

Die Physik der Wärmepumpe

Markus Drescher
Universität Hamburg - Institut für Experimentalphysik

Wozu braucht man Wärmepumpen ?

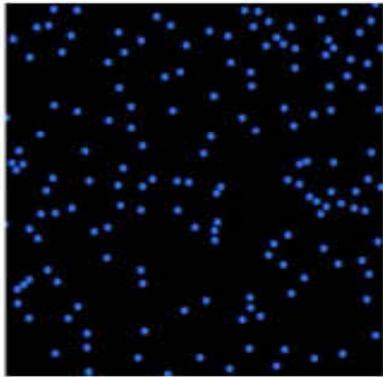
Wie funktioniert eine WP ?

Woher soll die Wärme kommen ?

Wann kann ich mich selbst versorgen ?

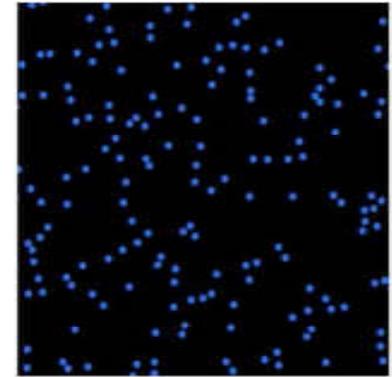
Was ist Wärme? Was ist Temperatur?

T klein



$$W = \text{Konst.} \cdot Z \cdot T$$

T groß



Wärme **W** : Bewegungsenergie von Teilchen in einem Medium,
wird gemessen in ‚Joule‘ [J]

Temperatur **T** : Mass für mittlere Bewegungsenergie je Teilchen,
wird gemessen in Kelvin [K] (*T-Intervall 1 K = 1 °C*)

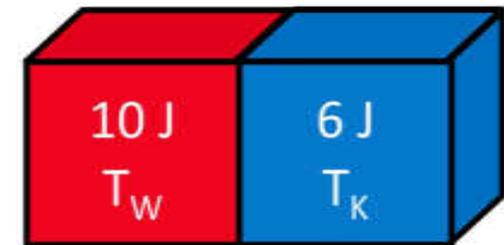
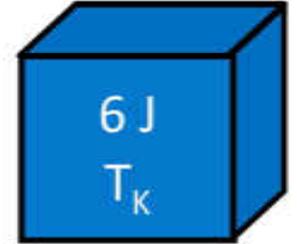
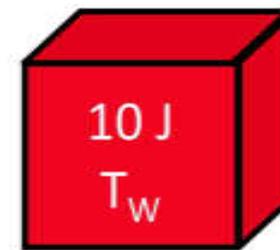
Wie fließt Wärme? Natürlich warm \rightarrow kalt!

Bsp.: Zwei Blöcke bei T_k bzw T_w
werden in Kontakt gebracht.



Temperatenausgleich !

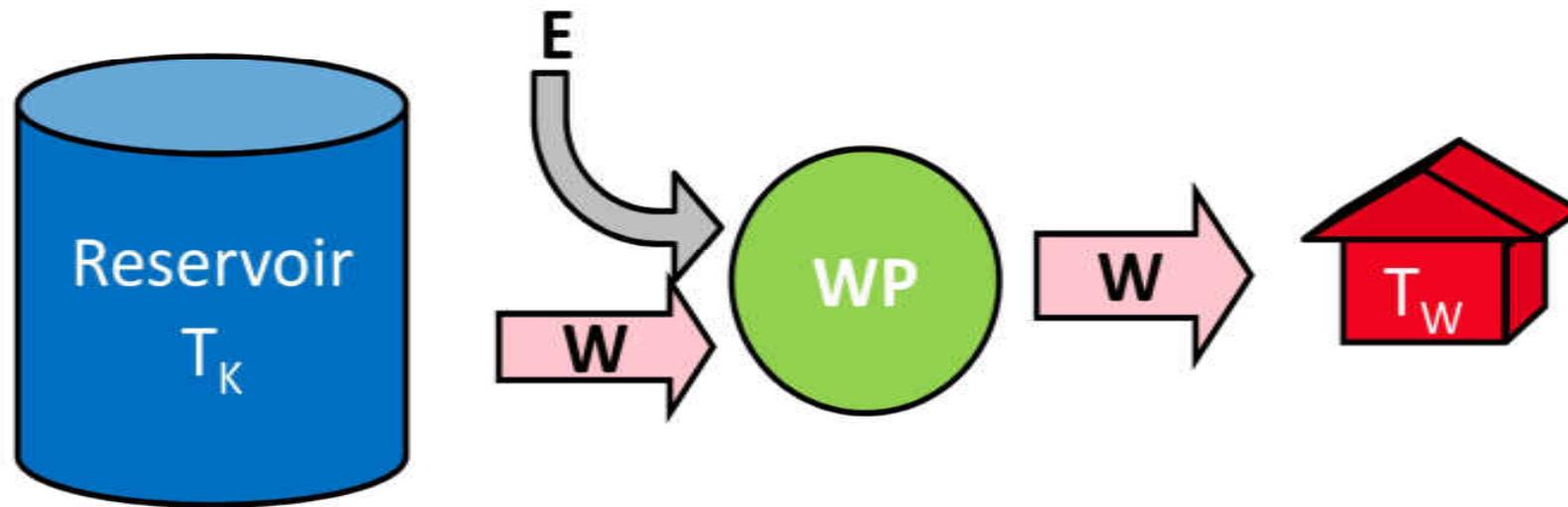
Wärme fließt von warm nach kalt.



...aber die WP soll Wärme in die
andere Richtung $T_k \rightarrow T_w$ pumpen !

Wärme von kalt → warm: nur mit Energieaufwand!

Idee einer WP: Investiere *wenig* Energie, um *viel* Wärme von **kaltem** Reservoir zu **warmem** Haus zu transportieren



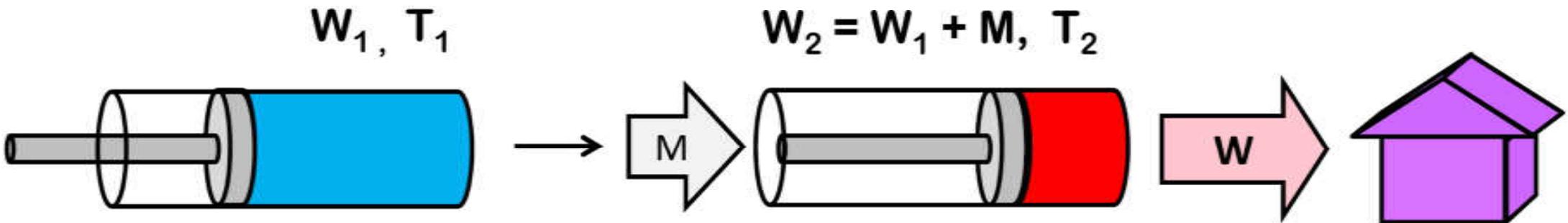
Idealerweise ist die Pump-Energie erneuerbar,
z.B. Strom aus Windkraft oder Solar

Direktes W-Pumpen mit Strom: Peltier-Element... **leider ineffizient**

Mechanische Arbeit \rightarrow Wärmetransport

Gas als Arbeitsmedium:

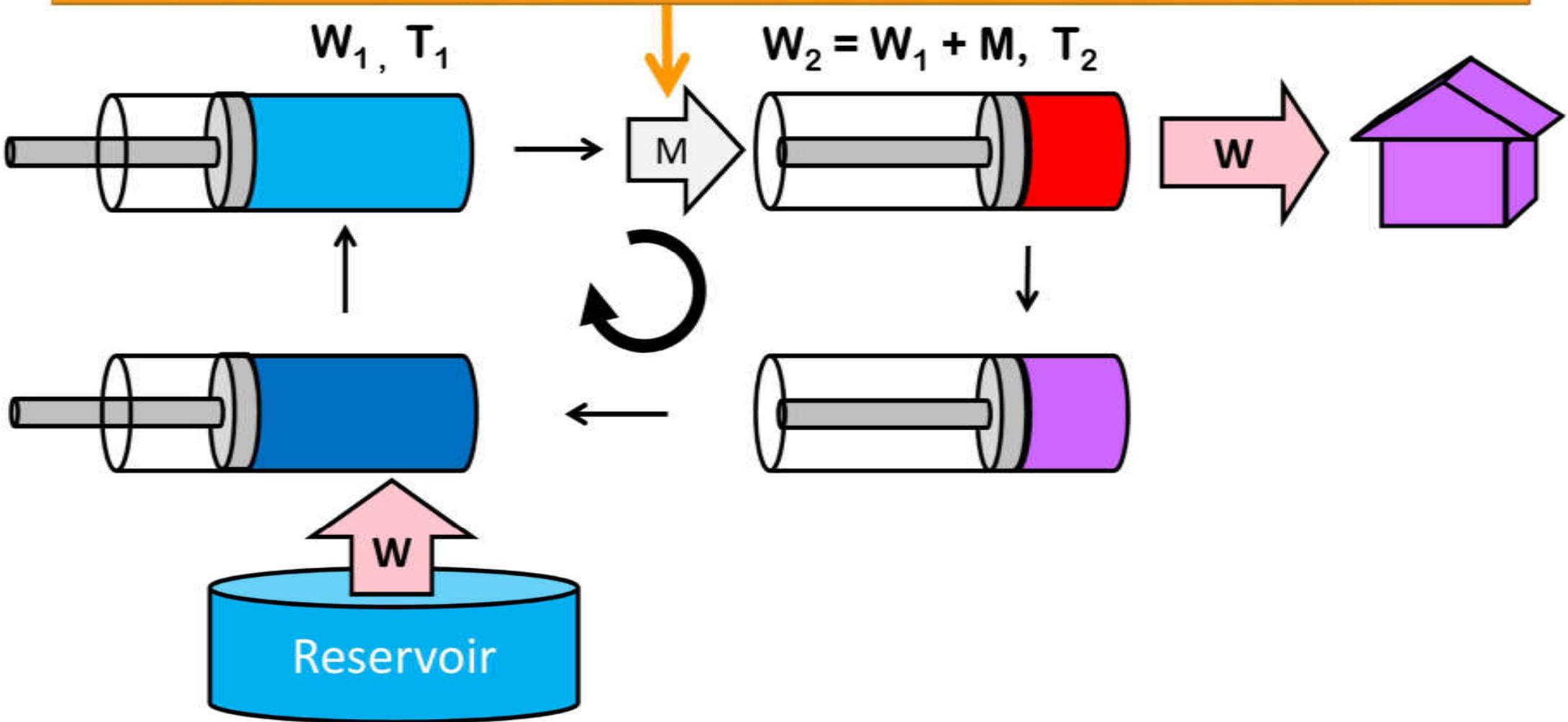
mech. Energie $M \rightarrow$ Kompression $\rightarrow T$ steigt bzw. Wärme W nimmt zu



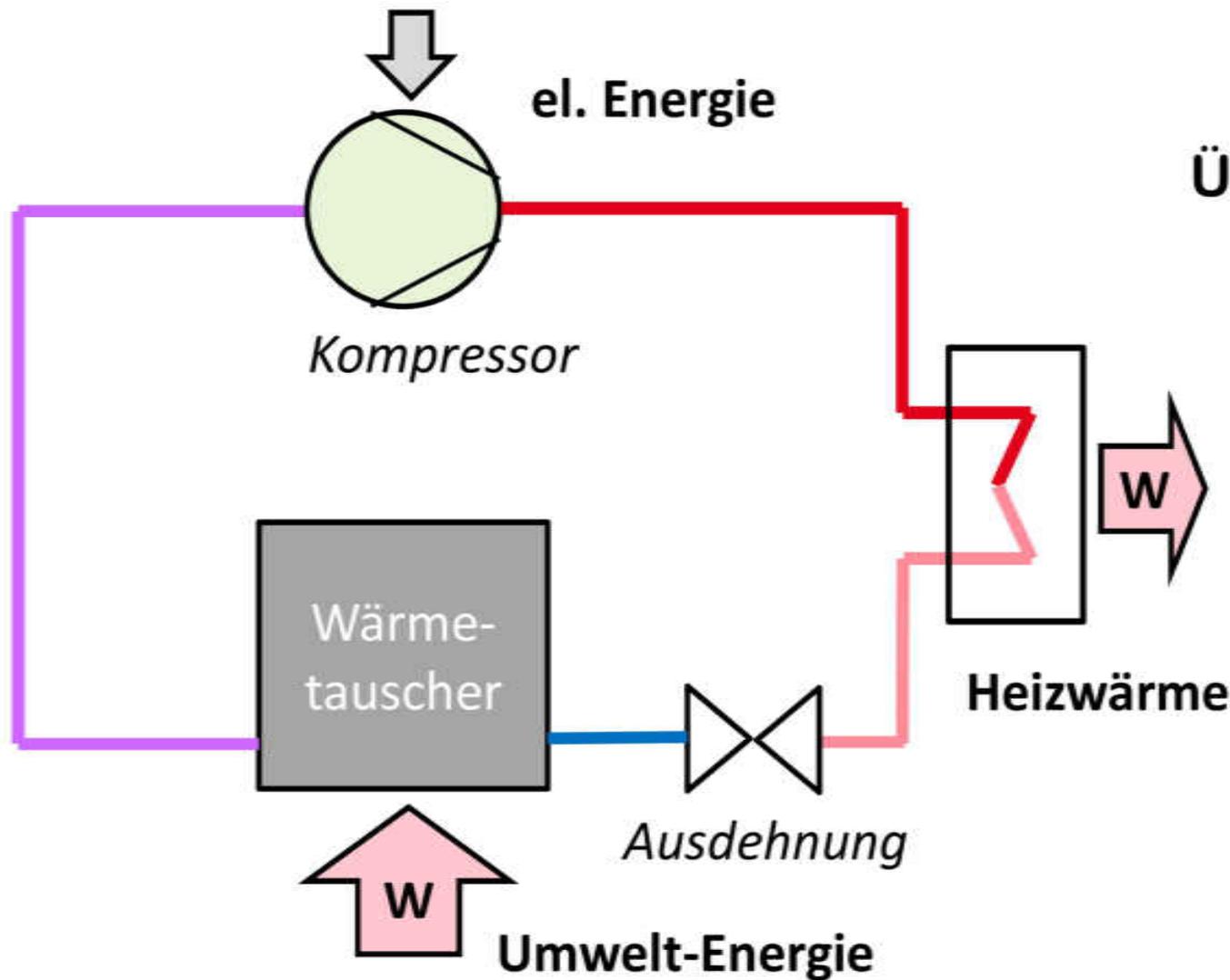
...aber das transportiert Wärme nur 1-mal
Wie dauerhaftes Pumpen ?

Dauerhaftes Wärmepumpen: Kreisprozess

...externe Energie wird nur hier gebraucht, z.B. Strom f. E-Motor



zyklische Kraft-Wärme-Maschine KWM



zusätzlich:
Übergang Gas \leftrightarrow Flüssigkeit
bei Kompression
bzw. Ausdehnung

↓
effektiverer
Wärmetransport

entscheidend:
Verhältnis Heizwärme /
el. Energie:
Wirkungsgrad

Energie-Effizienz: der ‚Wirkungsgrad‘ WG

WG einer idealen KWM: $WG_{\text{ideal}} = \frac{T_W}{T_W - T_K}$

Hoher WG insbesondere, wenn Temperaturdifferenz zwischen Heizung (T_W) und Wärmereservoir (T_K) klein ist.

Vorlauftemperatur möglichst klein bzw.
Wärmereservoir möglichst warm !

Bsp.: Vorlauftemp. 40°C,
Wärmereservoir 0°C → $WG_{\text{ideal}} = 7,3$

‚Echte‘ WP erreichen nur einen Teil des idealen WG

Im Jahresmittel erzielter WG: ‚Jahresarbeitszahl‘ JAZ

Macht das noch Sinn bei -10°C Aussentemperatur ?

$$WG_{\text{ideal}} = \frac{T_W}{T_W - T_K}$$

$$W = \text{Konst.} \cdot Z \cdot T$$

Temperaturen für Wärmegehalt des Reservoirs sind Absolut-Temperaturen in [Kelvin], nicht in [°C] !

**Gute Nachricht:
Wärmegehalt ist bei -10°C fast genauso wie bei +10°C !**

Vergleiche 10°C ≡ 283 K mit -10°C ≡ 263 K, nur 7% Unterschied !

⇒ Auch bei Minus-Temperaturen kann der Umgebung mit der WP noch viel Wärme entzogen werden.

Wichtig ist vielmehr die Temperatur-Differenz !

Woher soll die Wärme denn kommen?

Kriterien für ein gutes Wärmereservoir:

- möglichst hohe Temperatur
- möglichst wenig Wärmeabnahme über einen Winter
= hohes Wärmespeichervermögen

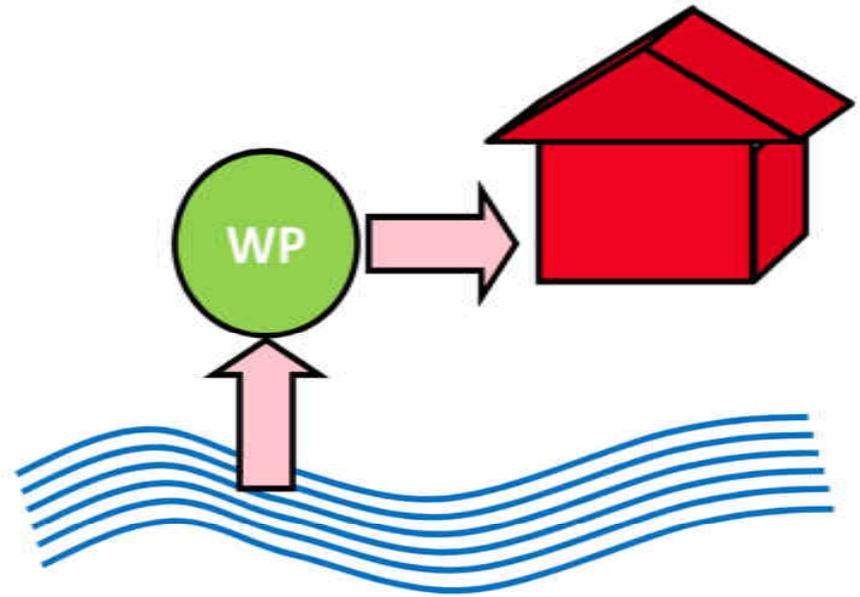
Wärmequelle: Fließendes Wasser

Wirkungsgrad JAZ bis 5

+ relativ hohes T_K

+ große Wärmekapazität

- begrenzter Zugang



Wärmequelle: Grundwasser

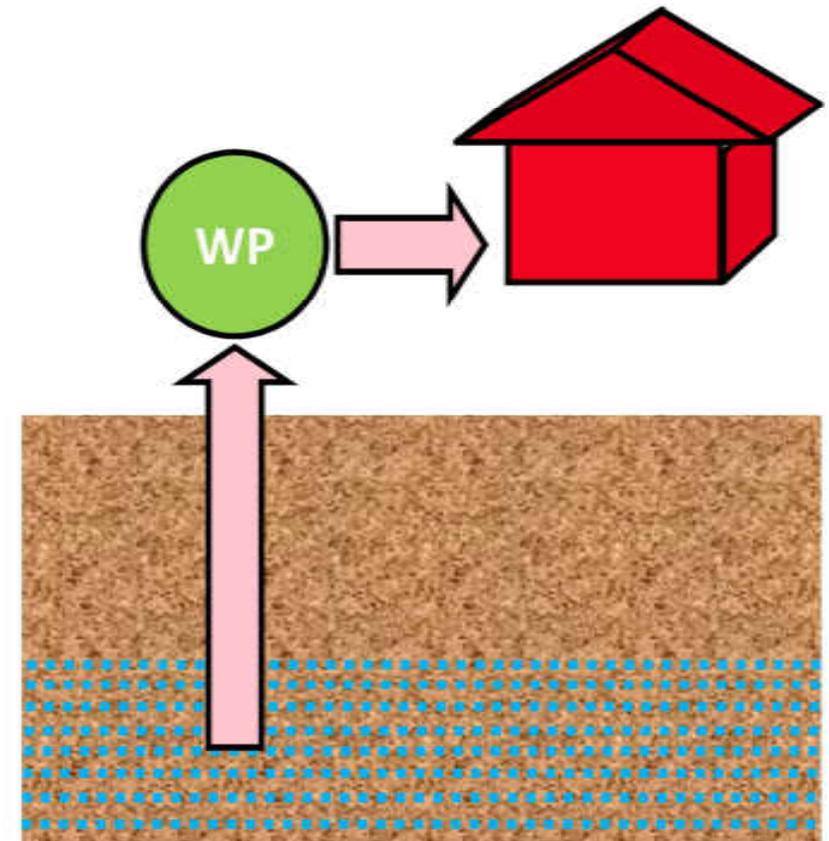
Wirkungsgrad JAZ 3 - 4

Tiefbohrung ~ 100 m Tiefe:

- + relativ hohes T_K
- teuer
- Genehmigung?

Flächenkollektor ~ 2 m - 4 m Tiefe

- + relativ hohes T_K
- großer Flächenbedarf
- sinkender Grundwasserspiegel?



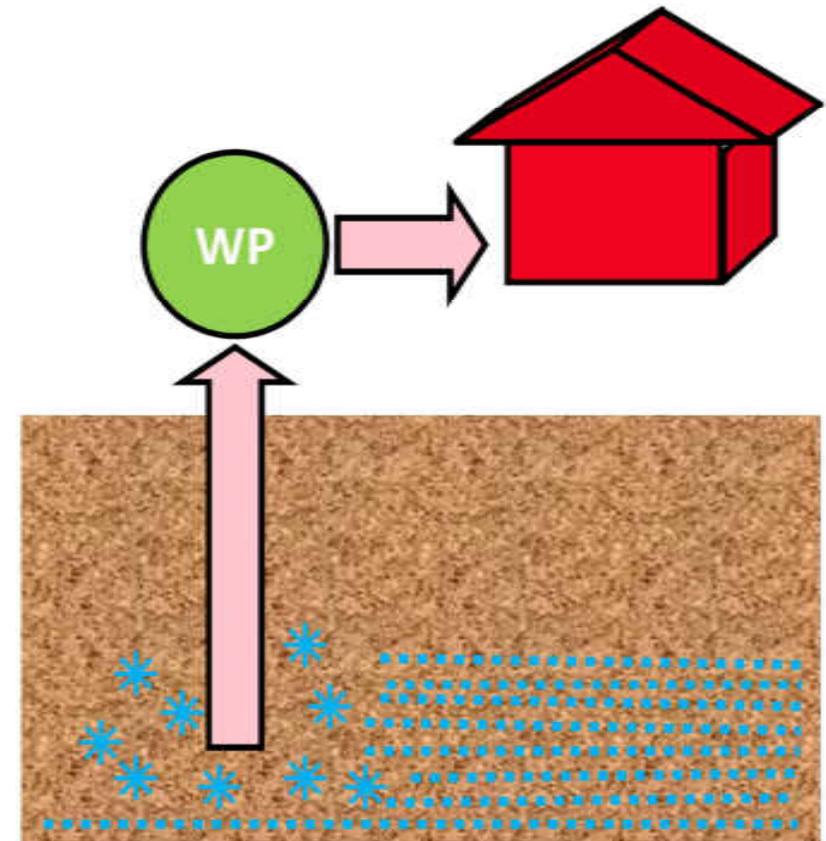
Wärmequelle: Eis !

genauer: Eisbildung beim Gefrieren von Wasser

Bsp.: Beim Gefrieren von 1 kg Eis freiwerdende Energie reicht, um gleiche Menge zum Kochen zu bringen!

+ große Wärmekapazität / Volumen

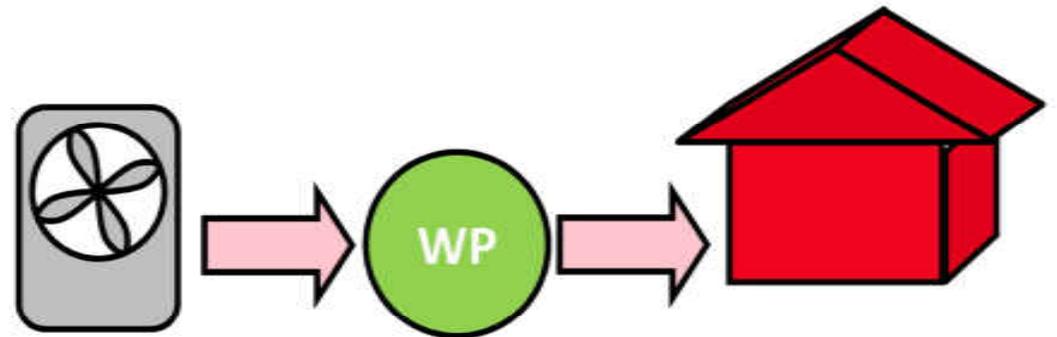
- braucht ebenfalls Grundwasser



Wärmequelle: Luft

Wirkungsgrad JAZ 2 - 3

+ unerschöpflich



- niedriges T_K bis -20°C

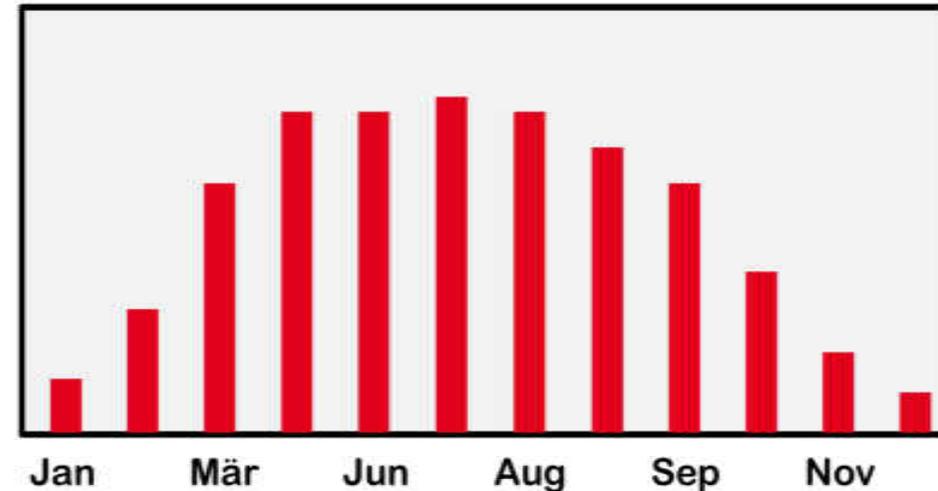
→ großes $(T_W - T_K)$ → kleiner WG an sehr kalten Tagen

- Geräuschbelästigung durch Lüfter

Deckung über Solarthermie / Photovoltaik?

Direkt über Solarthermie:

- Kann im Sommer Wärmebedarf f. Duschen, Waschen, etc. decken
- Reicht im Winter i.d.R. nicht zum Heizen, kann aber beitragen.



Energie-Autarkie ist im Winter schwer zu realisieren...

Indirekt über WP:

- Effektive Heizleistung: $W = E_{el} * JAZ$
d.h. $\sim 3-5 * \text{Leistung aus Photovoltaik}$
- Andererseits wandelt Photovoltaik nur ca. 20% der Solarenergie in Stromenergie um.

Was fehlt ? Energiespeicher Sommer → Winter

Bsp.: Jahres-Heizenergiebedarf für Haus mit 150 m², 100 kWh/m²
W = 15.000 kWh pro Jahr
...ist der Energiegehalt von 1.300 kg Heizöl

Direkt: Wärmespeicher

Bsp.: Warmwasserspeicher bei 99°C → 35°C
15.000 kWh benötigt 200 m³ !
Keller mit 2m x 10m x 10m als Thermoskanne ausbauen...

Indirekt: Antriebsenergie f. WP, z.B. Strom

Bsp.: Li-Akku (Solarstromspeicher: typ. 10 kWh)
WP mit JAZ = 3, 15.000 kWh Heizung → ca. 5000 kWh el. Energie
→ 500 Stck. Solarstromspeicher !

Zusammenfassung Wärmepumpe

Wozu ? Weniger Stromenergie / Heizperiode

**Wie ? Kraft-Wärme-Maschine: Strom \rightarrow Arbeit \rightarrow Wärme
Clou: Heizwärme ist ein Vielfaches der el. Energie**

**Wieviel ? Effizienter bei geringer T-Differenz und
geringer Vorlauftemperatur !**

Woher? Wasser / Boden / Luft, auch bei $T < 0^{\circ}\text{C}$!

Was fehlt ? Speicher Sommer \rightarrow Winter!