



LowTEMP2.0

# Großmaßstäbliche Wärmepumpensysteme

Integration unterschiedlicher Wärmequellen & Flexibilisierung von  
Fernwärmesystemen



# LowTEMP-Trainingspaket – Gliederung

## Einführung

Einführung in Klimaschutzstrategie(n) & -ziele

Einführung in Energieversorgungssysteme und Niedertemperaturfernwärme (NTFW)

Energieversorgungssysteme im Ostseeraum

## Energiestrategien und Pilotprojekte

Methodik zur Entwicklung von Pilot-Energie-Strategien

Pilot-Energiestrategien – Ziele und Rahmenbedingungen

Pilot-Energiestrategien – Beispiele

Pilot- bzw. Demonstrationsprojekte

Berechnung von THG-Emissionen

Lebenszyklusanalyse von NTFW

## Finanzielle Aspekte

Lebenszykluskosten von NT FW-Projekten

Wirtschaftlichkeit und unrentierliche Kosten

Vertrags- und Zahlungsmodelle

Geschäftsmodelle und innovative Förderstrukturen

## Technische Aspekte

Rohrleitungssysteme

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Großmaßstäbliche Solarthermie

Ab- & Überschusswärme

Großmaßstäbliche Wärmepumpensysteme

Power-2-Heat und Power-2-X

Thermische, solare Eis- und PCM-Speichertechniken

Wärmepumpen-Systeme

Niedrigtemperatur und Fußbodenheizung

Trinkwarmwasserproduktion

Lüftungssysteme

## Aus der Praxis

Innovative Praxisbeispiele



# Überblick I

- **Allgemeine Informationen**
  - Verschiedene Größen / Dimensionen von Wärmepumpen
  - Terminologie
  - Unterscheidung nach Temperaturniveau
  - Aufbau von Wärmepumpen
- **Mögliche Wärmequellen** (Luft, Wasser, Grund- & Abwasser, Erdwärme, industrielle Ab- und Überschusswärme)
- **Übersicht verschiedener Wärmequellen und deren Nutzung**
- **Koeffizienten des Leistungsindikators**



# Überblick II

- **Integration von Wärmepumpen in Fernwärmesysteme**
  - Einspeisung in den Vorlauf
  - Einspeisung in den Rücklauf / Rückflusstemperaturerhöhung
- **Kältemittel (Flüssigkeiten zum Wärmetransport in Wärmepumpen) – Forschung & Umweltprobleme**
- **Wirtschaftliche Rentabilität**
- **Allgemeine Vorteile großmaßstäblicher Wärmepumpen in Fernwärmesystemen**



# Allgemeine Informationen - Terminologie

- es gibt noch **keine** klare Unterteilung zwischen Wärmepumpen und großmaßstäblichen Wärmepumpen
- Großmaßstäbliche Wärmepumpen können folgendermaßen beschrieben werden...
  - Wärmepumpen, deren energetische Leistung und erreichte Temperaturniveaus Wärmenetzwerke speisen können
  - Leistung und Temperaturniveaus sind von der Größe / Wärmebedarf im Fernwärmenetz abhängig
  - Terminologisch gibt es keine Unterscheidung zwischen beiden Begriffen



# Allgemeine Informationen – Unterscheidung nach Temperaturniveau

Im allgemeinen können Wärmepumpen folgendermaßen unterschieden werden:

- **Hochtemperaturwärmepumpen**
- **Niedrigtemperaturwärmepumpen**
  
- Beide Arten werden für Gebäudeeinheiten und im Fernwärmesektor genutzt
- **Es gibt jedoch keine klare Definition bzw. Unterscheidung!**
  - Hochtemperaturwärmepumpen werden in der Regel **im Fernwärmesektor** angewandt
  - Niedrigtemperaturpumpen werden in der Regel bei **Einfamilienhäusern bzw. Mehrfamilienhäusern** genutzt

# Allgemeine Informationen – Aufbau von Wärmepumpen

- Wärmepumpen nutzen verschiedene natürliche Wärmequellen
- Wärmepumpen nutzen Wärmequellen mit geringen Temperaturniveau → und erhöhen diese auf ein notwendiges Temperaturniveau

## Unterscheidung zwischen den verbreitetsten Ausführungen:

- Betriebsenergie
- Antriebskraft (Strom, Gas / Dampf, Verbrennungsmotor)
- Thermische Verdichter/ Mechanische Verdichter
- Offener oder geschlossener Kreislauf der Wärmepumpe



# Kompressionswärmepumpe (elektrisch)

- im Wärmesektor werden meistens **Kompressionswärmepumpen (elektrisch)** verwendet
- **weitere Arten von Wärmepumpen:** Adsorptionswärmepumpe, Adsorptionswärmepumpe, Rotationswärmepumpe



# Technische Einführung

## Der Wärmepumpen-Kreislauf Schritt für Schritt:

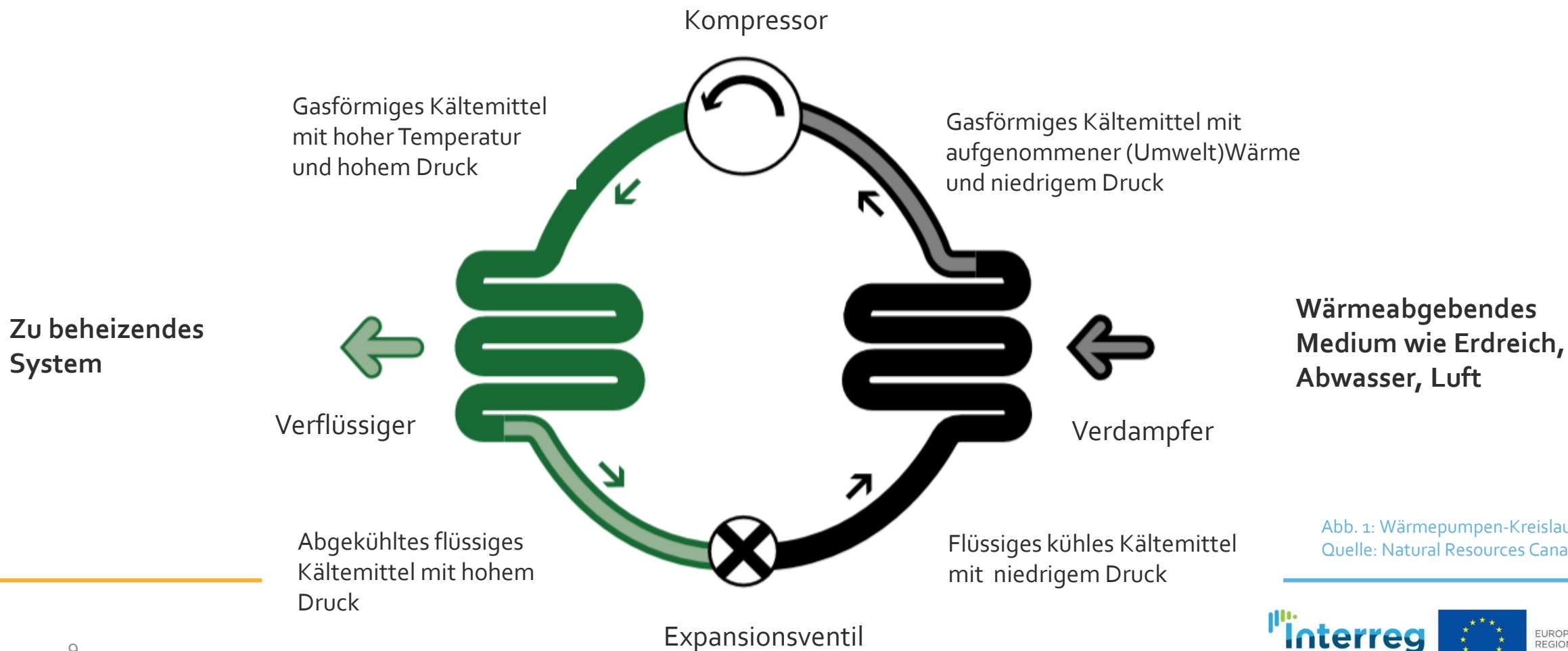


Abb. 1: Wärmepumpen-Kreislauf.  
Quelle: Natural Resources Canada [1]

# Mögliche Wärmequellen

- Wärmepumpen bauen auf **bestehende Wärmequellen** auf
- Die wichtigsten zu beachtenden Kriterien sind die **hohe und beständige Verfügbarkeit** am Standort und die **technischen Möglichkeiten die energetischen Potenziale nutzen zu können**.
  - Hohe Quelltemperatur
  - Konstante Verfügbarkeit

→ je geringer  $\Delta T$  zwischen der Wärmequelle und der Wärmesenke, desto größer die Effizienz der Wärmepumpe

**Es gibt im Allgemeinen eine breite Auswahl an Treibhausgas (THG)-neutralen Wärmequellen!**

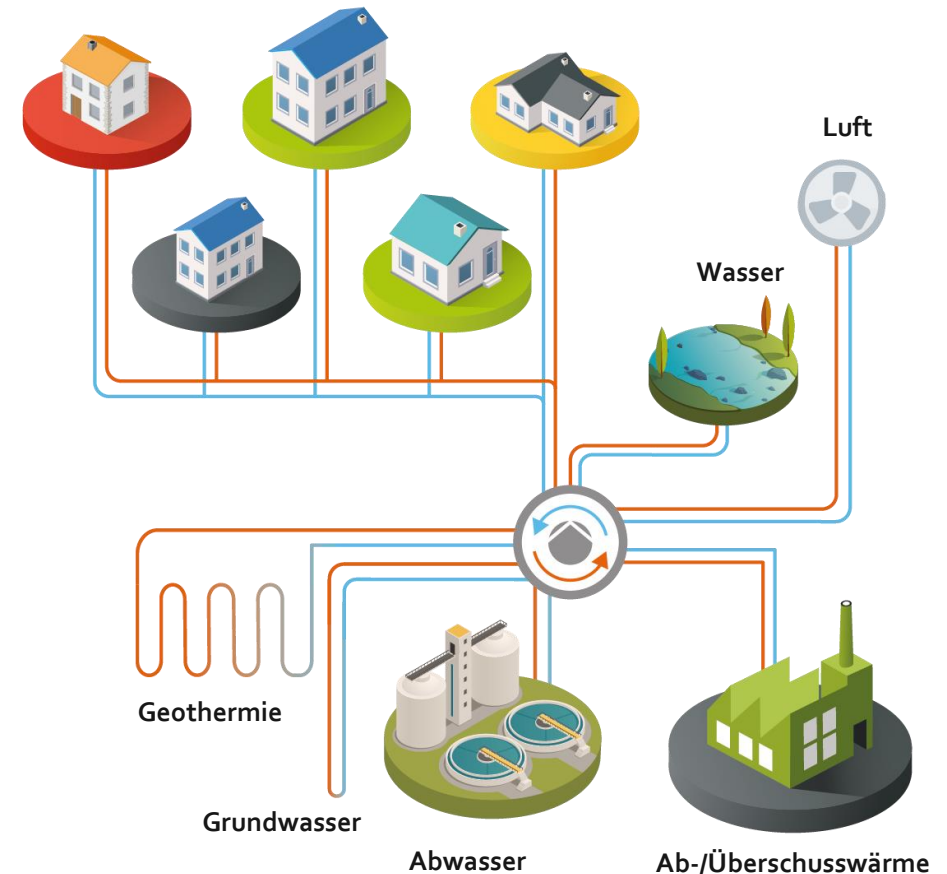


Abb. 2: Quelle: AGFW-Projekt GmbH

# Mögliche Wärmequelle: Luft

- Betrieb mit Ventilatoren, die Luft ansaugen > thermische Energie wird durch Wärmetauscher entzogen > heruntergekühlte Luft wird an die Umgebung abgegeben
  - Unbegrenzte Wärmequelle, jedoch **volatil\* & Jahreszeiten-abhängig**
  - Wetterbedingte **Schwankungen** (im Tagesverlauf und im Verlauf der Jahreszeiten)
  - Vorhandensein von viel Wärme steht im Gegensatz zur Wärmenachfrage
    - > höchster Leistungskoeffizient im Sommer
    - < größte Nachfrage nach Fernwärme im Winter
- Luftwärmepumpen werden im Sommer in der Regel für Grundlast genutzt

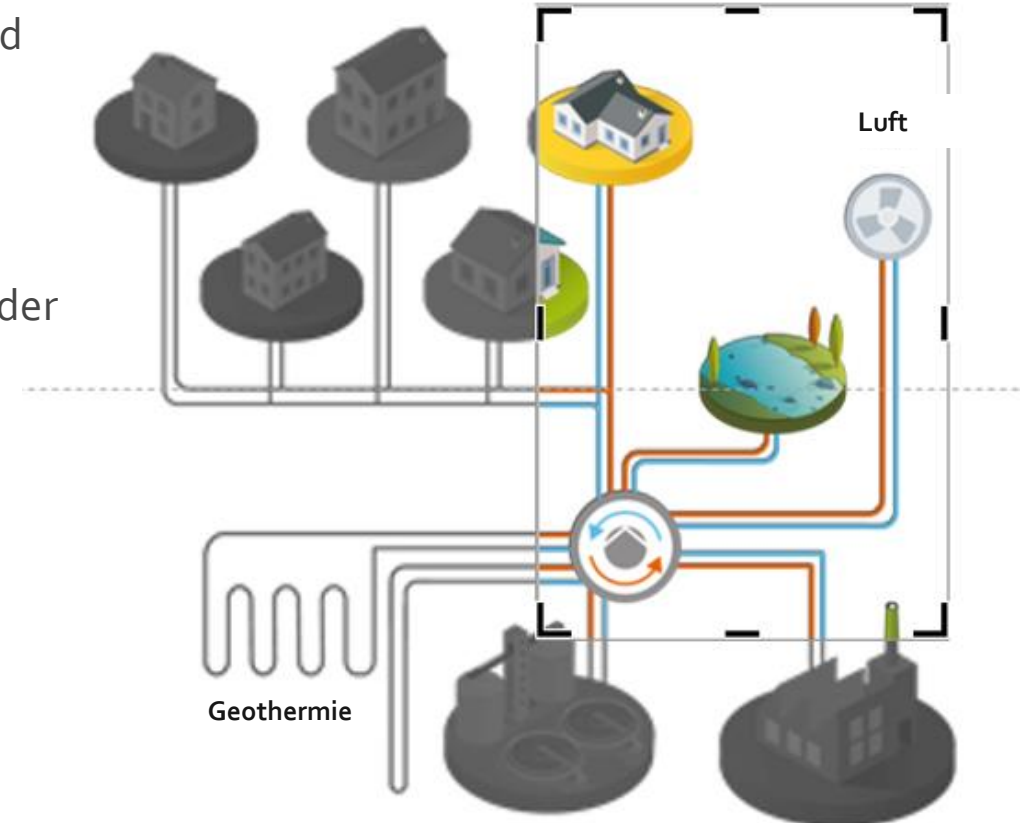


Abb. 3: Quelle: AGFW-Project GmbH (bearbeitet)

# Mögliche Wärmequellen: Fluss- und Seewasser

- Wärmequelle: fließende Gewässer und Seen
- Entnahme einer bestimmten Wassermenge aus der Wärmequelle > thermische Energie durch Wärmetauscher entzogen > heruntergekühltes Wasser zurück in die Wärmequelle geleitet
- Wetter- und jahreszeitenabhängige **Schwankungen**
  - Schwankungen geringer als bei Energiequelle: Luft aufgrund des größeren Wärmespeicherpotenzials von Wasser
  - Wasserwärmequellen haben in der Regel größere Verfügbarkeit als Luftwärmequellen
- Entnahme und Rückgabe des Seewassers ist begrenzt – Kühlung der Wärmequelle ist beschränkt
- **Beispiel: bei einer Mindesttemperatur der Wärmequelle von 7°C könnten an unterschiedlichen Standorten in Deutschland Wasserwärmequellen für 6.000-6.500 h/a genutzt werden**

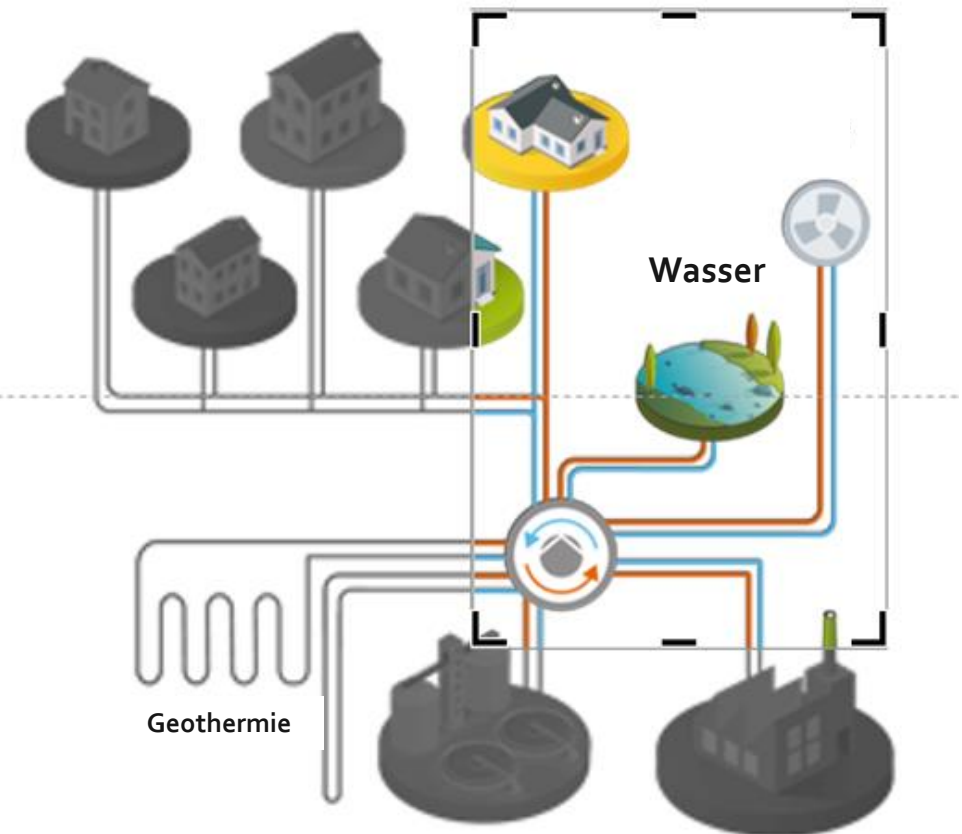


Abb. 4: Quelle: AGFW-Projekt GmbH (bearbeitet)

# Mögliche Wärmequellen: Fluss- und Seewasser

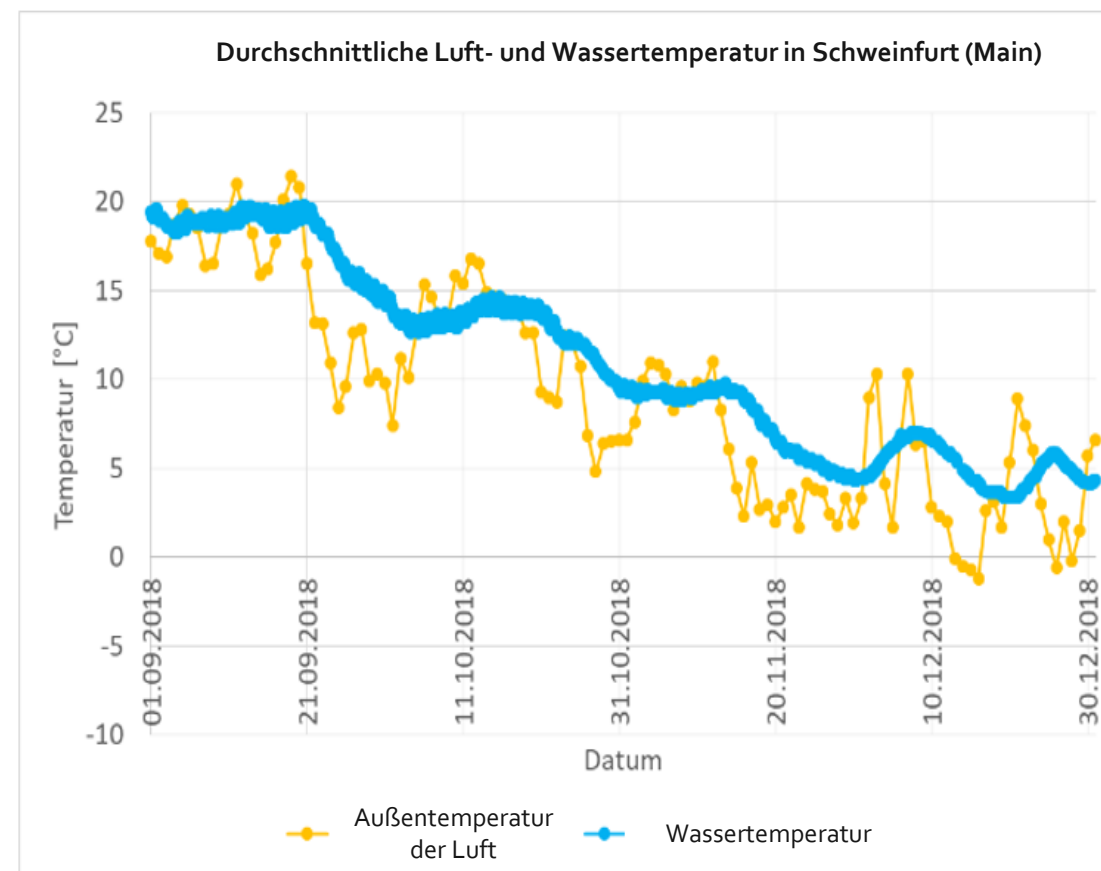
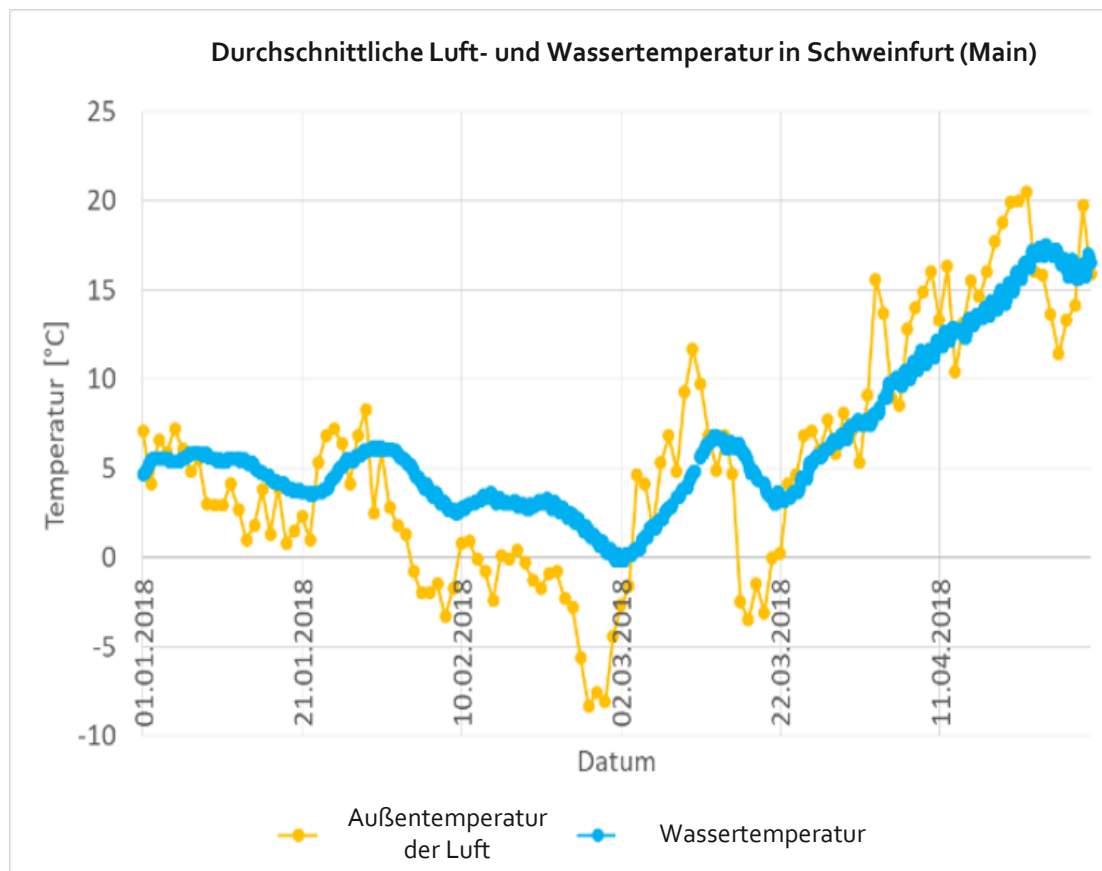


Abb. 5: Vergleich zwischen Luft- und Wassertemperatur (des Mains) in Schweinfurt im Jahr 2018 (vom 1. Januar bis 30. April (links) und 1. September bis 31. Dezember (rechts))  
 Quelle: [2] Wetterstation Eselshöhe und Bayerisches Landesamt für Umwelt

# Mögliche Wärmequelle: Grundwasser

- Grundwasser-Wärmepumpen nutzen die thermische Energie nach dem gleichen Prinzip wie See- und Flusswasserwärmepumpen
- Zwei Schächte werden benötigt (i.d.R. zwischen 5-20 m Tiefe)
- Eine Förderpumpe pumpt Grundwasser aus dem Entnahme- oder Ansaugschacht zur Wärmepumpe > Wärme wird entzogen
- Anschließend wird das verarbeitete Wasser durch einen Absorptionsschacht zurück ins Erdreich gespeist
- **Je tiefer das Grundwasser, desto konstanter ist die Temperatur der entzogenen Wärme**

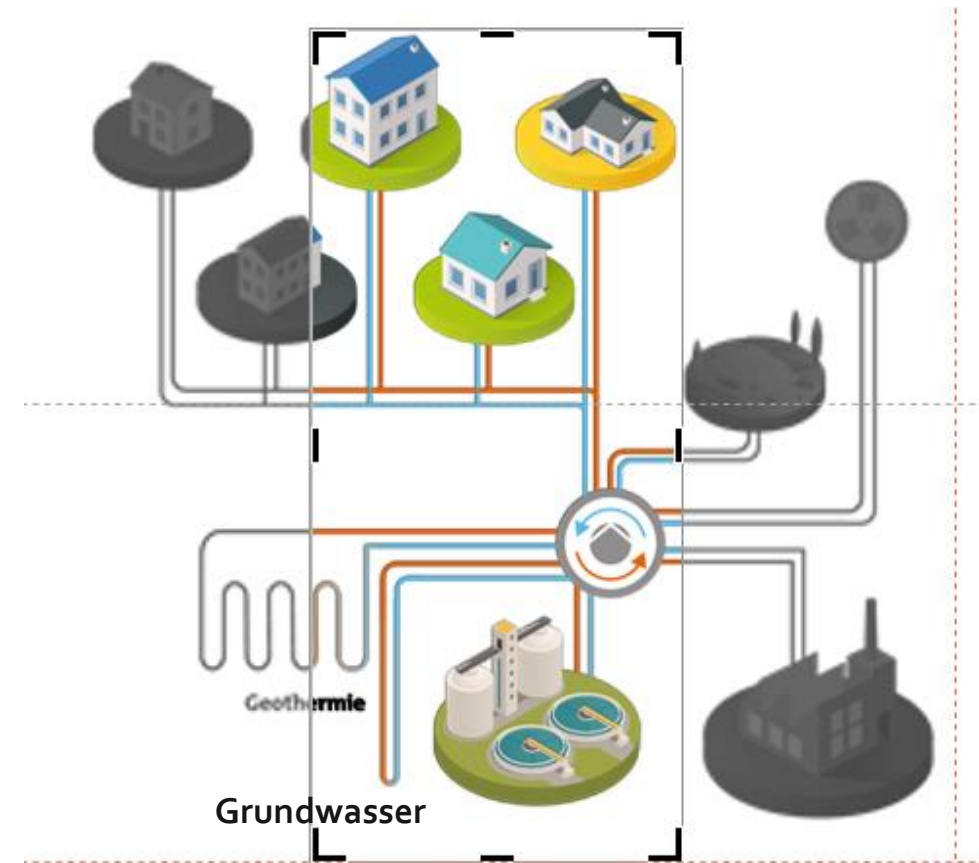
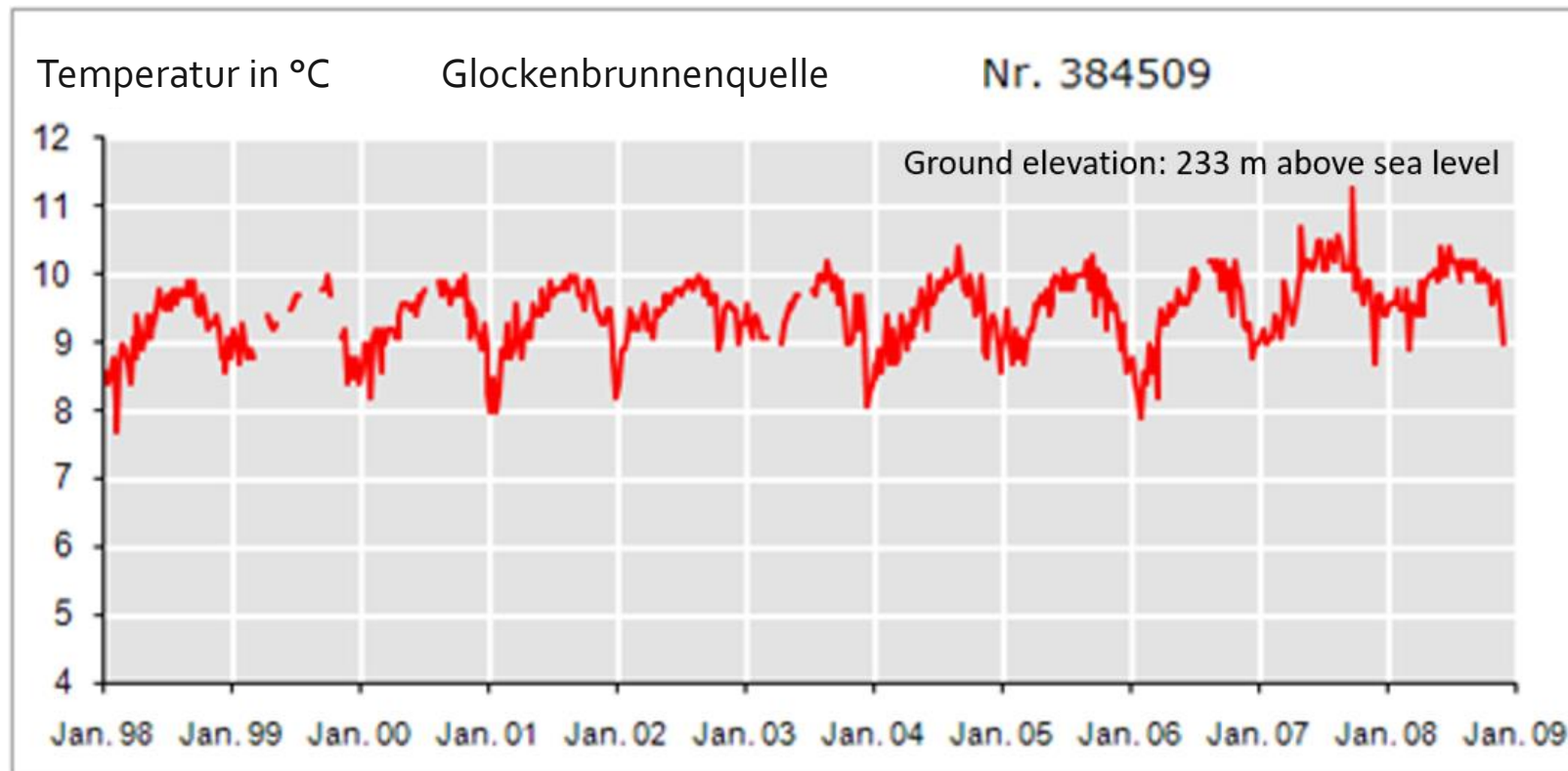


Abb. 6: Quelle: AGFW-Project GmbH (bearbeitet)

# Mögliche Wärmequelle: Grundwasser



- zwischen 1998 and 2009 lag die durchschnittliche **Temperaturschwankung im Bereich von +/- 1 K**, wie das Beispiel zeigt

Abb. 7: Temperatur des Grundwassers zwischen 1998 and 2009 in Bad Soden am Taunus, Quelle: [3] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

# Mögliche Wärmequellen: Abwasser und reines Wasser

- Restwärme von gereinigtem Abwasser kann in Kläranlagen als Wärmequelle genutzt werden
- Erfordert **Wassergesetzgebung / Zulassung** durch den Betreiber der Abwasseraufbereitungsbetriebe
- **Kühlung** des Abwassers ist aufgrund von Umweltgesetzen **häufig beschränkt**
- Qualität des gereinigten Abwassers ist wichtig
  - z.B. Eisenphosphatablagerungen auf dem Wärmetauscher
  - Erfordert Filtersysteme oder spezielle Reinigungsprozesse (z.B. sind Tellerwärmetauscher ungeeignet)

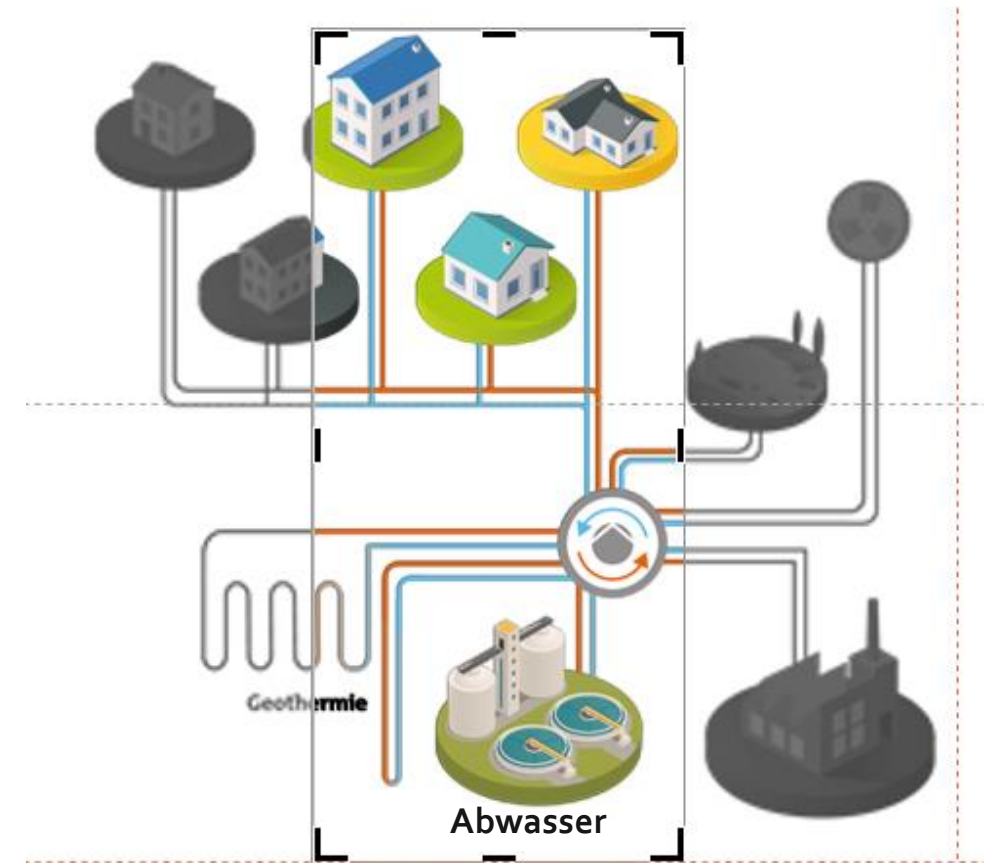


Abb. 8: Quelle: AGFW-Project GmbH (bearbeitet)



# Mögliche Wärmequellen – Abwasser und reines Wasser

## Temperatur des Abwassers in der Kläranlage

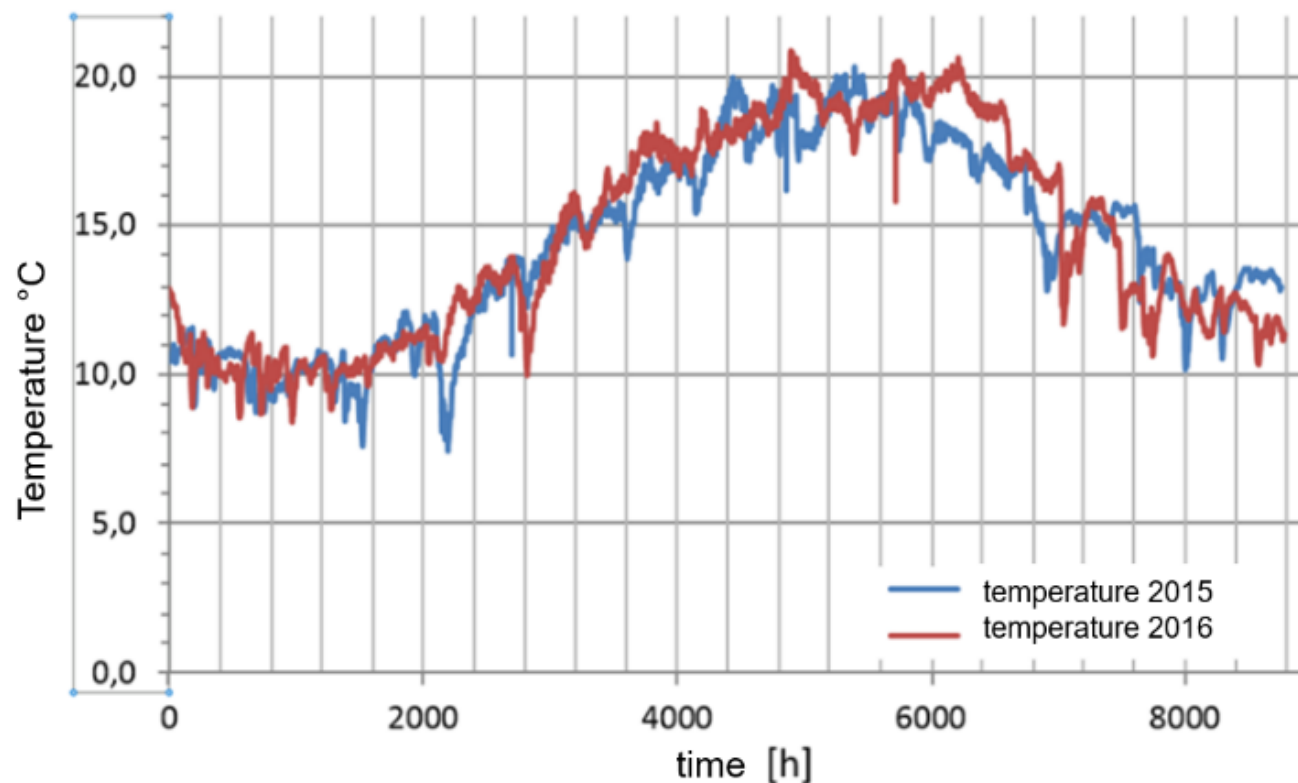


Abb. 9: Temperaturkurve des aus kombinierter Kläranlage ausfließenden Abwassers [4] Stadtwerke Lemgo

# Mögliche Wärmequellen: oberflächennahe Erdwärme

- Nutzung von im Boden gespeicherter Wärme
- Zur Wärmeentnahme ist eine **aufwändige Installation von Wärmetauschern** notwendig
- Wärmetauscher werden in der Regel als **Erdkollektoren** installiert
- Die Temperatur der Wärmequelle ist **abhängig von der Tiefe** der Installation
- Je **tiefer** die Wärmetauscher installiert sind, desto **konstanter** ist Wärme verfügbar
- **Niedrige Wärmequellentemperatur** > Wärmeertrag je m<sup>2</sup> vergleichsweise gering > Entnahme auf großer Fläche notwendig
- **Weitere oberirdische Landnutzung** eingeschränkt (Landwirtschaft jedoch i.d.R. weiterhin möglich)

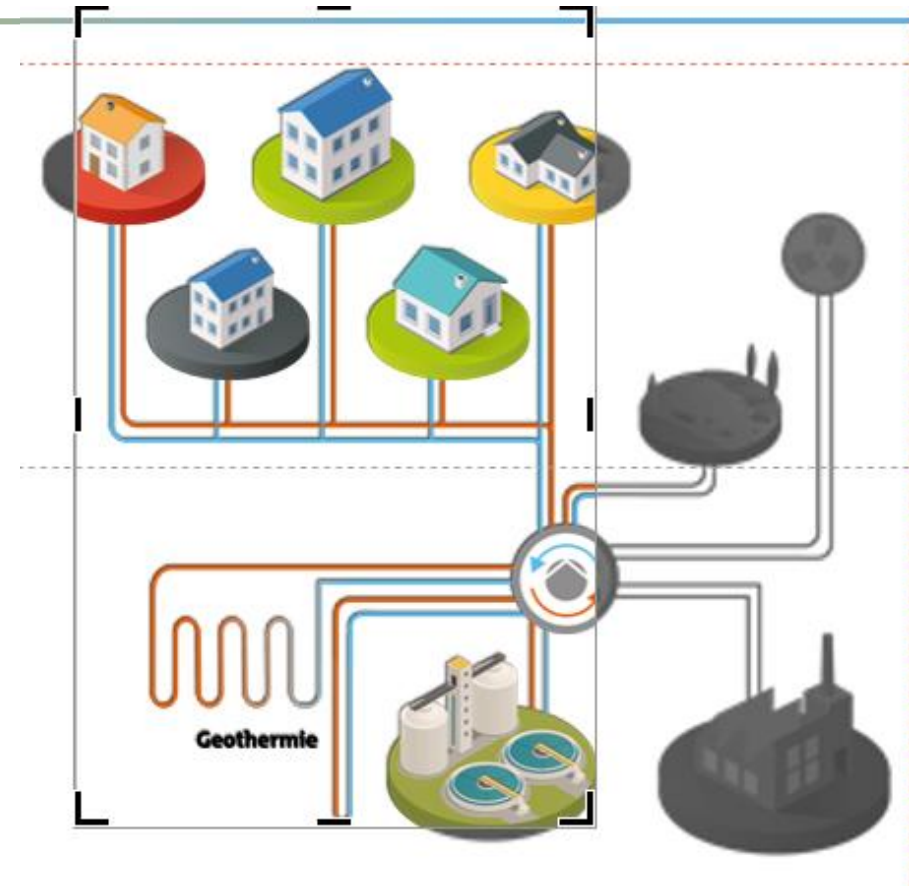
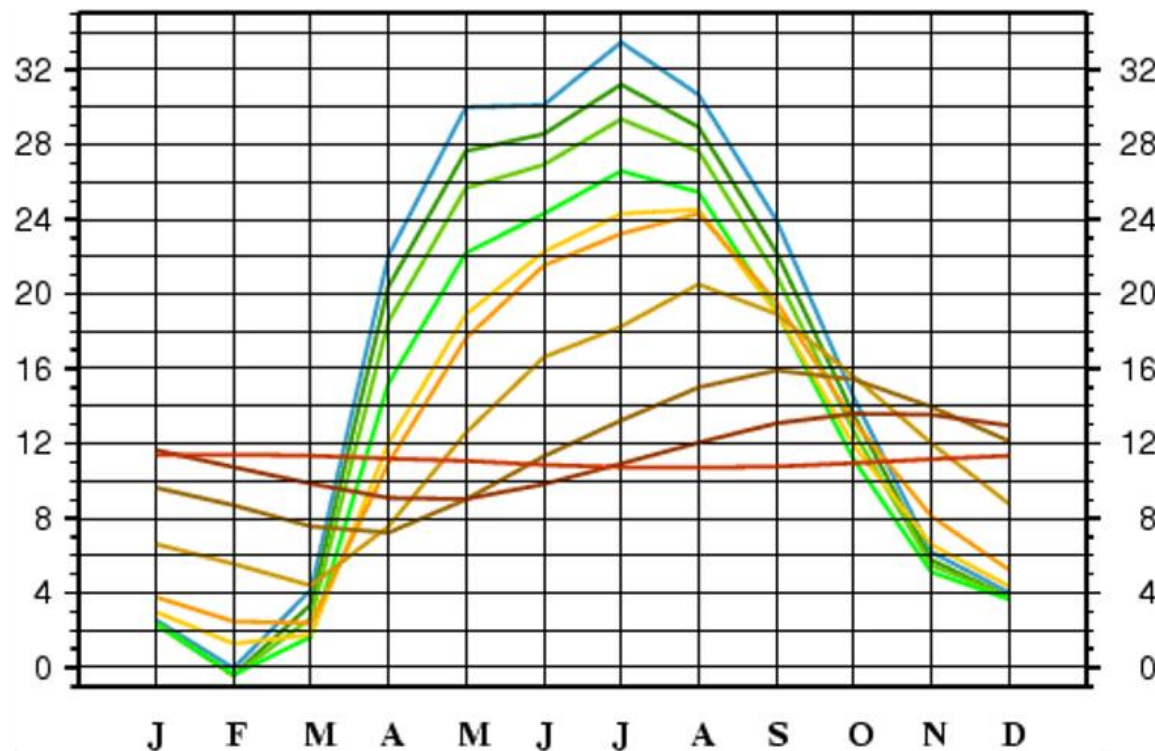


Abb. 10: Quelle: AGFW-Project GmbH (bearbeitet)

# Mögliche Wärmequellen: oberflächennahe Erdwärme



Bodentemperatur °C in 2cm, 5cm, 10cm, 20cm, 50cm, 1m, 2m, 4m, 6m, 12m Tiefe

Abb. 11: Bodentemperatur auf verschiedenen Tiefen [5] Institut für Klimafolgenforschung Potsdam

# Mögliche Wärmequellen: industrielle Abwärme

- Optimale Wärmequelle für Wärmepumpen (sofern die Wärmeentnahme hinsichtlich der Menge / des thermischen Outputs planbar ist)
- Jede Form von Abwärme aus Industrieprozessen ist nutzbar, sofern es technologisch möglich ist (z.B. über Kühlwasser, Abluft etc.)
- **Aktive Rückkühlung** ist möglich
- Nutzung von industriellem Rauchgas in Kombination mit Wärmepumpen ist möglich

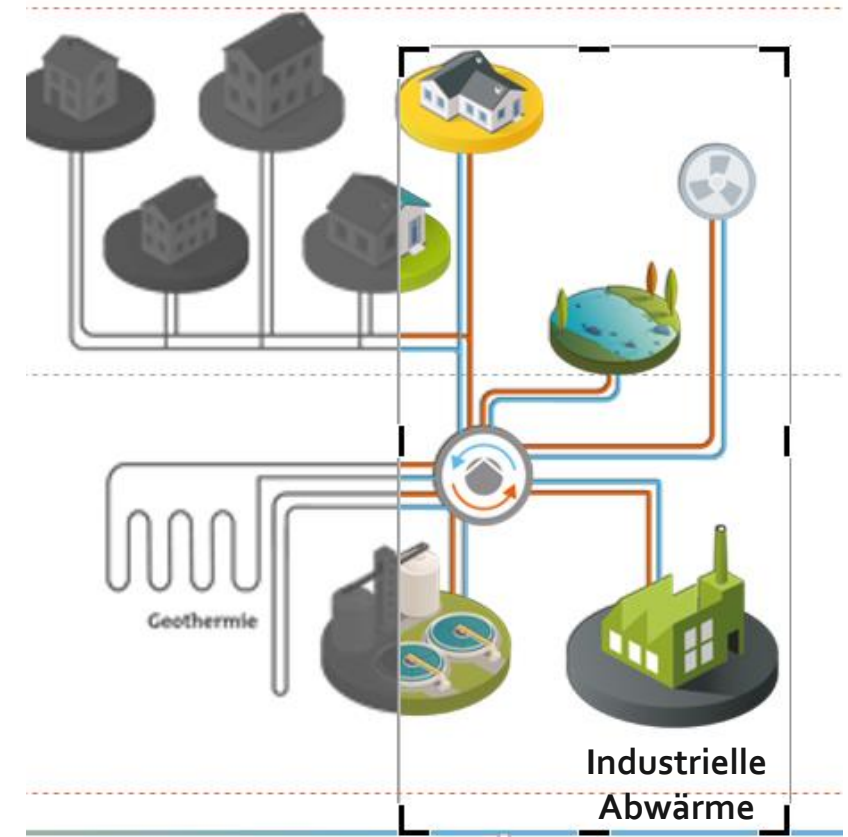


Abb. 12: Quelle: AGFW-Project GmbH (bearbeitet)

# Zusammenfassung unterschiedlicher Wärmequellen

Wärmequelle	Übliche Quelltemperatur	Temperaturschwankungen	Verfügbarkeit	Weitere Informationen
Umgebungsluft	0 °C – 40 °C	hoch	April - September	lokale (eigene) Wetterstation
Flüsse und Seen	2 °C – 20 °C	mittel	April - Oktober	Lokale zuständige Wasserbehörde
Grundwasser	3 °C – 15 °C	gering	ganzjährlich	Zuständige Wasserbehörde
Abwasser / gereinigtes Wasser	7 °C – 20 °C	mittel	ganzjährlich	Betreiber der Kläranlage
Flache geothermische Energie	0 °C – 19 °C	mittel	ganzjährlich	-
Industrielle Abwärme	14 °C – 50 °C	individuell	individuell	Partnerunternehmen
Industrielles Rauchgas / Abgas	30 °C – 50 °C	gering	individuell	Partnerunternehmen

Abb. 13: Übersicht über Wärmequellen [großmaßstäbliche Wärmepumpen] (AGFW)

# Leistungskoeffizient, COP-Wert

...gibt die Effizienz von Wärmepumpen an: Er beschreibt die **verfügbare nutzbare thermische Energie** geteilt durch die **verbrauchte elektrische Energie**.

$$COP = \frac{|\dot{Q}_{Nutz}|}{P_{elektrisch}}$$

- Wärmequellen wie Luft, Geothermische Energie, Wasser und Abwärme werden als frei verfügbar betrachtet  
→ Verbrauch wird in Effizienzberechnung nicht berücksichtigt → Effizienzwerte größer 1 möglich  
→ es wird eine kostenfreie Nutzung angenommen – **Wärmepumpen können sehr energie- und kosteneffizient arbeiten**  
→ Grundregel: je geringer die Temperaturdifferenz ( $\Delta T$ ) – desto höher der Leistungskoeffizient, COP-Wert

# Integration von Wärmepumpen in Fernwärmesysteme

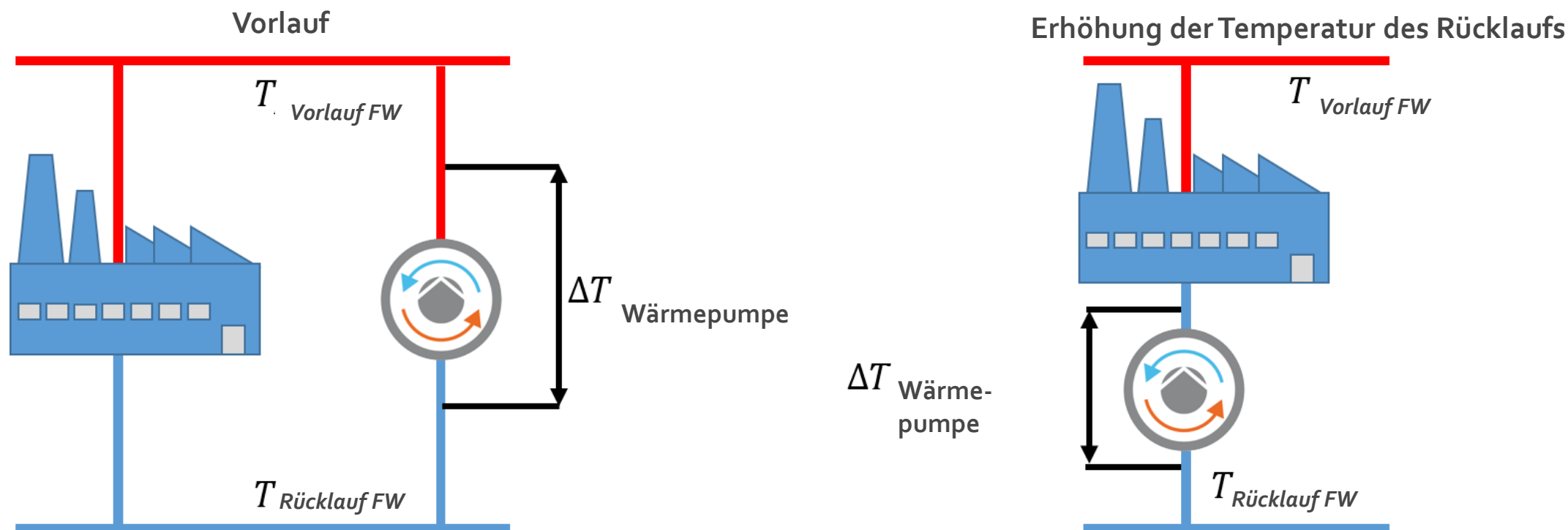


Abb. 14: Verschiedene Möglichkeiten der Integration einer großen Wärmepumpe in den FW-Vorlauf (links) und in den FW-Rücklauf (rechts); eigene Darstellung

# Möglichkeiten der Integration: Zuleitung

- Im Allgemeinen können **großmaßstäbliche Wärmepumpen direkt in den Vorlauf** des Fernwärmenetzes einspeisen, sofern das **benötigte Temperaturniveau ( $\Delta T$ )** erreicht werden kann
- Die Wärmepumpe muss für die höchste Vorlauftemperatur ausgelegt sein\*

(\*da  $T_{VL}$  ansteigt, wenn die Außentemperatur sinkt)

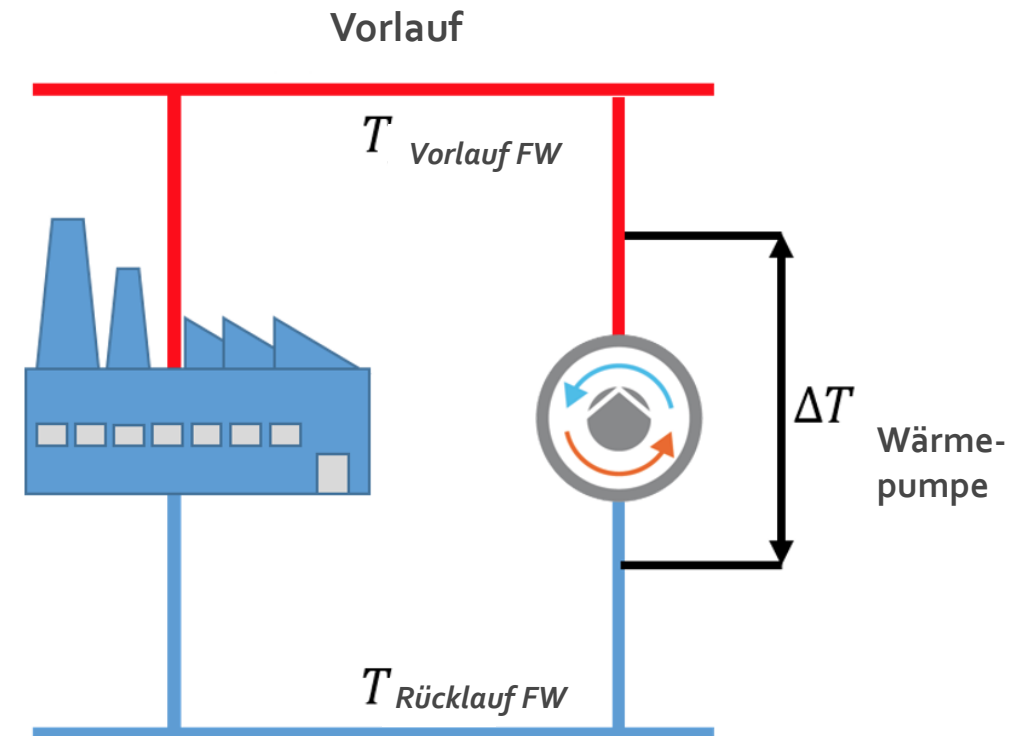


Abb. 15: Integration einer großen Wärmepumpe in den FW-Vorlauf, eigene Darstellung



# Möglichkeiten der Integration: Erhöhung der Temperatur Rücklaufs

- Im Falle einer zu geringen Leistung der Wärmepumpe kann die Erhöhung der Rücklauf- eine geeignete Alternative darstellen
- **Vorteile:**
  - Einfachere Integration in Fernwärmesysteme mit **konventionellen, eher hohen Vorlauftemperaturen**
  - Möglichkeit / Option **zukünftig in den Vorlauf einzuspeisen**, da es eine Tendenz zur Reduktion der Vorlauftemperaturen ( $T_{VL}$ ) gibt

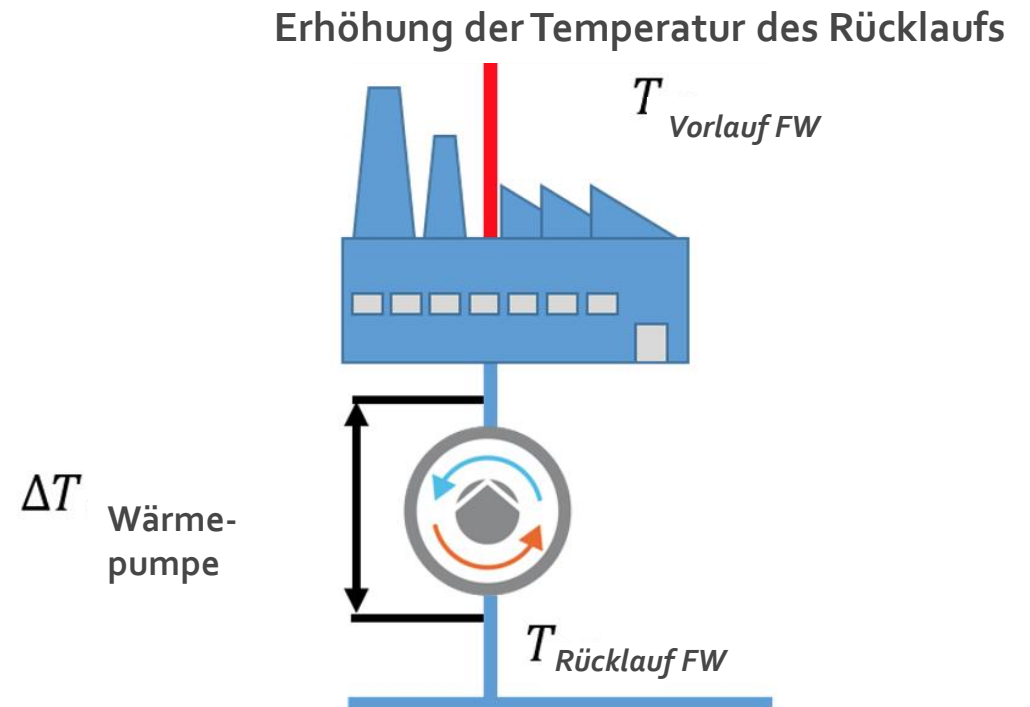


Abb. 16: Integration einer großen Wärmepumpe in den FW-Rücklauf; eigene Darstellung

# Kühlmittel - Überblick

- Kältemittel sind ein wesentliches Arbeitsmedium. Sie können unterschieden werden in:

## Natürlich

- $\text{NH}_3$  (Ammoniak) und  $\text{CO}_2$
- Sehr geringes Treibhausgaspotenzial
- Kein Ozonabbaupotenzial
- Keine oder nur sehr wenige Umweltbeschränkungen
- Seltener genutzt

## Synthetisch

- R-134a, R-152a und R-245fa
- hauptsächlich Fluorkohlenwasserstoff (FKW)
- Zahlreiche ökologische Probleme
- Hauptsächlich genutzt

Aktuell gibt es keine Beschränkungen in der Nutzung von FKW für großmaßstäbliche Anwendungen, allerdings sind Stoffe mit einem großen Treibhausgaspotenzial durch die aktuelle EU F-gas reguliert.

**→ Der rechtliche Rahmen fördert zunehmend den Umstieg auf natürliche Kühlmittel!**



# Kühlmittel – Forschung und Umweltprobleme

- Aufgrund der Temperaturanforderungen des Fernwärmenetzes ist nur eine beschränkte Anzahl möglicher Kühlmitteln verfügbar
- **Anforderungen für Entscheidungen sind hierbei:**
  - Die verfügbaren Temperaturen der Wärmequellen
  - Die notwendige Einspeisungstemperatur
  - Die geforderte Wärmeabgabe
  - Der notwendige Leistungskoeffizient (COP)
  - Die Technologie der Wärmepumpe



# Kühlmittel – Forschung und Umweltprobleme

- Hinsichtlich der Umweltfragen können folgende Aspekte berücksichtigt werden:
  - Schädliche Auswirkungen auf das Klima
  - Umweltauswirkungen
    - Ozonabbaupotenzial (ODP)
    - Treibhausgaspotenzial (GWP)
  - Weitere Aspekte:
    - Sicherheitsvorkehrungen
    - Betriebskosten



# Wirtschaftliche Rentabilität

## Aufschlüsselung der gesamten Investition:

### Zu berücksichtigende Positionen bei großen Wärmepumpenprojekten:

- Große Wärmepumpe
- Zugang zur und Anschluss der Wärmepumpe an die Wärmequelle
- Anschluss an das Fernwärmenetz
- Stromanschluss
- Baukosten
- Planungs- und Genehmigungskosten

# Wirtschaftliche Rentabilität

## Aufschlüsselung der Gesamtinvestition:

- Die Wärmepumpe nimmt ca. 50 % der Investitionskosten ein
- Die Kosten für die technische Nutzbarmachung der Wärmequelle hängen stark von der Wärmequelle und den allgemeinen Bedingungen ab. Hierzu gehören:
  - Zugang zur Wärmequelle
  - Strukturelle Bedingungen
  - Wartungsintensität
- Es muss auf die Art und Weise geachtet werden, in der die Integration in das technische System erfolgt (z.B. Netztemperaturen, Druck oder Distanz zum Fernwärmenetz etc.)

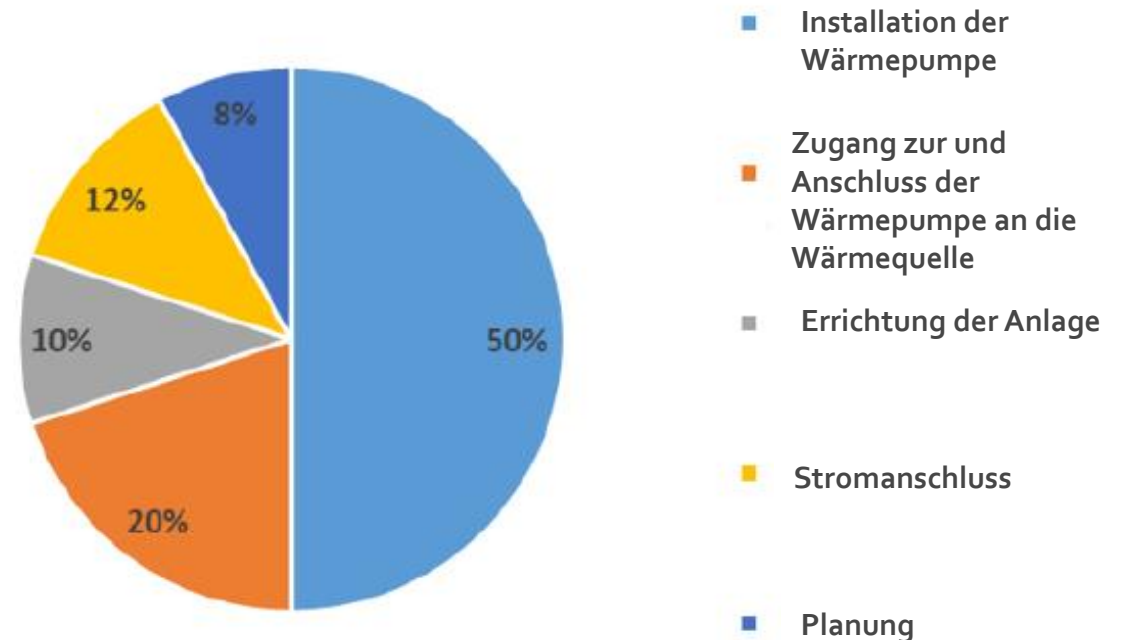


Abb. 17: Aufschlüsselung der Investition nach eigenen Positionen, eigene Darstellung nach [Pieper] & [Energinet]

# Wirtschaftliche Rentabilität

Spezifische Höhe der Gesamtinvestition bei großen Wärmepumpen, abhängig von der verwendeten Wärmequelle

Gesamtinvestition in Millionen €/MW <sub>th</sub>	Rauchgas	Abwasser	Abwärme	Grundwasser	Luft
0.5 – 1 MW <sub>th</sub>	0.53 – 0.63	1.23 – 1.91	0.97 – 1.3	1.18 – 1.72	0.9 – 1.12
1 – 4 MW <sub>th</sub>	0.46 – 0.53	0.72 – 1.23	0.72 – 0.97	0.77 – 1.18	0.73 – 0.9
4 – 10 MW <sub>th</sub>	0.44 – 0.46	0.62 – 0.72	0.67 – 0.72	0.69 – 0.77	0.7 – 0.73

Abb. 18: Abschätzung Kosten für die Intergration von Wärmepumpen in Fernwärmenetze, eigene Darstellung auf Grundlage von [Pieper]

# Vorteile großer Wärmepumpen in Fernwärmesystemen

## Gesteigerte Flexibilität des Fernwärmesystems

- Schneller und günstiger Start
- Optimierte Laufzeit für Grundlastwerke

## Bessere Nutzung von Abwärme

- Nutzung von niedrigtemperierten Wärmequellen

## Schutz vor Marktrisiken

- Absicherung vor Preisschwankungen bei Strom- und Brennstoffkosten
- Ausfallschutz & Kombination von FW & Gleichstrom

## Steigerung erneuerbarer Wärmeproduktion

- Keine lokalen Emissionen
- Wirkt sich positiv auf das Image der Fernwärme aus

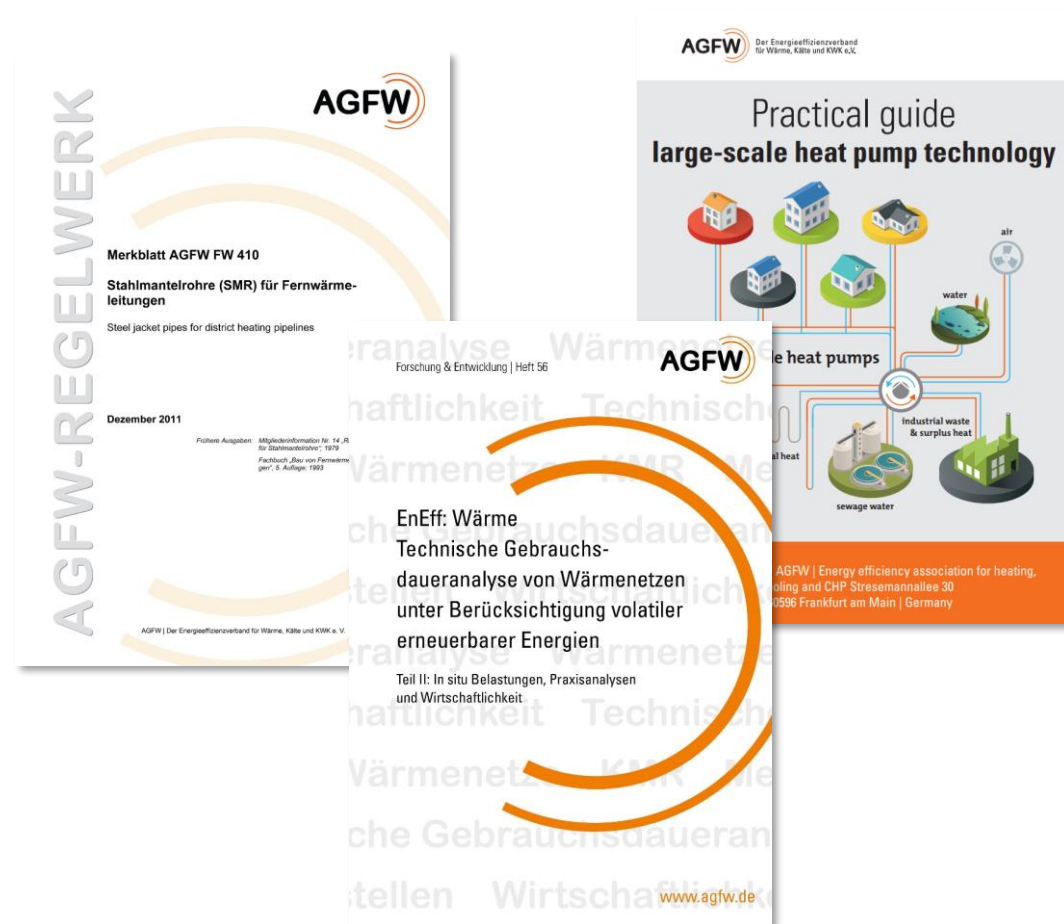


# Nachweis für Inhalte

Die fachlichen Inhalte sowie Abbildungen dieses Lehrmoduls basieren zu großen Teilen auf den Arbeitsblättern und Fachbüchern der **AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH.**

Diese AGFW-Fachliteratur ist unter [www.agfw.de](http://www.agfw.de) erhältlich

*Außerdem führt die AGFW Tagungen, Seminare, Inhouse-Schulungen und Workshops zu energietechnischem, -wirtschaftlichem und -rechtlichem Fachwissen durch. Informieren Sie sich unter [www.agfw.de](http://www.agfw.de)*





LowTEMP2.0

# Kontakt

## AGFW-Projekt GmbH

Projektunternehmen für Rationalisierung,  
Information & Standardisierung

**Georg Bosak**

**Abteilung für Umweltentwicklung**

Stresemannallee 30  
60596 Frankfurt am Main  
Deutschland

E-Mail: [info@agfw.de](mailto:info@agfw.de)

Tel: +49 69 6304 - 247

[www.agfw.de](http://www.agfw.de)

## Übersetzung und Anpassung: Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

**Prof. Dr.-Ing. Matthias Koziol**

**Cornelia Siebke**

**Paul Lambrecht**

Konrad-Wachsmann-Allee 4  
03046 Cottbus  
Deutschland

E-Mail: [siebke@b-tu.de](mailto:siebke@b-tu.de)

Telefon: +49 355 69 27 37

[www.stadttechnik.de](http://www.stadttechnik.de)

[www.lowtemp.eu](http://www.lowtemp.eu)

# Quellennachweis

[1] Wärmepumpen-Kreislauf. Quelle: Natural Resources Canada [online]: <https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/energy-markets/market-snapshots/2019/market-snapshot-growing-heat-pump-adoption-how-does-technology-work.html> [zuletzt geprüft am 05.10.2021]

[2] Eselshöhe weather station and Bavarian State Office for the Environment]; quoted in AGFW 2020: "Praxisleitfaden Großwärmepumpen" p. 5

[3] *Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie; erwähnt in AGFW 2020: "Praxisleitfaden Großwärmepumpen" p. 6*

[4] *Stadtwerke Lemgo; erwähnt in AGFW 2020: "Praxisleitfaden Großwärmepumpen" p.7*

[5] *Institut für Klimafolgenforschung Potsdam; erwähnt in AGFW 2020 : "Praxisleitfaden Großwärmepumpen" p.7*



# Weiterführende Literatur

[AGFW<sub>1</sub>] AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK, Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 1, Energetische Bewertung von Fernwärme – Bestimmung der spezifischen Primärenergiefaktoren für Fernwärmeversorgungssysteme -, 2014

[AGFW<sub>2</sub>] AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK, Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 6, Energetische Bewertung von Fernwärme – Bestimmung spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren -, 2016

[Agrothermische Wärmeversorgung] Dr. Pietruschka und Dr. Kluge, Kalte Nahwärme: agrothermische Wärmeversorgung einer Plusenergiesiedlung, bauma 2013 [BDI] Gerbert, P. et al.: Klimapfade für Deutschland, 2018.

[EnEff:Wärme] Andreas Christidis et al, EnEff:Wärme, Einsatz von Wärmespeichern und Power-to-HeatAnlagen, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., 2017

[Energinet] Danish Energy Agency, Technology Data for Energy Plants for Electricity and District heating generation, 2016

[Large Heat Pumps] A. Davis, Large Heat Pumps in European District Heating Systems, 2016 zitiert in Grosse, R., Christopher, B., Stefan, W., Geyer, R. and Robbi, S., Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU, EUR28859, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-75771-6, doi:10.2760/24422, JRC109006

[Literaturstudie NTB] Dr. Cordin Arpagaus et al, Hochtemperatur Wärmepumpen, Literaturstudie zum Stand der Technik, der Forschung, des Anwendungspotentials und der Kältemittel, Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, 2017 [OLG Düsseldorf] OLG Düsseldorf, Beschluss vom 29.06.2016 – VI-3 Kart 95/15(V)

[Pieper] Pieper et al, Allocation of investment costs for large-scale heat pumps supplying district heating, CONECT 2018

[WKO und ÖKKV] Informative Zusammenfassung von Kältemittel-Alternativen, WKO Berufsgruppe Kälte- und Klimatechnik und Österreichischer Kälte- und Klimatechnischer Verein (ÖKKV), 2018