

# Einführung oberflächennahe Geothermie

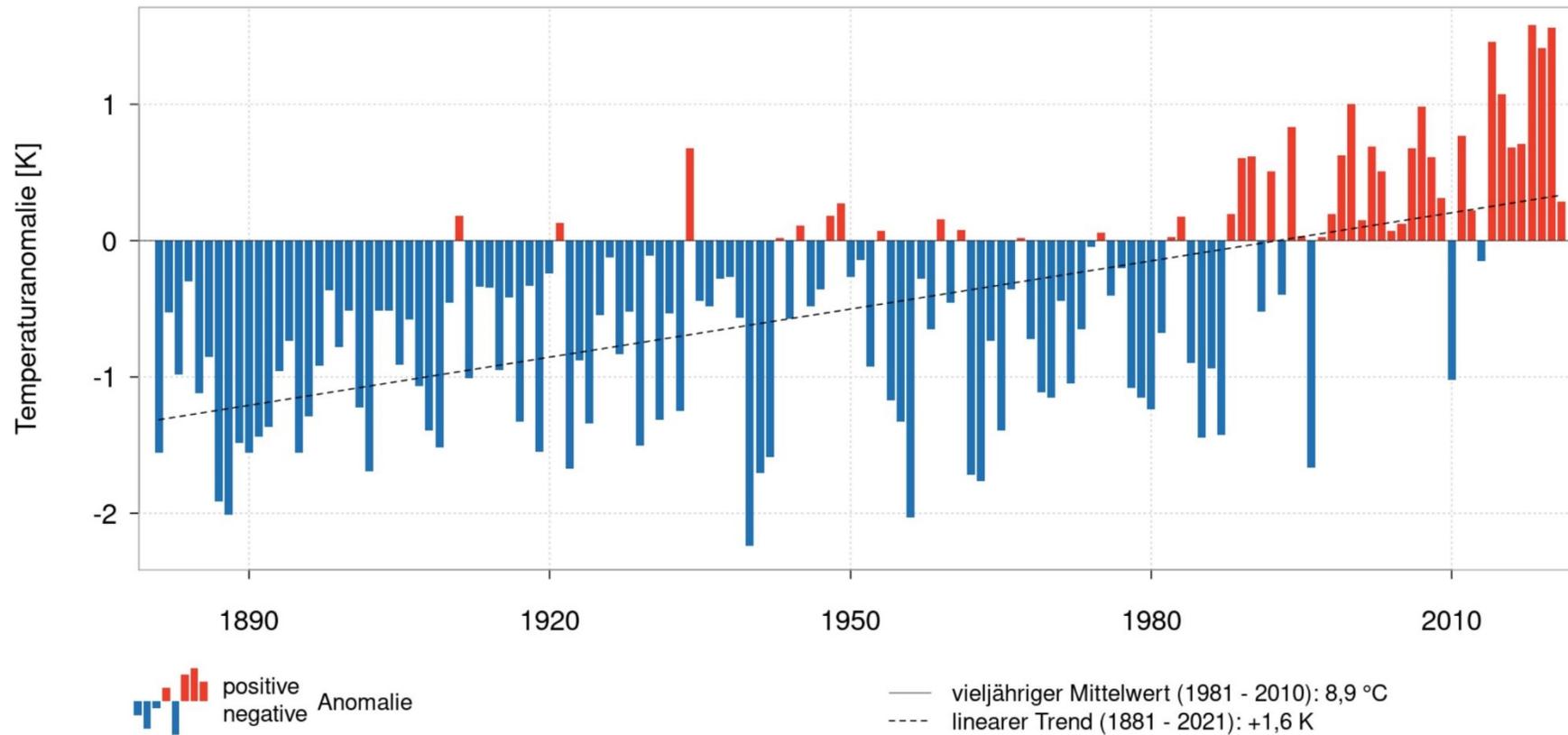
Dr. Manuel Gossler

Lehrstuhl für Hydrogeologie  
Arbeitsgruppe Geothermie, Dr. Zosseder

1. Wärmewende und Geothermie
2. Die Wärmepumpe
3. Geothermische Quellensysteme

# Temperaturanomalie

Deutschland Jahr  
1881 - 2021  
Referenzzeitraum 1981 - 2010



[www.dwd.de/zeitreihen](http://www.dwd.de/zeitreihen)

# Klimawirkungs- und Risikoanalyse

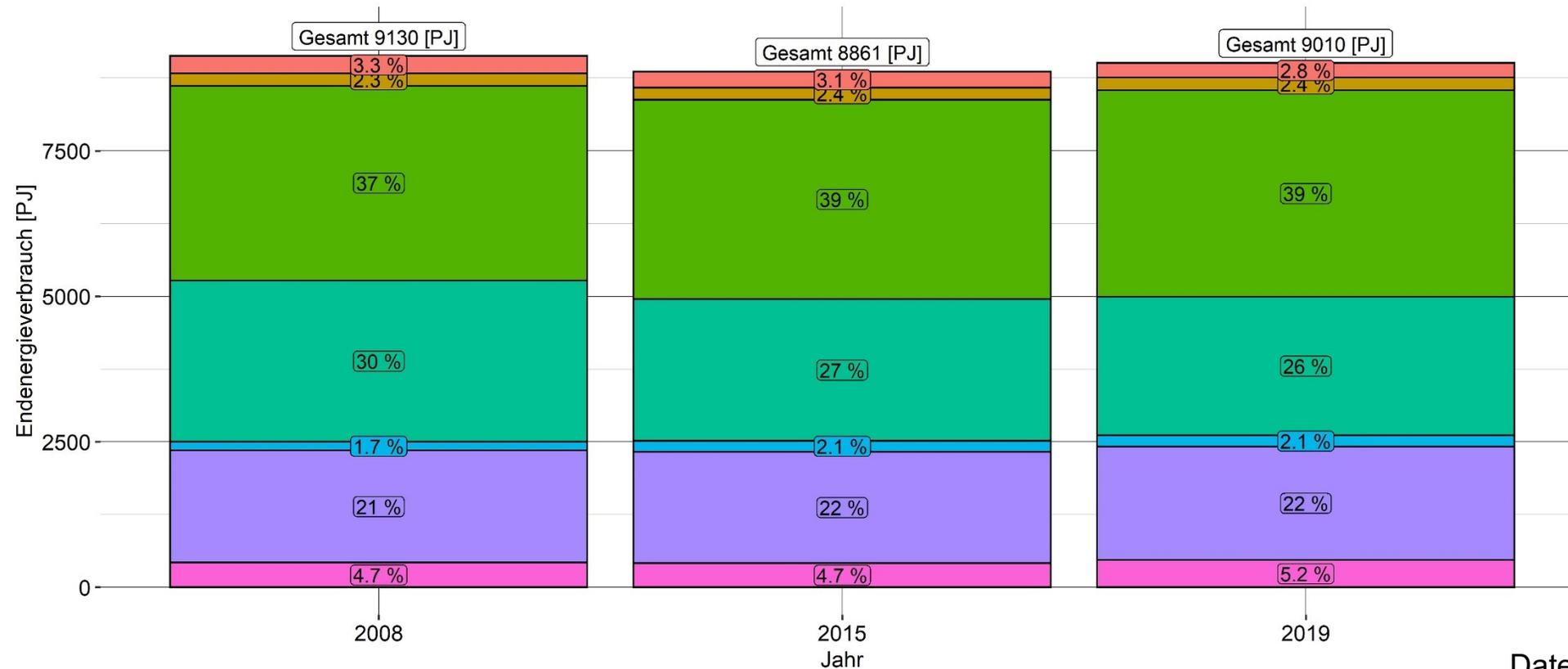
Stärkste Erwärmung im „Südosten“ Deutschlands:

- Deutlich mehr Hitzetage
- Zurückgehende Niederschläge im Sommer
- häufigere Trockenperioden

|   | Klimarisiken ohne Anpassung |              |               | Klimarisiken mit Anpassung |                                  |                           |              |               |
|---|-----------------------------|--------------|---------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------|---------------|
|   | Gegenwart                   | 2031-2060    |               | 2020-2030                  | 2031-2060                        |                           |              |               |
|   |                             | optimistisch | pessimistisch |                            | Beschlossene Maßnahmen (APA III) | Weiterreichende Anpassung | optimistisch | pessimistisch |
| <b>Klimarisiko des Handlungsfeldes ohne und mit Anpassung</b>           | mittel                      | mittel       | hoch          | gering-mittel              | gering                           | mittel                    | gering       | mittel        |
| <b>Klimarisiken ohne und mit Anpassung auf Ebene der Klimawirkungen</b> |                             |              |               |                            |                                  |                           |              |               |
| <b>Hitzebelastung</b>   | hoch                        | mittel       | hoch          | mittel-hoch                | gering                           | mittel-hoch               | gering       | mittel        |
| <b>Stadtklima/Wärmeinseln</b>   | mittel                      | mittel       | hoch          | gering-mittel              | gering                           | mittel-hoch               | gering       | mittel        |

UBA (06/2021) KWRA

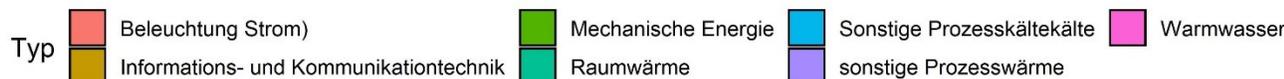
## Gesamter Endenergieverbrauch nach Anwendungsbereichen



Kaum  
 Reduktion in  
 den letzten  
 Jahren!

Ca. 50 %  
 ist Wärme!

Datengrundlage: BMWi (2022)



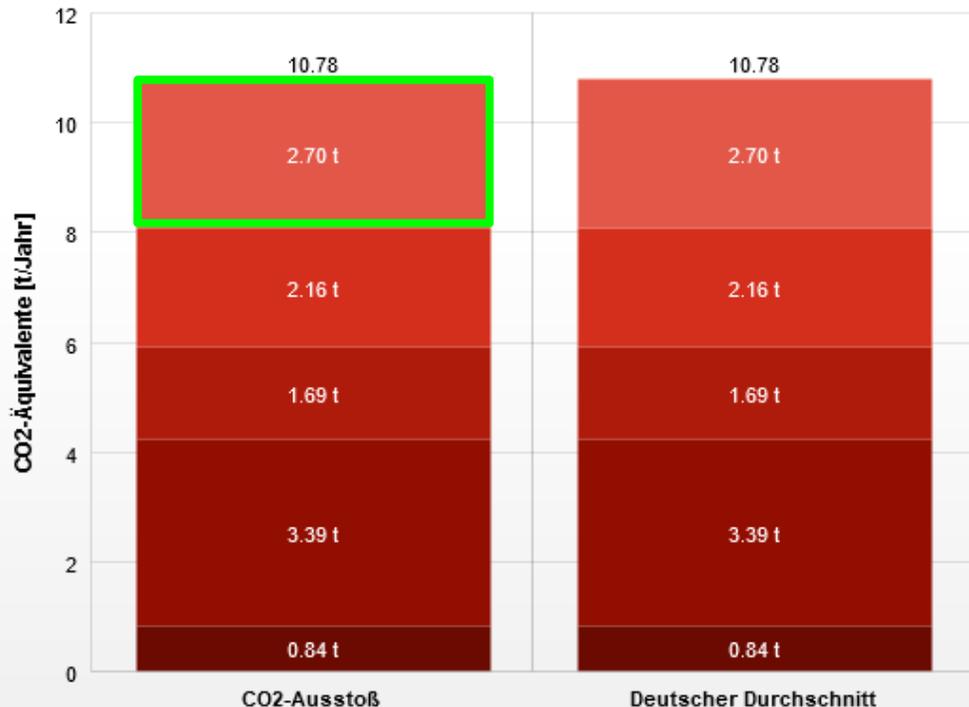
## Meine CO<sub>2</sub>-Bilanz

In der CO<sub>2</sub>-Bilanz werden verschiedene Bereiche Ihres Lebens von der *Heizung* bis hin zum *sonstigen Konsum* betrachtet. Berechnet wird nicht nur Ihr CO<sub>2</sub>-Ausstoß, sondern auch das, was Sie bei sich selbst oder bei anderen vermeiden.

### CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Vergleich

CO<sub>2</sub>-Ausstoß: **10,78 t**

Deutscher Durchschnitt: **10,78 t**



### CO<sub>2</sub>-Ausstoß

Der *persönliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß* zeigt Ihnen, wie viel Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente bei Ihrem heutigen Lebensstil ausgestoßen werden.

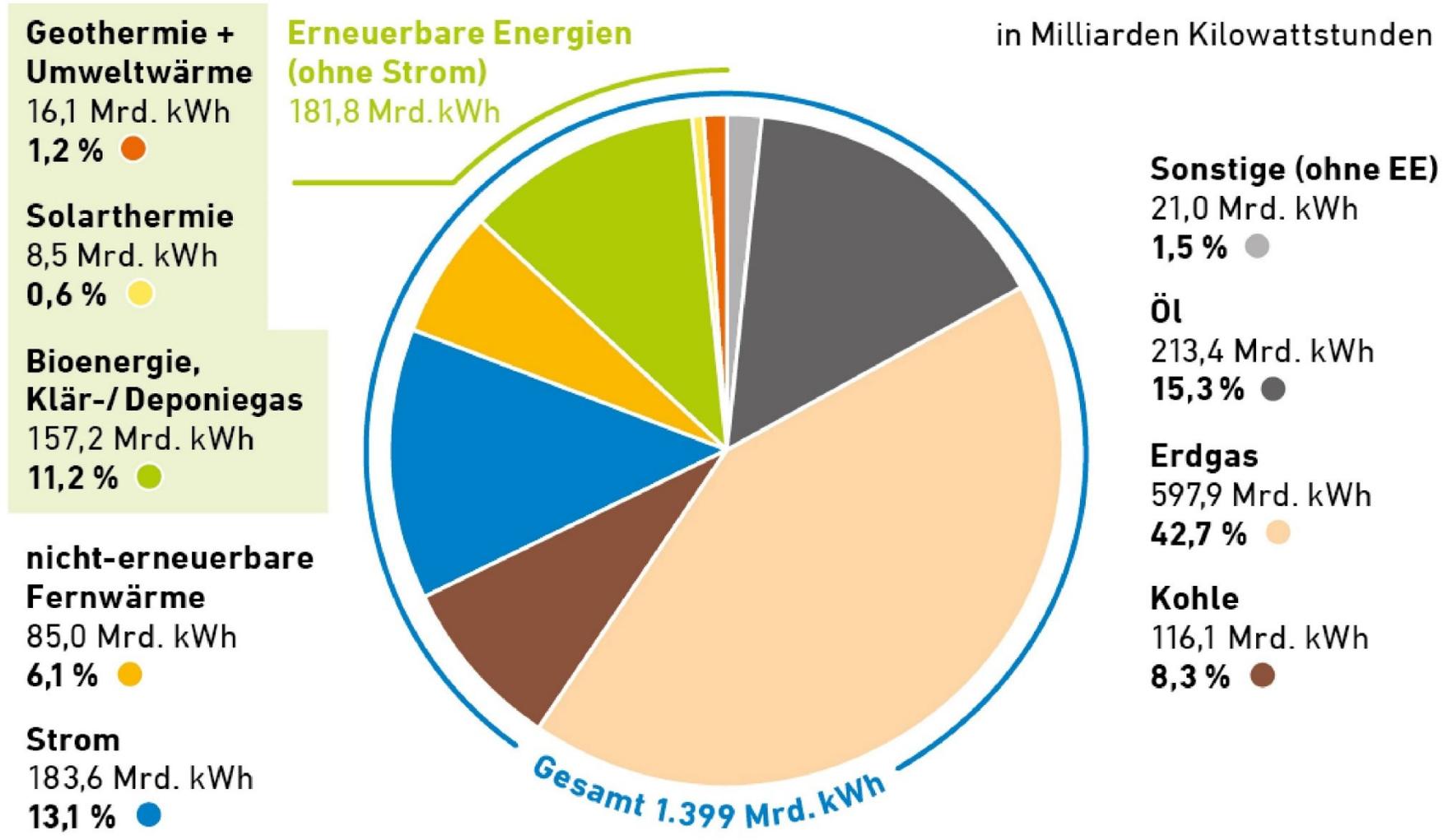
Neben CO<sub>2</sub> werden die Treibhausgase Methan und Lachgas berücksichtigt, die mit der entsprechenden Klimawirkung in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet werden. Außerdem wird die zusätzliche Klimawirksamkeit des Fliegens berücksichtigt.

Um Ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß einordnen zu können, wird Ihnen zum Vergleich auch immer der *deutsche Durchschnitt* angezeigt.

- Wohnen & Strom
- Mobilität
- Ernährung
- sonstiger Konsum
- Öffentliche Emissionen

**Energieverbrauch Heizen:**  
Alleine für das Heizen  
kommen **pro Jahr für jeden Deutschen 1,89 Tonnen Kohlendioxid** zusammen

# Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte in Deutschland im Jahr 2019



Quellen: BMWi, AGEE-Stat; Stand: 3/2021

© 2021 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

## Wärme und Kälte aus Erneuerbaren Energien in Deutschland 2020

Mit 180 Milliarden Kilowattstunden lieferten die Erneuerbaren Energien 15,2 Prozent des Wärme- und Kältebedarfs\* in Deutschland. Rund 85 Prozent davon entfiel auf die Bioenergie.

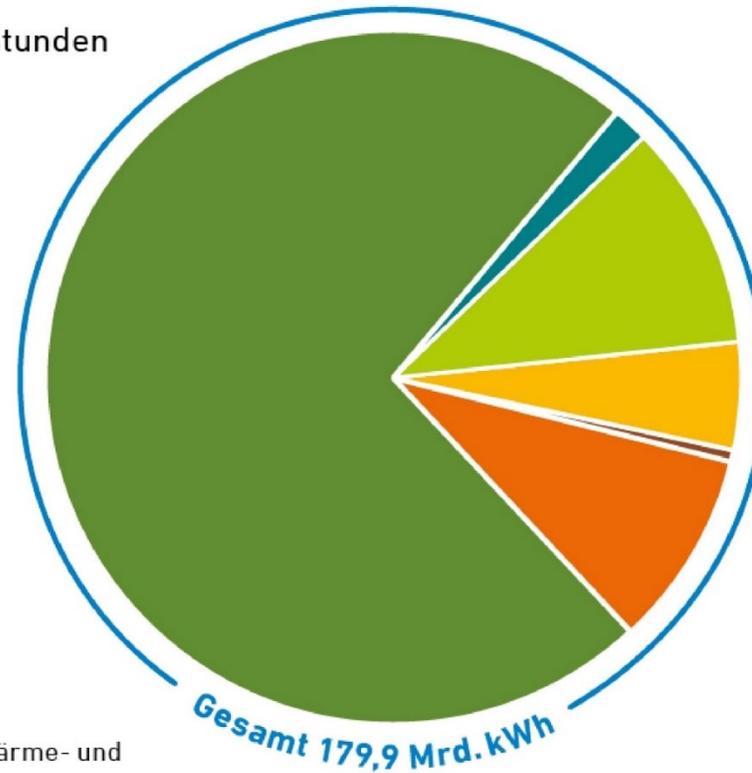
in Milliarden Kilowattstunden

**Flüssige Biomasse  
(Pflanzenöl,  
Schwarzlauge)**

3,1 Mrd. kWh  
1,7 % ●

**Feste Biomasse  
(Holz, Abfall)**

131,4 Mrd. kWh  
73,0 % ●



**Gasförmige Biomasse  
(Biogas, Klärgas,  
Deponiegas)**

19,3 Mrd. kWh  
10,7 % ●

**Solarthermie**

8,7 Mrd. kWh  
4,8 % ●

**Tiefengeothermie**

1,4 Mrd. kWh  
0,8 % ●

**Oberflächennahe  
Geothermie und  
Umweltwärme**

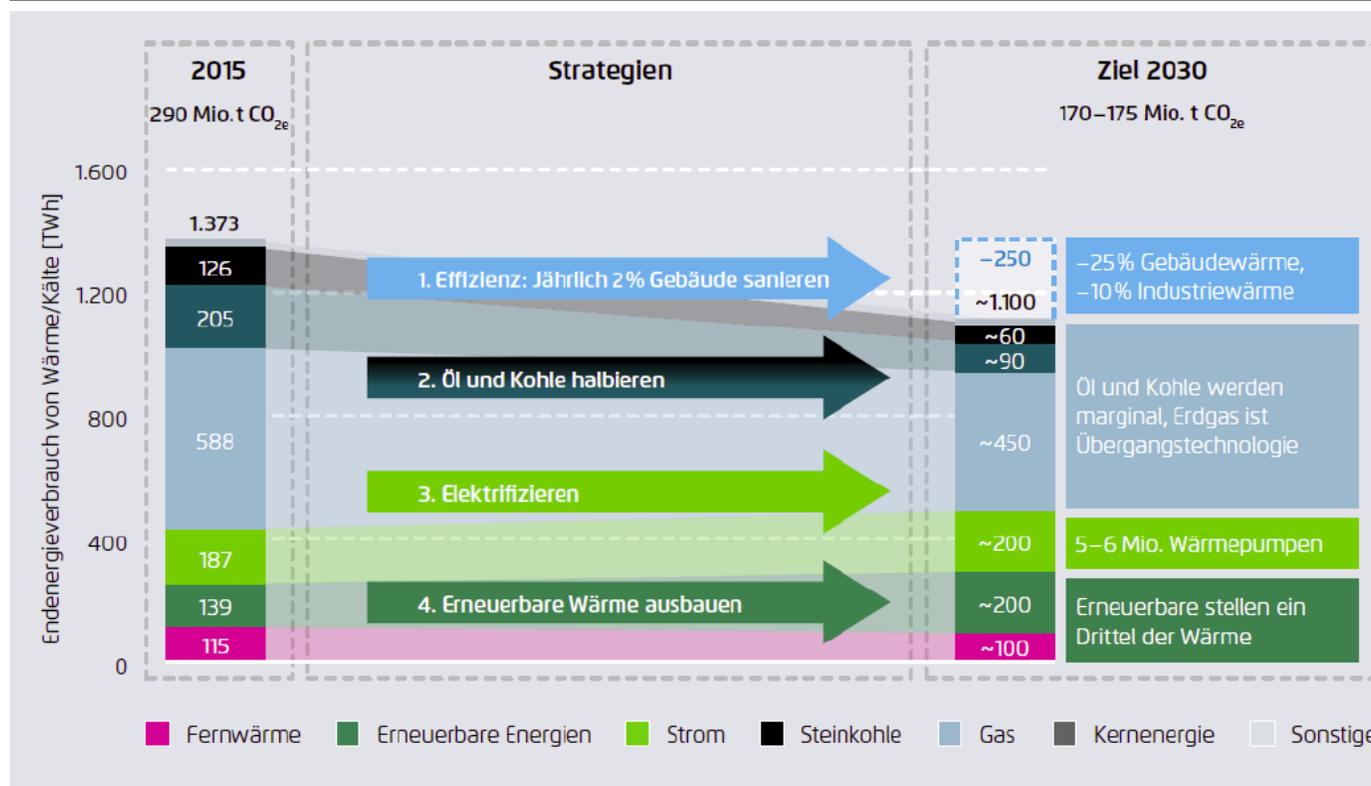
16,1 Mrd. kWh  
8,9 % ●

\* Der Stromverbrauch für Wärme- und Kältezwecke ist hier nicht berücksichtigt

Quelle: AGEE-Stat; Stand: 2/2021

© 2021 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

## Die Alternative lautet: zu Hause investieren – Wärmewende 2030: Gebäude sanieren (2% p.a.), Kohle- und Ölverbrauch halbieren, Erneuerbare Wärme und Elektrifizierung ausbauen

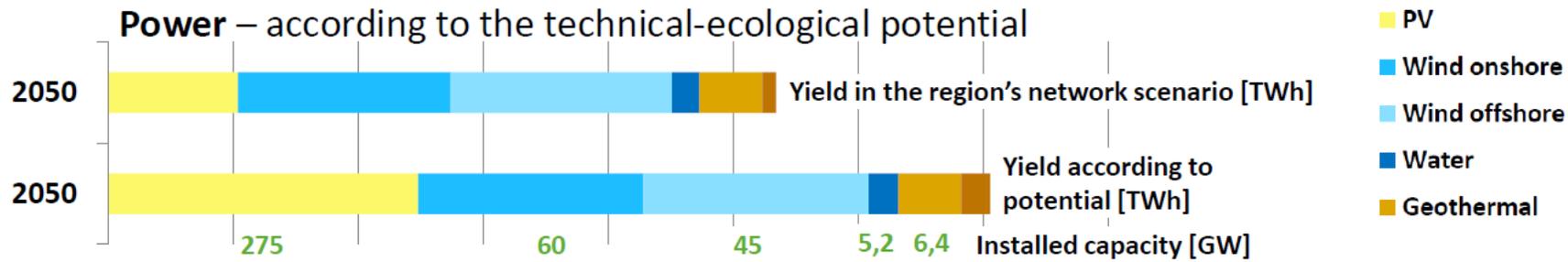
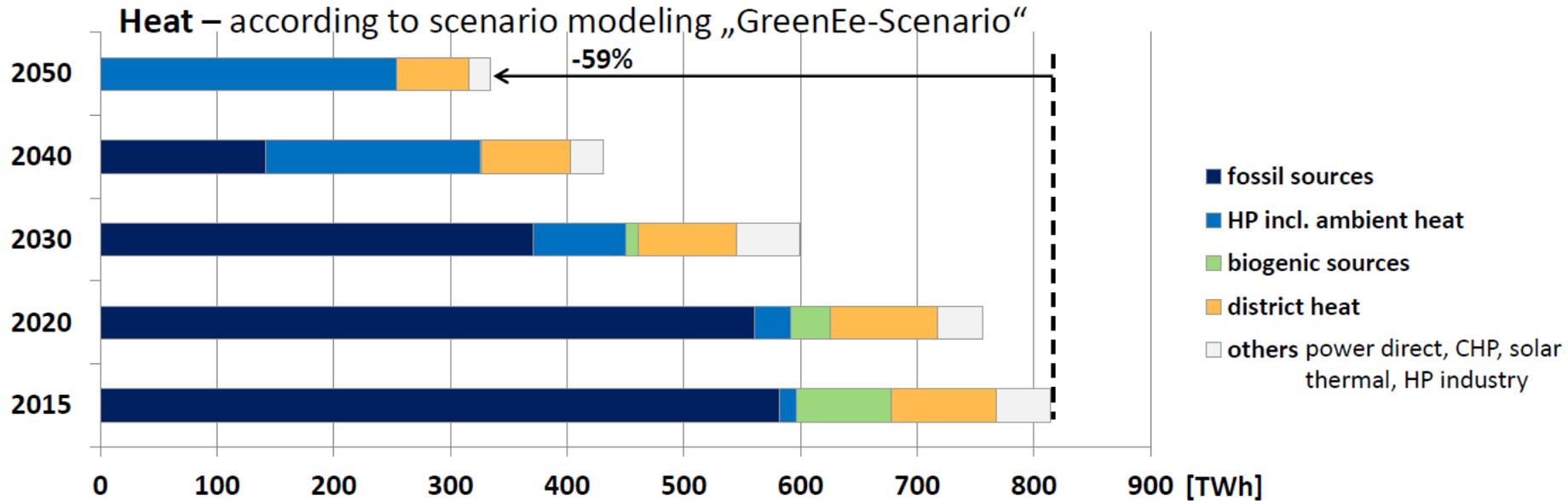


AGEB (2016a), BMUB (2016), UBA (2017a), eigene Berechnungen auf Basis EWI/Prognos/GWS (2014a), Fraunhofer IWES/IBP (2017)

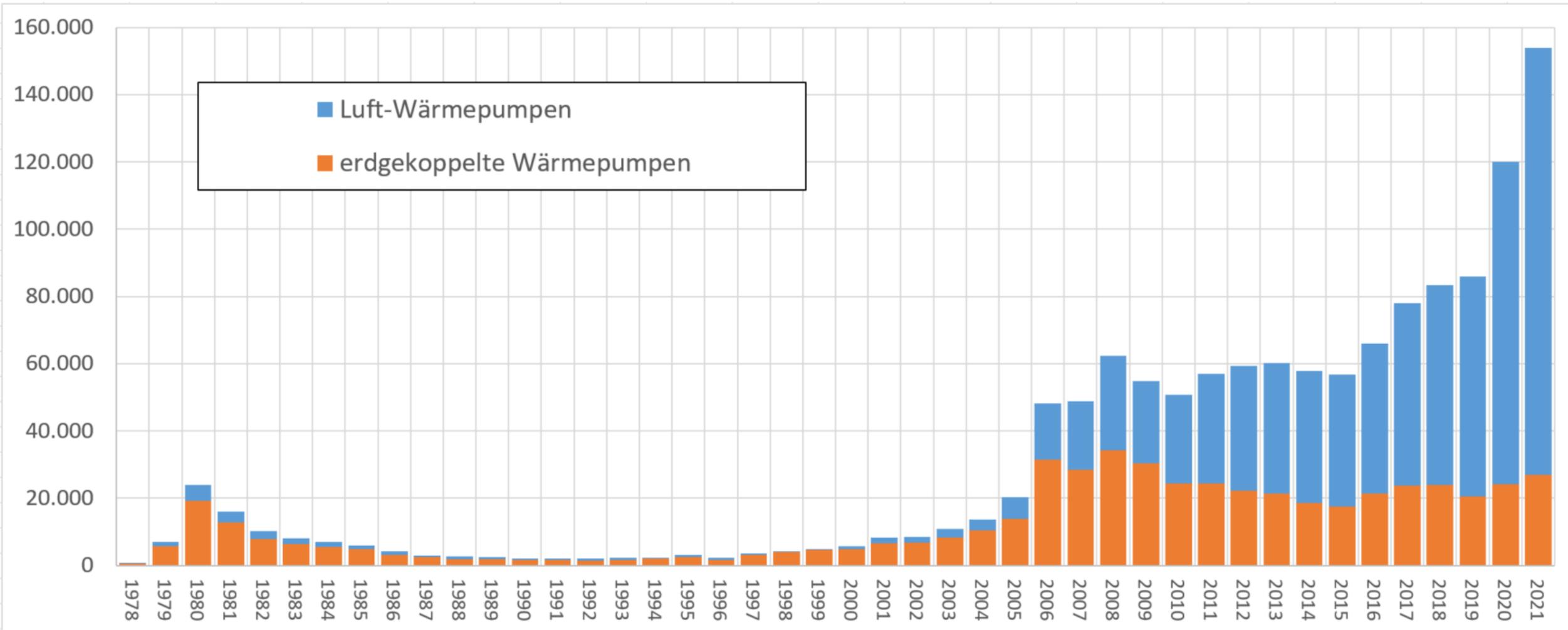
- Herausforderung: Der **größte Energiesektor** hat die **langlebigsten Kapitalstöcke**
- Vier Strategien für die Wärmewende 2030:
- *Efficiency First:* Gebäudewärme sinkt um ein Viertel, Industrierwärme um ein Zehntel
- Kohle- und Ölverbrauch mehr als halbieren, Erdgas als Übergangstechnologie nutzen
- Erneuerbare stellen ein Drittel der Wärme
- Wärmesektor mit 5 – 6 Mio. Wärmepumpen elektrifizieren

3 HEAT SUPPLY BECOMES RENEWABLE — UBA MODEL CALCULATIONS AND SCENARIOS

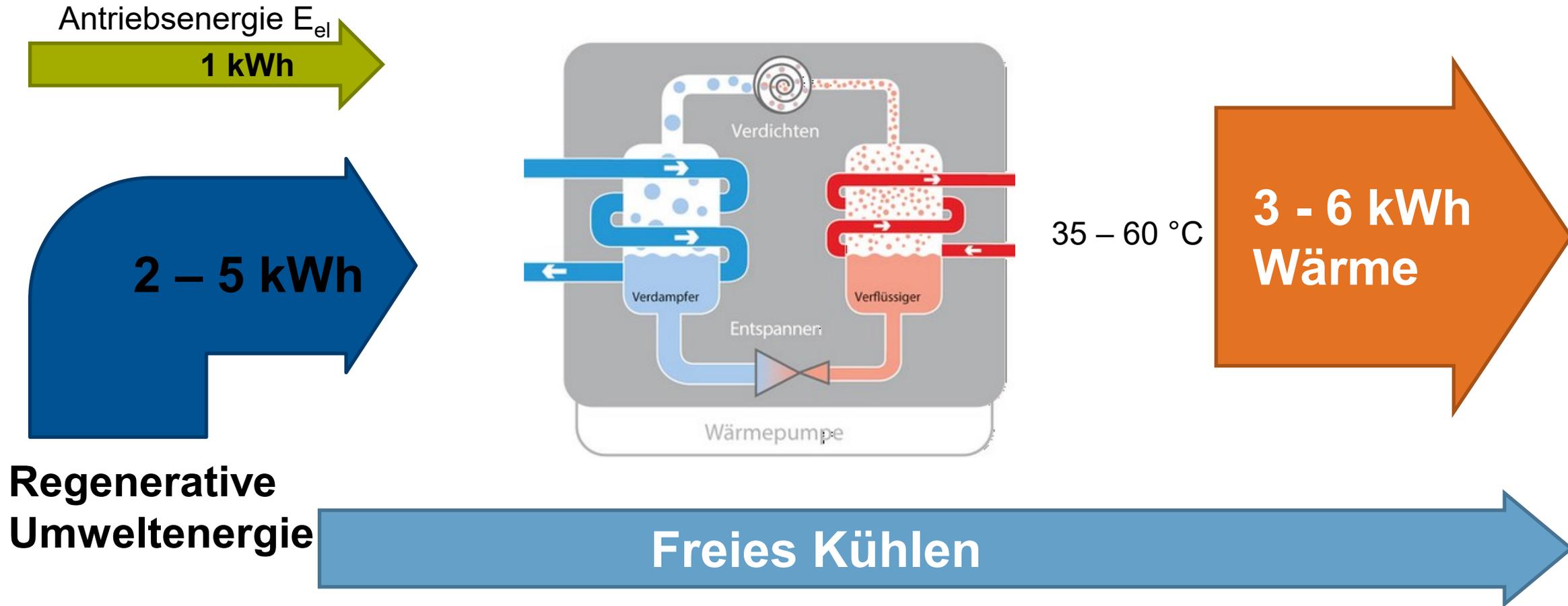
## Heat Supply and Power Supply with Low-carbon Technologies



Data source: GÜNTNER, J. et al.: Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten, Umweltbundesamt, (2017)  
 KLAUS, T. et al.: Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen, Umweltbundesamt (2010)

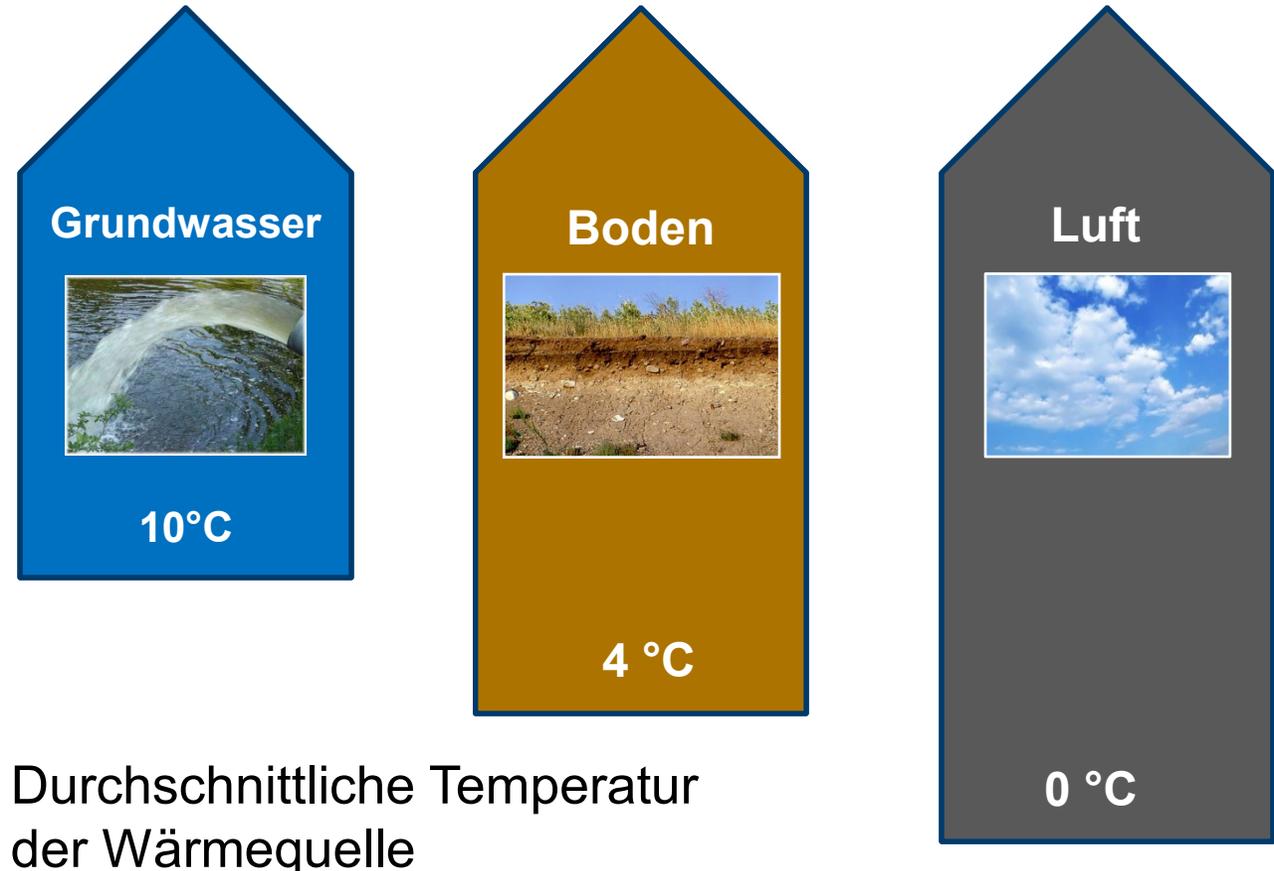


Quelle: Bundesverband Wärmepumpen



35 - 60°C Vorlauftemperatur im Heizkreislauf

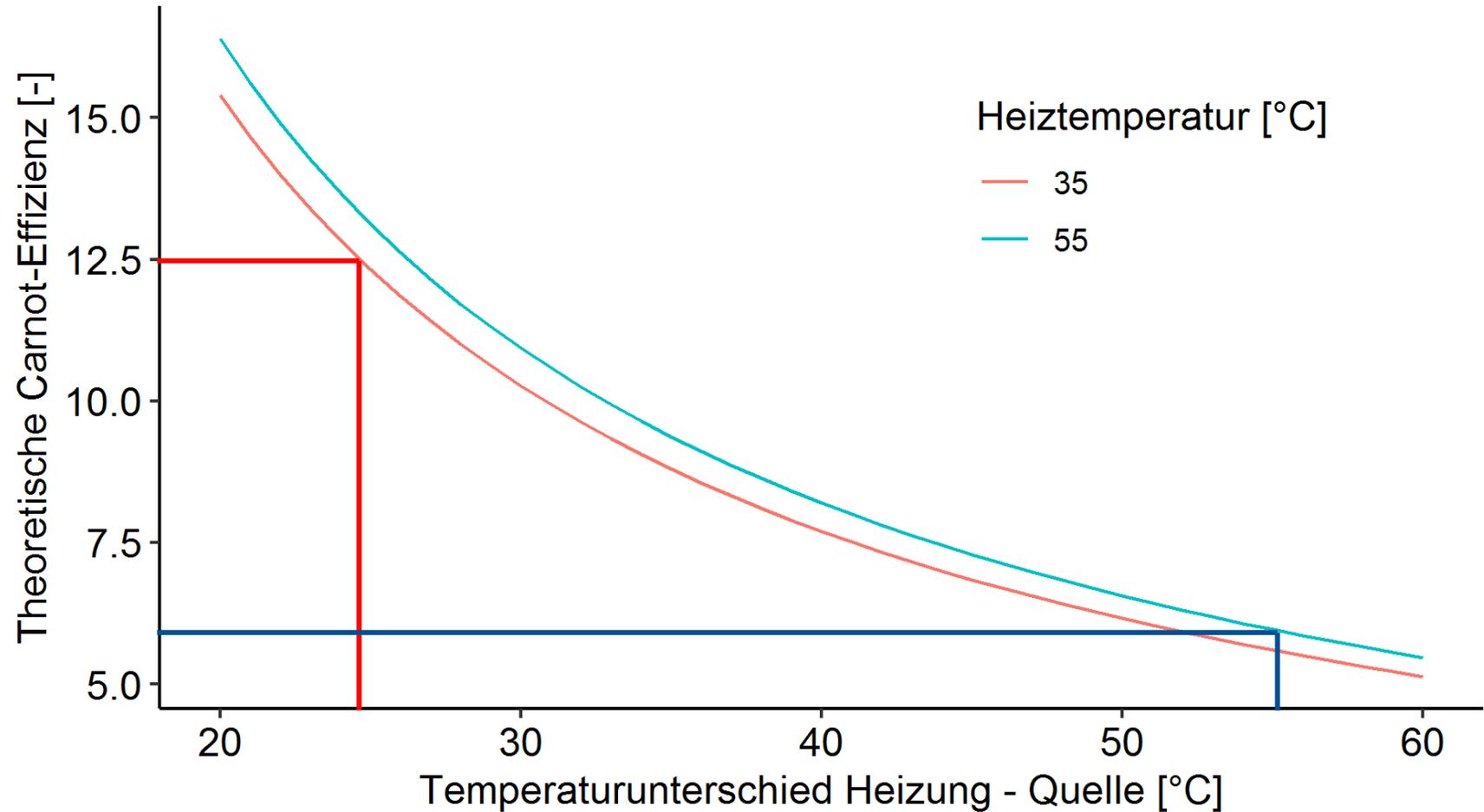
„Je größer der Temperaturhub, desto mehr Antriebsenergie benötigt die Wärmepumpe.“



Carnot-Wirkungsgrad  $\varepsilon_c$ :  
„Der höchste physikalisch  
mögliche Wirkungsgrad“

$$\varepsilon_c = \frac{Q_{therm}}{P_{el}} = \frac{T_h}{T_h - T_Q}$$

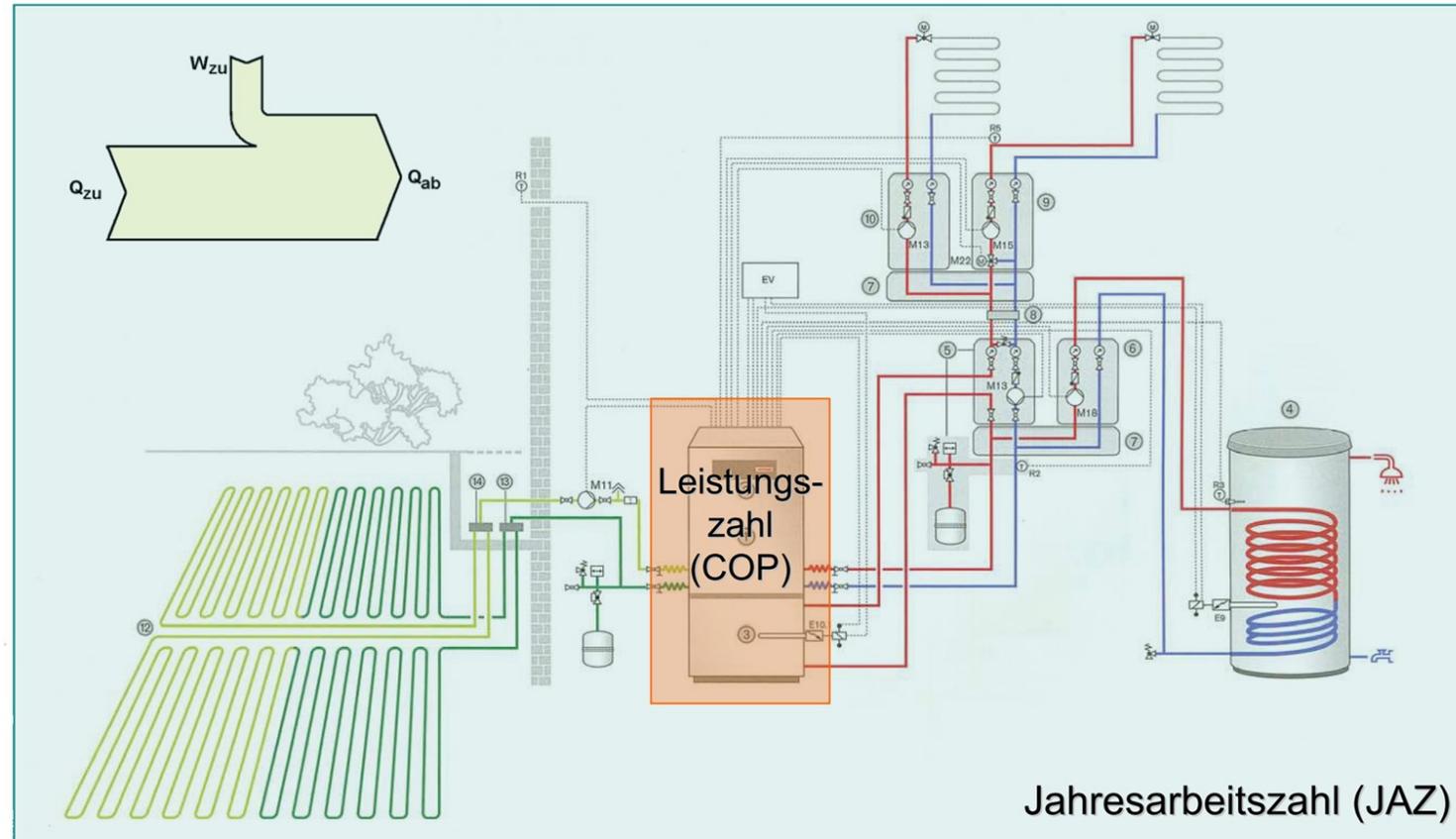
- 10°C Quellentemperatur und 35°C Heizkreisvorlauf  
→ ~12,5 Wirkungsgrad  
→ 8% Antriebsleistung
- 0°C Quellentemperatur und 55°C Heizkreisvorlauf  
→ ~6 Wirkungsgrad  
→ 17% Antriebsleistung



**Leistungszahl (COP)**  
 =  
**Wirkungsgrad der Wärmepumpe**

**Jahresarbeitszahl (JAZ)**  
 =  
**Wirkungsgrad des Gesamtsystems**

(WP + Umwälzpumpe Heizung +  
 Umwälzpumpe Quellensystem etc.)

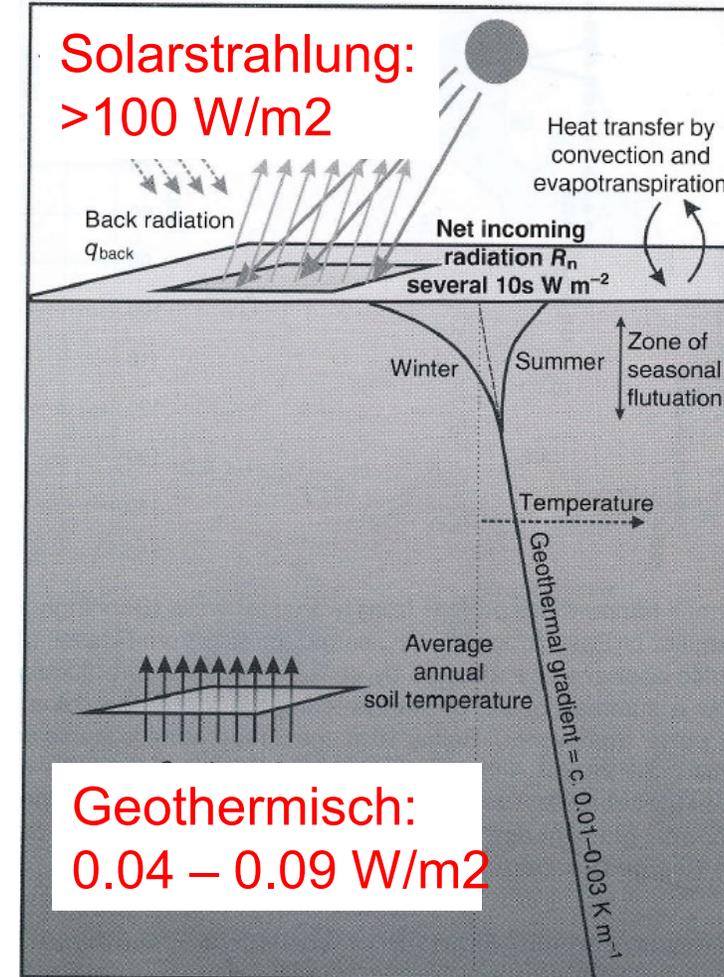
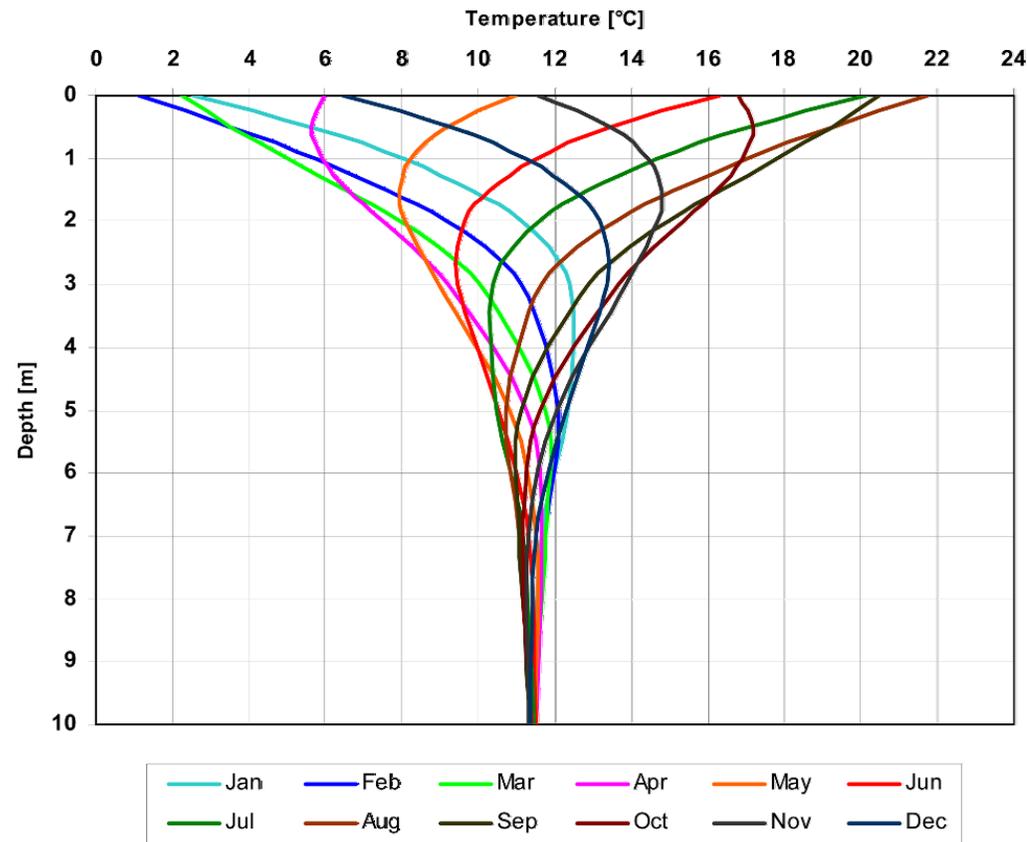


$$JAZ = \frac{\text{jährlich abgegebene Wärmeenergie [kWh]}_{therm}}{\text{jährlich aufgenommene Antriebsenergie [kWh]}_{el}}$$

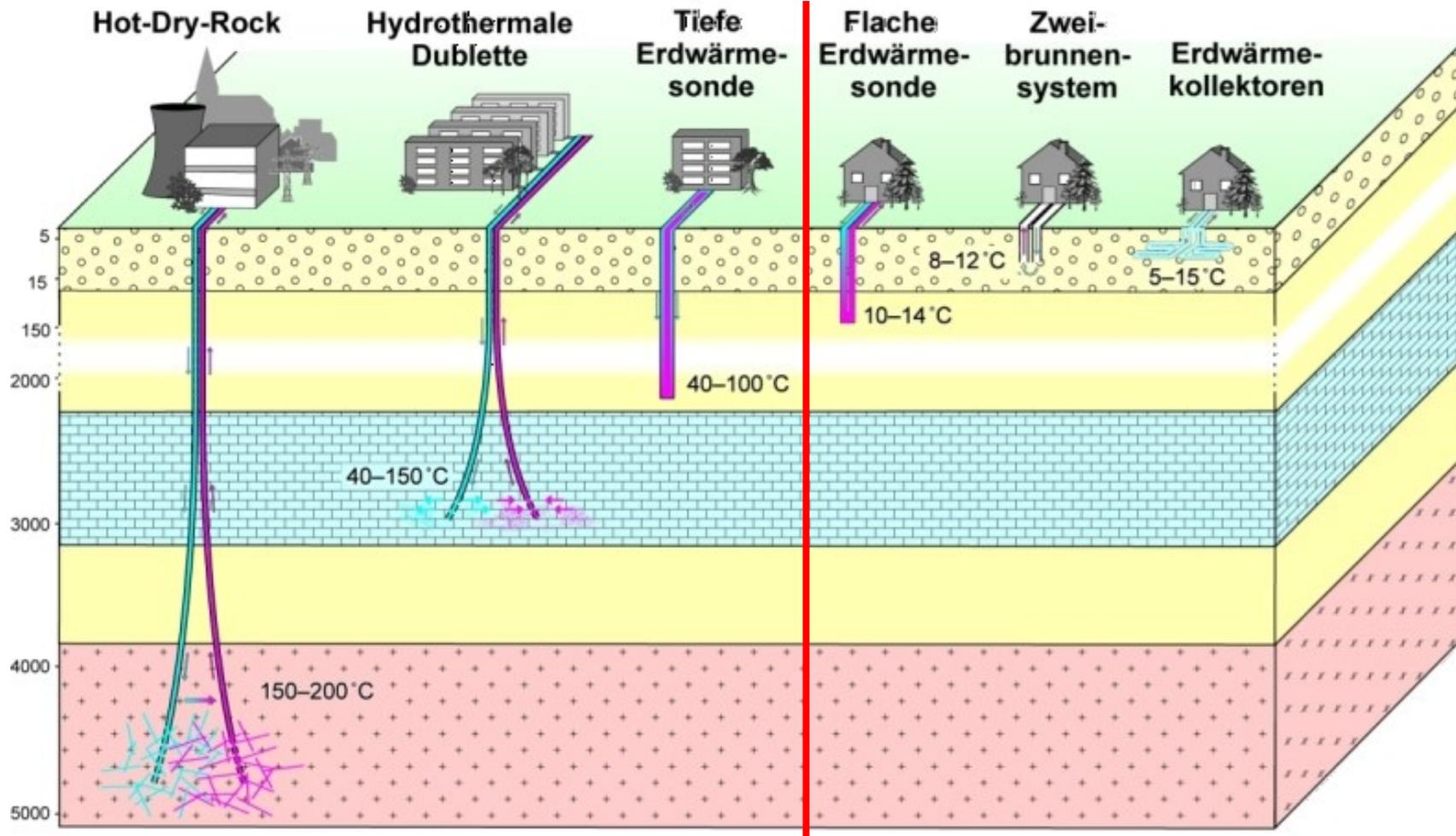
# Warum Oberflächennahe Geothermie?

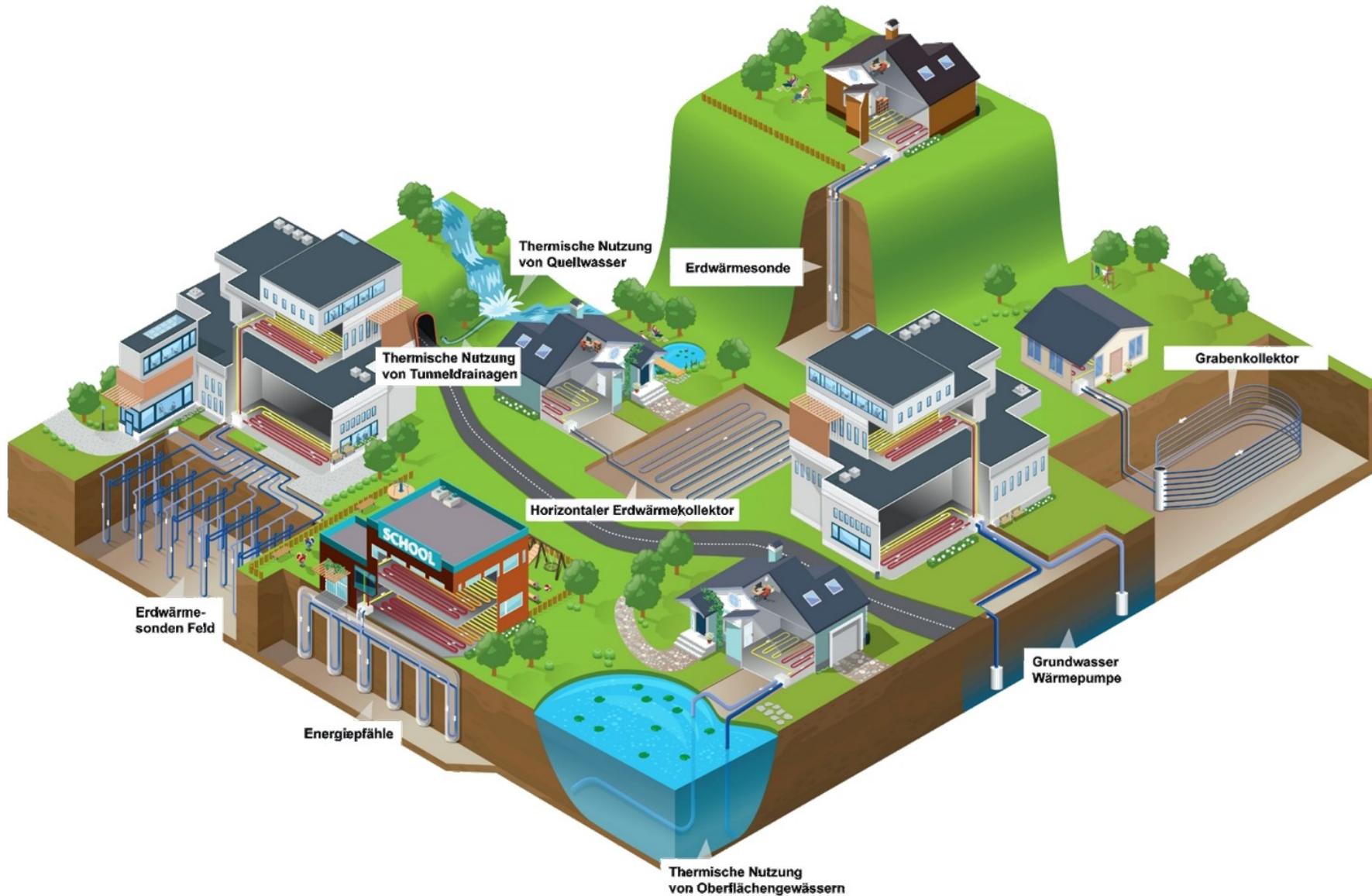
1. Geringer Flächenverbrauch
  - + Unterirdische Installationen
  - + Kein Eingriff ins Landschaftsbild
  - + Ein Gerät (Wärmepumpe) in der Größe eines Kühlschranks
2. Nahezu überall verfügbar
3. Sicher und umweltfreundlich
  - + Keine wassergefährdenden oder explosiven Stoffe
  - + Keine Gefahr durch Tankschäden
  - + Keine direkten Emissionen (Geräusche, CO<sub>2</sub>)
4. Wartungsarm und leise

## Jahresgang der Bodentemperatur



Banks (2013)







**Erdwärmekollektor:**  
Rohrregister  
in ca. 1,5 m Tiefe



**Erdwärmesonde:**  
Kunststoffrohr in Bohrung  
mit Verpressmaterial



**Grundwasser-Wärmepumpe:**  
Förder- und  
Schluckbrunnen



Bei großen Gartengrundstücken können auch Flächenkollektoren eingebaut werden, die Wärme aus den obersten Bodenschichten entziehen.



Die Schläuche werden in frostsicherer Tiefe verlegt und in Sand gebettet.



Neben dem offenen Verlegen, kann bei größeren Anlagen auch ein Einpflügen sinnvoll sein. So werden die nötigen Erdbewegungen minimiert.

## Welche Daten werden zur standortbezogenen Planung benötigt?

### + Installation:

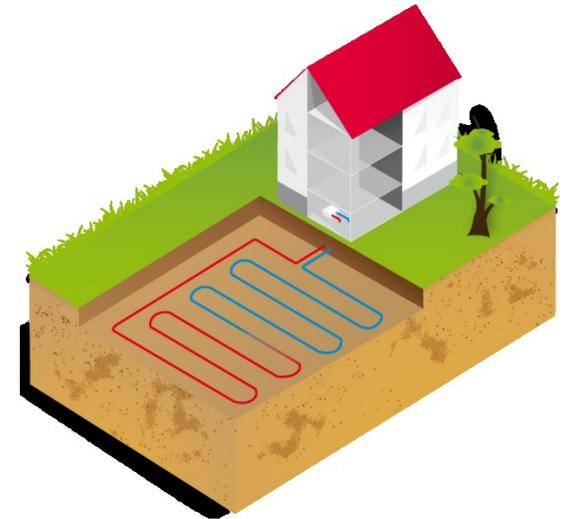
- + Unbebaute Fläche (Ist das Grundstück groß genug?)
- + Einbautiefe (Wie tief reicht der Bodenfrost?)

### + Bodeneigenschaften:

- + Gestein (Ist Fels im Untergrund?)
- + Wärmeleitfähigkeit (Ist der Standort effizient?)

### + Wasserwirtschaftlicher Rahmen:

- + Wasserschutzgebiete



Wenn kein Grundwasser vorhanden ist, werden in der Regel Erdsonden bis 100 m oder auch tiefer errichtet.



Einbaufertige Erdsonde aus einem PE-Doppel-U-Rohr.



Der wichtigste Vorgang ist die Verpressung des Bohrloches mit einem speziellen Zement. Eine optimale Verpressung sichert eine gute thermische Anbindung der Sonde an das umgebende Gestein.

## Welche Daten werden zur standortbezogenen Planung benötigt?

### + Grundwasser:

- + Ergiebiger Grundwasserleiter (→ Grundwassernutzung bevorzugen?)
- + Grundwasserstockwerke (Durchbohren verboten?)

### + Gesteinseigenschaften:

- + Gestein und Schichtenabfolge (Gibt es Bohrrisiken?)
- + Wärmeleitfähigkeit (Ist der Standort effizient?)

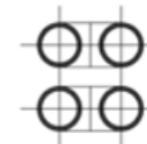
### + Wasserwirtschaftlicher Rahmen:

- + Wasserschutzgebiete
- + Bohrtiefenbegrenzungen
- + Temperaturnutzung

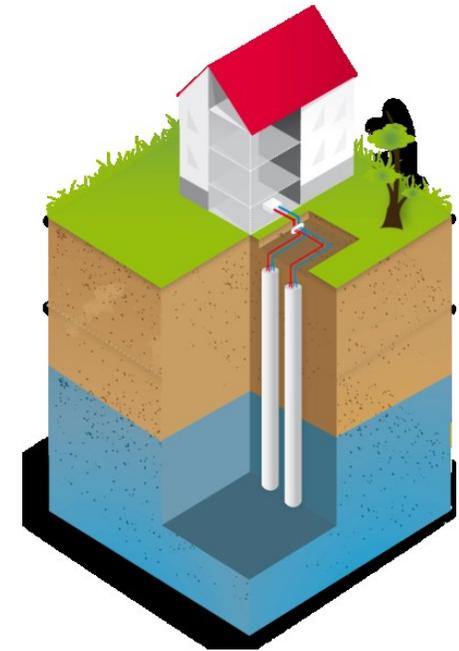
Einfach U-Sonde:



Doppel U-Sonde:



Koaxialsonde:



# Die Grundwasser-Wärmepumpe



Der Brunnenausbau orientiert sich an den jeweils angetroffenen geologischen Verhältnissen.



Brunnenausbaumaterial aus PVC (Filter- und Vollrohre). Die Brunnenrohre haben meist einen Durchmesser zwischen 125 – 200 mm.



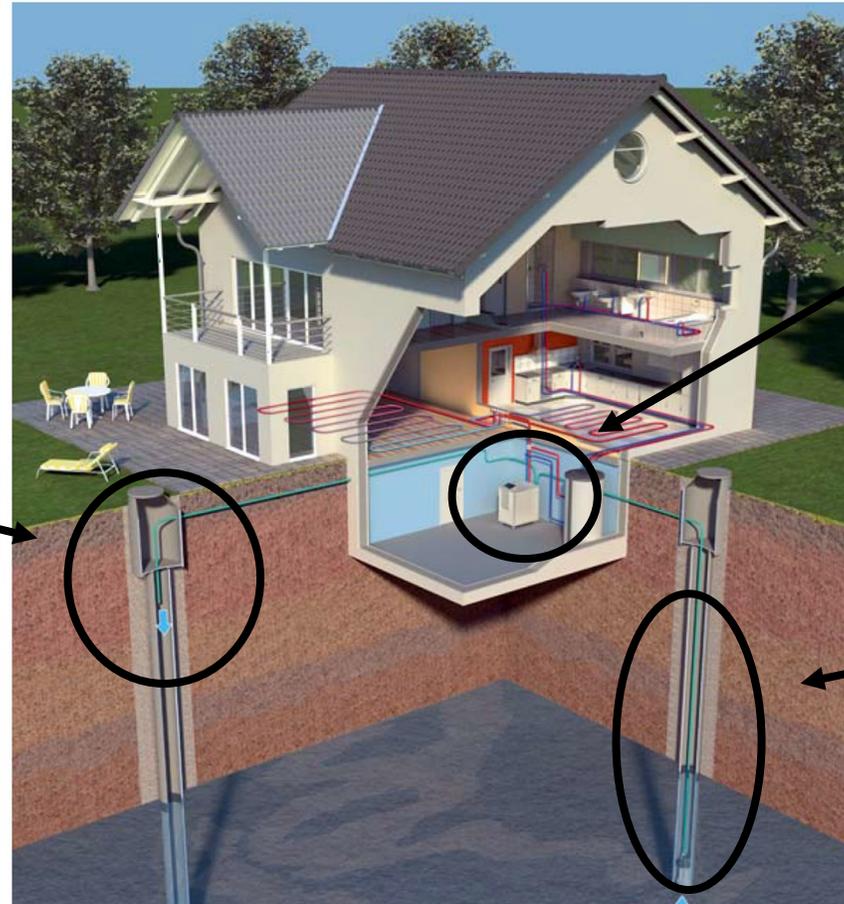
Der Pumpversuch zeigt, wie ergiebig ein Brunnen ist und welche Pumpe später für den Wärmepumpenbetrieb eingebaut werden sollte.



Um die Ergiebigkeit eines Brunnen zu optimieren, sollte vor dem Pumpversuch der Brunnen gekolbt werden.

## Schluckbrunnen:

- Wiedereinleitung des thermisch genutzten Wassers
- Im Heizfall wird das Wasser abgekühlt:  
max. bis 4°C
- Im Kühlfall wird das Wasser erwärmt:  
max. bis 20°C



Heizen und/oder Kühlen

## Wärmepumpe:

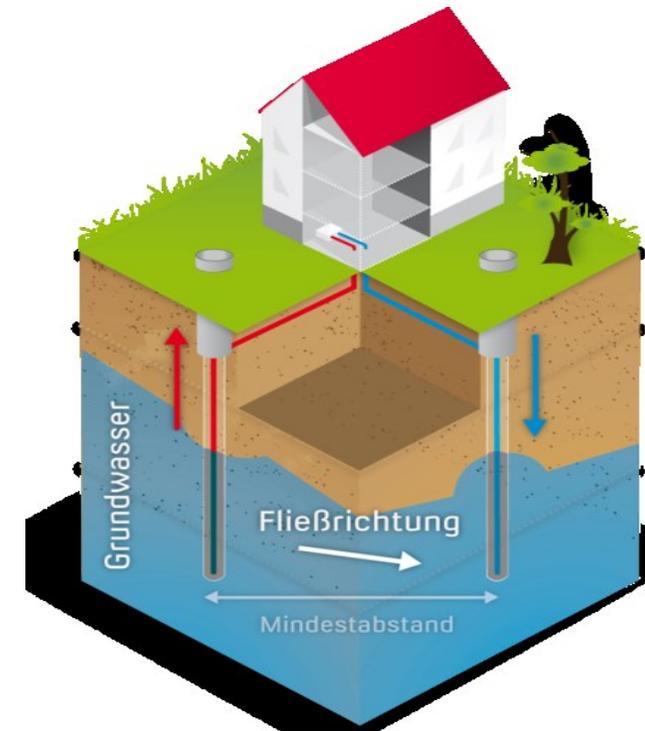
- Transfer der thermischen Energie auf das Temperaturniveau der Raumheizung
- Hohe Effizienz  
(1 kWh Strom → 4-5 kWh Wärme)

## Entnahmebrunnen:

- Installation der Brunnenpumpe, die das Wasser zur Wärmepumpe befördert

## Welche Daten werden zur standortbezogenen Planung benötigt?

- + Grundwasser:
  - + Flurabstand
  - + Fließrichtung
  - + Mächtigkeit
- + Gesteinseigenschaften:
  - + Hydraulische Leitfähigkeit
  - + Schichtenabfolge
  - + Gestein des Grundwasserleiters
- + Wasserwirtschaftlicher Rahmen:
  - + Wasserschutzgebiete
  - + Bohrtiefenbegrenzungen
  - + Temperaturniveau vor Ort



- + Geschlossener Kältekreislauf
- + Selbstzirkulierendes Wärmeträgermedium CO<sub>2</sub>
- + Keine Pumpenergie nötig
- + Langlebig und wartungsfrei

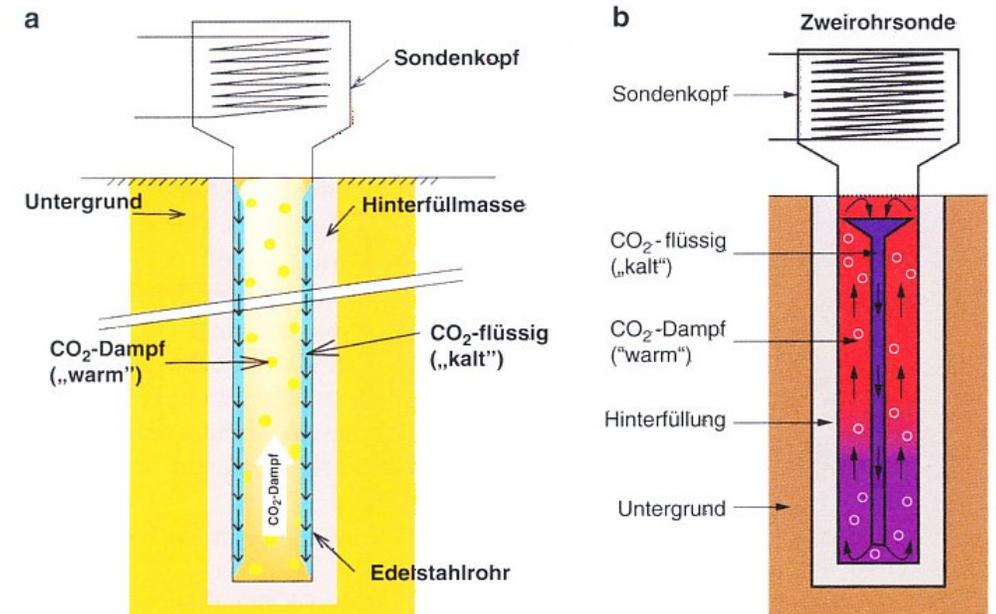
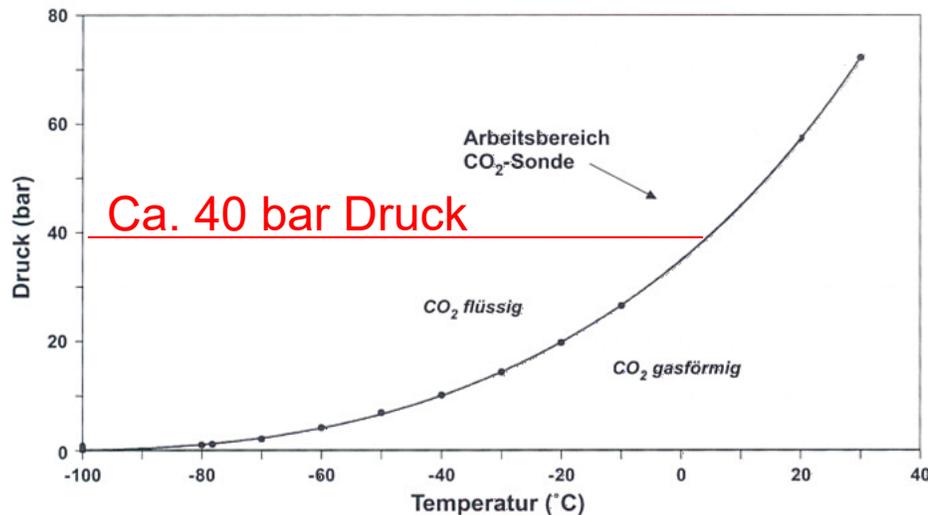


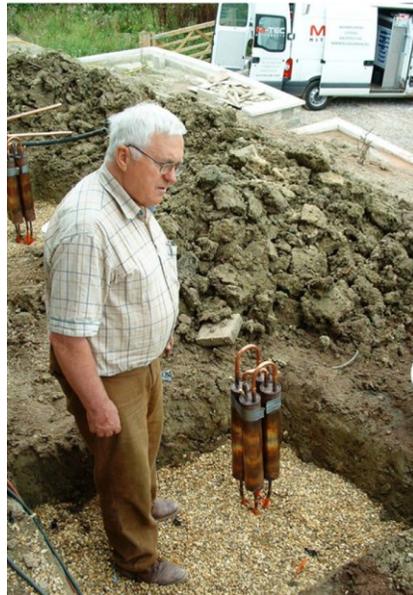
Abb. 6.20a, b Schematische Darstellung einer Phasenwechsellsonde (Heat Pipe), Einrohrsonde (a) und Zweirohrsonde (b)

Das kalte CO<sub>2</sub> tropft der Schwerkraft folgend nach unten bis zum eigentlichen Verdampfungsbereich. Hier wird das CO<sub>2</sub> erwärmt und steigt gasförmig nach oben.

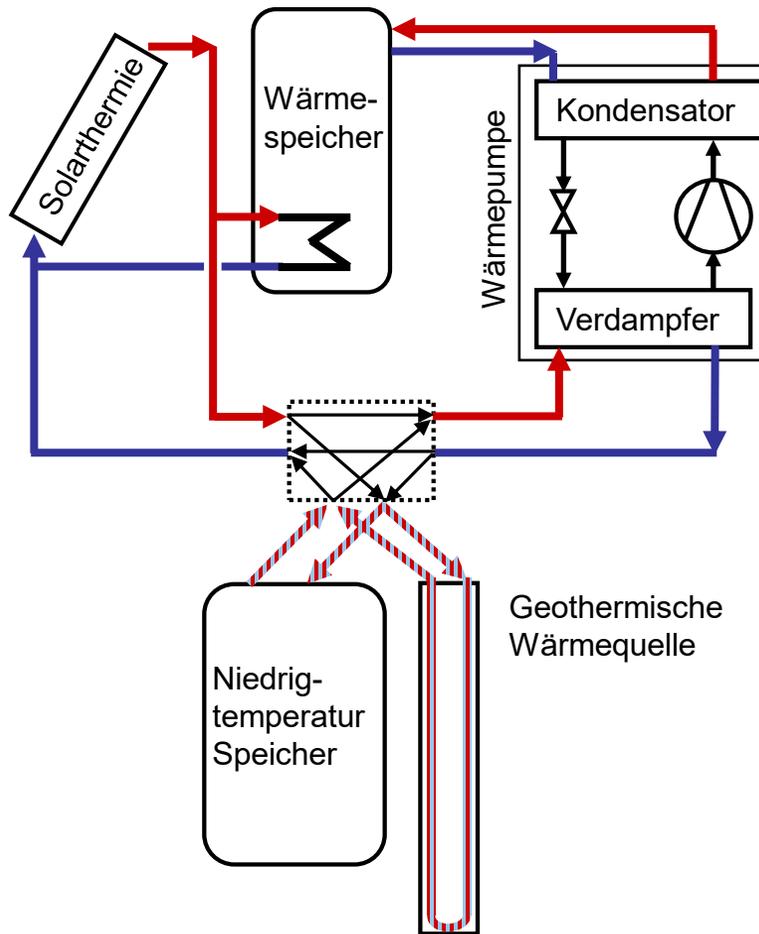


Die CO<sub>2</sub>-Sonden bestehen aus dünnen Kupferrohren, die mit Kunststoff ummantelt sind.

Die Wärme, die von der Heatpipe nach oben geschafft wird, kann an der Oberfläche über Wärmetauscher abgeführt und zum Heizen genutzt werden.



Sind die Heatpipes erst mal gebohrt und unter den Freiflächen verlegt, findet das Schneeräumen ganz von selber und komplett ohne zusätzliche Energie statt.



Verschiedene Wärmequellen können zur Verbesserung der Anlageneffizienz gekoppelt werden:

- + Solarthermie
- + Speichersysteme
- + Photovoltaik
- + Verschiedene Betriebsweisen

