschutzgebieten verboten
- Karten mit Geothermischem Potenzial:
 - [Umweltatlas](#)

02.18.4 Spezifische Wärmeleitfähigkeit bis 100 m

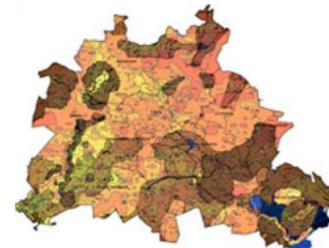


Bild: Umweltatlas Berlin

Darstellung der spezifischen Wärmeleitfähigkeit bis zu einer Tiefe von 100 m. Anhand der Karte ist eine Abschätzung über die Eignung eines Standortes für die Nutzung von geothermischer Energie möglich.

► [Weitere Informationen](#)

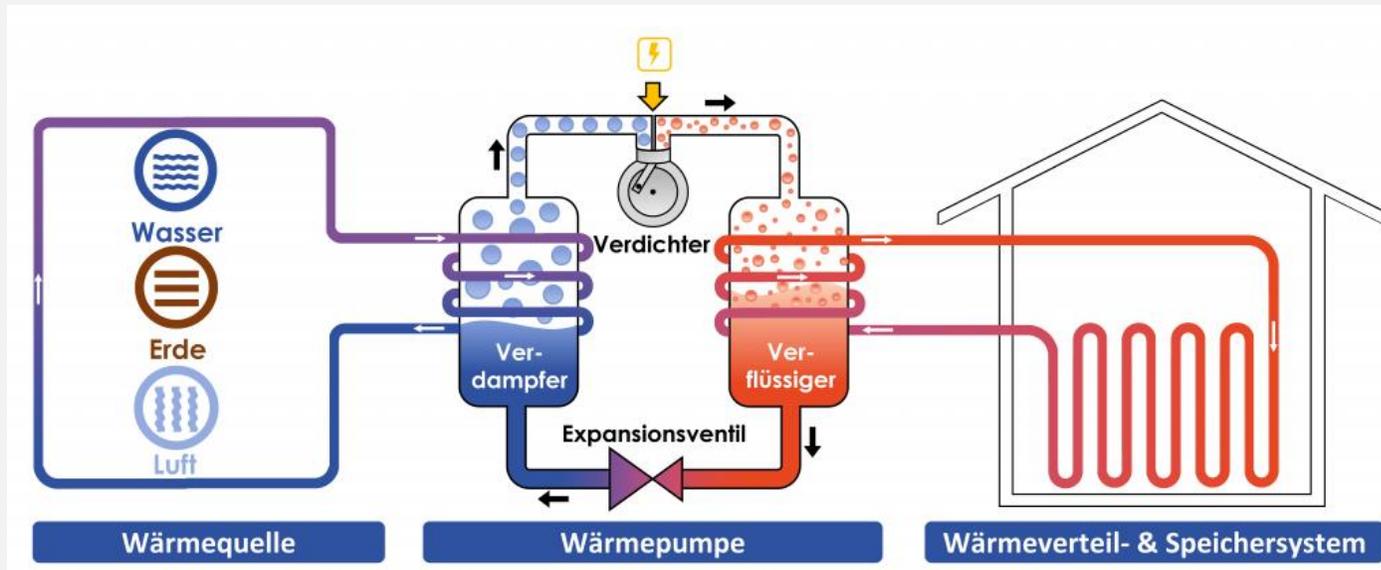


Agenda

- 1 Hintergrund
- 2 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 2.1 Windenergie
 - 2.2 Solarenergie - Photovoltaik
- 3 Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien**
 - 3.1 Solarthermie
 - 3.2 Geothermie
 - 3.3 Wärmepumpen**
- 4 Blockheizkraftwerke
- 5 Fazit und Ausblick

Wärmepumpen

Die thermodynamische Heizung



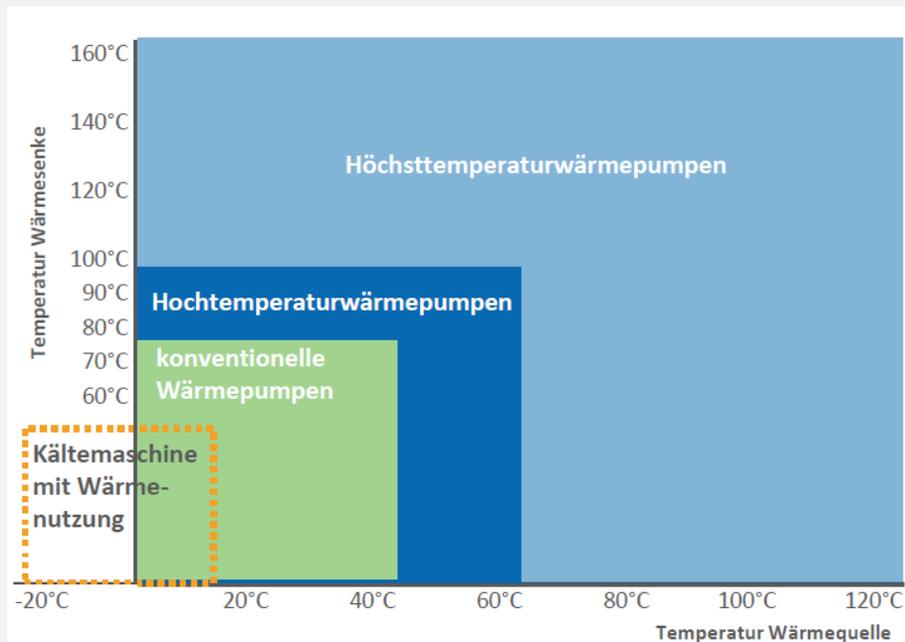
Quelle: CARMEN e. V.

- Weiter mögliche Wärmequellen
 - Sonnenenergie
 - Abwärme (Abluft, Abgas oder Abwasser)
 - Gespeicherter latenter Wärme (z. B. in einem Eisspeicher)

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 zwischen Wärmequellen- und Vorlauftemperatur, desto höher der mögliche COP



Wärmepumpen Effizienz

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

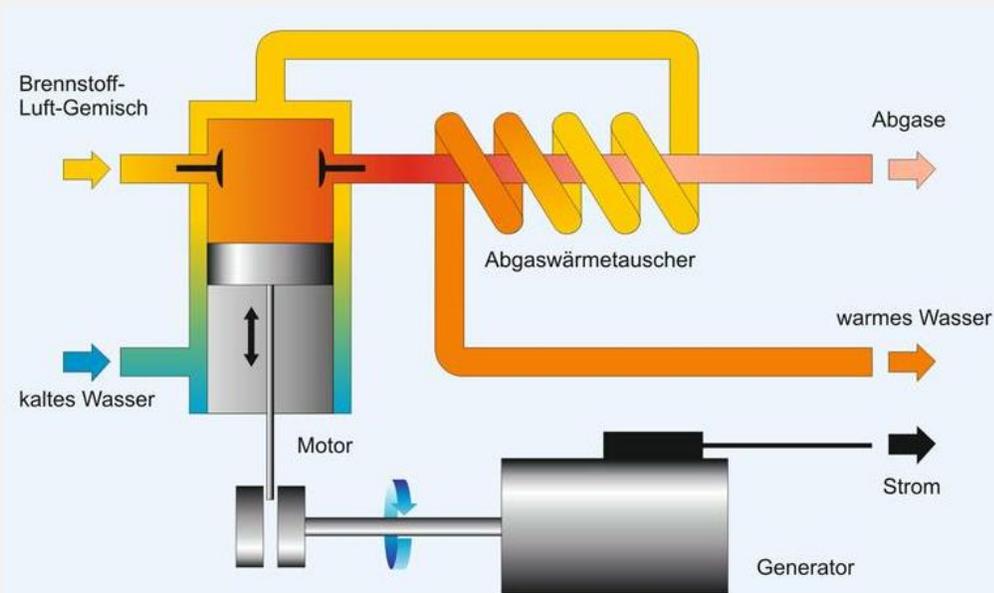


Agenda

- 1 Hintergrund
- 2 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 2.1 Windenergie
 - 2.2 Solarenergie - Photovoltaik
- 3 Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 3.1 Solarthermie
 - 3.2 Geothermie
 - 3.3 Wärmepumpen
- 4 **Blockheizkraftwerke**
- 5 Fazit und Ausblick

BHKW

Stark vereinfachtes Prinzipbild:



Bildquelle: kneifel-haustechnik.de

- Betrieb der BHKW üblicherweise mit Erdgas
- Kurzfristige Umstellung auf regenerative Brennstoffe (Biogas, H₂) aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit in der Regel nicht möglich
- Neuanschaffung aktuell nicht zu empfehlen



Agenda

- 1 Hintergrund
- 2 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 2.1 Windenergie
 - 2.2 Solarenergie - Photovoltaik
- 3 Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien
 - 3.1 Solarthermie
 - 3.2 Geothermie
 - 3.3 Wärmepumpen
- 4 Blockheizkraftwerke
- 5 **Fazit und Ausblick**



Fazit und Ausblick

Die wichtigsten Botschaften zum Mitnehmen

- Kleinwindkraftanlagen unwirtschaftlich
- Neuanschaffung eines BHKW aktuell nicht zu empfehlen
- Nutzung von Geothermie zu prüfen (standortabhängig)
- Investition in PV 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
- Maßnahmen sind stark Standort- und auch Bedarfsabhängig, eine Variantenbetrachtung und wirtschaftliche Bewertung zu empfehlen
- Für die CO₂-Neutralität ist eine Kombination von Energieeffizienz, Wärmerückgewinnung, Einsatz Erneuerbarer Energien und Elektrifizierung der Prozesse der beste Weg



Vielen Dank.

ÖKOTEC Energiemanagement GmbH

EUREF-Campus, Haus 13
Torgauer Straße 12-15
10829 Berlin

Fon +49 (30) 536397 – 0
Fax +49 (30) 536397 – 90
energie@oekotec.de

www.oekotec.de

Ein Vortrag im Rahmen der



Diese Seite darf nicht entfernt werden. Für die in diesen Unterlagen bereit
gestellten Informationen kann keine Haftung übernommen werden.

+ + +

Die Verantwortung für die Inhalte in diesem Vortrag, auch urheberrechtlicher Natur, liegen bei der
Referentin/dem Referent. Bei Fragen oder Ansprüchen kontaktieren Sie diese bitte direkt.

Eine kommerzielle Weiterverbreitung darf nur nach schriftlicher Genehmigung der Rechteinhaberin erfolgen.

© 2022 Referent(in) / Veranstalter(in)

+ + +

Die Aktionswoche „Berlin spart Energie“ 2022 fand vom 10. bis zum 14. Oktober statt. Weitere Infos unter:

www.berlin-spart-energie.de