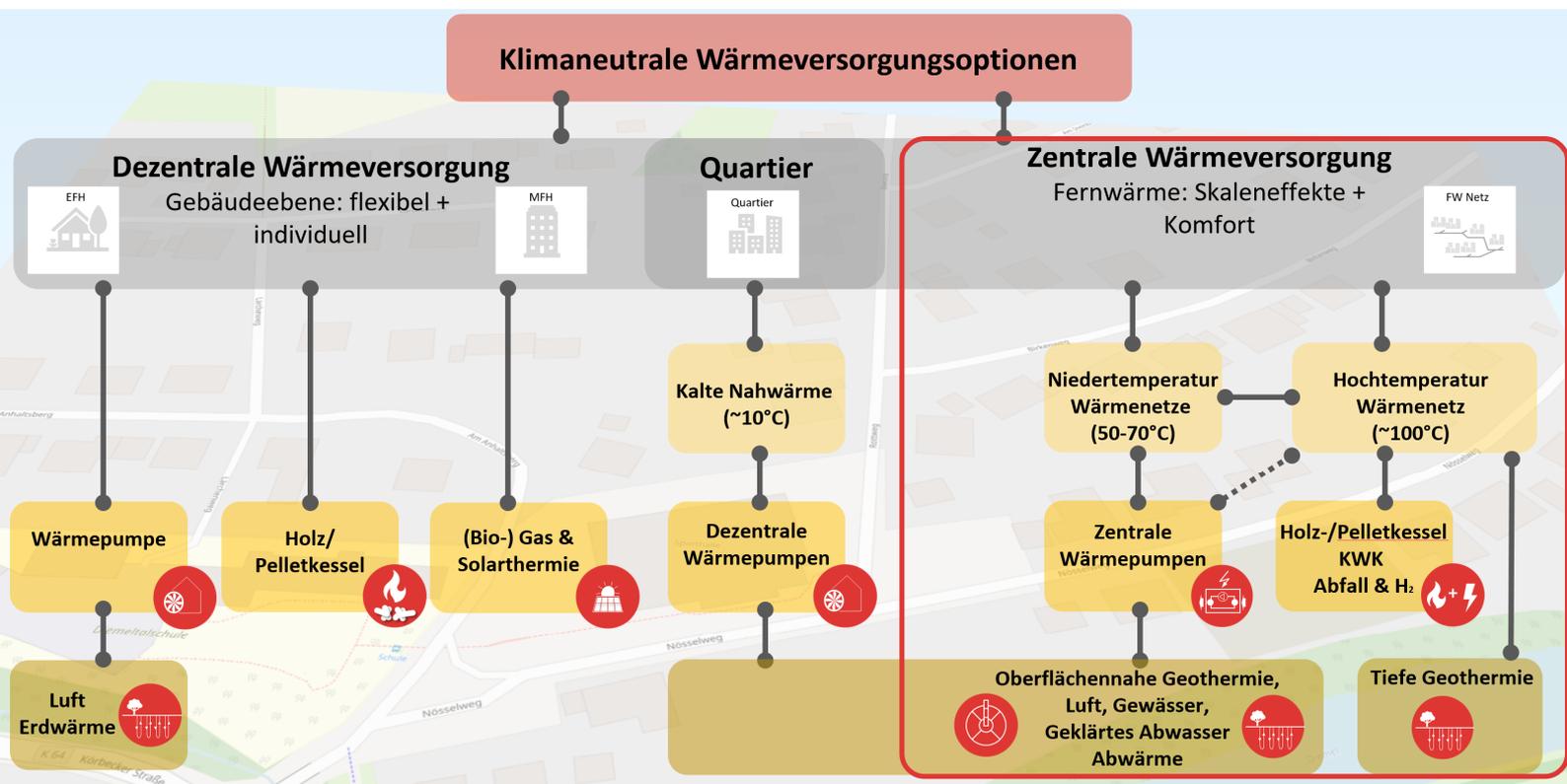


# Übersichtspapier zu Technologien für eine klimaneutrale Fernwärmearzeugung

von Martin May



## Einleitung

Der Wärmesektor benötigt mehr als 50 % des deutschen Endenergiebedarfs und bietet damit ein hohes Potenzial zur Erreichung der Klimaziele. Zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ist die Transformation der Fernwärme hierbei ein wichtiger Baustein der Wärmewende. Sie bietet die Möglichkeit, erneuerbare Energiequellen zentral und in größerem Maßstab und somit in Summe effizienter zu nutzen als die dezentrale Wärmeerzeugung in Haushalten. Die Sinnhaftigkeit der Fernwärme in einer Region steigt mit der Nachfrage nach Wärme (Bevölkerungsdichte und der räumlichen Verteilung der Verbraucher) und der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energiequellen.

Die Fernwärmeerzeugung basiert traditionell auf der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Gas und Öl. Für eine klimaneutrale Wärmeversorgung müssen alternative Technologien eingesetzt werden. Mit der Dekarbonisierung einher geht die Versorgungssicherheit der Wärmeversorgung bei Gasmangel.

In diesem Übersichtspapier werden die relevantesten kommerziell verfügbaren Erzeugungstechnologien für eine klimaneutrale Fernwärmeerzeugung vorgestellt. Diese Erzeugungstechnologien sind technische Möglichkeiten, die es vor dem Hintergrund der spezifischen Verhältnisse vor Ort zu prüfen gilt. Der wirtschaftliche Einsatz der jeweiligen Technologie ist von der Verfügbarkeit von Wärmequellen, Biomasse, erneuerbarem Strom, dem Lastgang des Wärmebedarfs und den anderen Wärmeerzeugern im System abhängig.

## Groß-Wärmepumpen

### Funktionsweise

Eine Wärmepumpe wandelt die thermische Energie einer Wärmequelle in Wärme auf einem höheren Temperaturniveau um. Wärmepumpen nutzen in der Regel Strom als Antriebsenergie in Kombination mit Umweltwärme (Umgebungsluft, Fluss- und Abwasser, oberflächennahe Geothermie oder industrieller Abwärme) als Wärmequelle. Es werden überwiegend Kompressionswärmepumpen verwendet. Dessen thermodynamischer Kreisprozess entspricht dem einer Kältemaschine, mit dem Unterschied, dass die Nutzenergie der Wärmepumpe auf der warmen Seite liegt. Je geringer dabei die Temperaturdifferenz zwischen Quellen- und Senkenseite ist, desto höher ist die Heizleistung pro eingesetzter elektrischer Leistung (coefficient of performance: COP) im Kreisprozess.

### Definition Großwärmepumpen

Hier werden Großwärmepumpen wie folgt abgegrenzt: Grundsätzlich kommen Großwärmepumpen eher in der zentralen Wärmeversorgung für Fernwärme und der Wärmeversorgung von Gewerbe, Wohngebieten und Industrie zum Einsatz. Die Heizleistung liegt meist oberhalb von 1 MW je Einheit. In der Regel müssen Vorlauftemperaturen der Wärmesenke von 80 - 115 °C erreicht werden. Diese Wärmepumpen fallen üblicherweise unter die Kategorien Hoch- und Höchsttemperaturwärmepumpen. Bei der dezentralen Verwendung von Wärmepumpen in Ein- oder Mehrfamilienhäusern werden eher Niedertemperaturwärmepumpen verwendet.

### Bauarten

In Wärmenetzen werden überwiegend elektrisch angetriebene Kompressionswärmepumpen mit den Bauarten Hubkolben- und Schraubenverdichter im Leistungsbereich von 1 - 2 MW Heizleistung, sowie größere Wärmepumpen mit Turboverdichtern (Axial/Radial) im Leistungsbereich von aktuell circa 8 -40 MW Heizleistung pro Modul verwendet. Weitere Bauarten sind Rotationswärmepumpen, Wärmepumpen basierend auf dem Stirling-Kreisprozess, Hybrid-Wärmepumpen, thermoakustische Wärmepumpen und Absorptionswärmepumpen. Dabei kommen verschiedene Kältemittel zum Einsatz.

### Einsatzreihenfolge und Lebensdauer

Durch die hohen Investitionskosten und den einsatzoptimierten Betrieb bei geringen Stromkosten rentieren sich Großwärmepumpen eher für die Bereitstellung von Grund- und Mittellastwärme. Die Einsatzreihenfolge unterschiedlicher Wärmepumpen untereinander wird durch deren COP bestimmt. Einsatzweise und Instandhaltungsstrategie bestimmen maßgeblich die Lebensdauer: Ist die Großwärmepumpe zu groß ausgelegt bzw. ohne Lastregelung ausgestattet, dann taktet sie zu viel. Häufige Starts führen zu einer geringen Lebensdauer durch einen zu starken Verdichterverschleiß.

### Kältemittel

Mittel- und langfristig verfügbare Kältemittel für Wärmepumpen stammen aktuell aus den Gruppen der „Low GWP“ Kältemittel (z. B. R1234ze, R1234yf, u. a.) und halogenfreien Kältemittel (z. B. NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, Isobutan, u. a.). Im Rahmen der EU-Chemikalienverordnung REACH steht die Verwendung von teilfluorierten Kältemitteln wie R1234ze und R1234yf seit Ende März 2023 auf dem Prüfstand. Es droht ein Phase-Down, eine stufenweise Verringerung der verfügbaren Menge an teilfluorierten Kältemitteln auf dem Markt, bis hin zu einem Verbot.

Das natürliche Kältemittel Ammoniak (NH<sub>3</sub>) ist weit verbreitet und etabliert, ist jedoch giftig und unterliegt daher Einsatzbeschränkungen. Kohlenwasserstoffe wie Propan, Butan oder Ethan können geeignete Kältemittel für die Hochtemperaturanwendung darstellen, sind im Einsatz aufgrund ihrer Brennbarkeit mit entsprechender Sicherheitstechnik zu planen. CO<sub>2</sub> als

einziges weder giftiges noch brennbares Kältemittel bietet aufgrund seiner kältetechnischen Eigenschaften nur für besondere Betriebsfälle ein geeignetes Kältemittel: Die Wärmequelle sollte nicht wärmer als 30 °C sein. Hohe COPs erfordern aber niedrige Rücklauftemperaturen der Senkenseite, während der Einfluss der Vorlauftemperatur der Senkenseite auf den COP wegen des überkritischen Prozesses geringer ausfällt.

## Wärmequellen für Großwärmepumpen

### Umgebungsluft

Über Luft-Wasser-Wärmeübertrager wird der Außenluft die Wärme entzogen und mit einer Wärmepumpe auf die notwendige Temperatur angehoben. Für ein größtmögliches Einsatzfenster mit Winterbetrieb und Betrieb in der Übergangsjahreszeit ist eine Niedertemperaturlösung der Wärmepumpe nötig. Eine Optimierung des COPs kann im Winter durch eine Wärmeeinspeisung in den Rücklauf erreicht werden.

### Fließende oder stehende Gewässer

Das Wasser wird dem Fluss, See oder Meer entnommen und nach der Abkühlung durch die Wärmepumpe wieder zurückgeführt. Bei diesen Wärmequellen ist überwiegend der Umweltschutz zu berücksichtigen. So ist die Auskühlung der Quellen stark reglementiert, um Flora und Fauna nicht negativ zu beeinflussen. Ebenso muss die Quelle gegen Kältemittelleckagen gesichert werden. Die genehmigungsrechtlichen Themen sind in diesen Projekten frühzeitig zu betrachten.

### Geklärttes Abwasser aus Kläranlagen

In einer Kläranlage kann die vorhandene Restwärme des Abwassers nach dessen Reinigung in einer Wärmepumpe genutzt werden. Im Jahresverlauf hat das geklärte Abwasser eine Temperatur zwischen üblicherweise 8 und 25 °C. Zwar kommt es durch Regenwasser stellenweise zu hohen Temperaturgradienten, verglichen mit der Umgebungsluft oder Fließgewässern sind die Temperaturwechsel allerdings gering.

Der Abwassermassenstrom schwankt sehr stark, da er durch das Verbraucherverhalten gesteuert wird. Zur Vergleichmäßigung der Quellenseite sind technische Maßnahmen notwendig. Eine mögliche Verschmutzung der technischen Anlage durch biologische Ablagerung ist zu vermeiden. Weiterhin bedarf es einer juristischen Klärung über die Verantwortung über das geklärte Wasser durch Nutzung durch einen Wärmeversorger.

Die Nutzung von Abwasserwärme direkt im öffentlichen Kanalsystem ist aufgrund des spezifischen Ertrags von circa 2 kW pro Meter Wärmeübertrager nicht für die Leistungsklasse im Fernwärmebereich geeignet.

### Oberflächennahe Geothermie

Die Nutzung der im oberflächennahen Untergrund vorhandenen Erdwärme, aus Tiefen von bis zu 400 m, erfolgt durch flächendeckend in den Boden angeordnete Wärmeübertrager, meist als Erdkollektoren, oder über das Abpumpen von Grundwasser. Mit der Tiefe der installierten Erdkollektoren steigt die nutzbare Quelltemperatur und es vergleichmäßigen sich die zeitlichen Temperaturschwankungen. Grundwasser-Wärmepumpen sind eher ein Nischenprodukt für Gebäude und Quartiere mit kleinen Leistungsklassen. Dabei sind relativ hohe Wassermengen erforderlich.

### Geothermie: Warmes Grubenwasser

In Deutschland gibt es circa 20 Anlagen mit Wärmepumpen, die das Grubenwasser aus Steinkohle-, Baukohle-, Erz- und dem Schieferbergbau nutzen. Dabei wird die Enthalpie des Grubenwassers aus bis zu 1000 m Tiefe direkt in einer obertägigen Energiezentralen über Wärmeübertrager oder bei Tiefen von bis zu 1500 m indirekt über Wärmeübertrager untertage erschlossen.

### Industrielle Abwärme

Im Sinne der Energieeffizienz und der industriellen Prozesse sind Abwärmeverkommen in erster Maßnahme stets dem Produktionsprozess zurückzuführen (z. B. Verbrennungsluftvorwärmung). Nachfolgend sollte die Abwärme nach Möglichkeit in parallel laufende Prozesse des selben Produktionsstandorts fließen. Gibt es darüber hinaus nutzbare Abwärmemengen, können diese dritten, wie z. B. Fernwärmeversorgern zu Verfügung gestellt werden.

Es kann Abwärme verwendet werden, die ursprünglich ungenutzt der Umgebung zugeführt wird. Diese kann zum einen in Form eines Kühlwasser- oder Kühlluftstrom vorliegen, zum anderen in Form von industriellem Rauchgas oder Abgas aus einer fossilen Verbrennung, die der Bereitstellung von Prozesse-Hochtemperatur-Wärme oder der eigenen Fernwärmeerzeugung dienen. Die Wärmenutzung kann dabei durch eine Rauchgaskondensation gesteigert werden. Die Abwärme aus fossil gefeuerten KWK-Anlagen wird z. B. im BEW nicht als CO<sub>2</sub>-neutrale Abwärme eingestuft.

## Vorteile Großwärmepumpe

### Allgemein:

- Massiver Einfluss der Förderkulisse auf die Wärmegestehungskosten durch Investitions- und Betriebskostenzuschüsse
- Die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpen profitiert von gestiegenen Gaspreisen, CO<sub>2</sub>-Steuer, Effizienzverbesserung und Wegfall der EEG-Umlage. Mit den prognostizierten Strompreisen und der aktuellen Förderung sind Großwärmepumpen wirtschaftlich darstellbar.
- Hohe Systemrelevanz, da sie für die Sektorenkopplung einsetzbar ist: Eine hohe Einspeisung von erneuerbarem Strom führt zu einer erhöhten Netzauslastung und niedrigeren Börsenstrompreisen. Wärmepumpen sind dann in Betrieb. Die überschüssige Wärme kann gespeichert werden.
- Günstiger als viele kleine dezentrale Wärmepumpen
- Erprobte Technik, viele Referenzanlagen in Skandinavien
- Umweltwärmenutzung, Wärmeerzeugung auf Fernwärmeniveau möglich, gut skalierbar
- Durch Nutzung von lokal erzeugtem erneuerbarem Strom oder vertraglichem Grünstrom klimaneutral

### Luft:

- Überall verfügbar

### (Fließ-)Gewässer:

- Geringer Flächenbedarf
- Behörden begrüßen in der Regel die Abkühlung von Gewässern im Sommer
- Wasserentnahmeverfahren für Gewässer sind technischer Standard
- Da Wasser eine höhere spezifische Wärmekapazität als Luft besitzt und dadurch über eine höhere Wärmeträgheit verfügt, resultieren die wetterbedingten Temperaturschwankungen der Außenluft in geringeren Temperaturschwankungen des Wassers. Damit ergibt sich eine höhere Verfügbarkeit gegenüber Umgebungsluft als Wärmequelle
- Verfügbarkeit > 11 Monate im Jahr

### Geklärttes Abwasser:

- Geringer Flächenverbrauch
- Betrieb auch in der Heizperiode möglich (aber temperaturabhängig)
- Nutzung vorhandener Abwärme
- Wegen der höheren Quelltemperaturen ist der COP im Winter besser als bei der Nutzung von Luft, Fluss- oder Seewasser als Wärmequelle

### Geothermie:

- Geothermie ist weniger witterungsanfällig als andere erneuerbare Wärmequellen
- Als Wärmequelle zeitlich fast immer vorhanden

### Oberflächennahe Geothermie:

- Der Regenerationseffekt erlaubt es, dem Erdreich im Winter die Wärme zum Heizen zu entziehen und im Sommer Wärme zur Gebäudekühlung zurückzuführen

### Industrielle Abwärme:

- Durch die Übernahme der Rückkühlfunktion einer vorhandenen aktiven Rückkühlung schafft eine Wärmepumpe einen doppelten Nutzen
- Keine Abhängigkeit von Witterungsbedingungen

### Industrielles Rauchgas:

- Erhöhung der Brennstoffausnutzung zum Beispiel durch Kopplung der Wärmepumpe mit der zweiten Gemischkühlerstufe eines BHKW

## Nachteile Großwärmepumpe

### Allgemein:

- Geringe Betriebsstundenzahl bei Überschussstromnutzung ergeben keine Wirtschaftlichkeit, hohe Volllaststunden durch Anwendung in Grundlast als Ziel
- Erfordert Wärmequelle im MW-Bereich
- „Teurer“ Strom durch Abgabenlasten
- COP sinkt mit steigender Netztemperatur, COP sinkt mit sinkender Quelltemperatur

### Fließwasser:

- Hohe Baukosten für Wasserentnahme
- Aufwendige Genehmigungsverfahren im Wasserrecht je nach Standort

### Geothermie:

- Flächenintensivste Art der Wärmequelle für eine Wärmepumpe, da wegen geringer bodennaher Temperaturen der flächenspezifische Wärmeertrag der Erdkollektorfläche verhältnismäßig gering ist
- Oberflächennahe Kollektoren schränken Flächen-Weiternutzung ein. Landwirtschaftliche Nutzung realisierbar.
- Geothermie-Erdkollektoren sind nur mit Wasser-Glykol Wärmeträgermedium realisierbar

### Luft:

- Geringere Nutzungsdauer als bei anderen Wärmequellen
- Geringe spezifische Wärmekapazität der Luft gegenüber Wasser → geringer volumetrischer Energieinhalt
- Hoher apparativer Aufwand aufgrund des geringen volumetrischen Energieinhaltes
- In urbaner Umgebung problematisch ist der sichere Abtransport der ausgekühlten Luft (Verwirbelungen, Kaltluftseen, Vereisung) → Planung der Anlage erforderte Windkanalversuche mit 3D-Modellen und dadurch höher Kosten der Luft-Wasser-Wärmeübertrager
- COP-Reduktion durch hohen Eigenverbrauch der Nebenanlagen (z. B. Luftkühler) bis zu 30 %
- COP sinkt mit der Außenlufttemperatur, geringerer COP als mit anderen Wärmequellen und damit höhere Betriebskosten, bei Lufttemperaturen < -10 °C mehrstufiger Prozess erforderlich
- Abtauschaltung zum Enteisen ab Lufttemperaturen von 5 °C verringert COP
- Hohe stündliche und saisonale Temperaturschwankungen. Saisonale Verfügbarkeit ist zeitlich gesehen reziprok zum Bedarf und COP

## Tiefe Geothermie

Mit Tiefengeothermie bezeichnet man die Nutzung der Erdwärme in Tiefen zwischen 400 und 5.000 m, in der Regel als hydrothermale Dublette (Injektions- und Förderbohrung) oder koaxiale Erdwärmesonde. Die nutzbare Wärmeleistung hängt von der Thermalwasser-Temperatur der Förderbohrung, dem Volumenstrom und den Netzparametern ab. Durch eine nachgeschaltete Wärmepumpe können Temperatur und Heizleistung erhöht werden. Die Erschließung von Tiefengeothermie hängt von bestimmten geologischen Faktoren ab und erfordert eine geophysikalische Voruntersuchung.

### Vorteile

- Geringe Flächennutzung, hohe Punktleistung
- Mit Wärmepumpen kombinierbar
- Temperaturen über 100 °C lieferbar, Quelltemperatur ganzjährig nahezu konstant
- Frostfreie Rohrsysteme auf der Quellenseite
- Erprobte Genehmigungsverfahren

### Nachteile

- Durch hohe Baukosten und aufwändige Installation erst ab höheren Wärmeleistungen wirtschaftlich
- Hohe Investitionen mit deutlichem wirtschaftlichem Risiko, da Fündigkeit kaum prognostizierbar ist
- Lange Genehmigungsverfahren und Umsetzungszeit (circa 5-7 Jahre)

## Solarthermie

Solarthermie wandelt die Solarstrahlung in nutzbare Wärme um. In Rahmen der Fernwärmeerzeugung wird diese Wärme über einen getrennten Solarkreislauf an die Fernwärme übergeben. Für die Fernwärme relevante Solarkollektortypen sind Flach- und Röhrenkollektoren. Die Aufstellung erfolgt auf Dach- oder Freiflächen. Diese nicht konzentrierenden Systeme können im Vergleich zu konzentrierenden Systemen wie Parabolrinnenkollektoren neben der Direktstrahlung zusätzlich die Diffusstrahlung nutzen. Gerade in Deutschland mit seiner geringen direkten Solarstrahlung sind nicht-konzentrierende Systeme wirtschaftlicher, anders als z. B. in Spanien.

### Vorteile Solarthermie

- Massiver Einfluss der Förderkulisse auf die Wärmegestehungskosten durch Investitions- und Betriebskostenzuschüsse
- Sehr geringe Betriebskosten, langfristige Kostensicherheit wegen Auskommen ohne Brennstoff und ohne große Strommengen
- Wärmeerzeugung (fast) ohne Umwelteinflüsse, beliebig skalierbar wegen modularer Bauweise (bis 50 MW<sub>th</sub> in Dänemark)
- Einfache Montagemöglichkeiten auf Freiflächen, keine Flächenversiegelung
- Freiflächen-Solarthermieanlagen sind rund 50 % günstiger als dezentrale Kollektoren
- Röhrenkollektor mit rund 10-20 % höherem Ertrag als Flachkollektoren, bei aktuell üblichen Fernwärme-Netztemperaturen

### Nachteile Solarthermie

- Hoher Flächenverbrauch, Umsetzung oft stark abhängig von den zur Verfügung stehenden Flächen und Grundstückskosten, allerdings ist der energetische Flächenbedarf von Bioenergie auf Basis von Mais 40 bis 50-fach größer
- Sommerlastige Erzeugung, daher nur additiver Baustein für eine dekarbonisierte Fernwärmeerzeugung
- Die solare Wärmebereitstellung ist nicht bedarfsorientiert und erfordern große Wärmespeicher
- Hohe Investitionskosten: Für niedrige Wärmegestehungskosten des Gesamtsystems sollte die Leistung einer Solarthermieanlage auf die sommerliche Wärmelast ausgelegt sein und mit einem Tagesspeicher kombiniert werden. Damit liegen wirtschaftliche solare Deckungsanteile des Wärmebedarfs von Fernwärmesystemen bei 15-20 %. In Kombination mit einem saisonalen Speicher kann der wirtschaftlich erreichbare solare Deckungsanteil auf 40 % steigen. Theoretisch sind mit ausreichender Speicherkapazität bis zu 100 % Deckungsanteil möglich.

## Abfall

Abfall wird als Brennstoff in Müllverbrennungsanlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung verwendet. Aufgrund der nahezu konstanten Menge an Abfall der letzten Jahre ist die Anzahl dieser Anlagen nicht ausbaufähig, die stärkere Anbindung von Müllverbrennungsanlagen an die Fernwärme allerdings schon. Je nach Beschaffenheit des Abfalls kann die dort erzeugte Energie anteilig als erneuerbar betrachtet werden.

## Biomasse

Unter dem Begriff Biomasse fallen Holzpellets und Holzhackschnitzel aus Holzabfällen bei Sägewerken oder der Holzernte, Grünschnitt, Altholz, Stroh, Heu, Maisspindeln und andere pflanzliche Reststoffe. Rein technisch gesehen eignet sich die Verbrennung von Biomasse zur Spitzenlastdeckung im Winter.

Aktuell besteht ein Großteil der in der EU zur Wärmegewinnung (als reine Wärmenutzung oder per KWK) verwendeten Biomasse aus Holz, knapp 50 % davon stammt direkt aus dem Wald. Biomasse ist eine begrenzte Ressource mit begrenztem Zuwachspotenzial. Auch, wenn Holz ein nachwachsender Rohstoff ist, ist es daher nicht sinnvoll, ihn vorrangig als erneuerbare

Energiequelle zu betrachten. In der nationalen Biomasse-Strategie (NABIS) wird die vorrangige Einstufung der stofflichen Nutzung des Gebrauchtholzes gegenüber der energetischen Verwertung gefordert.

Biomasse kann als Brennstoff für folgende KWK-Anlage verwendet werden: Holzheizkraftwerke, in denen Holzhackschnitzel oder Holzpellets verbrannt werden, Holzpellet-BHKWs und Biomasseheizkraftwerke, die zusätzlich zu Holz auch andere Arten von Biomasse wie Stroh oder Grünschnitt nutzen können, weiterhin Holzpelletkessel mit Stirlingmotor. Biomasse-Kessel erzeugen ausschließlich Wärme.

Biogas wird durch Vergärung von pflanzlichen oder organischen Reststoffen wie Mais oder Gülle in Biogasanlagen gewonnen. Überwiegend wird das Biogas in einem direkt angrenzenden Biogas-Blockheizkraftwerk genutzt. Die Nutzung der Wärme erfolgt beispielsweise in Nahwärmenetzen. Auch ist eine Einspeisung von Biogas in das Gasnetz möglich. Biogas ist flexibel nutzbar und über längere Zeiträume speicherbar. Die überwiegende Anzahl der Biogas-Blockheizkraftwerken haben eine nutzbare Wärmeleistung von bis einem MW (Stand 2014). Da das regional verfügbare Biogaspotenzial begrenzt ist und wegen der geringen Anlagenleistung hat Biogas keine Relevanz für die Fernwärme.

Flüssige Biomasse (im wesentlichen Öle) spielen in der Fernwärmeversorgung aktuell keine Rolle.

## Vorteile

- Speicherbarkeit des Brennstoffes (Holzhackschnitzel, Pellets, Biomethan in der Erdgaskaverne) → Wärme für Spitzenlast
- Erzeugung hoher Vorlauftemperaturen und Leistungen möglich, Primärnetz-kompatibel

## Nachteile

- Nach NABIS sollte die energetische Verwertung nur in der letzten Kaskade nach der stofflichen Nutzung erfolgen (nicht recyclebares Altholz)
- Regionales und importiertes Biomassepotential ist begrenzt, langfristige Verfügbarkeit muss gesichert werden
- Zusätzlicher Platzbedarf für Feuerungstechnik, Abgasreinigung, Anlieferung und Lagerung
- Feuerungsanlagen von fester Biomasse besitzen in der Regel sehr hohe spezifische Investitionen. Eine geforderte Begrenzung der Betriebsstunden durch die BEW zur Schonung der Ressource führt damit zu hohen Wärmegestehungskosten.
- Personalintensiver Betrieb mit entsprechend hohen Kosten. BoB-Betrieb 24 h ist möglich, aber Störungsdienst muss vorhanden sein (für Heißwasserkessel mit Holzhackschnitzelfeuerung)

## Vergleichstabelle der zentralen Erzeugertechnologien

Im Folgenden eine Übersicht über die wesentlichen Charakteristika der zentralen Erzeugungstechnologien:

Technologie	Luft-Großwärmepumpe	Gewässer-Großwärmepumpe	Klärwasser-Großwärmepumpe	Oberflächennahe Geothermie mit Großwärmepumpe	Tiefe Geothermie mit optionaler Großwärmepumpe	Solarthermie	Biomassekessel
Verfügbarkeit	Ganzjährig (Direkt elektrisch ab -15 °C)	> 11 Monate im Jahr, kein Einsatz bei vereisten Flüssen	Ganzjährig, im Sommer deutlich höheres Wärmequellenpotenzial	Ganzjährig, Quelltemperatur nahezu konstant	Ganzjährig	Saisonal gegenläufig zum Bedarf, Verlängerung in die Heizperiode mit saisonalem Speicher	Technisch grundsätzlich ganzjährig, abhängig von Verfügbarkeit der Biomasse
Temperaturniveau	Wärmequelle: -15 bis 30 °C	Wärmequelle: 4-20 °C	Wärmequelle: 8-20 °C	Wärmequelle: 0-14 °C	Wärmequelle: 25-200 °C, je nach Tiefe	Vakuum-Röhren bis 105 °C, Effizienz reziprok zur Netztemperatur	Heißwasser bis 180 °C
Förderung	iKWK (in Verbindung mit KWK Anlage), BEW (bis zu 40 % Investitionskostenzuschuss, Betriebskostenzuschuss)	iKWK (in Verbindung mit KWK Anlage), BEW (bis zu 40 % Investitionskostenzuschuss, Betriebskostenzuschuss)	iKWK (in Verbindung mit KWK Anlage), BEW (bis zu 40 % Investitionskostenzuschuss, Betriebskostenzuschuss)	BEW: Systemische Förderung (40 % Investitionskostenzuschuss) NRW: Erdwärmesonden: 5-10 €/m, Erdwärmekollektoren: 3-6 €/m²	BEW: Systemische Förderung (40 % Investitionskostenzuschuss)	iKWK (in Verbindung mit KWK Anlage), KfW Premium, BEW (40 % Investitionskostenzuschuss + 1 ct/kWh Betriebskostenzuschuss über 10 a)	BEW: Systemische Förderung (bis zu 40 % Investitionskostenzuschuss), ggf. Innovationsprogramme
Flächenbedarf	Gering, aber problematisch ist der sichere Abtransport der ausgekühlten Luft in Verbindung mit der geografischen Lage	Gering	Gering	Flächenintensivste Wärmequelle für Wärmepumpe. Oberflächennahe Kollektoren schränken Flächen-Weiternutzung ein	Gering, hohe Punktleistung	Hoch, aber keine Flächenversiegelung	Hoch, energetischer Flächenbedarf Bioenergie wie Mais 40 bis 50-fach größer als Solarthermie
Relevante Umweltauswirkungen	Schall, Kaltluftseen	Positiv: Kühlung der Gewässer im Sommer	Gering	Flächenintensivste Wärmequelle für Wärmepumpe. Flächen-Weiternutzung eingeschränkt	Gering, hohe Punktleistung	Hoch, aber keine Flächenversiegelung	Hoch, energetischer Flächenbedarf Bioenergie wie Mais 40 bis 50-fach größer als bei Solarthermie
Bevorzugte Technologie im Netz	Low-Ex-Netze, kalte Nahwärme	Low-Ex-Netze, kalte Nahwärme	Fernwärme der 1. und 2. Generation, Low-Ex-Netze, kalte Nahwärme	Kalte Nahwärme	Fernwärme der 1. und 2. Generation, Low-Ex-Netze	Fernwärme der 1. und 2. Generation, Low-Ex-Netze	Fernwärme der 1. und 2. Generation, Low-Ex-Netze

## Wärmespeicher

Neben den oben aufgeführten Erzeugungstechnologien ist die Speicherung von Energie ein weiterer essenzieller Baustein für die Wärmewende. Wärmeerzeugeranlagen können ihre Wärme sensibel in einem Wärmespeicher in Form von heißem Wasser zwischenspeichern und bei Bedarf entladen werden. Damit können Wärmeerzeugung und -nachfrage zeitlich entkoppelt werden. Wärmespeicher werden als Erdbeckenspeicher zur saisonalen Wärmespeicherung (bis zu 90 °C), als atmosphärische Speicher (bis zu 98 °C) und als atmosphärische Zweizonenspeicher (bis 115°C), sowie Druckspeicher für Temperaturen von 120 bis 160 °C ausgeführt.

### Vorteile

Ein Wärmespeicher flexibilisiert die Wärmeerzeugung und kann der Sektorenkopplung dienen:

- KWK-Anlagen können bedarfsunabhängig bei hohen Börsenstrompreisen zu geringen Wärmegestehungskosten Wärme erzeugen und bei niedrigen Börsenstrompreisen abgeschaltet werden
- Industrielle Abwärme kann bei Verfügbarkeit gespeichert werden bis die Möglichkeit zur Nutzung besteht
- Erhöhung der Betriebszeit von volatilen erneuerbaren Wärmequellen durch die Speicherung
- Erneuerbarer Überschussstrom kann mittels Elektrodenkessel oder Wärmepumpe bei Wärmeüberschuss zur Wärmespeicherung genutzt werden
- Zusätzlich können Lastspitzen geglättet werden und der Einsatz von Spitzenlastkesseln reduziert werden
- Im Rahmen einer Einsatzoptimierung kann ein Wärmespeicher im Fernwärmenetz die Wärmegestehungskosten des gesamten Erzeugerparcs reduzieren
- Wärmespeicher sind förderfähig nach BEW und KWKG (bis zu 40 % Investitionskostenzuschuss)

### Nachteile

- Additive Technologie - nur sinnvoll im Verbund mit Erzeugern
- Investitionen müssen sich überwiegend über die optimierte Nutzung der volatilen Strompreise oder die Erhöhung der Wärmenutzung amortisieren
- Zusätzliche relevante Wärmeverluste bei saisonalen Speichern

## Power-to-Gas

Der steigende Ausbau volatiler erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung bedarf mehr Speichertechnologien. Aus regenerativem Überschussstrom erzeugter Wasserstoff kann dabei als indirekter Stromspeicher fungieren und zusätzlich industrielle Prozesse dekarbonisieren. Bei Rückverstromung durch KWK-Anlagen entsteht zudem nutzbare grüne Wärme. So kann Wasserstoff zur Dekarbonisierung des Strom- und Wärmesektors gleichzeitig beitragen und als Instrument der Sektorenkopplung dienen. Aktuell ist der überwiegende Teil des Wasserstoffs grauer Wasserstoff, der mittels Dampfreformierung aus Erdgas oder anderen Kohlenwasserstoffen gewonnen wird. Grüner Wasserstoff stammt aus der elektrochemische Wasserzersetzung. Durch den geringen Wirkungsgrad der vollständigen Umwandlungskette sind dabei hohe Mengen an erneuerbarem Strom erforderlich, die in dem Transformationspfad in Deutschland und im Ausland berücksichtigt werden müssen. Deutschland wird dabei in Zukunft auf grünen Wasserstoff aus dem Ausland angewiesen sein.

Bei der Düngemittelherstellung und in der Petrochemie gibt es aktuell keinen Ersatz zum Wasserstoff. Bei der Stahlherstellung ist die Verbrennung von Wasserstoff zurzeit ebenso eine alternativlose Voraussetzung für die vollständige Dekarbonisierung. Die Erzeugung von Prozesswärme mit sehr hohen Temperaturen wird auch in Zukunft einen gasförmigen Energieträger benötigen. Teilweise können hohe Prozesstemperaturen jedoch auch elektrisch erzeugt werden, wie beispielsweise in elektrischen Sinteröfen mit über 1600 °C. Sofern der Einsatz von Wasserstoff mit anderen Technologien konkurriert, entscheidet maßgeblich die Wirtschaftlichkeit, welche Technologie Verwendung findet. Eine hohe Verfügbarkeit und die Preisentwicklung des Wasserstoffs sind allerdings unsicher. In den ersten kommerziellen Erdgas-KWK-Anlagen ist ein vollständiger Brennstoffwechsel auf Wasserstoff bereits technisch möglich. Die Möglichkeit zur Umrüstung von bestehenden KWK-Anlagen ist jedoch im Einzelfall zu prüfen.

Die nachfolgende Methanisierung des Wasserstoffs ist technisch möglich, senkt den Wirkungsgrad der gesamten Umwandlungskette jedoch weiter ab. Die Nutzung der vorhandenen Infrastruktur ist jedoch mit synthetischem Methan besser möglich als mit Wasserstoff.

### Vorteile

- Dient der Entkopplung von Stromproduktion und -nachfrage
- Transportmedium und Energiespeicher in einem
- Instrument der Sektorenkopplung durch Nutzung in KWK

### Nachteile

- Wärme, auf einem Temperaturniveau, das auch mit Wärmepumpen bereitgestellt werden kann, sollte nicht mittels Wasserstoffverbrennung erzeugt werden, da Letztere im Durchschnitt um den Faktor 3-6 ineffizienter ist
- Starker Überbau an Wind- und PV-Anlagen erforderlich
- Importpreise für Wasserstoff sind schwer prognostizierbar

ENERKO.changing energy.

**EEB ENERKO Energiewirtschaftliche Beratung GmbH**

**Martin May**

Tel.: 02464 / 971 542

[Martin.May@enerko.de](mailto:Martin.May@enerko.de)

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