

# **Kalte oder lauwarme Wärmenetze, zentrale dezentrale geothermische Wärmepumpen?**

## **- Ein Vergleich**

21. Juli 2022, Mainz & Online  
16. Gebäudeenergietag Rheinland-Pfalz

Quo Vadis – Wärmepumpe im Bestand

**Transferstelle Bingen (TSB)**

Michael Münch

# Transferstelle Bingen (TSB)



Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung Bingen

Mit Energie für Effizienz und Umwelt

Die Transferstelle Bingen ist ein Institut an der FH Bingen

FACHHOCHSCHULE BINGEN  
University of Applied Sciences

[www.tsb-energie.de](http://www.tsb-energie.de)

## > **Gründung 1989**

> Als Institut an der Technischen Hochschule Bingen (TH Bingen)

> Integriert in die ITB gGmbH



> Themen: Regenerative Energiesysteme, Rationelle Energienutzung und Biogene Werkstoffe

## Mitarbeiter:innen

> Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. Oliver Türk

> **20 feste Mitarbeiter:innen + 10 freie Mitarbeiter:innen** (Professor:innen & Studierende der Technischen Hochschule Bingen und der Hochschule Mainz)

> Bundesweite Projekte mit Schwerpunkt RLP

> **Etwa 120 abgeschlossene Energieprojekte pro Jahr**

> Fachtagungen zu unterschiedlichen Energiethematen mit ca. 1.200 Besuchern pro Jahr



# 30 Jahre kommunale Klimaschutz- und Quartierskonzepte



Referenzen TSB 2018:	Gemeinden	Städte	Landkreise
<b>Klimaschutzkonzepte</b>			
<b>Integrierte Klimaschutzkonzepte</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Klimaschutzteilkonzepte: Klimaschutz in den eigenen Liegenschaften</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Klimaschutzteilkonzepte: Integrierte Wärmenutzung in Kommunen</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>1</b>
<b>Klimaschutzteilkonzepte: Erschließung der Erneuerbare-Energien-Potenziale</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Klimaschutzteilkonzepte: Klimafreundliche Mobilität</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>-</b>
<b>Klimaschutzteilkonzepte: Kommunale Anpassung an die Folgen des Klimawandels</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>-</b>
<b>Innovative Klimaschutzteilkonzepte</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>
<b>Energetische Quartierskonzepte nach KfW 432</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>-</b>






Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

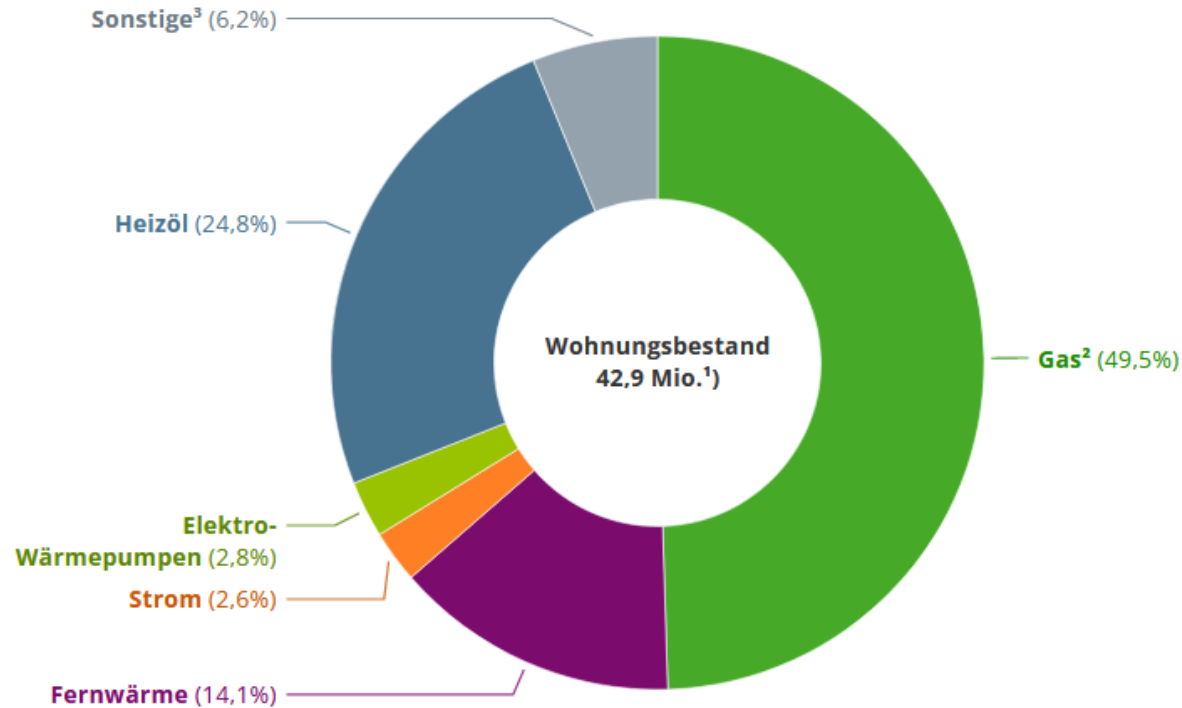


# Ziele – übergeordnete Ebene

		IST 2018	2030	2045	2050
	<b>THG-Emissionen</b>	3.764 Mio. t (-22,5 %*)	-55 %*		-100 %*
EU					
	<b>THG-Emissionen</b>	856 Mio. t (-31 %*)	-65 %*	-100 %*	
DE					
	<b>THG-Emissionen</b>	2015 37 Mio. t (-37 %*)	2035-2040 -100% THG* 100% EE Strom bis 2030 <small>(Koalitionsvertrag 2021-2026)</small>		
RLP					
Beispiel VG	<b>THG-Emissionen</b>	~0,3 Mio. t			

\*Bezugsjahr: 1990

Anteile der genutzten Energieträger in %

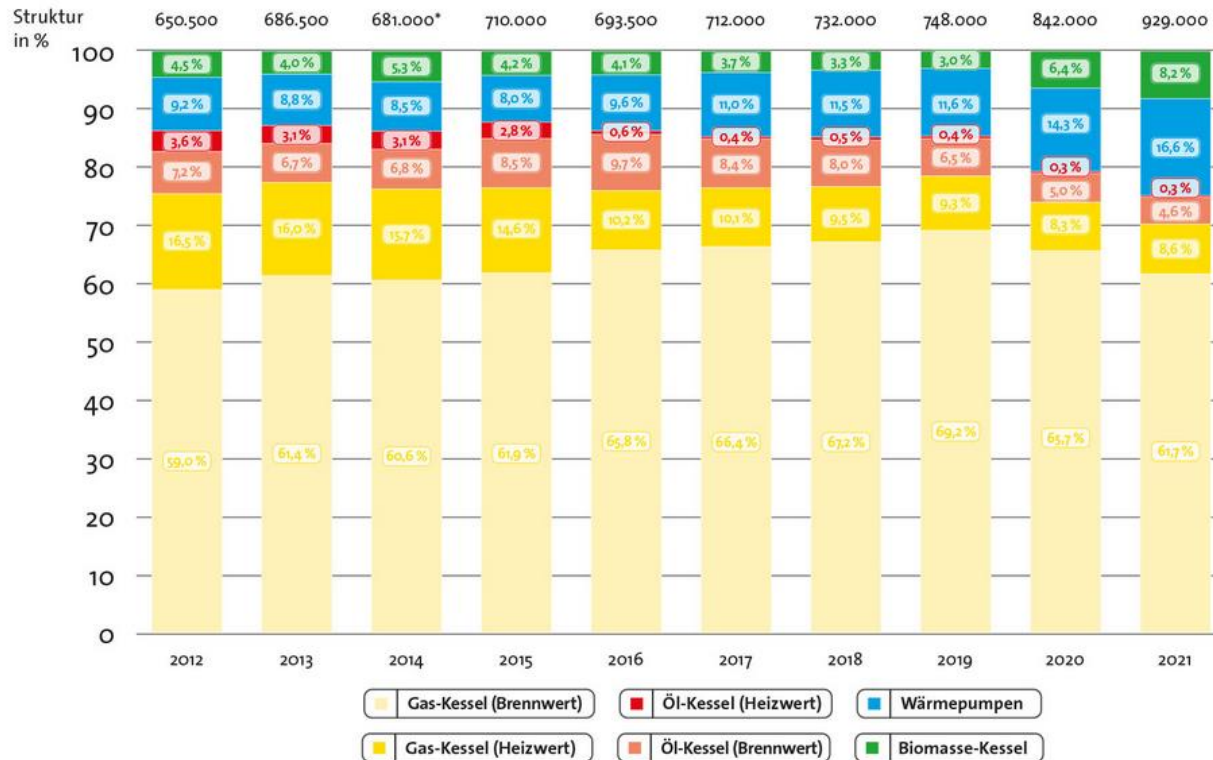


<sup>1</sup> Anzahl der Wohnungen in Gebäuden mit Wohnraum; Heizung vorhanden

<sup>2</sup> einschließlich Bioerdgas und Flüssiggas

<sup>3</sup> Holz, Holzpellets, sonstige Biomasse, Koks/Kohle, sonstige Heizenergie

<sup>4</sup> vorläufig



\* Eine Erweiterung des Meldebereiches in der Produktstatistik „Biomassekessel“ im Jahr 2014 führte zu höheren Stückzahlen im Vergleich zum Vorjahr, die prozentuale Entwicklung zum Vorjahr ist aber negativ.

## Marktentwicklung Wärmeerzeuger Deutschland 2012–2021

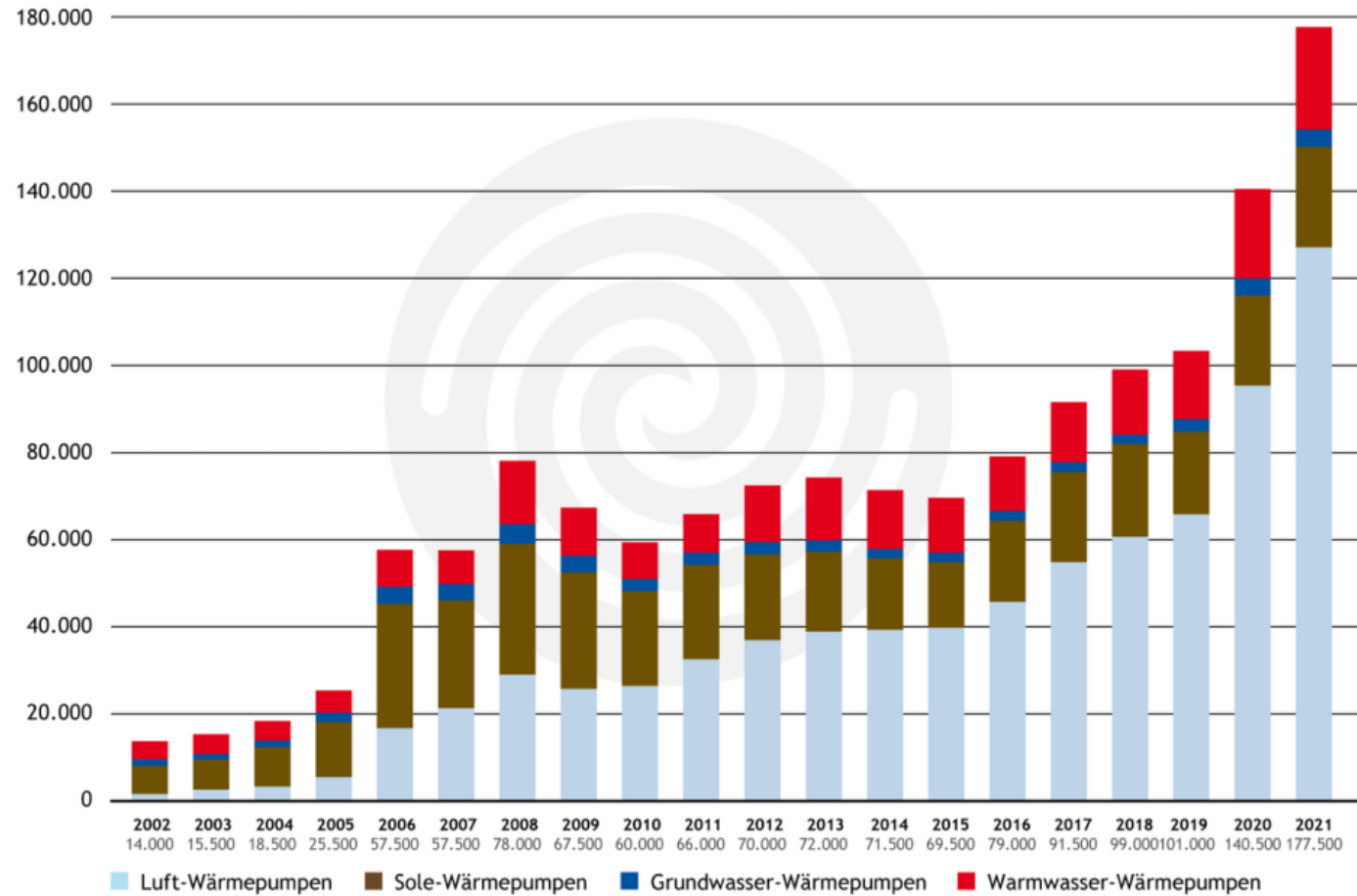
Gemeinsame Erklärung vom virtueller Wärmepumpengipfel am 29.06.2022:

„Die Unterzeichner dieser Erklärung vereinbaren, gemeinsam mit der Bundesregierung die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass **ab 2024 mindestens 500.000 Wärmepumpen jährlich neu installiert** werden können.“

„Wir stellen uns gemeinsam dieser Herausforderung und werden ambitionierte Beiträge zu einem **schnellstmöglichen Wärmepumpenhochlauf** leisten. Dazu gehören eine Neuausrichtung und Erhöhung der Kapazitäten in der Produktion, in den zugehörigen Zulieferindustrien sowie bei Planung und Installation.“

„Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz wird **Anreize setzen**, damit **Wärmepumpenproduktion und -installation beschleunigt** und **Markthemmnisse** in der Technologie, Förderung und Regulatorik **abgebaut werden**.“

Absatzentwicklung Wärmepumpen in Deutschland 2002-2021  
Nach Wärmepumpentypen

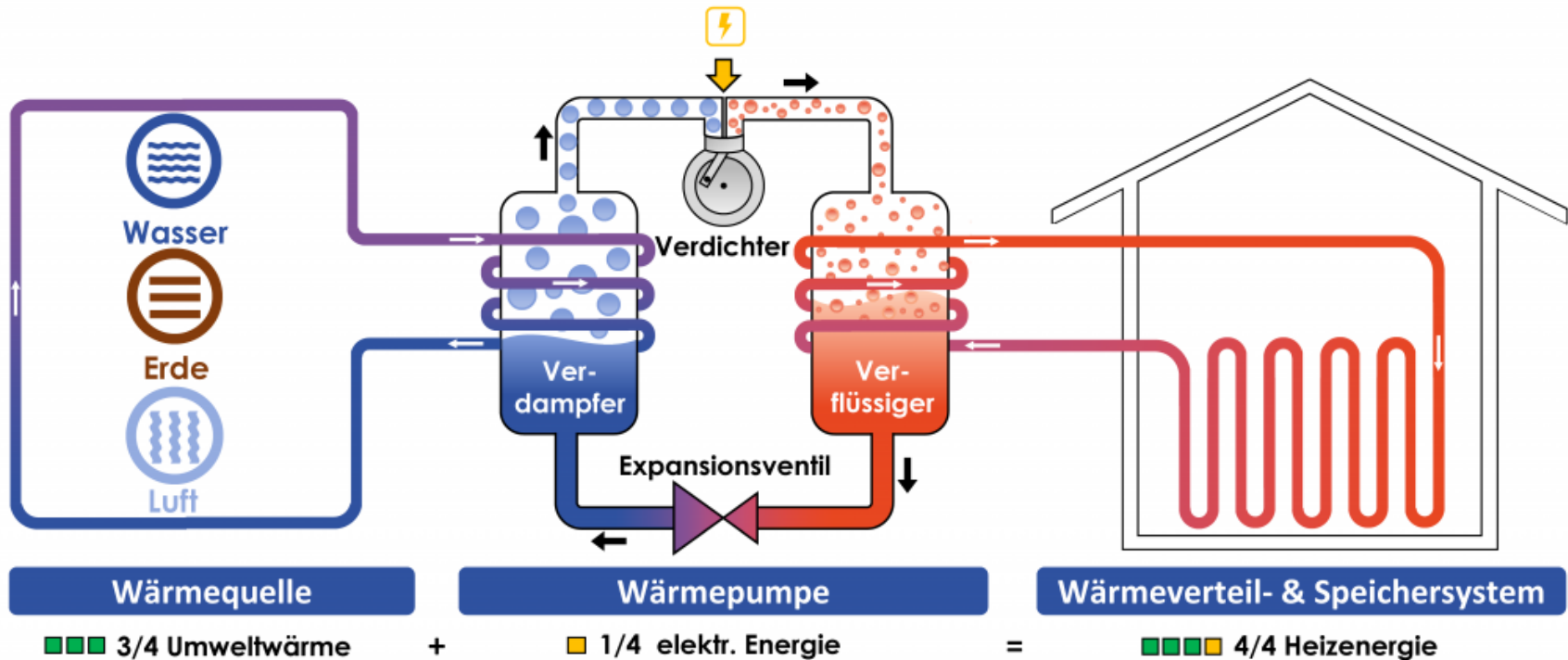


Quelle: BWP/BDH-Absatzstatistik

**bwp** Bundesverband  
Wärmepumpe e.V.

[Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V., 2022]

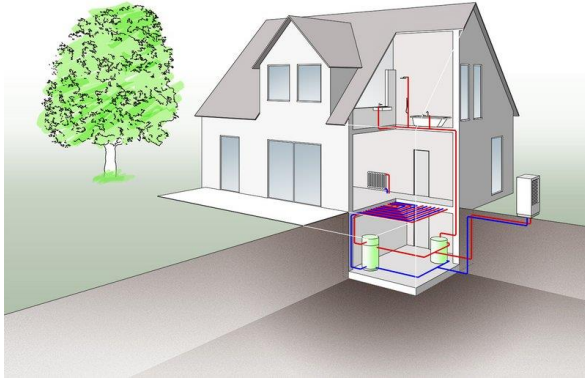




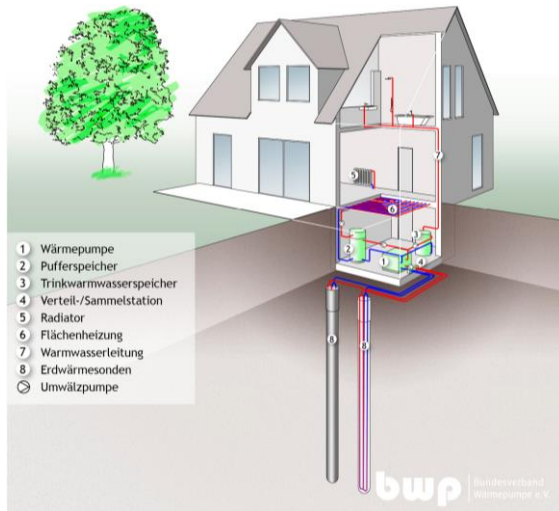
**Effizienz der Wärmepumpen:**  
Stromverbrauch steigt mit steigender  
Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und dem  
Temperaturbedarf des Nutzers – beim Heizen, der  
Warmwasserbereitung und beim reversiblen Kühlen  
(vor Allem bei der L/W-WP).

## Dezentral

### Dezentrale Luft/Wasser-Wärmepumpe

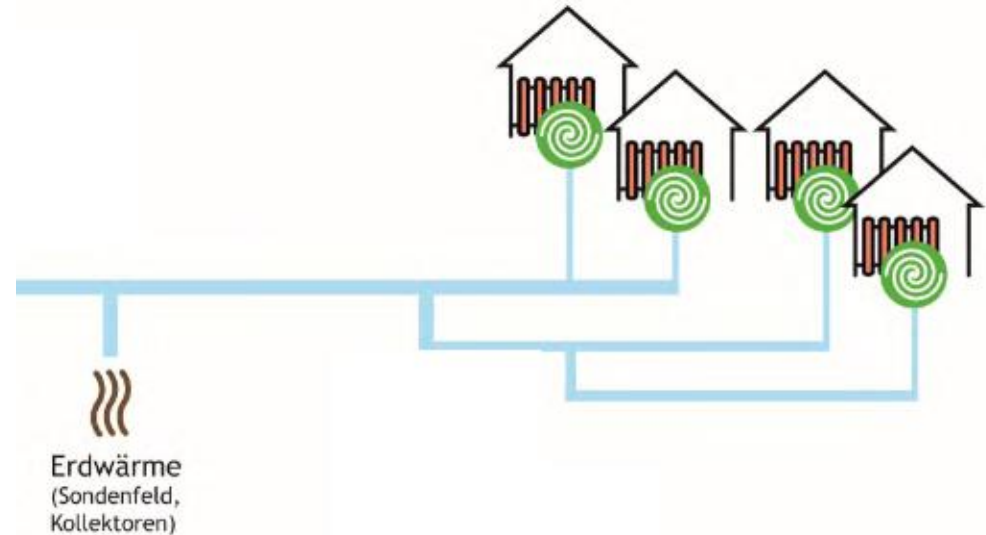


### Dezentrale Wärmepumpe mit Erdwärmesonde

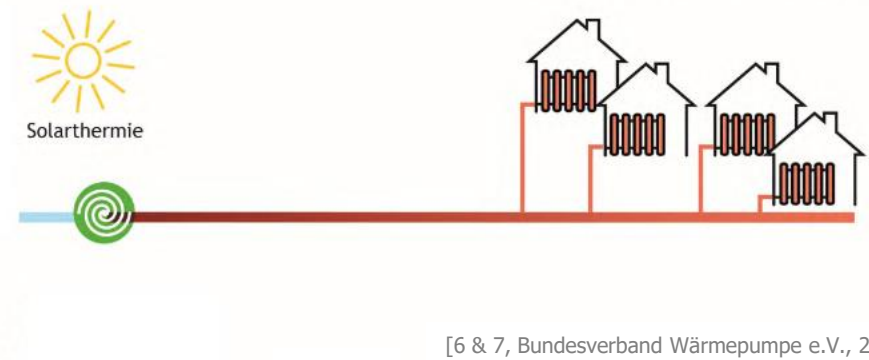


## Zentrale Versorgung mit Netz

### „Kalte“ Nahwärme mit dezentralen Wärmepumpen

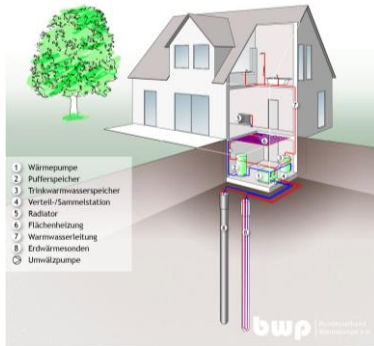


### LowEx-System mit zentraler Wärmepumpe



[6 & 7, Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2022]

# Warum ist der Marktanteil erdgekoppelter Wärmepumpen mit dezentralen Erdwärmesonden verhältnismäßig gering?



Hoher Aufwand und Kosten für eine Umsetzung im Einzelfall führen dazu, dass das System nur selten die Umsetzung in die Praxis findet!

## Planung

- Vorliegen einer Wärmebedarfs-ermittlung (Haustechnikplaner/Architekt)
- Wahl der geeigneten Wärmepumpe
- Anfertigen einer geothermischen Standortbewertung
- Geothermische Testarbeiten bei Anlagen > 30 kW
- Ausschreibung der Bohrarbeiten und Vergleich der Angebote
- Vorliegen aller Genehmigungen

## Bohrung

- Zertifizierung des Bohrunternehmens nach DVGW-Arbeitsblatt W120-1/-2
- Einsatz fachkundigen und geschulten Bohrpersonals
- Kenntnisse der lokalen Geologie
- Beachtung der behördlichen Auflagen
- Dokumentation aller Arbeiten
- Sofortige Meldung von Zwischenfällen an zuständige Stellen
- falls empfohlen oder für Fördermittel erforderlich: hörtkorn geothermic, verschuldensunabhängige Versicherung

## Sonde

- Externe Erdwärmesystemüberwachung z. B. durch das Süddeutsche Kunststoffzentrum Würzburg (SKZ) oder einer gleichwertigen Organisation nach der Norm HR 3.26
- Werksgeschweißte Erdwärmesonden ohne weitere Schweißmuffen am Strang, sofern der Sonden-durchmesser den Transport der vorgefertigten Sonde auf einer Haspel erlaubt
- Werkprüfzeugnis nach DIN EN 10204 des Herstellers beiliegend
- Der Einbau sowie die Abnahmeprüfungen sollten nach Vorgaben der Installationsrichtlinie für Erdwärme-produkte des Kunststoffrohrverbandes (KRV) erfolgen.

## Verfüllung

Die Suspension muss nach ihrer Aus-härtung eine dichte und dauerhafte Einbindung in das umgebende Gestein gewährleisten. Moderne Verfüllbaustoffe erfüllen daher vier Funktionen:

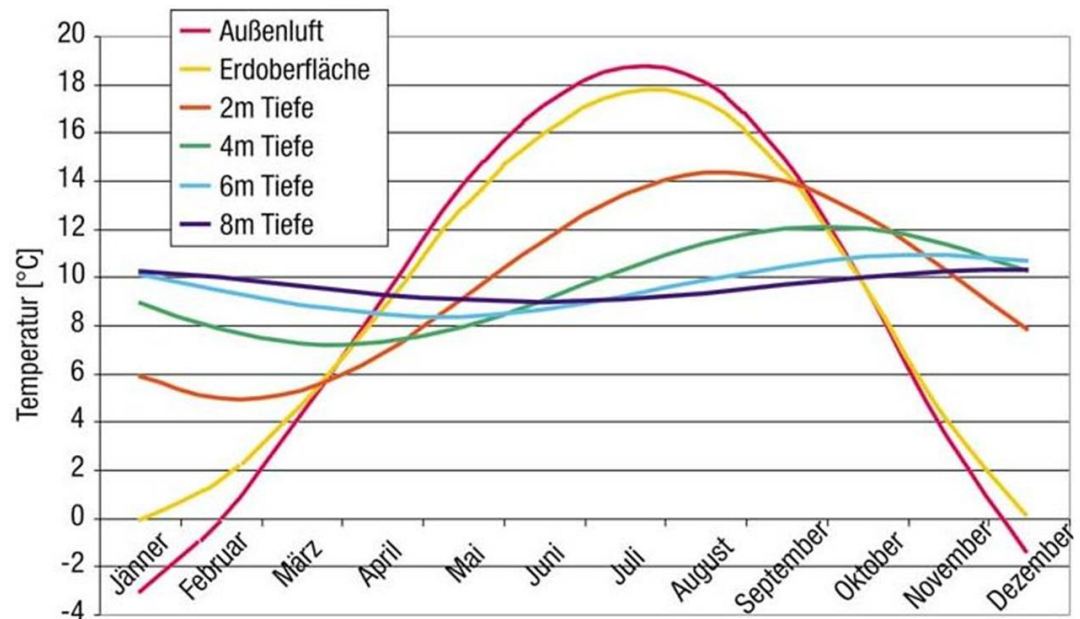
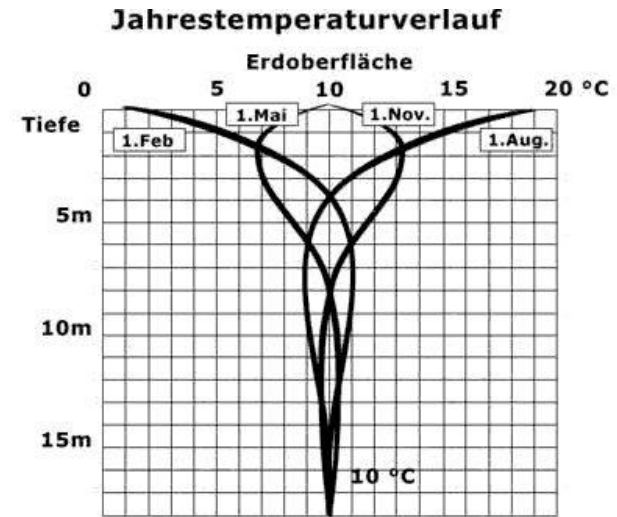
- **Mechanisch** – Bohrloch-Stabilisierung
- **Thermisch** – Wärmeübertragung vom Gestein zum Sondenrohr
- **Sicherheitstechnisch** – Schutz des Sondenrohrs vor Beschädigungen
- **Hydraulisch** – Trennung der Grundwasserleiter und -stauer

Der Einbau des Materials hat grundsätz-lich über ein Verfüllrohr oder -gestänge im Kontraktorverfahren zu erfolgen. Dabei sind die Verfüllbaustoffe nach Her-stellerangaben anzumischen.

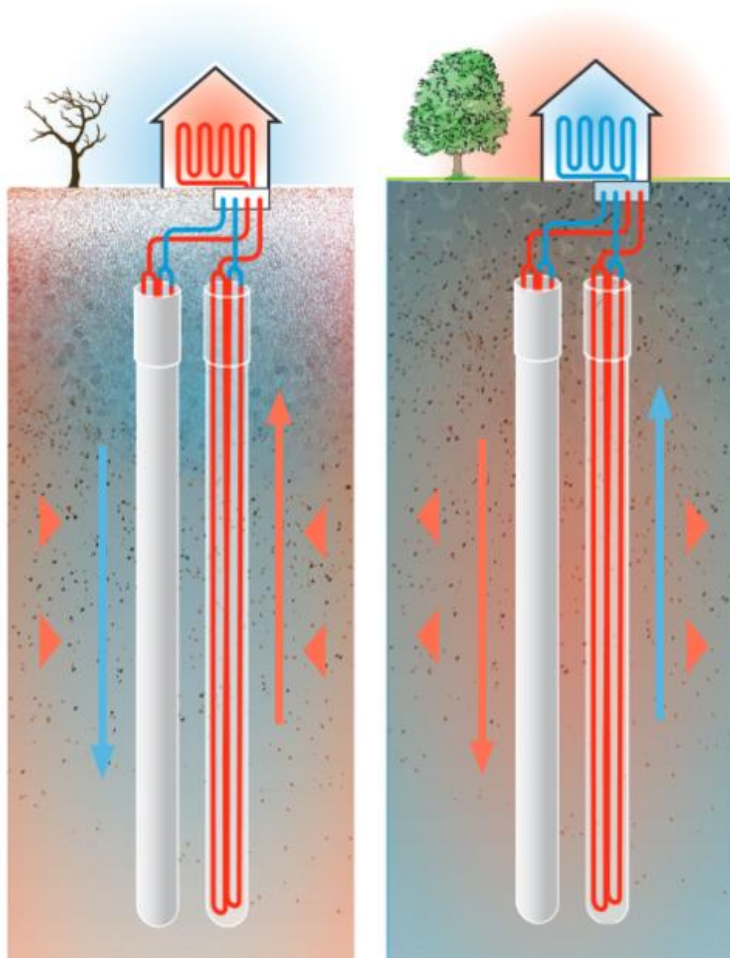
[8, Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2022]



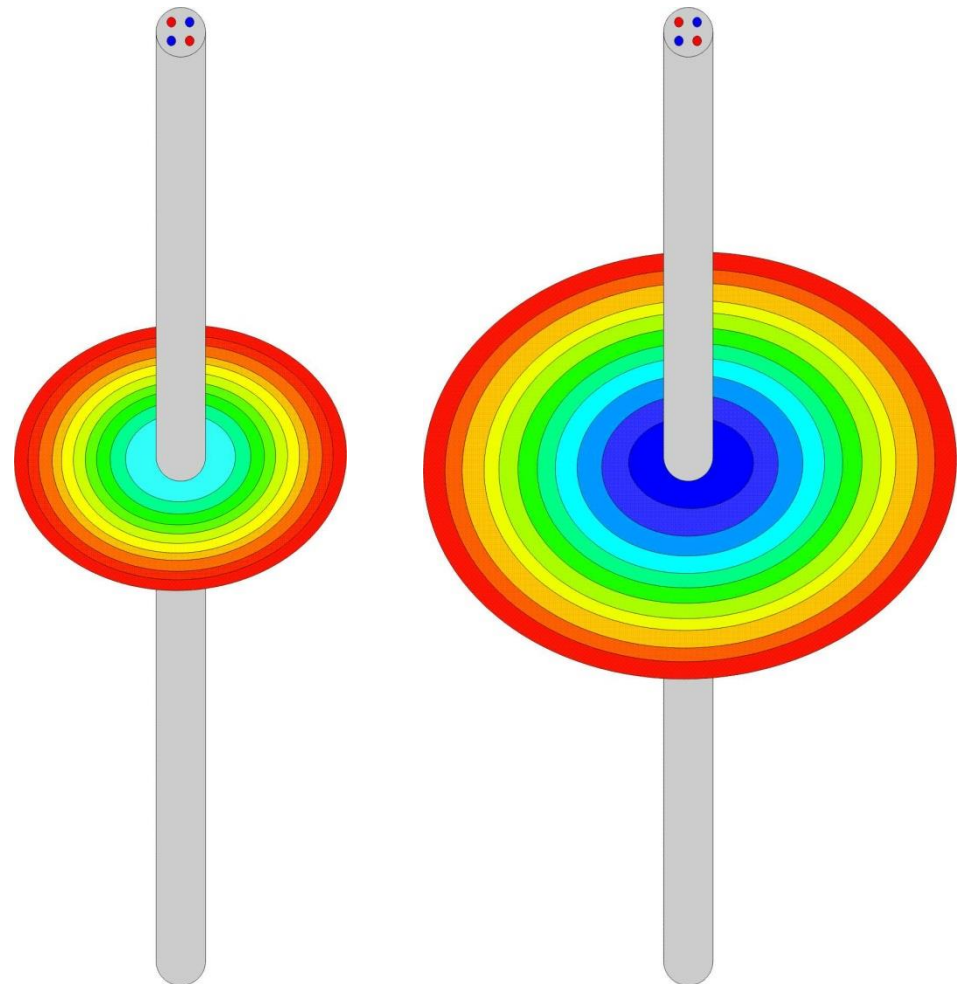
Quelle für die Abbildungen: igem/TSB



# Regeneration des geothermischen Potentials durch Heizen und Kühlen im Verbund



[8, Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2021]

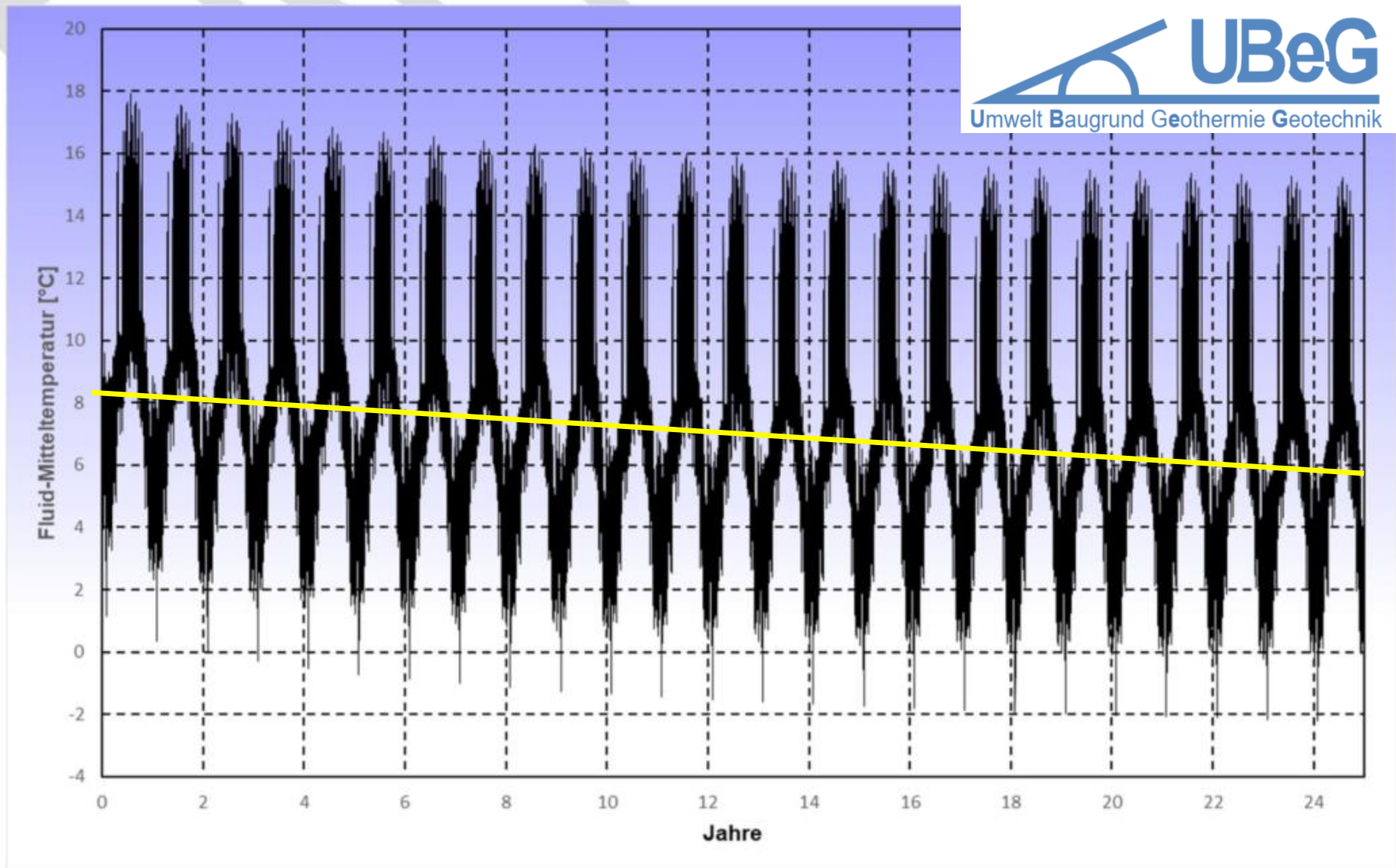


Heizbetrieb im Winter

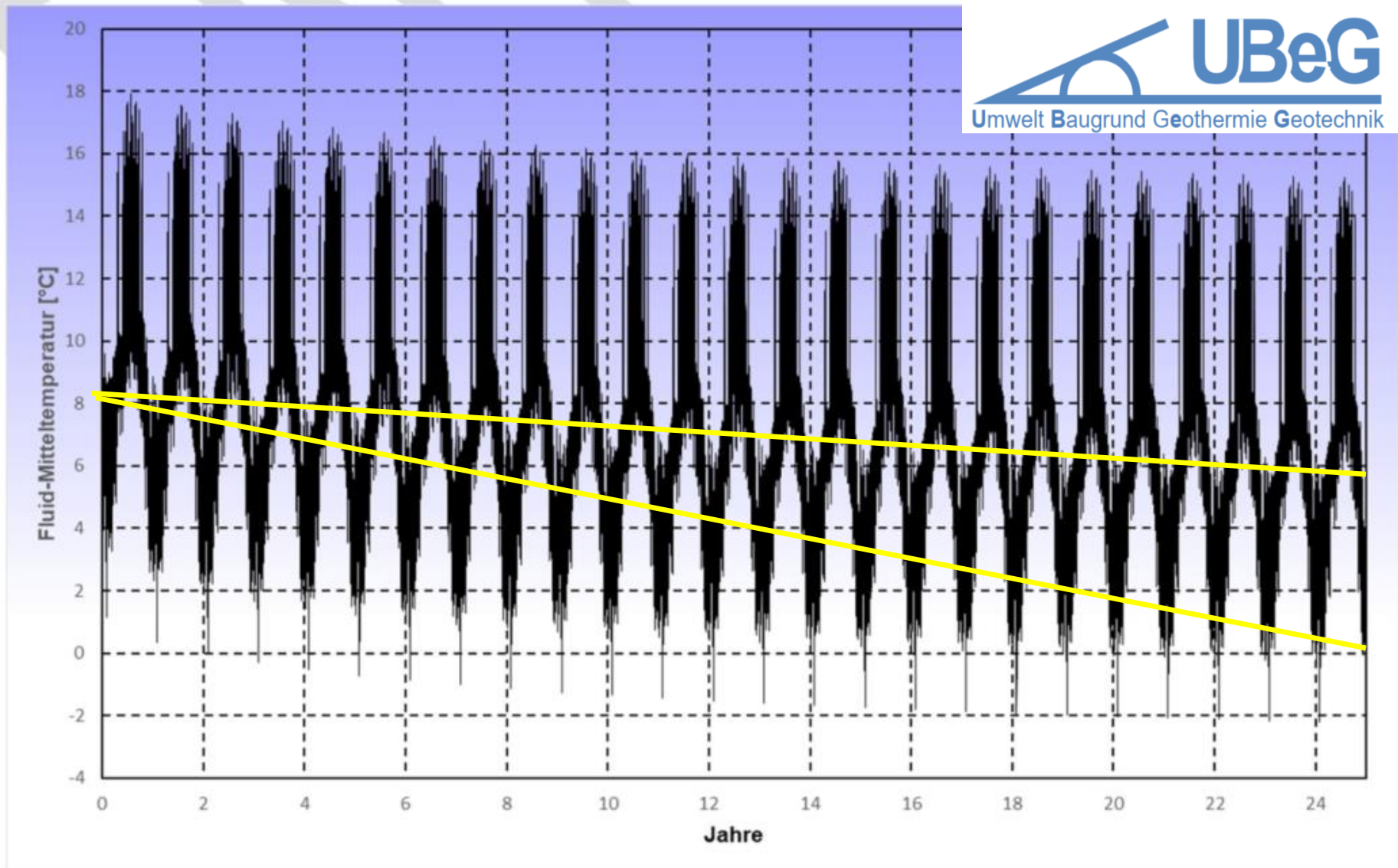
Kühlbetrieb im Sommer

Auskühlen der Erdwärmesonde mit und ohne Regeneration durch Kühlbetrieb im Sommer

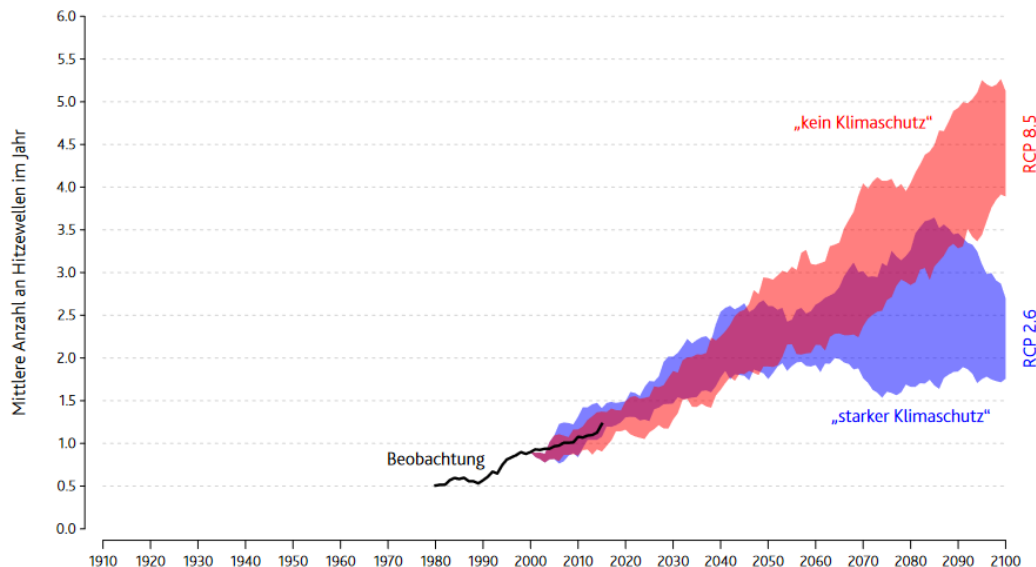
# Temperatursimulation Geothermie mit Regeneration



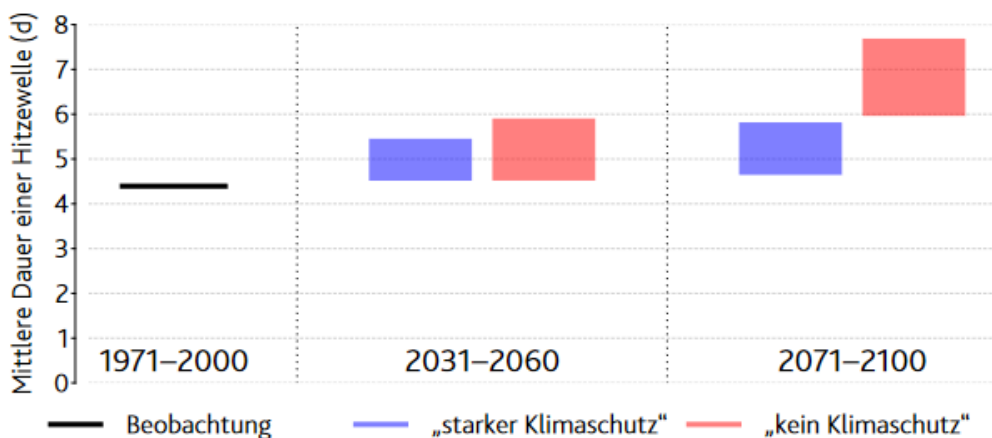
# Temperatursimulation Geothermie mit Regeneration



# Bedeutung der Kühlung Klimawandel und Hitzewellen



Projektion der zukünftigen Entwicklung der mittleren Anzahl an Hitzewellen im Jahr in Rheinland-Pfalz



Projektion der zukünftigen Entwicklung der mittleren Dauer von Hitzewellen im Jahr in Rheinland-Pfalz

- In den vergangenen Jahrzehnten konnte eine Zunahme der Hitzebelastung in Rheinland-Pfalz beobachtet werden
- Dies gilt für:
  - Anzahl der Hitzewellen
  - Dauer der Hitzewellen

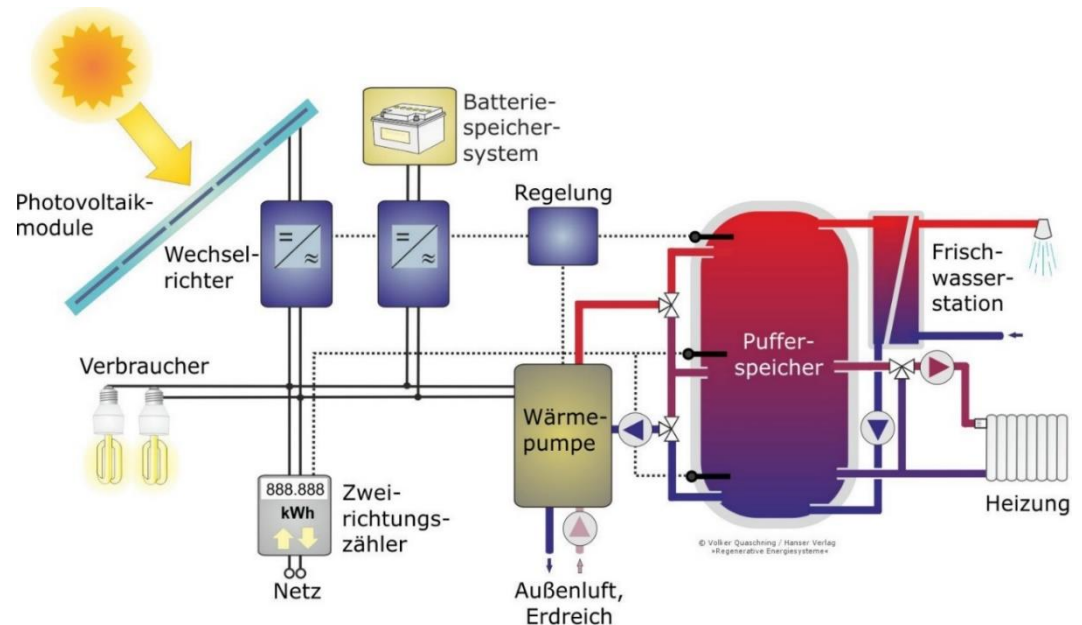
- **Zukünftig ist mit einem weiteren Anstieg zu rechnen**



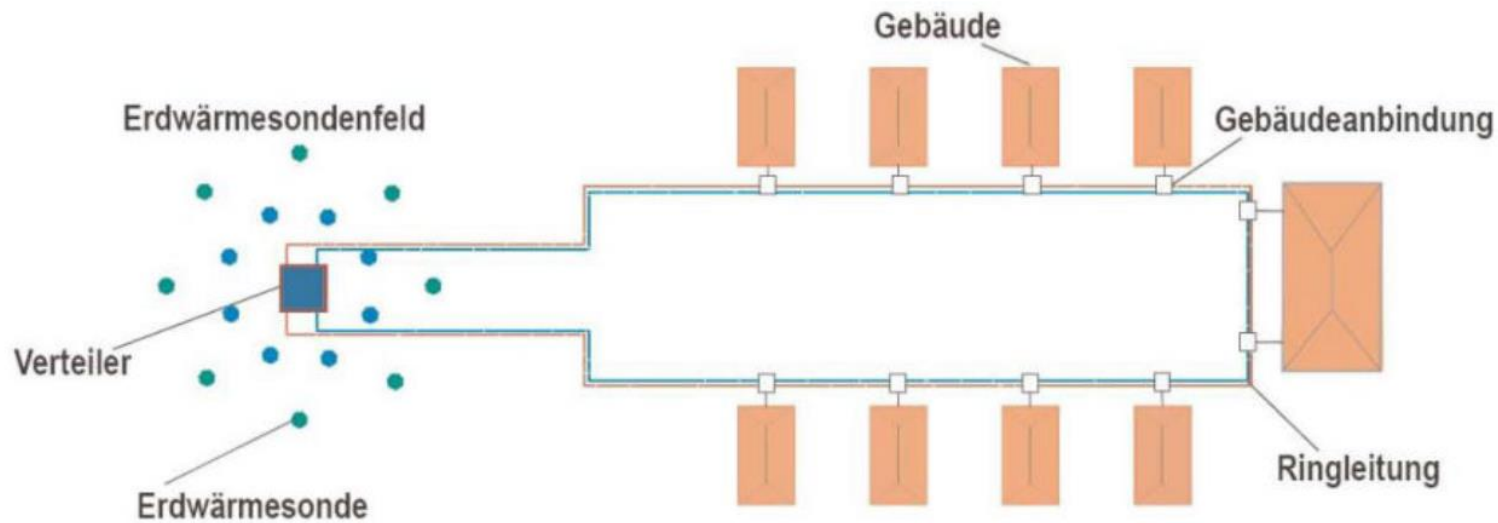
# Eigenstromnutzung

## Kalte Nahwärme

- Simulationsdaten der Software PV\*SOL Premium 2021 (R4) zeigen, dass der Eigenverbrauchsanteil des insgesamt erzeugten Stroms der dezentralen PV-Module über alle Gebäudetypen hinweg durch die dezentrale WP (um ca. 10%) erhöht werden kann
- Mit dem PV-Strom vom eigenen Dach können ca. 30% des durch die Wärmepumpe verursachten Stromverbrauchs gedeckt werden
- Auf diesem Weg kann aktiv ein Beitrag geleistet werden, um die Stromnetze zu entlasten
- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems aufgrund einer reduzierten Strommenge, die zugekauft werden muss (monetärer Vorteil = Differenz zwischen dem Arbeitspreis des Netzstroms und den Stromgestehungskosten der PV-Anlagen)



[11, Quaschnig, 2015]



## Wärmequelle

## Wärmeverteilung

## Wärmesenke

Kalte Nahwärme erschließt eine gemeinsame, meist geothermische Wärmequelle mit deutlich geringerem Aufwand als bei einer Einzelnutzung für jedes Gebäude.

Die Verteilung erfolgt im Rahmen der Erschließung in günstigen ungedämmten Rohrleitungen (Energieeintrag aus Erdreich (Kollektorwirkung), große Speichermasse).

Die Gebäude werden ganzjährig mit einer niedrig temperierten Wärme versorgt, die zum klimafreundlichen Heizen und passivem Kühlen dient.

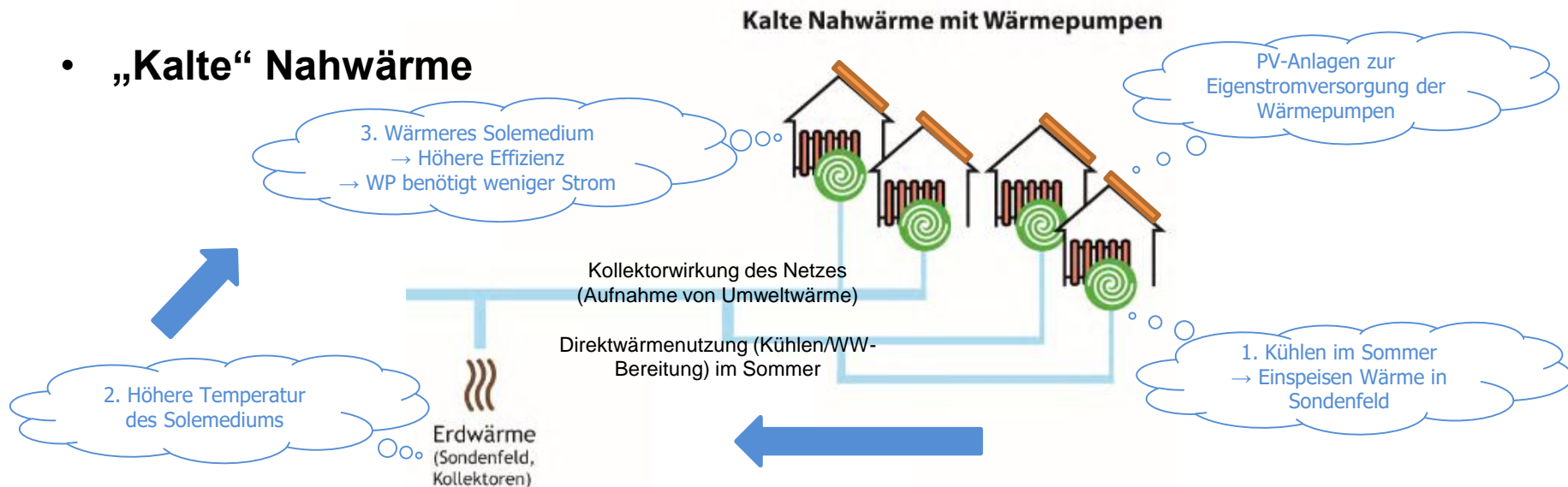
„Kalte“ Nahwärme	LowEx Niedrig-Exergie-Wärmenetz
<b>Wärmequelle: Umweltwärme</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Zentrales Erdwärmesondenfeld zur Nutzung oberflächennaher Geothermie</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ergänzend Kollektorwirkung Netz (s.u.) und nachbarschaftliche Abwärmenutzung</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ergänzend Solarthermieanlagen auf dem Grundstück der Energiezentrale</li></ul>
<b>Art des Wärmenetzes</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• „Vorlauftemperatur“ zu Wärmepumpe = näherungsweise Umgebungstemperatur Erdreich</li><li>• Ungedämmt PE-Rohre</li><li>• Netz ist ein Kollektor (verzeichnet Gewinne, keine Wärmeverluste)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• „lauwarmes“ Wärmenetz Vorlauftemperatur (40-60°C)</li><li>• Gedämmte Rohre zur Minimierung von Wärmeverlusten (aber aufgrund niedriger Wärmedichte im NBG hoher Anteil → etwa 15...20% der Erzeugung)</li></ul>

„Kalte“ Nahwärme	LowEx Niedrig-Exergie-Wärmenetz
<b>Aufbereitung der Umweltwärme für Raumheizung und Warmwasser</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sole/Wasser-Wärmepumpen (dezentral in jedem Gebäude) gekoppelt mit PV-Anlagen auf den Dächern jedes Gebäudes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• zentrale Großwärmepumpe in der Energiezentrale → Zentraler Betrieb, Wartung und Modernisierung über einen Anbieter</li></ul>
<b>Übergabe der Wärme (Hausanschluss)</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Keine hydraulische Entkopplung, direkte Anbindung an den Verdampfer der Wärmepumpen → Wärmepumpenbetreiber muss technische Anschlussbedingungen des Netzes beachten</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wärmeübergabestation (Wärmetauscher, Messtechnik...) (dezentrale in jedem Gebäude) → Minimaler Platzbedarf → ggf. „Booster“-WP oder elektr. Durchlauferhitzer (Nacherhitzung WW)</li></ul>

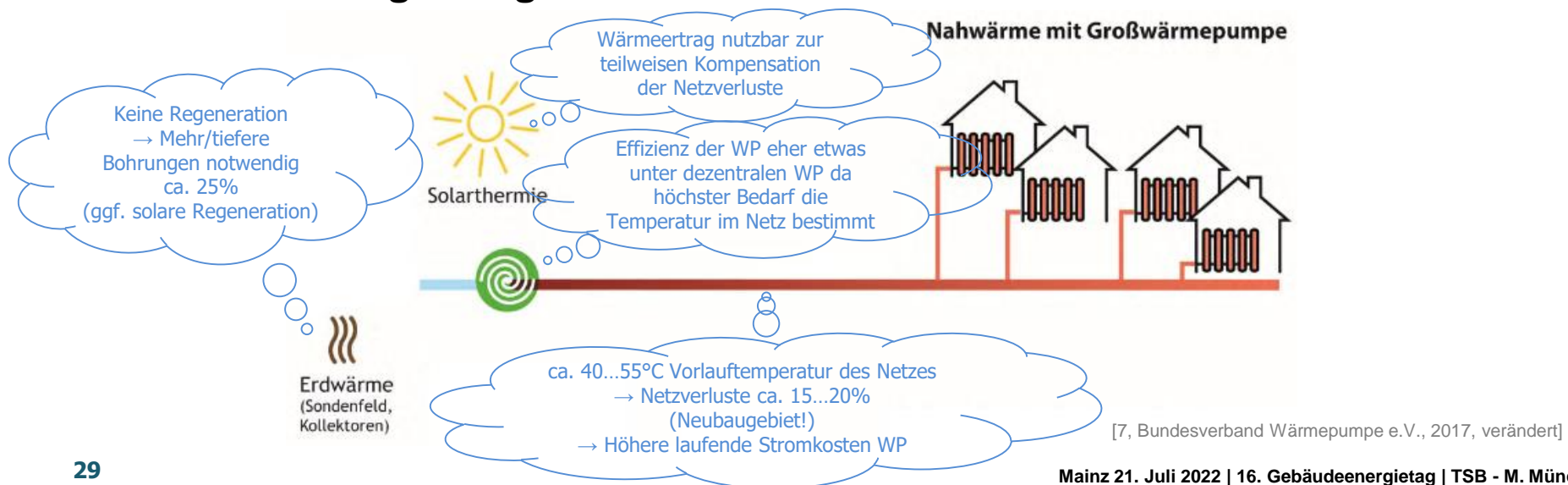
# Effizienz

## Zentrale vs. dezentrale Anlagen

### „Kalte“ Nahwärme



### LowEx Niedrig-Energie-Wärmenetz



# Vergleich der Effizienz am Beispiel des Neubaugebiets „Auf der Sieghöhe“ in der Stadt Wissen

Energiebilanz Neubaugebiet		Variante 1 Kalte Nahwärme S/W-WP Photovoltaik	Variante 2 * LowEx Niedrig-Exergie- Wärmenetz
<b>Wärmeleistung</b>	$\text{kW}_{\text{th}}$	800	800
<b>Jahreswärmeverbrauch</b>	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.029.000	1.029.000
<b>Überblick Energiebedarf</b>			
<b>Überblick Strombedarf</b>	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	<b>229.000</b>	<b>311.000</b>
1 Strom aus öffentlichen Netz gesamt	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	151.000	311.000
Strom für WP	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	151.000	217.000
Strom für Trinkwassernacherwärmung	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	0	81.000
Hilfsenergie Strom (Umwälzpumpe, Solarthermie)	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	0	13.000
2 Dezentraler Solarstrom für WP	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	78.000	0
<b>Überblick solarthermische Wärme</b>	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	<b>0</b>	<b>332.000</b>
Abdeckung von 20% des Wärmebedarfs	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	0	190.000
Kompensation von Netzverlusten	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	0	142.000

\* Nur bedingte Vergleichbarkeit, grob überschlägige Zahlen

# Wirtschaftlichkeit (VDI 2067) Betrachtung des reinen Heizbetriebs (Beispielrechnung ähnlich NBG Wissen)

Berücksichtigung Kühlung führt zu ...  
Erhöhung dieses Invests Höherer Strombezug



Investitions-/Kapitalkosten für Übergabe und Nacherhitzer WW

Wirtschaftlichkeit NBG Alle Kosten inkl. Förderung und MwSt.	Variante 1 KNW mit dez. S/W-WP Förderung BAFA BEW Referentenentwurf			Variante 2* LNW (LowEx) Förderung BAFA BEW Referentenentwurf	
	Einheit	Netzbetreiber	Gebäude-eigentümer	Netzbetreiber	Gebäude-eigentümer
Investition in zentrale Wärmerschließung, Netz und zentrale Heiztechnik	€	1.376.000	0	2.445.000	0
Kapitalkosten für zentrale Wärmerschließung, Netz und zentrale Heiztechnik	€/a	57.500	0	146.900	0
Investition in dezentrale Wärmeerzeugung	€	1.178.000	0	232.000	0
Kapitalkosten für dezentrale Wärmeerzeugung	€/a	72.100	0	14.200	0
Verbrauchskosten Wärmeerzeugung**	€/a	50.800	0	74.200	0
Betriebskosten dezentral (Gebäude)	€/a	25.200	0	1.900	0
Betriebskosten zentral (Netzseitig)	€/a	9.400	0	18.900	0
<b>Jahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>215.000</b>		<b>256.100*</b>	

\* Nur bedingte Vergleichbarkeit, grob überschlägige Zahlen  
\*\* Angesetzter Strompreis 28,00 Ct/kWh inkl. MwSt., Grundversorger Stadtwerke Wissen GmbH

## „Kalte“ Nahwärme

## LowEx Niedrig-Exergie-Wärmenetz

### Referentenentwurf „Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze BEW“, Stand 18.08.2021:

Modul 2: Systemische Förderung (Investitions- und Betriebskostenförderung)

Die systemische Förderung für **Neubaunetze** im Sinne der Nummer 4.2.1 kann maximal 40 % der förderfähigen Ausgaben für die Investitionen in Erzeugungsanlagen und Infrastruktur betragen.

Hierbei können Ausgaben als förderfähig anerkannt werden, die durch eine von einem Wirtschaftsprüfer oder Steuerberater testierte bzw. bestätigte Kostenrechnung nachgewiesen werden.

Der Bewilligungszeitraum (ab Erlass des Zuwendungsbescheids) beträgt 48 Monate. Die Bewilligung kann von der Bewilligungsstelle auf Antrag einmalig um bis zu 24 Monate verlängert werden.

Die Förderung ist bis zu einer Förderhöhe von 50 Mio. Euro pro Projekt notifizierungsfrei möglich. Förderung über den Betrag von 50 Mio. Euro hinaus können nur nach Erteilung einer beihilferechtlichen Einzelgenehmigung durch die EU-Kommission erfolgen.



# Bundeförderung für effiziente Wärmenetze BEW

## Referentenentwurf Stand 08/2021 -

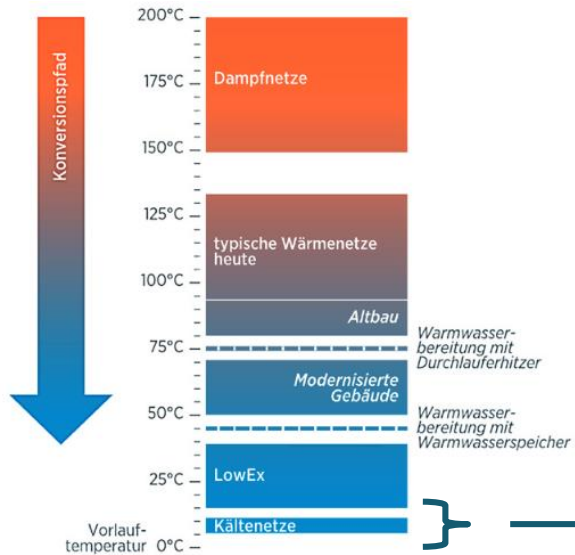
### Betriebskostenzuschuss



- Förderfähige Variante: **LowEx Niedrig-Exergie-Wärmenetz**
- Gefördert wird der „Anteil der Wärme, der mit Strom aus dem Netz der allgemeinen Versorgung (§ 3 Nr. 17 EnWG) oder einem geschlossenen Verteilernetz (§ 110 EnWG) erzeugt wird“
- Betriebskostenzuschuss beträgt 90% der nachgewiesenen Stromkosten, jedoch maximal 7 Ct/kWh
- Für den Anteil der Wärme, der mit Strom aus erneuerbaren Energieanlagen ohne Netzdurchleitung erzeugt wird, beträgt die Betriebskostenförderung maximal 3 Ct/kWh
  - Auswirkungen auf den Fall, dass die zentrale Wärmepumpe mit Strom aus einer lokalen PV-Anlage betrieben werden soll
- Strom aus fossiler Stromerzeugung oder KWK auf Basis fossiler Brennstoffe ist ausgeschlossen, soweit der Strom für die Wärmeherzeugung ohne Netzdurchleitung bezogen wird.

# Anwendungsfall: Kalte Nahwärme

## Status Quo:



Heute vor allem Umsetzung bei:

- Neubaugebieten
- Hohe Gebäudestandards  
Effizienzhaus 55 oder  
Effizienzhaus 40
- Fußbodenheizung

## Auch im Gebäudebestand

Annahmen:

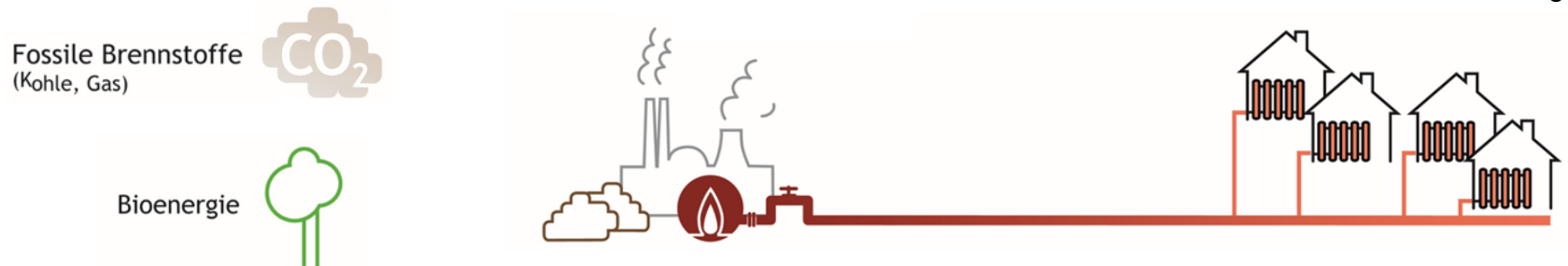
- Teilsanierter Altbau mit ca. 60°C Vorlauftemperatur statt vorher 80°C
  - 80% Netzstrom: 45 Ct/kWh<sub>el</sub> Einkaufskosten
  - 20% PV-Eigenstrom: 14 Ct/kWh<sub>el</sub> Stromgestehungskosten } ca. 39 Ct/kWh<sub>el</sub>
  - JAZ der Sole/Wasser-Wp: 3,5
- 39 Ct/kWh<sub>el</sub> / 3,5 = ca. 11 Ct/kWh<sub>th</sub>
- BDEW-Gaspreisanalyse 2022: 13,77/kWh

[13, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 2017]

# Anwendungsfall: Transformation in lauwarme Nahwärme (LowEx-System)

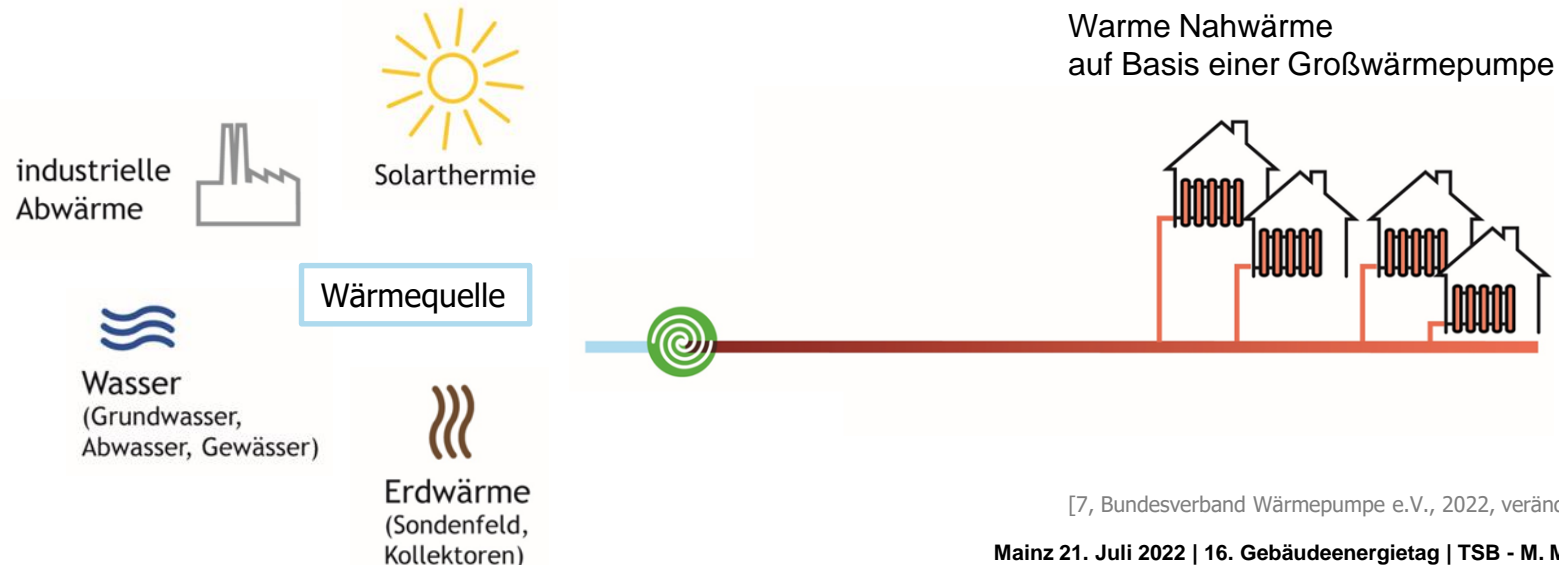
- „Erstes“ Leben eines Wärmenetzes

Warme Nahwärme auf Basis einer Verbrennung



- „Zweites“ Leben eines Wärmenetzes

Warme Nahwärme auf Basis einer Großwärmepumpe

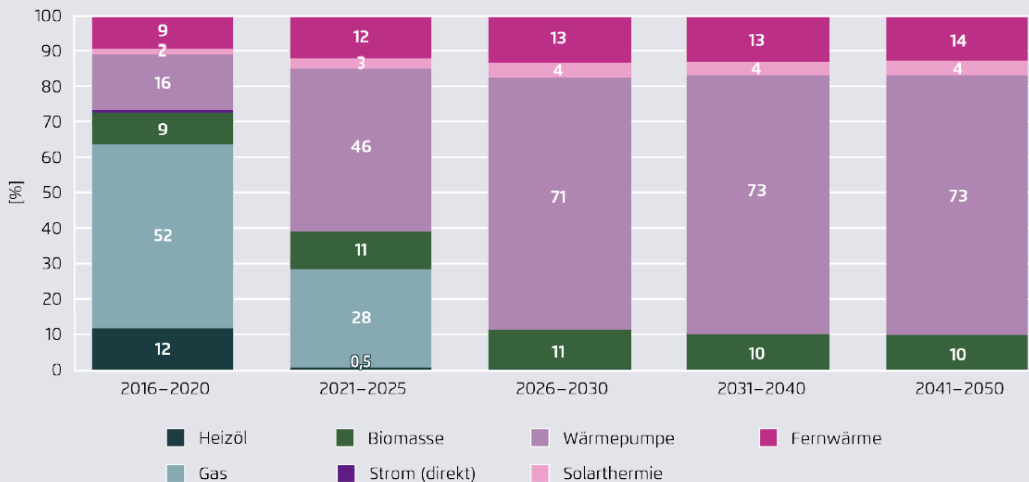


[7, Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2022, verändert]

# Umsetzung der Wärmewende - Markthochlauf Wärmepumpe



Absatzstruktur der Wärmeerzeuger (Raumwärme) in Deutschland

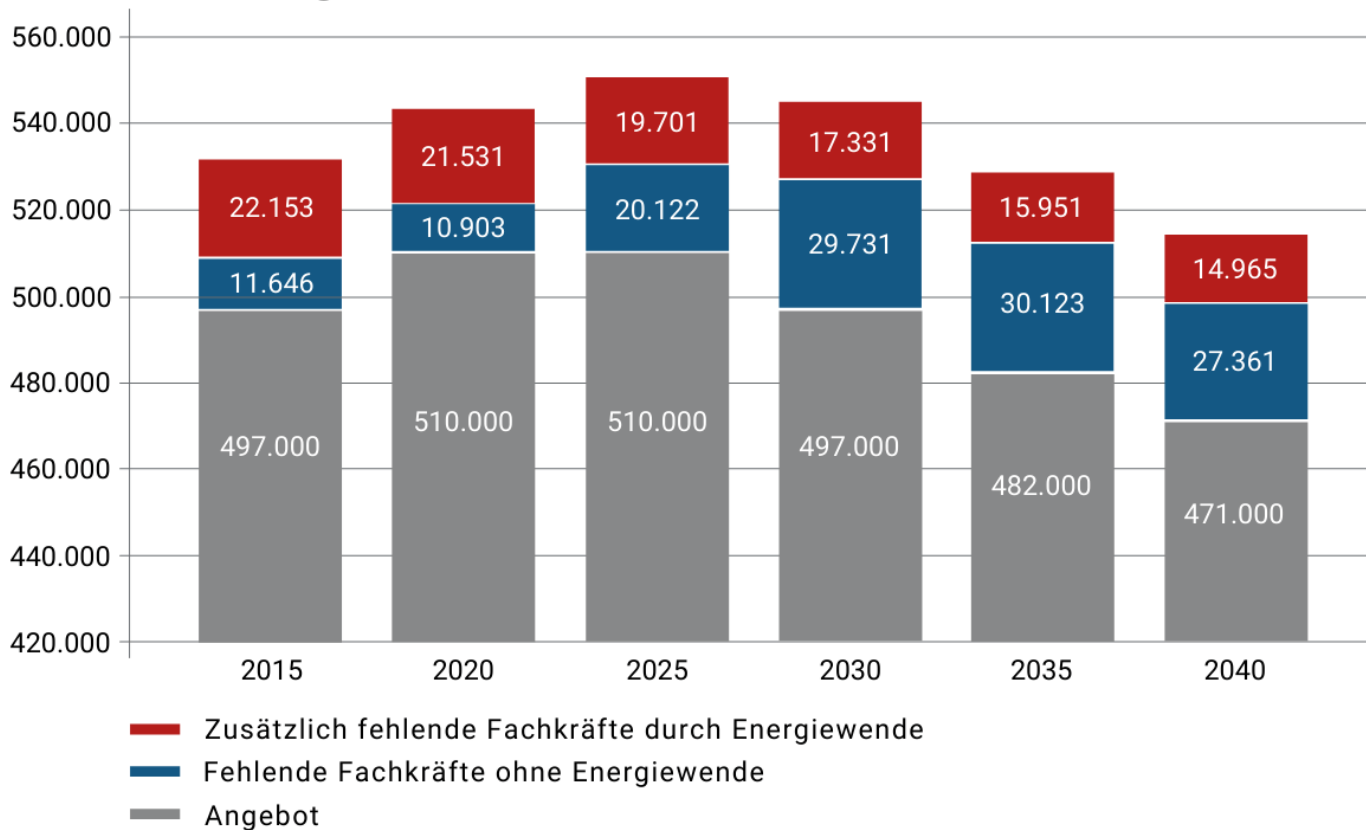


- Die Anzahl an Wärmepumpen, die notwendig sind, um das 2030-Klimaziel für Gebäude zu erreichen, liegt in den „Big 5“-Klimaneutralitätsszenarien\*) zwischen 3,2 und 6,5 Mio. Das Szenario „Klimaneutrales Deutschland 2045“ benötigt über **6 Mio. Wärmepumpen in 2030**.
- Die Ausbauraten bis 2030 bedeuten, dass ab 2023 **pro Jahr rund 500.000 Wärmepumpen** installiert werden müssen. Zum Vergleich: 2021 lag der Marktumsatz von Wärmepumpen bei rund 154.000 Geräten. Davon ging ein beträchtlicher Anteil in den Neubau. **Nachholbedarf besteht also vor allem im Gebäudebestand.**

[14, Agora Energiewende, 2022]

# Hemmnisse in der Umsetzungsphase - Fachkräftemangel im Handwerk

## SHK Fachkräftebedarf und -angebot mit und ohne zusätzliche Investitionen für die Energiewende



[15, VdZ Wirtschaftsvereinigung Gebäude und Energie e.V., 2022]

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Binger Intensiv-Webinare

<https://www.tsb-energie.de/seminare/>

25. Energietag RLP 22.09.2022

11.Fachtagung „Energiewende und Klimaschutz in Kommunen

3.11.2022

<https://www.tsb-energie.de/tagungen/>

## Kontakt

**Michael Münch**

(06721) 98 424 0

muench@tsb-energie.de

- [1] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2021). Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland. <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/beheizungsstruktur-wohnungsbestand/> [Online]
- [2] Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (2022). Marktentwicklung Wärmeerzeuger Deutschland 2012–2021. [https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user\\_upload/Pressemeldungen/Pressegrafik\\_Marktentwicklung\\_Waermeerzeuger\\_Deutschland\\_2012-2021.pdf](https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressemeldungen/Pressegrafik_Marktentwicklung_Waermeerzeuger_Deutschland_2012-2021.pdf) [Online]
- [3] Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (2022). Absatz Wärmepumpen in Deutschland 2015–2021. [https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user\\_upload/Pressegrafiken/Absatzzahlen\\_Waermepumpen\\_2015-2021\\_DE\\_042022.pdf](https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressegrafiken/Absatzzahlen_Waermepumpen_2015-2021_DE_042022.pdf) [Online]
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022). Gemeinsame Absichtserklärung - Mehr Tempo bei der Transformation der Wärmeversorgung: Wir brauchen schneller mehr Wärmepumpen. [https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/termine/gemeinsame-absichtserklaerung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/termine/gemeinsame-absichtserklaerung.pdf?__blob=publicationFile&v=2) [Online]
- [5] C.A.R.M.E.N. e.V. (2020). Wärmepumpe – Heizen mit Umweltwärme. <https://www.carmen-ev.de/2020/10/10/waermepumpe-heizen-mit-umweltwaerme/> [Online]
- [6] Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2022). Wie funktioniert die Wärmepumpe?. <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/> [Online]
- [7] Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2022). Wärmenetze, Siedlung und Quartiere. <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/waermenetze-siedlung-und-quartiere/> [Online]
- [8] ] Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2022). Kundenratgeber Erdwärme, S. 20/22-23 [https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user\\_upload/Ratgeber\\_Erdwaerme\\_2021\\_RZ\\_WEB.pdf](https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/Ratgeber_Erdwaerme_2021_RZ_WEB.pdf) [Online]
- [9] ...
- [10] Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (2020). Themenheft Klimawandel – Entwicklungen in der Zukunft. [https://www.klimawandel-rlp.de/fileadmin/website/klimakompetenzzentrum/downloads/Veroeffentlichungen/Themenhefte/Themenheft\\_Klimaprojektionen.pdf](https://www.klimawandel-rlp.de/fileadmin/website/klimakompetenzzentrum/downloads/Veroeffentlichungen/Themenhefte/Themenheft_Klimaprojektionen.pdf) [Online]

- [11] Quaschnig, V. (2015). Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation. Deutschland: Hanser.
- [12] TGA Fachplaner (2021). Künstliche Intelligenz plant künftig mit in TGA Fachplaner Ausgabe 04 2021. <https://www.tga-fachplaner.de/gebaeudekonzepte/tga-kongress-2021-kuenstliche-intelligenz-plant-kuenftig-mit> [Online]
- [13] Schüwer, D. (2017) Konversion der Wärmeversorgungsstrukturen in Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 67, 11, S. 21-25
- [14] Agora Energiewende (2022). Wärmepumpen als Schlüssel zur Klimaneutralität in Gebäuden - Wie der Markthochlauf gelingt. [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04\\_DE\\_Scaling\\_up\\_heat\\_pumps/Waermepumpen\\_Praesentation.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04_DE_Scaling_up_heat_pumps/Waermepumpen_Praesentation.pdf) [Online]
- [15] VdZ – Wirtschaftsvereinigung Gebäude und Energie e.V. (2022). Fachkräftebedarf für die Energiewende in Gebäuden. <https://www.vdzev.de/branche/fachkraefte/> [Online]