



LowTEMP2.0

# Power-to-Heat & Power-to-Gas in Fernwärmesystemen

Potentiale, Sektorkopplung und ein wichtiger Bestandteil der  
Wärmeumwandlung



# 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-Energiestrategien

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

# Inhalt

- Einführung in dieses Modul
- Das Grundprinzip der Power-2-Heat-Technologie
- Die Integration von Power-to-Heat in den Strom- und Wärmesektor
  - Exkurs: Der Balancemarkt
  - Verwendung von P2H-Anwendungen anstelle von Kapazitätsreduzierungen
- Power-to-Heat-Anwendungen - ein Überblick
- Zusammenfassung: Potenziale von P2H-Anwendungen
- Grundprinzip von Power-to-Gas
- Vergleich von P2H- und P2G-Technologien
- Mögliche Verwendungen von P2H- und P2G-Anwendungen



# Das Grundprinzip der Power-2-Heat-Technologie

- P2H-Anwendungen können elektrischen Strom in Wärmeenergie umwandeln
- **Kleinere private Anwendungen:**
  - Nachtspeicherheizung
  - Wärmepumpenheizung
- **Großanwendungen:**
  - zentrale Elektro- oder Elektrodenkessel
  - Großwärmepumpen
- In der Regel werden solche Anwendungen in ein Fernwärmenetz integriert

→ **Sektorenkopplung:** Verbindung des Stromsektor mit dem Wärmesektor

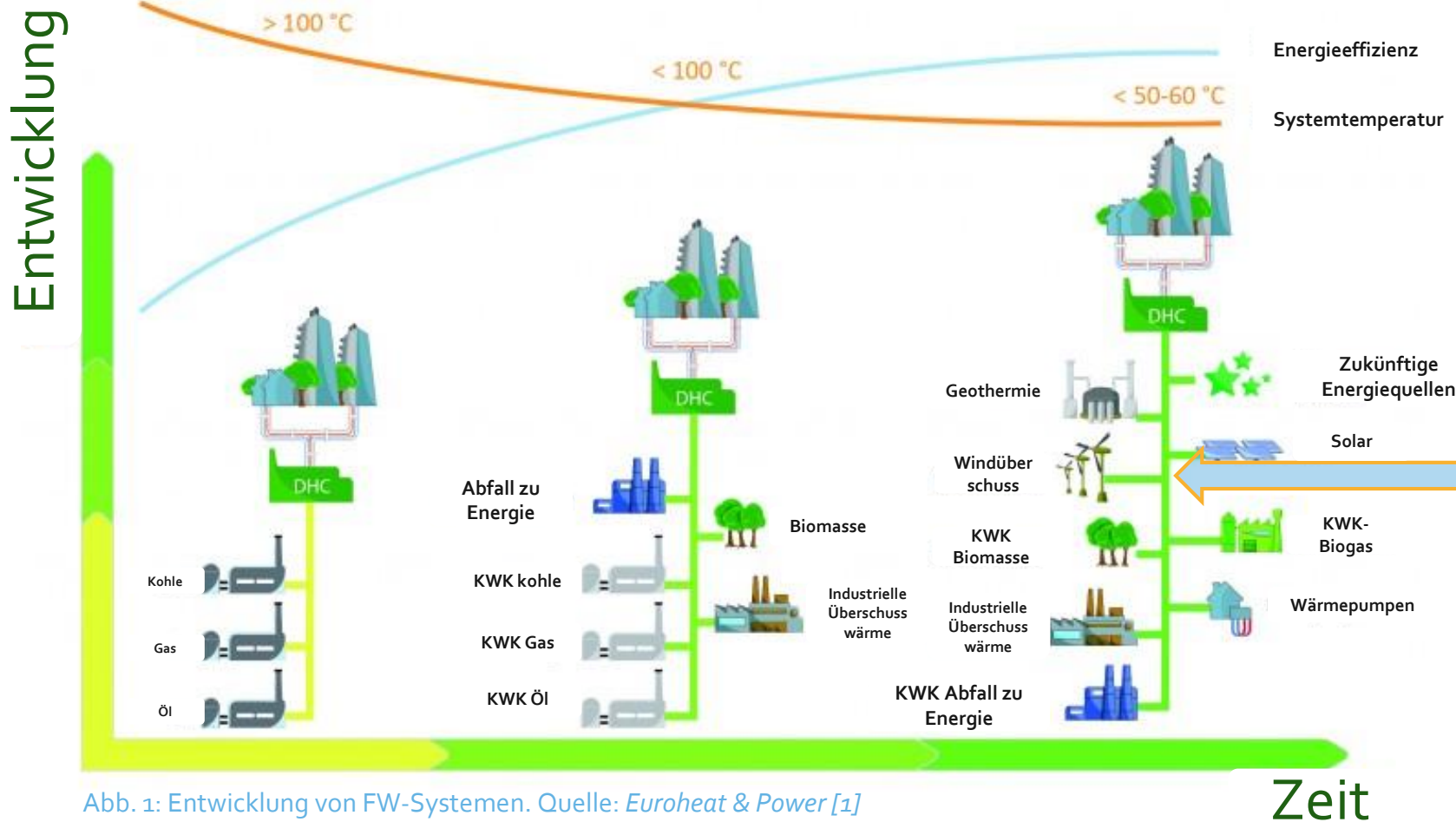


Abb. 1: Entwicklung von FW-Systemen. Quelle: Euroheat & Power [1]

- Bereits heute trägt P2H zum konstanten Gleichgewicht zwischen Stromversorgung und Strombedarf bei
- Mögliche zukünftige Potenziale für P2H-Anwendungen

# Exkurs: Der Regelleistungsmarkt

Der Regelleistungsmarkt stabilisiert ständig die angestrebte 50 Hz Frequenz innerhalb des Stromnetzes:

- **positive Regelenergie** (z.B. durch ein BHKW) = Stromüberschuss zum Ausgleich von Verbrauchsspitzen
- **negative Regelenergie = höhere Leistung als Verbrauch** macht die Nutzung des Stromüberschusses notwendig (z.B. durch P2H, Speicher, FW-Netze)
- Aufgrund der zunehmenden Menge und Integration meist volatiler\* erneuerbarer Energien in den Strommarkt könnten Power-to-Heat-Technologien in Zukunft einen wichtigen Einfluss als wichtiges Instrument für den Regelleistungsmarkt haben.

# Power-to-Heat-Anwendungen - ein Überblick

Drei verschiedene Technologien werden hauptsächlich als P2H-Wandler verwendet

- Elektrische (Heizelement-) Heizungen
- Elektrodenkessel
- Elektrisch betriebene Kompressionswärmepumpen

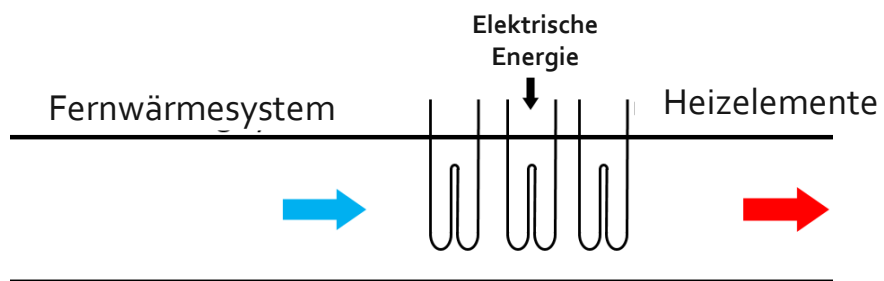


Abb. 2: Prinzip Elektrische Heizelemente. Darstellung AGFW

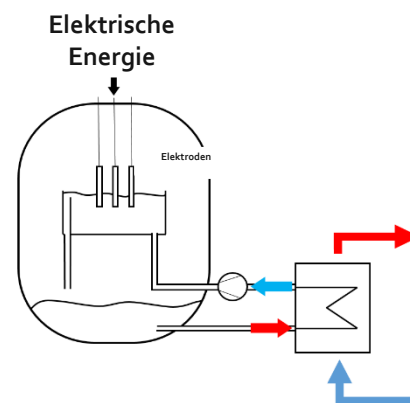


Abb. 3: Prinzip Elektrodenkessel. Darstellung AGFW

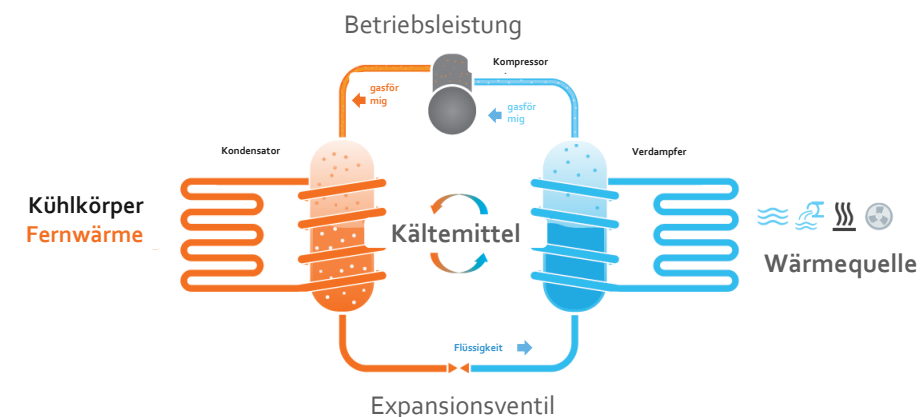


Abb. 4: Prinzip Wärmepumpe. Darstellung AGFW

# Power-to-Heat-Anwendungen: Elektrische Heizungen

## Elektrische (Heizelement-) Heizungen

- **elektrische Durchflusserhitzer**
  - Anwendungen im industriellen Bereich und in FW-Systemen arbeiten in einem elektrischen Leistungsbereich von 50 kW bis 15 MW bei einer Spannung von bis zu 690 V.
- **Heizstäbe (Tauchsiederprinzip)**
  - Die Verwendung in Haushalten und Unternehmen hat normalerweise eine Leistung im einstelligen kW-Bereich bei Spannungen von 230/400 V.

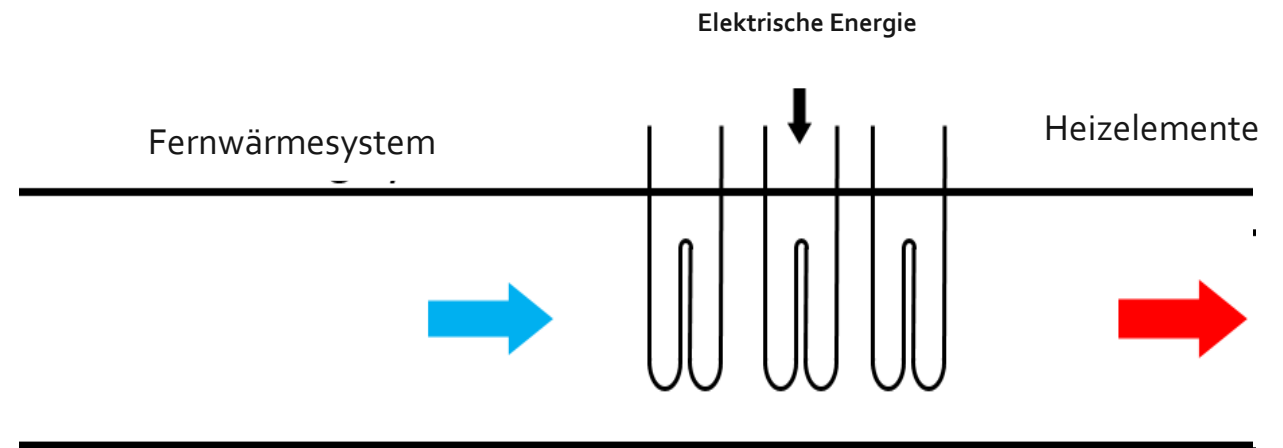


Abb. 2: Schema eines elektrischen Durchflusserhitzers, Darstellung AGFW



# Power-to-Heat-Anwendungen: Elektrodenkessel

## Elektrodenkessel

- Hauptbestandteile von Elektrodenkesseln sind ihre von Wasser umgebenen Elektroden
- Wenn die Elektroden erregt sind, erwärmt sich das Wasser aufgrund des ohmschen Widerstands
- Mit einem zusätzlichen Wärmetauscher kann diese Heizenergie in das FW-System übertragen werden
- **Die Kapazitäten der Elektrodenkessel variieren zwischen 5 MW und 50 MW**

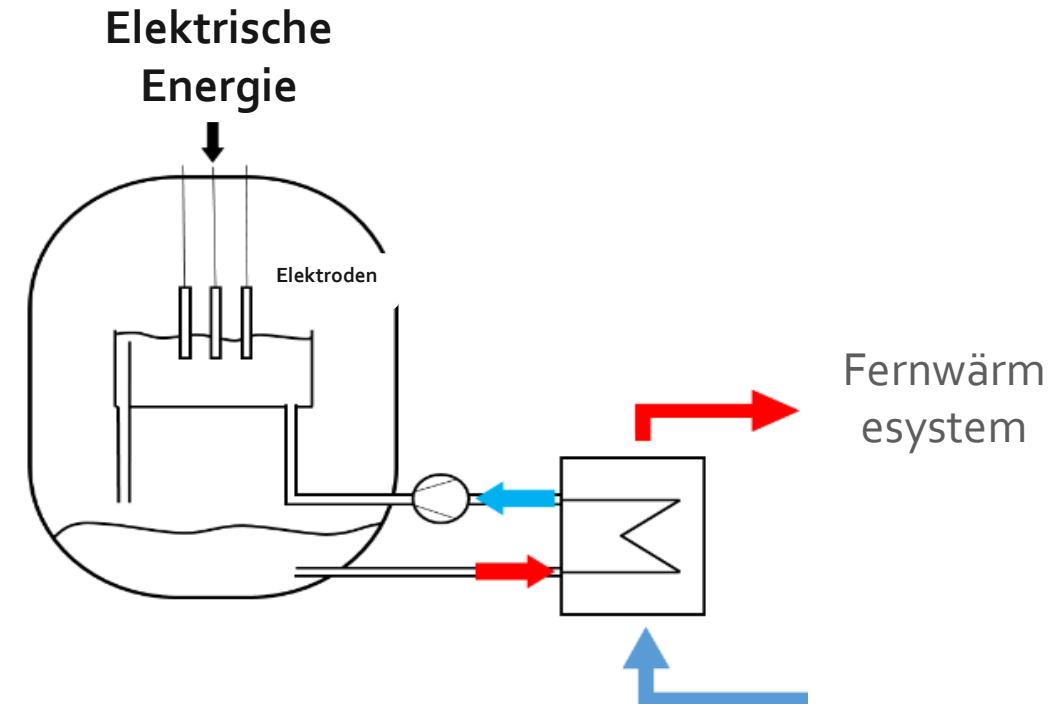


Abb. 3: Schema eines Elektrodenkessels, Darstellung AGFW

# Power-to-Heat-Anwendungen: Wärmepumpe

## Kompressionswärmepumpe

- hocheffizient bei der Erhöhung der Temperatur auf das erforderliche Temperaturniveau
- Bietet flexible Lösungen für FW-Systeme
- Sehr unterschiedliche Größen von Wärmepumpen verfügbar
- extrahiert und liefert Wärme aus vorhandenen Wärmequellen: z.B. Wasser oder Luft
- verbraucht viel weniger elektrische Energie als elektrische Heizungen
- Hohe Investitionskosten

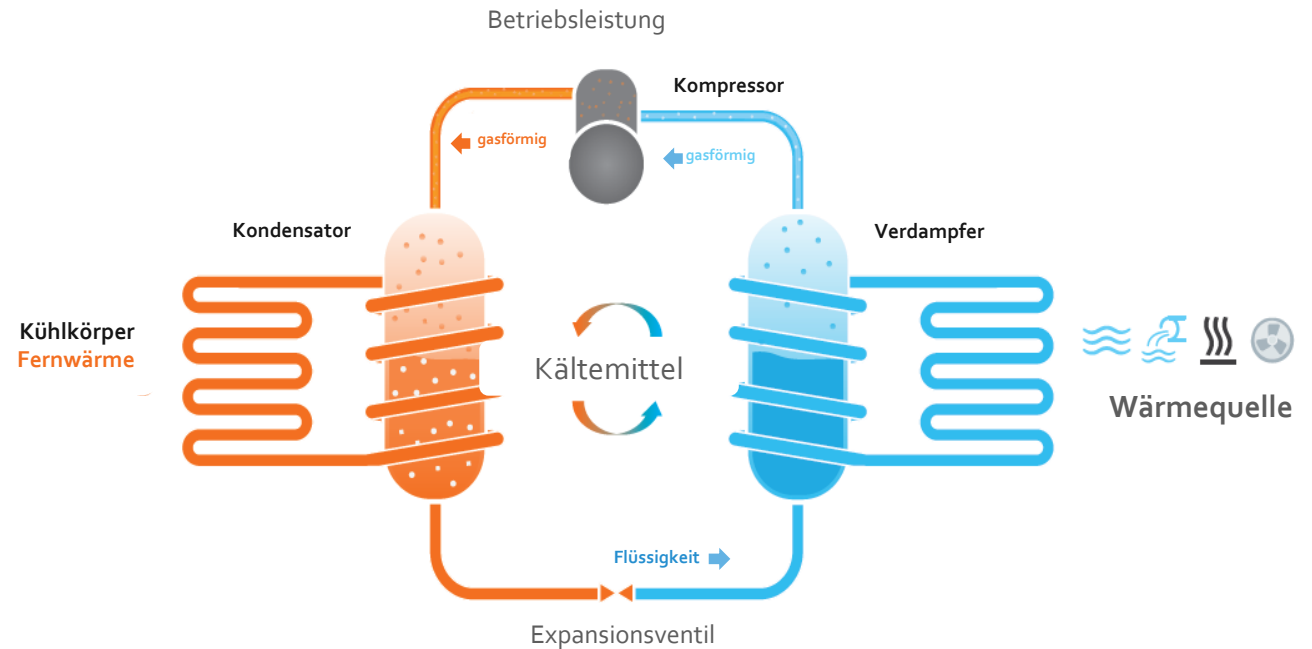


Abb. 4: Funktionsweise einer Kompressionswärmepumpe, Darstellung AGFW

# Power-to-Heat-Anwendungen: Wärmespeicher

## Wärmespeicherung in Kombination mit P2H

- Wärmespeicher werden normalerweise mit P2H-Systemen kombiniert
- z.B. Schichtpufferspeicher sind die häufigsten Anwendungen in FW-Systemen (siehe Abbildung).
- Je nach Größe der Speichereinheit kann die Wärme für einen späteren Verbrauch einige Stunden bis einige Tage oder Wochen gespeichert werden

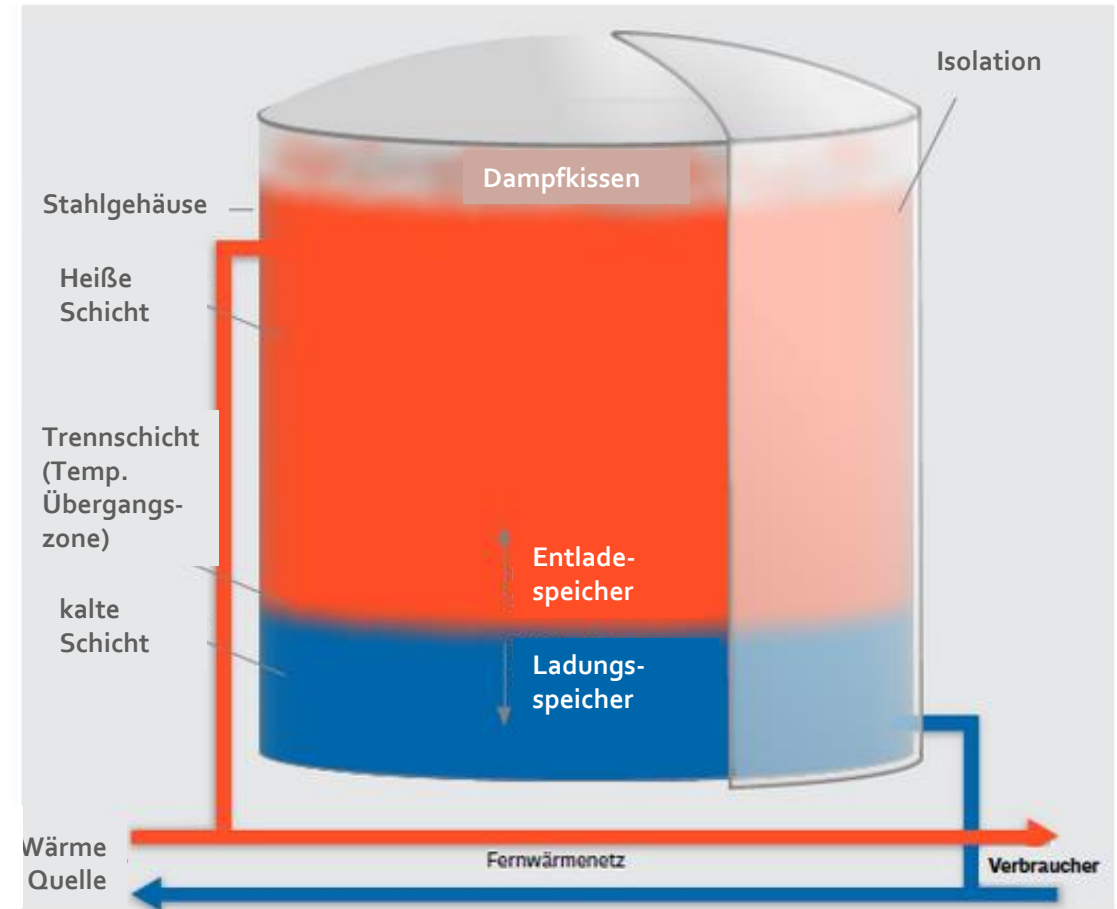


Abb. 5: Funktionsschema der thermischen Wärmespeicherung  
(Quelle: vattenfall.de[2]; geändert AGFW)

# Potenziale von P2H-Anwendungen

## Analyse des ökologischen Potenzials

- Wenn aus **erneuerbaren Energien** erzeugt...
- ... elektrisch erzeugte Wärme kann einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung **und** Substitution des Einsatzes von fossilen Energieträgern in zukünftigen Systemen leisten.
- **Positiver Nebeneffekt:** Mit „grünem“ Stromüberschuss, der in ländlichen Gebieten erzeugt wird, können dicht besiedelten städtischen Gebieten mit „grüner“ Wärme versorgt werden
- **Allgemeine Potenziale:**
  - Steigerung der Energieeffizienz
  - Verringerung der Treibhausgas-Emissionen

# Potenziale von P2H-Anwendungen

## Wirtschaftliche Aspekte und Investitionskosten

- Die Investitionskosten für **direkte elektrische P2H-Anwendungen** hängen stark von der vorhandenen Infrastruktur und dem erforderlichen Temperaturniveau ab
- Bei einer Anlage, die hauptsächlich in Fernwärmenetzen eingesetzt wird, liegen die ungefähren Investitionskosten im Bereich von 150 bis 270 EUR pro Kilowatt

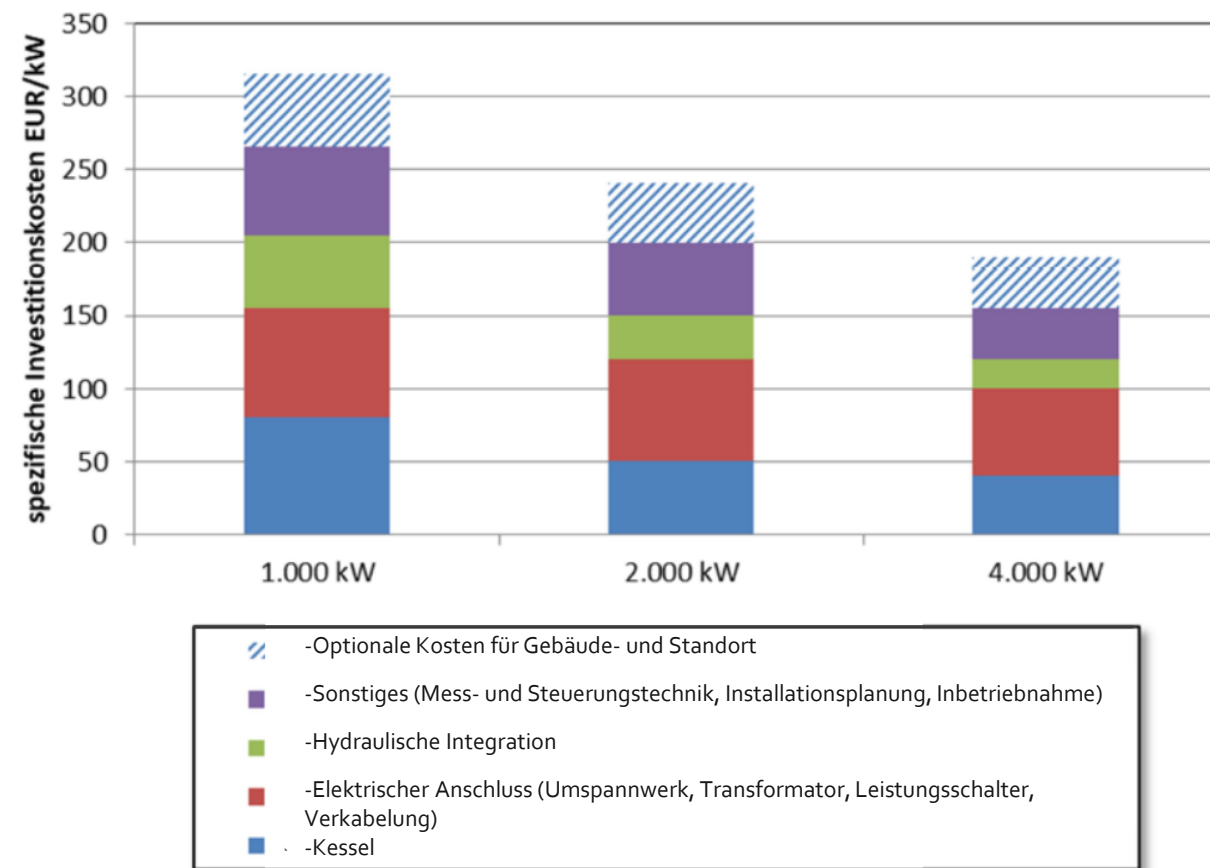




Abb. 6: Spezifische Investitionskosten in EUR / kW für eine direkte elektrische P2H-Anwendung. [3]

# Das Grundprinzip von Power-to-Gas

- Power-to-Gas bezieht sich auf den technischen Umwandlungsprozess, bei dem elektrische Energie (Strom) zur Erzeugung von Gas verwendet wird
- das erzeugte Gas ist Wasserstoff (*Elektrolyse*) 
- Dieser Wasserstoff kann in Methan umgewandelt werden (*Methanisierung*) 
- Die Idee dieser Technologie ist es, erneuerbare Energie für diese Prozesse zu nutzen, um erneuerbares (Treibhausgasneutrales) synthetisches Gas zu erzeugen
- **Diese Technologie ist ein weiteres Instrument für den Dekarbonisierungsprozess im Wärmesektor**

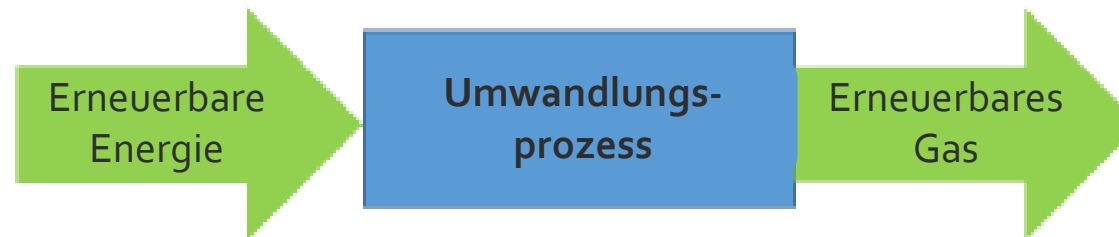


Abb. 7: Vereinfachter Power-to-Gas-Prozess. AGFW, 2019

# Das Grundprinzip von Power-to-Gas

## Hauptvorteil dieser Technologie

- hohe Energiespeicherdichte von Wasserstoff und Methan
- Beide sind Primärenergiequellen, die bereits seit langem im Einsatz sind und ihre Funktionalität unter Beweis gestellt haben.
- **Methan** hat ähnliche Eigenschaften wie Erdgas
  - kann über bereits vorhandenes Gasnetz gelagert und transportiert werden
  - **kann die Verwendung von Erdgas in allen vorherigen Anwendungen ersetzen**
  - Die Speicherung von Strom als Gas kann eine wirtschaftlich attraktive Option für eine sichere, flexible und klimafreundliche Energieversorgung sein.

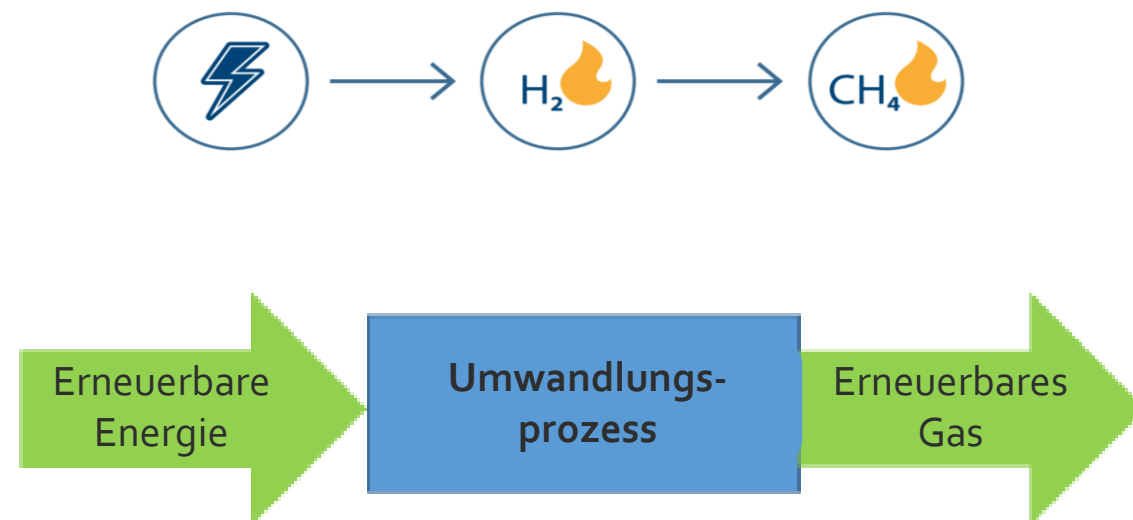


Abb. 7: Vereinfachter Power-to-Gas-Prozess. AGFW, 2019

# Das Grundprinzip von Power-to-Gas

## Überblick über P2G-Prozesse mittels Methanisierung und Elektrolyse

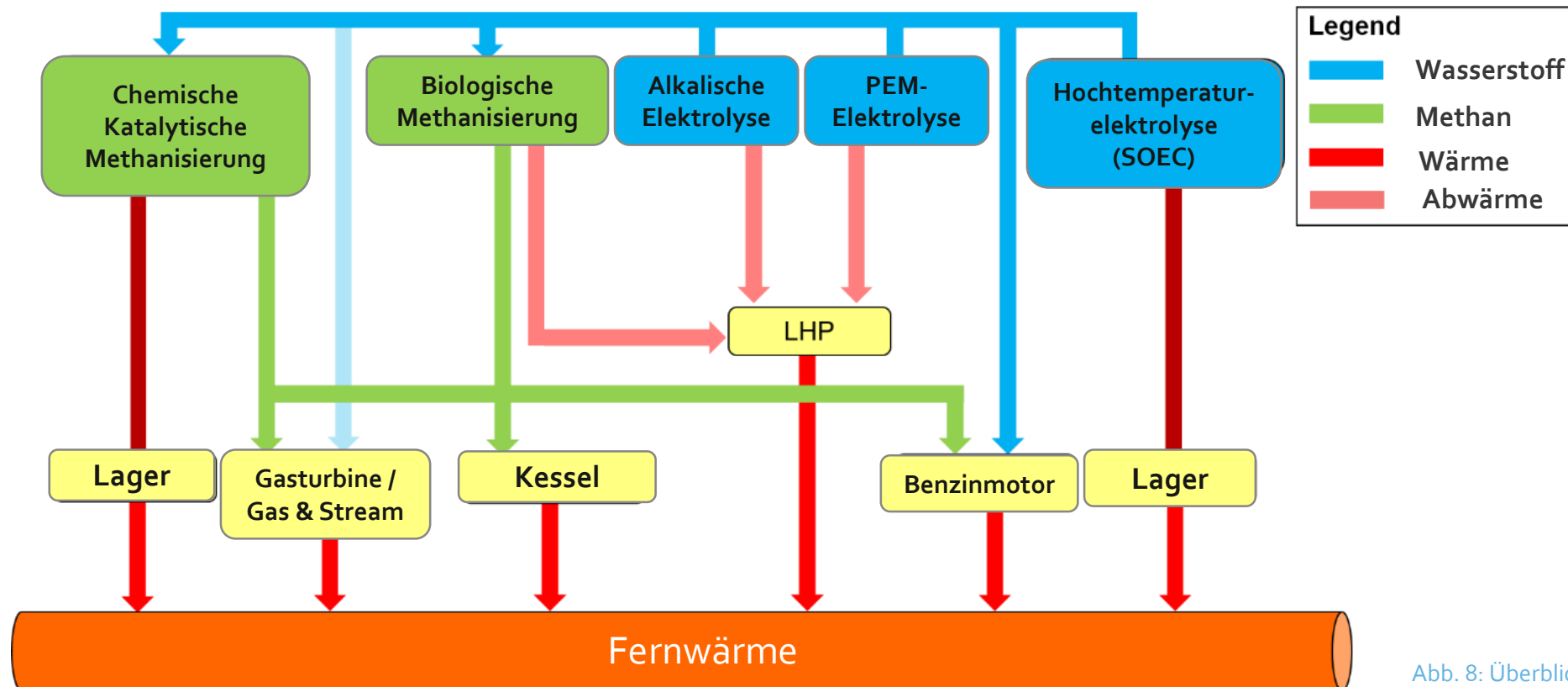


Abb. 8: Überblick P2G- Prozesse, Darstellung: AGFW



# Vergleich von P2H- und P2G-Technologien

- Im Allgemeinen konkurriert **Power-to-Gas** mit der Verwendung des synthetischen Gases im Wärmesektor mit der direkten Nutzung von **Power-to-Heat**-Technologien.

## Power-to-Heat:

- Die direkte Nutzung des Stroms zur Wärmeerzeugung ist im Vergleich zu den Verbrennungstechnologien effizienter.
- Der Strom kann zumeist nur direkt genutzt werden: Nachteil in Bezug auf die langfristige Energiespeicherung

## Power-to-Gas:

Gas hat eine höhere Energiespeicherdichte als Batterien oder Wasser (Wärmespeicher).

- Die Herstellung von synthetischem Gas stellt einen zusätzlichen Umwandlungsprozess dar (geringer Wirkungsgrad).
- Es bietet jedoch mehr Flexibilität (in Bezug auf die Zeit zwischen Angebot und Nachfrage), aber auch für weitere Anwendungsbereiche des synthetischen Gases.

# Mögliche Verwendungen von P2H- und P2G-Anwendungen

## P2H in Kombination mit einer KWK-Anlage:

- Nahezu kontinuierliche Wärmenutzung möglich
- zusätzlicher Akku kann einfach integriert werden
- Bei überschüssigem Strom liefert das P2H-System Wärme für das Fernwärmenetz oder den Wärmespeicher

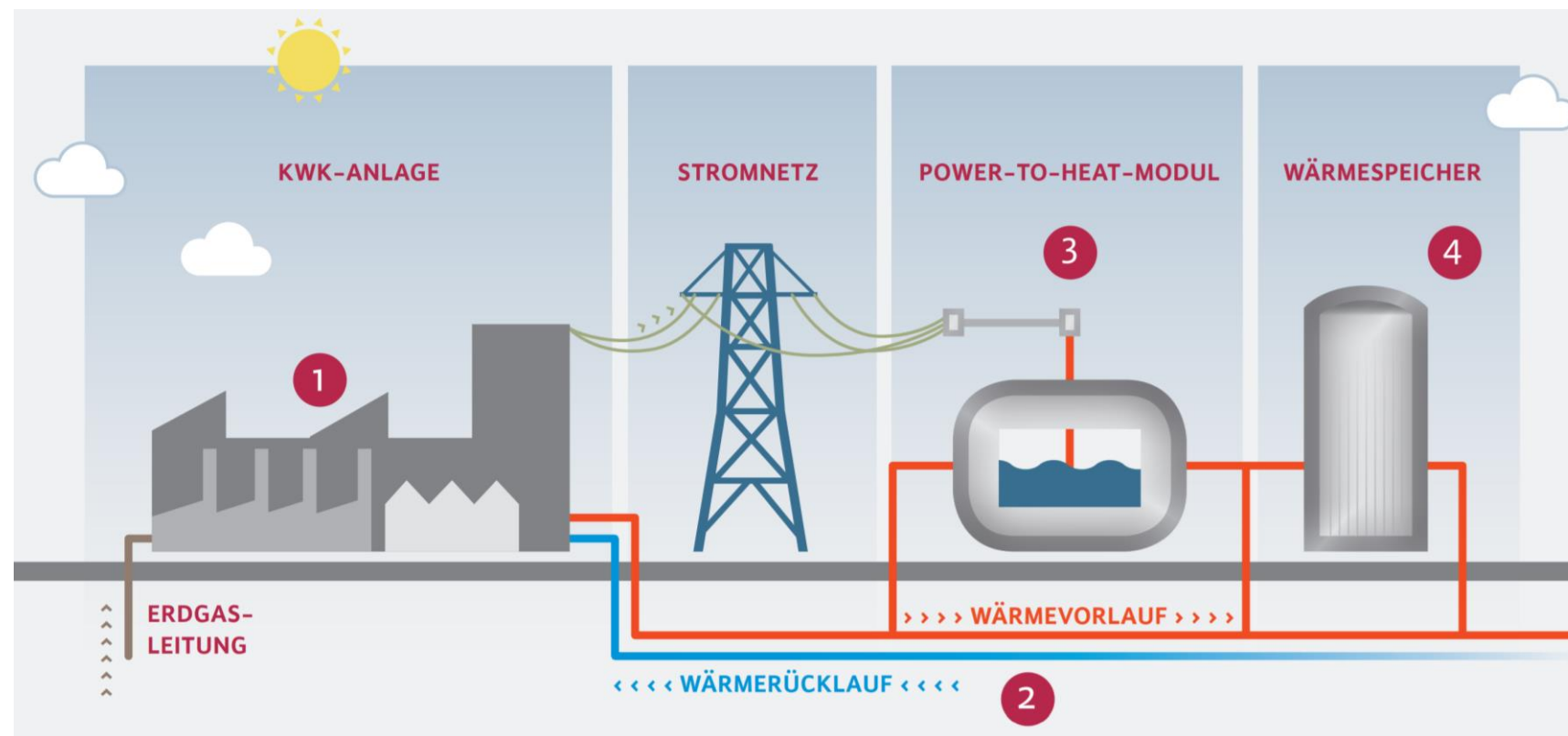


Abb. 9: Flexibles KWK- / Fernwärmesystem mit Wärmespeicher und Power-to-Heat-Modul, Darstellung: bdew, 2016 [4]

# Mögliche Verwendungen von P<sub>2</sub>H- und P<sub>2</sub>G-Anwendungen

## P<sub>2</sub>G in Kombination mit einer KWK-Anlage: Beispiel Haßfurt

- Überschüssiger Strom aus dem nahe gelegenen Windpark und Fotovoltaik-Anlagen wird in erneuerbaren Wasserstoff umgewandelt
- Der erzeugte Wasserstoff wird in einer Wasserstoff-KWK-Anlage verbrannt



The Silyzer 200 (1.25 MW output) electrolyser from Siemens at the Stadtwerk Haßfurt is used to produce hydrogen with excess electricity from renewable energy generation plants.  
Image source: Stadtwerk Haßfurt GmbH

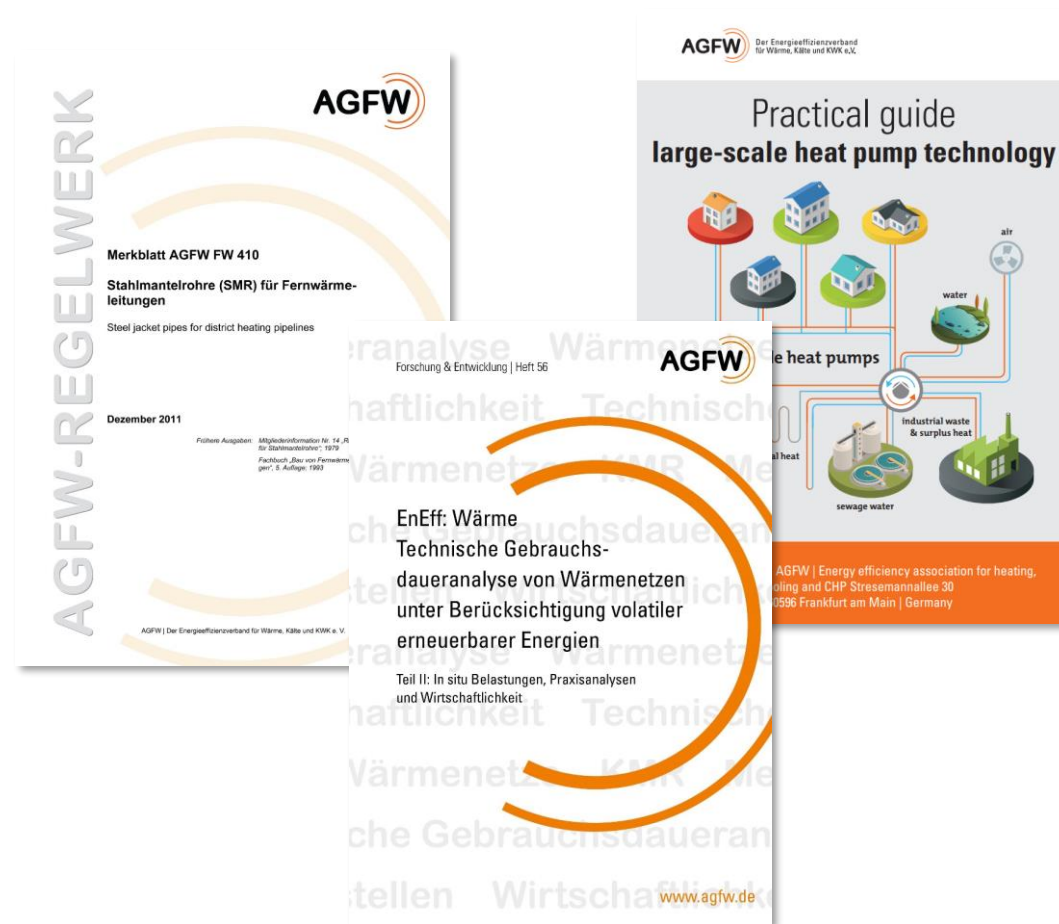
Abb. 10: Elektrolyseur der Fa. Siemens am Standort Stadtwerk Haßfurt, Foto Pressemitteilung Stadtwerk Haßfurt GmbH [6]

# 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

# Contact

## AGFW-Project GmbH

Projektgesellschaft für Rationalisierung,  
Information & Standardisierung

**Georg Bosak**  
Abteilung für Stadtentwicklung

Stresemannallee 30  
60596 Frankfurt am Main  
Germany

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**

Konrad-Wachsmann-Alee 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] Euroheat & Power. <https://www.euroheat.org/group-documents-category/dhc-and-buildings-g5> [zuletzt geprüft am 16.09.2021]
- [2] Vattenfall; translated & adjusted); quoted from <https://www.smarterworld.de/smart-energy/sonstige/fernwaerme-ein-zuverlaessiger-energiewende-baustein.108753.html>
- [3] EEB ENERKO, 2017/2020;). <https://enerko.de/>
- [4] BDEW; [https://www.bdew.de/media/documents/Factsheet\\_PowerToHeat.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Factsheet_PowerToHeat.pdf) [zuletzt geprüft am 09.12.2021]
- [5] bdew 2016; translated. [https://www.bdew.de/media/documents/Factsheet\\_PowerToHeat.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Factsheet_PowerToHeat.pdf) [zuletzt geprüft am 09.12.2021]
- [6] Image Source: Press release:  
[https://www.zg.com/module/designvorlagen/downloads/100\\_green\\_electricity\\_with\\_power\\_to\\_gas\\_.pdf](https://www.zg.com/module/designvorlagen/downloads/100_green_electricity_with_power_to_gas_.pdf) [zuletzt geprüft am 09.12.2021]