

# Wärmemasterplan 2.0

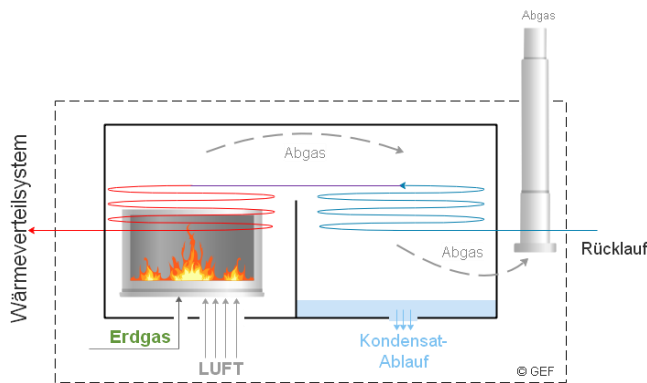
## Anlage 3: Technologiesteckbriefe

Projekt-Nr.: B-MZSW-001

### Inhalt

1. Erdgasbrennwertkessel
  2. H<sub>2</sub>-Brennwertkessel
  3. Luft-Wasser-Wärmepumpe
  4. Sole-Wasser-Wärmepumpe
  5. Pellet-Kessel
  6. Gasbefeuerte Verbrennungsmotor-Anlage (KWK)
  7. Solarthermie – Flachkollektoren
  8. Solarthermie – Vakuum-Röhren-Kollektoren
-

Kurzbeschreibung



Der Brennstoff wird in der Brennkammer verbrannt. Die Wärme der Flamme wird über Strahlung und Konvektion an die Innenwände des Kessels und von dort an das zu erwärmende Wasser übertragen.

Die heißen Rauchgase werden durch die Konvektionsteile des Kessels geleitet und die Wärme an das zu erwärmende Wasser übertragen. Dabei kondensiert auch der im Abgas enthaltene Wasserdampf, so dass der Brennwert des Brennstoffs genutzt werden (ausreichend niedrige Rücklauf-temperatur aus dem Wärmeverteil-system vorausgesetzt).

Abbildung 1: Prinzipskizze Brennwertkessel

Anwendungsbeispiel

Erdgas Brennwertkessel gelten als Standard in der Wärmeerzeugung. Sie kommen sowohl im Wohnbereich als Zentral- oder Etagenheizung, als auch in Wärmenetzen zum Einsatz. Grundvoraussetzung für deren Einsatz ist ein (Erd-)Gasanschluss. Die Zukunftsfähigkeit von Erdgaskesseln ist stark beschränkt aufgrund der Vorgaben des Klimaschutzgesetzes. Ein Wechsel auf einen anderen gasförmigen Brennstoff (z.B. H<sub>2</sub>) bei existierenden Geräten ist nicht ohne weiteres möglich und erfordert Nachrüstungen oder einen Geräte-austausch.



Abbildung: Erdgas-Brennwertkessel (links im Hintergrund)

Parameter

Thermische Nutzleistung	15 kW <sup>(2)</sup>	1 – 10 MW <sup>(1)</sup>
Gesamtwirkungsgrad (Hi)	93,5 %*	105 % **
Mindest-Nutzleistung (th) <sup>(1)</sup>	15 %	15 %
Technische Nutzdauer	20 a	20 a
Spez. Investitionen ***	960 €/kW <sub>th</sub>	100 €/kW <sub>th</sub>
Fixe Betriebskosten ****	400 €/a	1,5 % d. Investition <sup>(1)</sup>

alle Kosten netto

\* Annahme, dass Brennwertnutzung aufgrund zu hoher Rücklauf-temperaturen besonders im Sommer nicht durchgängig möglich ist

\*\* Mit Vorwärmer/Brennwertnutzung (Economiser) – ohne Brennwertnutzung 92%

\*\*\* Kessel und Montage mit Gasanschluss, ohne Schornstein-/Sanierung

\*\*\*\* Instandsetzung (Ersatz und Reparatur), Wartung (Reinigung, Betriebsstoffersatz) und (bei 15 kW) Schornsteinfeger

Quellenangaben

(1) Danish Energy Agency (Hrsg.): *Technology Data for Energy Plants for Electricity and District heating generation*; 2016. (Kessel Daten wurden in 2017 aktualisiert)  
 (2) In Anlehnung an: IER, Universität Stuttgart, Heizkostenvergleich Neubau Mehrfamilienhaus (Stand Januar 2017)

Technologieanalyse				
Skalierung Punkte: 1= schlechtester Wert; 4 = bester Wert; 0= Ausschluss				
		Erdgas Referenz		
Kriterium	Gewicht.	Punkte	gew. Punkte	Kommentar
<b>Technik</b>	<b>30%</b>	<b>3,14</b>	<b>0,94</b>	
Marktreife		4		
Verfügbarkeit Technologie		4		
Verfügbarkeit "Brennstoff"		2		hohe Importabhängigkeit
O&M-Aufwand		2		Schornsteinfeger, Brenner etc.
Platzbedarf		4		
Effizienz		2		
Lastflexibilität/Modularität		4		
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>30%</b>	<b>1,75</b>	<b>0,53</b>	
Wärmegestehungskosten		2		
Investitionshöhe		4		
Preisstabilität		1		
Förderrahmen		0		
<b>Rechtsrahmen</b>	<b>10%</b>	<b>0</b>	<b>0,00</b>	<b>Enthält K.O. Krit.</b>
Vorgabe CO2-Reduktion		0		
Umlegbarkeit auf Mieter		3		
Einsatzbeschränkungen		1		
Aufwand Genehmigung		3		
<b>ökologische Kriterien</b>	<b>20%</b>	<b>0</b>	<b>0,00</b>	<b>Enthält K.O. Krit.</b>
PEF		1		
CO <sub>2</sub> -Einsparung (Carnot, BSKO)		0		
Feinstaub		3		
Transportkette / Lieferverkehr zum Endkunden		2		Bei Flüssiggas hohe Impact und hoher Schlupf bei Shale-Gas
Risiken für Boden und Wasser		2		Bei Shale-Gas hohes Risiko am Ort der Exploration
<b>Sozio Ökonomisch</b>	<b>10%</b>	<b>4,00</b>	<b>0,40</b>	
Allgem., Akzeptanz, Konfliktpotenziale mit Dritten, Vermieter/Mieter-Dilemma		4		keine Akzeptanzprobleme erkennbar
<b>Summe</b>	<b>100%</b>		<b>1,87</b>	

**Kurzbeschreibung**

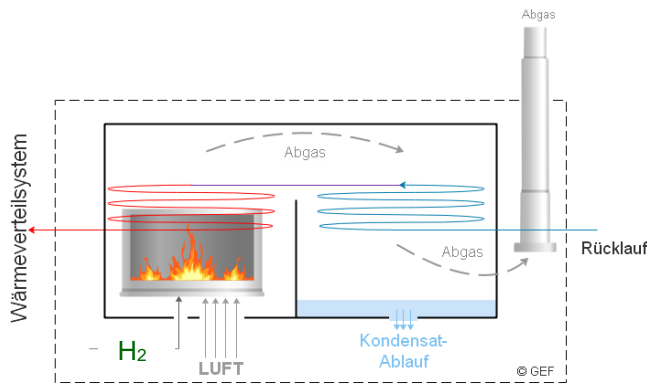


Abbildung 1: Prinzipskizze Brennwertkessel

Das Grundprinzip eines Wasserstoffkessel entspricht dem eines Gas-Brennwertkessels: Der Brennstoff wird in der Brennkammer verbrannt. Die Wärme der Flamme wird über Strahlung und Konvektion an die Innenwände des Kessels und von dort an das zu erwärmende Wasser übertragen.

Die heißen Rauchgase werden durch die Konvektionsteile des Kessels geleitet und die Wärme an das zu erwärmende Wasser übertragen. Dabei kondensiert auch der im Abgas enthaltene Wasserdampf, so dass der Brennwert des Brennstoffs genutzt werden kann (ausreichend niedrige Rücklauftemperatur aus dem Wärmeverteilsystem vorausgesetzt).

**Anwendungsbeispiel**

Erdgas Brennwertkessel gelten als Standard in der Wärmeerzeugung. Sie kommen sowohl im Wohnbereich als Zentral- oder Etagenheizung, als auch in Wärmenetzen zum Einsatz. Insofern klingt die Option verlockend statt Erdgas einfach grünen Wasserstoff zu verbrennen und ansonsten keine Anpassungen am Gebäude und der Heizverteilung vornehmen zu müssen.

Grundvoraussetzung für den Einsatz von grünem Wasserstoff ist jedoch erst einmal, dass er in ausreichenden Mengen und hinreichend kostengünstig verfügbar gemacht wird. Bis dahin ist es noch ein weiter Weg. Es ist Stand heute davon auszugehen, dass längst nicht überall, wo heute eine Anschlussoption an ein Erdgasnetz besteht, in Zukunft eine Anschlussoption an ein Wasserstoffnetz existieren wird. Wasserstoff für die Versorgung der Industrie für Hochtemperatur-Prozessenergie, den Fernverkehr und die Deckung der Dunkelreserve und Spitzenlast werden derzeit in der Mehrzahl der Studien, deutlich vorrangig vor der dezentralen Verbrennung in Thermen zur Raumheizung gesehen. Die Betreiber von Gas- und Stromverteilnetzen sowie die Wärmenetzbetreiber und die konzessionsgebenden Kommunen müssen im Zuge Ihrer Transformations- und Wärmeplanungen entscheiden, wo in Zukunft noch Gasnetze sein sollen, wo Wärmenetze ausgebaut werden sollen und wo die Kapazitäten der elektrischen Netze, aufgrund der erhöhten Anforderungen durch elektrische Antriebsleistung für Wärmepumpen ausgebaut werden müssen.

Ein Wechsel auf H<sub>2</sub> bei existierenden Erdgaskesseln ist aufgrund deutlich abweichender physikalischer Eigenschaften von H<sub>2</sub> gegenüber CH<sub>4</sub> nicht möglich und erfordert in der Regel den Tausch des Kessels in ein neues geeignetes Gerät. Einige Hersteller haben angekündigt, kurzfristig Geräte auf den Markt zu bringen, die in der Lage sind sowohl 100% Erdgas als auch 100% Wasserstoff zu verbrennen. Eine seriöse vergleichende Wirtschaftlichkeitsrechnung ist zum heutigen Zeitpunkt noch nicht möglich. Bei der Technologieanalyse wurde gegenüber dem Erdgaskessel sowohl bei den Wärmegestehungskosten als auch bei der Investitionshöhe je 1 Punkt abgezogen.

**Vergleich der Eigenschaften von grünem H<sub>2</sub> und Erdgas <sup>(1)</sup>**

	H <sub>2</sub>	Erdgas
Heizwert (Hi)	3,00 kWh/Nm <sup>3</sup>	10,35 kWh/Nm <sup>3</sup>
Brennwert (Hs)	3,54 kWh/Nm <sup>3</sup>	11,46 kWh/Nm <sup>3</sup>
Flammtemperatur	~1600 °C	~1300 °C
Emissionen	NOx	NOx, CO, CO <sub>2</sub>
Quellen / Erzeugung	Elektrolyse aus Solar- und Windstrom	Fossiler Energieträger

(1) Quelle: Buderus Webseite

Technologieanalyse				
Skalierung Punkte: 1= schlechtester Wert; 4 = bester Wert; 0= Ausschluss				
		H2-Kessel		
Kriterium	Gewicht.	Punkte	gew. Punkte	
<b>Technik</b>	<b>30%</b>	<b>2,57</b>	<b>0,77</b>	
Marktreife		3		
Verfügbarkeit Technologie		3		
Verfügbarkeit "Brennstoff"		1		grüner H2 noch kaum verfügbar, später hohe Importabhängigkeit
O&M-Aufwand		2		Schornsteinfeger, Brenner etc.
Platzbedarf		4		
Effizienz		1		Hohe hote Umwandlungs- und Transportverluste
Lastflexibilität/Modularität		4		
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>30%</b>	<b>1,50</b>	<b>0,45</b>	
Wärmegestehungskosten		1		H2 bis auf Weiteres teurer als Erdgas
Investitionshöhe		3		gleicher Kessel H2 vs. Erdgas nur ca. 70 % therm. Leistung
Preisstabilität		1		zukünft. Märkte und deren Mechanismen noch unklar
Förderrahmen		1		noch ungeklärt
<b>Rechtsrahmen</b>	<b>10%</b>	<b>3,00</b>	<b>0,30</b>	
Vorgabe CO <sub>2</sub> -Reduktion		3		
Umllegbarkeit auf Mieter		3		
Einsatzbeschränkungen		3		Rechtsrahmen noch offen
Aufwand Genehmigung		3		
<b>ökologische Kriterien</b>	<b>20%</b>	<b>3,20</b>	<b>0,64</b>	
PEF		3		
CO <sub>2</sub> -Einsparung (Carnot, BSKO)		3		
Feinstaub		4		
Transportkette / Lieferverkehr zum Endkunden		3		Lange Transportkette Schlupf ohne Klimaschädigung
Risiken für Boden und Wasser		3		bei Ammoniak-für Transport hoch bei H2-Verflüssigung gering
<b>Sozio Ökonomisch</b>	<b>10%</b>	<b>2,00</b>	<b>0,20</b>	
Allgem., Akzeptanz, Konfliktpotenziale mit Dritten, Vermieter/Mieter-Dilemma		2		Allgemein hohe Akzeptanz aber solange H2 knapp, Nutzungskonflikte mit Industrie
<b>Summe</b>	<b>100%</b>		<b>2,36</b>	

**Kurzbeschreibung**

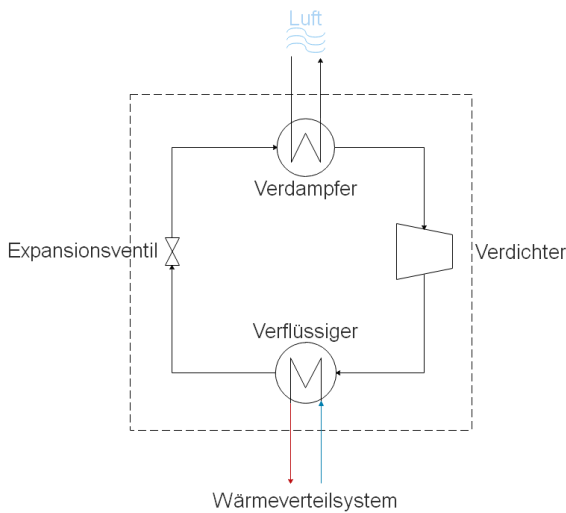


Abbildung 1: Prinzipskizze

Wärmepumpen bestehen aus vier zentralen Komponenten: dem Verdampfer, der die Wärmequelle erschließt (in diesem Fall die Luft), dem Verdichter (der das Wärmeträgermedium verdichtet), dem Verflüssiger (der die Wärme an die Wärmesenke abgibt) und dem Expansionsventil, das das Wärmeträgermedium entspannt. Als Wärmeträgermedium in der Wärmepumpe werden i. d. R. unterschiedliche Kältemittel eingesetzt, die z. T. hohes Treibhauspotenzial haben.

Für eine Luft-Wasser-Wärmepumpe können als Wärmequellen sowohl Abluft (z. B. Raumluft aus (gewerblichen) Lüftungssystemen) als auch Außenluft zum Einsatz kommen.

**Anwendungsbeispiel**

Luft-Wärmepumpen drängen immer weiter auf den freien Markt und gelten mittlerweile für viele Neubauten als erstes Mittel zur Wahl der Wärmeerzeugung. Sie zeichnen sich durch einen hohen Anteil regenerativer Energie aus, die zur Wärmeerzeugung genutzt wird. Dieser Anteil kann z.B. bei einem kombinierten Einsatz mit einer PV-Anlage noch weiter erhöht werden.

Luft-Wärmepumpen können als zentrale Heizeinheiten auf Gebäudeebene errichtet werden, wobei es vereinzelt auch Hersteller gibt, welche diese für Einsatzzwecke analog zu Etagenheizungen anbieten. In Wärmenetzen können sie als Erzeuger für die Grund- oder Mittellast zum Einsatz kommen.

Da als Wärmequelle Umgebungsluft zum Einsatz kommt, bestehen die größten Restriktionen für den Einsatz in den räumlichen Gegebenheiten und der technischen Gebäudeausstattung.

Es ist zu beachten, dass der COP (Maß für deren Leistungseffizienz) einer Luft-Wärmepumpe mit sinkender Außentemperatur ebenfalls abfällt, wodurch ein größerer Stromeinsatz von Nöten ist.

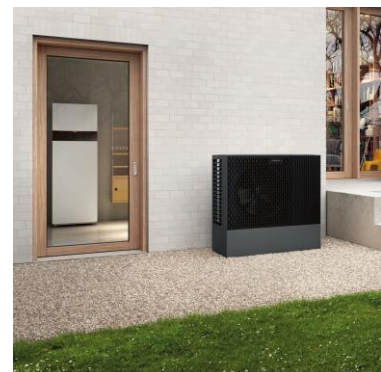


Abbildung 2: Luftwärmepumpe für ein Einfamilienhaus (Bild: Viessmann)

**Parameter**

Max. thermische (Netto-)Nutzleistung je Aggregat	15 kW	2 MW <sup>(1)</sup>
Jahresarbeitszahl	3,0 <sup>(2)</sup>	2 <sup>(1) *</sup>
Technische Nutzungsdauer	20 a	20 a
Spez. Investitionen	2.180 €/kW <sub>th</sub> <sup>(3)**</sup>	390 €/kW <sub>th</sub> <sup>(3)***</sup>
Betriebskosten	810 €/a <sup>(2)</sup>	18.700 €/a <sup>(1) ****</sup>

alle Kosten netto  
 \* Für Einsatz in der Fernwärme mit Netztemperaturen TVL 80 °C, TRL 65 °C, bei 5000 Betriebsstunden/a. Die schlechtere JAZ resultiert aus den hohen Netztemperaturen. Bei Neubaur Quartiersversorgungen mit Niedertemperatur-Verteilungen sind deutlich höhere Jahresarbeitszahlen realisierbar  
 \*\* nur Wärmepumpe mit Montage, ohne Speicher und hydraulischer Abgleich.  
 \*\*\* Maschinenteknik und EMSR, ohne Gebäude, ohne Planung  
 \*\*\*\* Warten und Reinigen für 5.000 Betriebsstunden

**Quellenangaben**

- (1) GEF Recherche
- (2) In Anlehnung an Fraunhofer ISE, Forschungsprojekt „WP<sub>smart</sub> im Besatnd“
- (3) GEF-Abschätzung in Anlehnung an: Prognos Kurzgutachten zur aktuellen Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen, Berlin 29.09.2022
- (5/4) GEF-Abschätzung in Anlehnung an: AGFW Statistik Heizkostenvergleich in Anlehnung an VDI 2067, Stichtag 01.04.2020

Technologieanalyse				
Skalierung Punkte: 1= schlechtester Wert; 4 = bester Wert; 0= Ausschluss				
		Luftwärmepumpen		
Kriterium	Gewicht.	Punkte	gew. Punkte	Kommentar
<b>Technik</b>	<b>30%</b>	<b>3,43</b>	<b>1,03</b>	
Marktreife		3		
Verfügbarkeit Technologie		4		
Verfügbarkeit "Brennstoff"		4		
O&M-Aufwand		3		Kompressor
Platzbedarf		3		1 Pkt. Abzug für Außengerät
Effizienz		3		1 Punkt abzug "Leistungseffizienz" bei sehr niedrigen Aussentemp.
Lastflexibilität/Modularität		4		
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>30%</b>	<b>3,00</b>	<b>0,90</b>	
Wärmegestehungskosten		3		mit 30% BEG
Investitionshöhe		2		Ohne Förderung
Preisstabilität		3		Strompreis abh/JAZ
Förderrahmen		4		30% bei "natürlichen" Kältemitteln
<b>Rechtsrahmen</b>	<b>10%</b>	<b>3,50</b>	<b>0,35</b>	
Vorgabe CO2-Reduktion		4		
Umlegbarkeit auf Mieter		3		
Einsatzbeschränkungen		3		
Aufwand Genehmigung		4		
<b>ökologische Kriterien</b>	<b>20%</b>	<b>3,60</b>	<b>0,72</b>	
PEF		3		
CO <sub>2</sub> -Einsparung (Carnot, BSKO)		3		Neue WP überwiegend mit Propan als Kältemittel (CO <sub>2</sub> -Äq: 3)
Feinstaub		4		
Transportkette / Lieferverkehr zum Endkunden		4		
Risiken für Boden und Wasser		4		
<b>Sozio Ökonomisch</b>	<b>10%</b>	<b>2,00</b>	<b>0,20</b>	
Allgem., Akzeptanz, Konfliktpotenziale mit Dritten, Vermieter/Mieter-Dilemma		2		geringe Akzeptanzprobleme teilweise aufgr. Schall-Em. Außengerät
<b>Summe</b>	<b>100%</b>		<b>3,20</b>	

## THG-Potenzial von Kältemitteln für Wärmepumpen

Kältemittel können das Klima schädigen

„Die Palette an Kältemitteln für Kompressions-Wärmepumpen ist breit (Tabelle 1). In der ersten Boomphase der Wärmepumpen wurden oftmals Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) eingesetzt. Weil sie die Ozonschicht schädigen, sind sie jedoch seit 1995 in Neuanlagen verboten. Heute werden meist Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) eingesetzt, die oft auch als FCKW-Ersatzstoffe bezeichnet werden. Diese sind zwar für die Ozonschicht harmlos, haben aber eine weitere für die Umwelt negative Eigenschaft mit den FCKW gemeinsam: Beide Stoffe weisen ein extrem hohes Treibhauspotenzial auf. Dadurch entwickeln sich auch die kleinen Kältemittelmengen (zwischen 1 und 3 kg bei Einfamilienhausanlagen) als Problem.

Falls beispielsweise 2 kg des Kältemittels FKW R404A in die Atmosphäre gelangen, entwickeln diese dort den gleichen Einfluss auf das Klima wie 6,5 Tonnen Kohlendioxid. Diese Menge Kohlendioxid entsteht bei der Verbrennung von 32.500 kWh an Erdgas. Damit kann man ein Standard-Neubauhaus knapp 3 Jahre lang, ein 3-Liter-Haus sogar rund 9 Jahre lang komplett beheizen. Der Strombedarf der Wärmepumpe ist in dieser Bilanz noch nicht einmal berücksichtigt.“ (www.volker-quaschning.de)

Bei Luftwärmepumpen wird im Rahmen des Förderprogramms „Bundesförderung energieeffiziente Gebäude“ (BEG) ein Zusatzbonus von derzeit 5% für den Einsatz „natürlicher Kältemittel“ mit geringem THG-Potenzial gewährt. Es ist zu beobachten, dass die meisten seit 2021/2022 neu auf dem Markt gebrachten Luft-Wärmepumpen mit Außengerät nunmehr R290 als Kältemittel einsetzen.

Tabelle 1: Kältemittel für Wärmepumpen, physikalische Eigenschaften und THG-Potenzial

Kältemittel	Siedepunkt	Verflüssigungstemperatur bei 26 bar	THG-Potenzial relativ zu CO <sub>2</sub>
R12 FCKW	verboten seit 1995, schädigt Ozon-Schicht		6.640
R134a FKW	-26 °C	80 °C	1.300
R404A FKW	-47 °C	55 °C	3.260
R407C FKW	-45 °C	58 °C	1.530
R410A FKW	-51 °C	43 °C	1.730
R744 (CO <sub>2</sub> )	-57 °C	-11 °C	1
R717 (Ammoniak)	-33 °C	60 °C	0
R290 (Propan)	-42 °C	70 °C	3
R600a (Butan)	-12 °C	114 °C	3
R1270 (Propen)	-48 °C	61 °C	3



**Kurzbeschreibung**

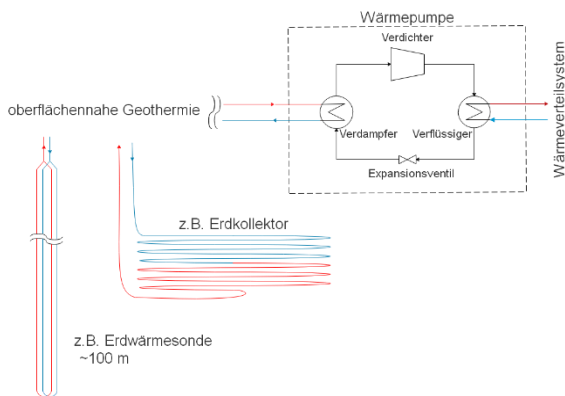


Abbildung 1: Prinzipskizze

Wärmepumpen bestehen aus vier zentralen Komponenten: dem Verdampfer, der die Wärmequelle erschließt (z.B. oberflächennahe Geothermie), dem Verdichter (der das Wärmeträgermedium verdichtet), dem Verflüssiger (der die Wärme an die Wärmesenke abgibt) und dem Expansionsventil, das das Wärmeträgermedium entspannt. Als Wärmeträgermedium in der Wärmepumpe werden i. d. R. unterschiedliche Kältemittel eingesetzt, die z. T. hohes Treibhauspotenzial haben.

Um oberflächennahe Geothermie als Wärmequelle zu nutzen, werden i.d.R. Erdwärmekollektoren (großflächiges Rohrsystem in ca. 1,5m Tiefe) oder Erdwärmesonden (100m) genutzt. Da im Rücklauf aus der Wärmepumpe in die Sonden oder Kollektoren Temperatur unter 4 °C auftreten können, zirkuliert dort eine Sole, d. h. frostbeständiges Wasser-Glykol-Gemisch.

**Anwendungsbeispiel**

Der Vorteil von Sole-Wasser-Wärmepumpen besteht darin, dass diese Zugriff auf eine Wärmequelle haben, die ganzjährig ein nahezu konstantes Temperaturniveau bietet. Hierdurch kommt es, im Gegensatz zu Luft-Wasser-Wärmepumpen, zu geringeren Schwankungen des COP über das Jahr hinweg. Demgegenüber stehen die höheren Investitionskosten und der Platzbedarf aufgrund der notwendigen Erdkollektoren bzw. Erdsonden. Sole-Wasser-Wärmepumpen bieten sich hiernach insbesondere für Wärmenetze an, wodurch das notwendige Investment sich auf die Anschlussnehmer aufteilt. Beim Einsatz von Sole-Wasser-Wärmepumpen sind genehmigungspflichtige Aspekte, welche die Erdsonden und Kollektoren, betreffen zu beachten.



Abbildung 2: Neubaquartier mit Hochhäusern

**Parameter**

Thermische Nutzleistung	15 kW	2 MW
Jahresarbeitszahl	4,0 <sup>(2)</sup>	2,5 <sup>(1)*</sup>
Technische Nutzungsdauer	20 a	20 a
Spez. Investitionen	3.629 €/kW <sub>th</sub> <sup>(3)**</sup>	680 €/kW <sub>th</sub> <sup>(3)***</sup>
Betriebskosten	635 €/a <sup>(4)</sup>	7.500 €/a <sup>(1)</sup>

alle Kosten netto  
 \* Für Einsatz von Großwärmepumpen zur Einspeisung in Wärmenetzen (T<sub>VL</sub> 80 °C, T<sub>RL</sub> 65 °C), mit einer durchschnittlichen Entzugsleistung von 45 Watt/Bohrmeter bei maximal 2000h Wärmepumpenlaufzeit/a; Die schlechtere JAZ resultiert aus den hohen Netztemperaturen. Bei Neubau-Quartiersversorgungen mit Niedertemperatur-Verteilungen sind deutlich höhere Jahresarbeitszahlen realisierbar.  
 \*\* nur Wärmepumpe (Inkl. EMSR und Montage), ohne Speicher und hydraulischer Abgleich  
 \*\*\* Maschinentchnik mit EMSR, ohne Gebäude, ohne Planung aber inkl. Bohrung und Erschließung des Sondenfelds.

**Quellenangaben**

- (1) GEF Recherche
- (2) In Anlehnung an Fraunhofer ISE, Forschungsprojekt „WP<sub>smart</sub> im Besatnd“
- (3) GEF-Abschätzung in Anlehnung an: Prognos Kurzgutachten zur aktuellen Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen, Berlin 29.09.2022
- (4) GEF-Abschätzung in Anlehnung an: AGFW Statistik Heizkostenvergleich in Anlehnung an VDI 2067, Stichtag 01.04.2020

Technologieanalyse				
Skalierung Punkte: 1= schlechtester Wert; 4 = bester Wert; 0= Ausschluss				
		Wärmepumpen mit Erdsonde		
Kriterium	Gewicht.	Punkte	gew. Punkte	Kommentar
<b>Technik</b>	<b>30%</b>	<b>3,43</b>	<b>1,03</b>	
Marktreife		3		
Verfügbarkeit Technologie		4		
Verfügbarkeit "Brennstoff"		4		
O&M-Aufwand		3		Kompressor
Platzbedarf		2		Platzbedarf für Bohrerät, Abstände
Effizienz		4		
Lastflexibilität/Modularität		4		
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>30%</b>	<b>3,00</b>	<b>0,90</b>	
Wärmegestehungskosten		3		mit 30% BEG
Investitionshöhe		1		Ohne Förderung
Preisstabilität		4		Strompreisabh/JAZ
Förderrahmen		4		30%
<b>Rechtsrahmen</b>	<b>10%</b>	<b>2,75</b>	<b>0,28</b>	
Vorgabe CO <sub>2</sub> -Reduktion		4		
Umlegbarkeit auf Mieter		3		
Einsatzbeschränkungen		2		
Aufwand Genehmigung		2		
<b>ökologische Kriterien</b>	<b>20%</b>	<b>3,80</b>	<b>0,76</b>	
PEF		4		
CO <sub>2</sub> -Einsparung (Carnot, BSKO)		4		1 Pkt. Abzug für Kältemittel mit extrem hohem THG-Potenzial
Feinstaub		4		
Transportkette / Lieferverkehr zum Endkunden		4		
Risiken für Boden und Wasser		3		
<b>Sozio Ökonomisch</b>	<b>10%</b>	<b>2,00</b>	<b>0,20</b>	
Allgem., Akzeptanz, Konfliktpotenziale mit Dritten, Vermieter/Mieter-Dilemma		2		Seismischer Ereignisse, etc.
<b>Summe</b>	<b>100%</b>		<b>3,17</b>	

## THG-Potenzial von Kältemitteln für Wärmepumpen

Kältemittel können das Klima schädigen

„Die Palette an Kältemitteln für Kompressions-Wärmepumpen ist breit (Tabelle 1). In der ersten Boomphase der Wärmepumpen wurden oftmals Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) eingesetzt. Weil sie die Ozonschicht schädigen, sind sie jedoch seit 1995 in Neuanlagen verboten. Heute werden meist Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) eingesetzt, die oft auch als FCKW-Ersatzstoffe bezeichnet werden. Diese sind zwar für die Ozonschicht harmlos, haben aber eine weitere für die Umwelt negative Eigenschaft mit den FCKW gemeinsam: Beide Stoffe weisen ein extrem hohes Treibhauspotenzial auf. Dadurch entwickeln sich auch die kleinen Kältemittelmengen (zwischen 1 und 3 kg bei Einfamilienhausanlagen) als Problem.

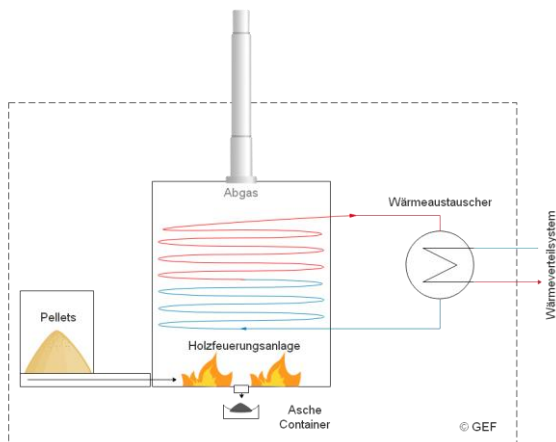
Falls beispielsweise 2 kg des Kältemittels FKW R404A in die Atmosphäre gelangen, entwickeln diese dort den gleichen Einfluss auf das Klima wie 6,5 Tonnen Kohlendioxid. Diese Menge Kohlendioxid entsteht bei der Verbrennung von 32.500 kWh an Erdgas. Damit kann man ein Standard-Neubauhaus knapp 3 Jahre lang, ein 3-Liter-Haus sogar rund 9 Jahre lang komplett beheizen. Der Strombedarf der Wärmepumpe ist in dieser Bilanz noch nicht einmal berücksichtigt.“ (www.volker-quaschning.de)

Bei Luftwärmepumpen wird im Rahmen des Förderprogramms „Bundesförderung energieeffiziente Gebäude“ (BEG) ein Zusatzbonus von derzeit 5% für den Einsatz „natürlicher Kältemittel“ mit geringem THG-Potenzial gewährt. Es ist zu beobachten, dass die meisten seit 2021/2022 neu auf dem Markt gebrachten Luft-Wärmepumpen mit Außengerät nunmehr R290 als Kältemittel einsetzen.

Tabelle 1: Kältemittel für Wärmepumpen, physikalische Eigenschaften und THG-Potenzial

Kältemittel	Siedepunkt	Verflüssigungstemperatur bei 26 bar	THG-Potenzial relativ zu CO <sub>2</sub>
R12 FCKW	verboten seit 1995, schädigt Ozon-Schicht		6.640
R134a FKW	-26 °C	80 °C	1.300
R404A FKW	-47 °C	55 °C	3.260
R407C FKW	-45 °C	58 °C	1.530
R410A FKW	-51 °C	43 °C	1.730
R744 (CO <sub>2</sub> )	-57 °C	-11 °C	1
R717 (Ammoniak)	-33 °C	60 °C	0
R290 (Propan)	-42 °C	70 °C	3
R600a (Butan)	-12 °C	114 °C	3
R1270 (Propen)	-48 °C	61 °C	3

**Kurzbeschreibung**



Der Brennstoff (Pellets) wird dem Feuerungsteil vollautomatisch zugeführt und in diesem verbrannt. Die Wärme der Flamme wird über Strahlung (und Konvektion) an die Innenwände des Kessels und von dort an das zu erwärmende Wasser übertragen.

Die Holzpellets haben ihre eigenen Eigenschaften und Normung. Es gilt die ISO 17225-2 „Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -Klassen“ je nach der Anwendung (allgemein oder industriell). Für den Privatgebrauch ist es empfehlenswert ausschließlich die Qualität EN plus A1 zu verwenden.

Abbildung 1: Prinzipskizze

**Anwendungsbeispiel**

Pelletkessel können als vollwertiger Ersatz für einen Gas- oder Heizölkessel in Ein- oder Mehrfamilienhäusern eingesetzt werden. Bei der Installation ist darauf zu achten, dass ausreichend Fläche für ein Brennstofflager zur Verfügung steht.

Gleichermaßen können Pelletkessel in Nahwärmenetzen als Erzeuger für die Grund-, Mittel- und Spitzenlast zum Einsatz kommen. Beim Einsatz als Mittel- und Spitzenlastherzeuger, können die durch Wärmepumpen induzierte Stromspitzen in der Heizperiode reduziert werden.

Bei der Anwendung von Pelletkesseln ist der notwendige Lieferverkehr des Brennstoffs, ausreichend geeignete Lagerfläche zu beachten. Darüber hinaus können Pelletkessel nicht so tief in Teillast modulieren wie ein Gaskessel. Zur Vermeidung von häufigen Brennerstarts durch Taktungen wird ein zusätzlicher Pufferspeicher empfohlen. Wenn ein Pufferspeicher eingesetzt wird, ist die Kombination mit einer heizungsunterstützenden Solarthermieanlage sinnvoll.



Abbildung: Pelletheizung mit Sacksilo, EFH

**Parameter**

Thermische Nutzleistung	15 kW <sup>(2)</sup>	5 MW <sup>(1)</sup>
Nutzungsgrad	85%	85%
Mindest-Nutzleistung (th)	15%	15%
Technische Nutzdauer	20 a	20 a
Spez. Investitionen*	1.900 €/kW <sub>th</sub>	680 €/kW <sub>th</sub>
Betriebskosten**	560 €/a	2-6 % d. Investition

alle Kosten netto

\*Kessel und Lagerung/Anschluss mit Montage (ohne Kombispeicher, Schornstein und hydraulischer Abgleich). <sup>(3)</sup>

\*\*Instandsetzung und Wartung mit Schornsteinfeger (ohne Hilfsenergie und Heizkostenvermittlung/Verteilung). <sup>(3)</sup>

**Quellenangaben**

- (1) GEF Recherche
- (2) GEF-Abschätzung in Anlehnung an: AGFW Statistik Heizkostenvergleich in Anlehnung an VDI 2067, Stichtag 01.04.2020

Technologieanalyse				
Skalierung Punkte: 1= schlechtester Wert; 4 = bester Wert; 0= Ausschluss				
		Pelletskessel		
Kriterium	Gewicht.	Punkte	gew. Punkte	Kommentar
<b>Technik</b>	<b>30%</b>	<b>2,29</b>	<b>0,69</b>	
Marktreife		3		
Verfügbarkeit Technologie		3		
Verfügbarkeit "Brennstoff"		2		nachhaltiges Holzpotential zu ca. 50 % ausgenutzt
O&M-Aufwand		1		Schornstein, Asche, Mechanik etc.
Platzbedarf		2		
Effizienz		2		Brennwertgeräte verfügbar
Lastflexibilität/Modularität		3		1 Pkt Abzug weil nur bis 1/3 Nennleistung modulierbar
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>30%</b>	<b>2,75</b>	<b>0,83</b>	
Wärmegestehungskosten		4		mit 10% BEG, 400 €/t
Investitionshöhe		3		Ohne Förderung
Preisstabilität		2		auch Pelletpreise volatil
Förderrahmen		2		10%
<b>Rechtsrahmen</b>	<b>10%</b>	<b>3,25</b>	<b>0,33</b>	
Vorgabe CO2-Reduktion		4		
Umlegbarkeit auf Mieter		3		
Einsatzbeschränkungen		3		
Aufwand Genehmigung		3		
<b>ökologische Kriterien</b>	<b>20%</b>	<b>3,40</b>	<b>0,68</b>	
PEF		4		
CO <sub>2</sub> -Einsparung (Carnot, BSKO)		4		
Feinstaub		2		
Transportkette / Lieferverkehr zum Endkunden		3		Produktion in D regionnah, 1 Pkt Abzug für Lieferverkehr vor Ort,
Risiken für Boden und Wasser		4		
<b>Sozio Ökonomisch</b>	<b>10%</b>	<b>2,00</b>	<b>0,20</b>	
Allgem., Akzeptanz, Konfliktpotenziale mit Dritten, Vermieter/Mieter-Dilemma		2		Nutzungskonflikt Keller Angst vor Bedienungsaufwand
<b>Summe</b>	<b>100%</b>		<b>2,73</b>	

## 1. Holzpellets – Definition

Die Idee bei der Entwicklung von Holzpellets war es zum einen, einen konfektionierten Holzbrennstoff zu erhalten der definierte physikalische Eigenschaften hat und Zentralheizungssysteme realisieren zu können, die für den Nutzer ähnlich anspruchslos funktionieren sollten wie eine Heizöl-Zentralheizung. Zum anderen ging es darum, im Sägewerk bei der Schichtholzproduktion anfallende Nebenprodukte – vor allem in Form von Sägemehl und Frässpänen - direkt im Sägewerk zu verwerten.

Pellets werden in Deutschland überwiegend aus nahezu rindenfreien Holzspänen oder sehr fein gehäckselten Holzhackschnitzeln gepresst, die beim Einschneiden der Stämme im Sägewerk oder im Wald anfallen. Die Festigkeit der Pellets wird durch das im Holz enthaltene Lignin erreicht, unterstützt durch die geringfügige Zugabe pflanzlicher Bindemittel wie beispielsweise Stärke. Holzpellets können lose per Lkw oder auf Paletten in Säcken geliefert werden. Diese Sackware ist für Pellet-Kaminöfen und kleine Kessel geeignet. Bei höherem Bedarf sollte lose Ware bezogen werden, die in der Regel mit einem Silofahrzeug geliefert und in ein Lager eingeblasen wird.

Innerhalb von Wohngebäuden sollte auf die Zertifizierung nach ISO 17225-2 und Zertifizierung nach ENplus A1 geachtet werden.

**Tabelle 1: Brennstoffeigenschaften von Holzpellets (Prozentangaben sind massebezogen)**

Eigenschaften	Qualität ENplus A1	Qualität ENplus A2
Durchmesser (mm)	6 mm (8 mm erlaubt, aber unüblich)	
Länge (mm)	3,15 bis 40 <sup>a)</sup>	
Anteil der Pellets mit Länge < 10 mm (im Anlieferzustand) Kategorie L < 20 %, 20 % ≤ M ≤ 30 %, S > 30 %	Wert und Kategorie müssen angegeben werden	
Feinanteil (bei der Verladung)	≤ 1%	
Schüttdichte	600 kg/m <sup>3</sup> bis 750 kg/m <sup>3</sup>	
Wassergehalt	≤ 10,0 %	
Heizwert	≈ 4,6 kWh/kg	
Aschegehalt	≤ 0,70 %	≤ 1,20 %
Ascheerweichungstemperatur	≈ 1.200 °C	≈ 1.100 °C
Mechanische Festigkeit	≥ 98 %	≥ 97,5 %
Stickstoffgehalt	≤ 0,3 %	≤ 0,5 %
Chlorgehalt	≤ 0,02 %	
Schwefelgehalt	≤ 0,04 %	

*a) Maximal 1% der Pellets darf zwischen 40 und 45 mm lang sein. Kein Pellet darf länger als 45 mm sein.*

Für große kommunale oder gewerbliche Heizungsanlagen ab ca. 100 kW ist auch die Qualität ISO 17225-2, ENplus A2 geeignet, die einen höheren Aschegehalt, eine geringere mechanische Festigkeit und eine geringere Ascheerweichungstemperatur als ENplus A1 aufweisen darf.



Tabelle 1 Brennstoffeigenschaften von Holzpellets. Quelle DEPV

Nach ISO 17225-2, ENplus zertifizierte Pellets sind nichts anderes als reine Holzpresslinge mit definierten und homogenen Eigenschaften. Pellets sind ein Schüttgut. Um Sie zu Lagern und in den Kessel zu befördern sind mechanische und teilweise auch pneumatische Einrichtungen erforderlich, welche grundsätzlich verschleißbehaftet sind. Viele bekannt gewordenen Probleme mit Pellet-Heizungen ließen sich aber mit einer guten Planung und sachgerechten Ausführung des Brennstofflagers und der Fördereinrichtungen vom Lager in den Kessel vermeiden.

Der massenbezogene Heizwert von Pellets beträgt typischerweise 4,8-4,9 kWh/kg und das entspricht rund der Hälfte des massenbezogenen Heizwertes von leichtem Heizöl.

## 2. Pellet-Kessel

Pellet-Kessel werden mit moderner Feuerungstechnik und vollautomatischer Brennstoffzuführung mit Leistungen von wenigen KW bis zu über 1.000 kW angeboten. Die meisten aktuell marktverfügbaren Pellet-Kessel verfügen über eine lambdageregelte Abgasüberwachung zur Begrenzung von Stickoxiden.

Der Entwurf des BMWK für die Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sieht vor, dass Pellet-Kessel über Einrichtungen zur Staubabscheidung verfügen müssen, so dass neue Pellet-Kessel nur noch sehr geringe Staubemissionen aufweisen werden.

Als Lösungsoption für die Heizwärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien kommen grundsätzlich nur Zentralheizungssysteme infrage. Eine Sondervarianten sind solche Pellet-Kaminöfen, die zwar im Wohnraum aufgestellt werden und einen Teil der Strahlungswärme nach wie vor direkt in den Raum abgeben aber eine Anbindung an die Wassergeführte Zentralheizung haben.

## 3. Lagerung Kesselzuführung von Pellets

Bei guter Planung und Ausführung können Pellet-Zentralheizsysteme über viele Jahre zuverlässig funktionieren, weil Pellets wie bereits genormte und definierte Eigenschaften haben. Allerdings bleiben Pellets ein Festbrennstoff. Wenn Pellet-Systeme unzuverlässig funktionieren, liegt das sehr häufig an einer unzureichenden Planung und Ausführung, der Systeme, welche die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Holzpellets nicht genügend Rechnung tragen.

Dabei sind es nur ein paar einfache wichtige Regeln bei Planung und Ausführung des Brennstofflagers und des Transports der Pellets vom Lager bis in den Kessel beachtet werden, ist das Handling jedoch recht unproblematisch:

Pellets sind trockene unbehandelte Holzpresslinge. Bei längerer Lagerung können sie die Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft wieder aufnehmen.

- Darum sollten Pellets nur in trockenen Räumen gelagert werden
- Des Weiteren sind Befüllschächte und Schachtdeckel und/oder Einfüllstutzen so auszuführen, dass das Eindringen von Wasser und Feuchtigkeit in das Pellet-Lager zuverlässig und robust vermieden wird.

Beim Befüllen und Entnehmen der Pellets aus dem Lager kommt es durch Aneinanderreiben der Pellets, sowie Reiben und Aufprall der Pellets an den Außenseiten des Lagers und den Förderstrecken grundsätzlich zum Abrieb von Holzstaub. Um diesen Abrieb und das Entstehen von Holzstaub in Lager und Fördereinrichtungen so gering wie möglich zu halten

- sollten die Pellets auf möglichst direktem und kurzem Weg vom Lager in den Kessel gelangen und enge Kurvenradien von Saugrohren etc. auf der Förderstrecke soweit als möglich vermieden werden.

- Saugrohre sollten innen möglichst glatte und abriebfeste Oberflächen aufweisen.
- Das Lager ist so auszuführen, dass die ältesten Pellets stets zuerst entnommen werden können (FIFO-Prinzip „first in first out“). Es ist also sinnvollerweise eine Lagergeometrie vorzusehen, bei der Pellets oben eingefüllt und unten für die Beförderung in den Kessel entnommen werden. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass sich der Lagerraum oder das Lagerbehältnis nach unten verjüngen, so dass alle Pellets, die einmal oben eingefüllt wurden unten auch wieder entnommen werden können und es nur in relativ geringem Umfang zur Entmischung von Pellets und Abrieb kommen kann.

Leider werden auf dem Markt immer noch Saugeinrichtungen angeboten, welche die Pellets von oben her wie ein Staubsauger, entnehmen und den vorgenannten Grundsätzen nicht genügen. Theoretisch vorteilhaft ist an solchen Lagerkonzepten, dass damit auch Lagerraum- und Lagerbehälterkubaturen ermöglicht werden, die sich nach unten nicht verjüngen und damit grundsätzlich eine besser Raumausnutzung erlauben. Von solchen Einrichtung ist jedoch abzuraten, da sie im Betrieb zu erheblichen Problemen führen können:

- Die neusten Pellets werden zuerst entnommen, die ältesten verbleiben am längsten im Lager
  - ⊗ Dadurch kommt es zu einer erheblichen Entmischung von stückigen Pellets gem. Spezifikation und Feinanteilen durch Abrieb, welche sich im Lager unten und in „toten Ecken“, welche nicht von der Saugeinrichtung erreicht werden, aufkonzentrieren und im Pellet-Kessel nicht mehr verbrannt werden können. Der grundsätzliche Vorteil der besseren Raumausnutzung wird dadurch mehr als zunichte gemacht.
  - ⊗ In Folge muss das Lager regelmäßig aufwändig gereinigt und der Holzstaub entsorgt werden.
  - ⊗ Nicht selten kommt es zu Kesselstörungen durch zu hohe Staubfrachten, Verstopfung von Luft und Brennstoffzufuhr etc., welche zusätzliche Servicetechnikereinsätze erfordern.
  - ⊗ Im schlimmsten Fall kann es zu Staubexplosionen und zum Brandfall kommen

Das Lagervolumen ist bei Ein- und Zweifamilienhäusern gem. dem Jahresbrennstoffbedarf auszulegen, so dass möglichst Brennstoff für ein komplettes Jahr eingelagert werden kann. Die Pellet-Preise sind im Sommer zumeist niedriger als während der Heizperiode.

Im Folgenden werden die häufigsten beiden Lagerformen dargestellt. Darüber hinaus gibt es natürlich noch viele andere Lagerarten wie Silos zur Aufstellung etc.

### 3.1 Pellet-Lagerraum mit Schrägboden

Ein Pellet-Lagerraum benötigt einen Einfüllstutzen und einen zweiten Stutzen über den beim Befüllvorgang zum Druckausgleich Luft entweichen kann.

Damit die Pellets unten vollständig entnommen werden können, sind Schrägböden einzubauen, die einen V-Trog bilden aus dem die Pellets durch eine unten in der Mitte verlaufende Förderschnecke herausbefördert werden können.



Abbildung 2: Bsp: Seitenansicht von links nach rechts: Pellet-Kessel, Kamin, Pellet-Lagerraum mit Schrägboden



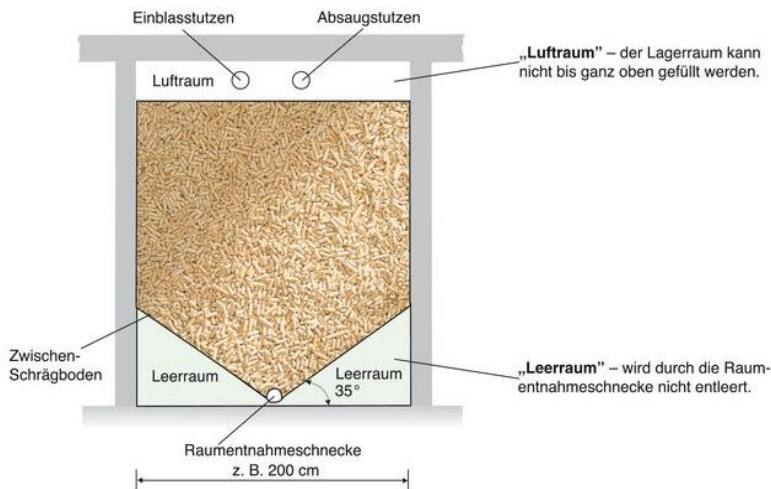


Abbildung 3: Querschnitt für einen Pellet-Lagerraum. Quelle: Ökofen Heiztechnik GmbH

### 3.2 Sacksilos für Pellets

Einfache und flexible Lösungen bieten Pellet-Sacksilos, oft auch nur als Sacksilo bezeichnet. Das idealerweise **staubdichte Gewebebehältnis** ist an einem **statisch ausgeführten Holz- oder Stahlgestell** aufgehängt. Die Form der meisten Sacksilos **verjüngt sich konisch nach unten** hin und mündet in der Entnahmeöffnung. Diese, aber auch andere Formen der verschiedenen Pellet-Silos **begünstigen dabei das Nachrutschen der Pellets**, idealerweise bis zum letzten Rest. Des Weiteren ist der mechanische Abrieb der Pellets durch die Flexibilität des Gewebes tendenziell geringer als bei harten Lagerwänden und -Böden.

Für die Pelletentnahme werden je nach Lagertyp **verschiedene Entnahmesysteme** eingesetzt, etwa:

- Förderschnecken
- Saugsonden
- bewegliche Saugentnahme

Auch bei Gewebesilos sollte ein System gewählt werden bei dem sich das Silo nach unten konus- oder V-förmig verjüngt. Aus bereits oben beschriebenen Gründen, sollten nur System gewählt werden, bei welchen die Pellets unten entnommen werden. Bei Systemen mit einfacher Zugeinrichtung durch Federspannung, wird trotz Entnahme von unten fast dasselbe Volumen nutzbar wie bei Behältern mit Saugereinrichtung von oben.

**Vorteile von Gewebebehältern** sind zum einen die flexiblen Aufstellmöglichkeiten aber auch die gute Zugänglichkeit und die Möglichkeit der **einfachen Reinigung der Reservoirs**, denn Pellet-Lager sollten regelmäßig von Feinanteilen, die durch die mechanische Beanspruchung der Pellets entstehen, befreit werden.



Das freistehende Pellet-Lager kann einfach in einem **vorhandenen Raum in Brennernähe** aufgestellt werden. **Pellet-Gewebebehälter werden komplett vormontiert oder zur Selbstmontage** auf dem Markt angeboten und lassen sich meist schnell und einfach aufbauen. Das **Silogewebe erlaubt das Entweichen der Luft** während des Tankvorgangs und ist gleichzeitig staubdicht. Laut Befüllanleitung der jeweiligen Hersteller ist dann **keine Absaugung der Förderluft** während des Tankens notwendig.

Allerdings sollte die Förderluftmenge (bis zu 1.400 m<sup>2</sup>/h) **durch Außenluftöffnungen, Türen oder Fenster** entweichen können. Da beim Einblasen der Pellets **elektrostatische Aufladungen** entstehen, verfügen die Systeme zum Ableiten **über eine Erdung**.

Abbildung 4: Beispiel für ein Gewebesilo mit Zugeinrichtung. Quelle: Ökofen Heiztechnik GmbH

### 3.3 Lagervolumen mit Beispielrechnung

Das Lagervolumen ist bei Ein- und Zweifamilienhäusern sinnvollerweise gem. dem Jahresbrennstoffbedarf auszulegen, so dass möglichst der Brennstoffbedarf für ein komplettes Jahr eingelagert werden kann. Die Pellet-Preise sind im Sommer zumeist niedriger als während oder gar am Ende der Heizperiode. Darum ist es empfehlenswert, Pellets im Sommer zu beschaffen.

Beispiel für ein Einfamilienhaus mit 15 kW Heizlast:

1. **Schritt:** 15 kW x 0,9 m<sup>3</sup> = 13,5 m<sup>3</sup> Raumvolumen (inklusive Leerraum)
2. **Schritt:** 13,5 m<sup>3</sup> x 2/3 = 9 m<sup>3</sup> effektives Lagervolumen
3. **Schritt:** 9 m<sup>3</sup> Lagervolumen : 1,5 m<sup>3</sup> = 6 Tonnen Pellets
4. **Schritt:** 13,5 m<sup>3</sup> : 2,4 m Raumhöhe = 5,6 m<sup>2</sup> Grundfläche

## 4. Emissionen durch Pellet-Kessel

### 4.1 Staub

Absolut betragen die Staubemissionen von Pellet-Kesseln und Pellet-Öfen laut einer Studie des Deutschen Biomasseforschungszentrums zusammen nur rund 3,5% der Staubemissionen aus Holzfeuerungen, während der größte Anteil mit fast 80% durch mit Scheitholz befeuerten Einzelraumfeuerungen verursacht wurde. Das liegt aber auch daran, dass Scheitholzöfen den größten Anteil der Holzfeuerungen ausmachen. Die spezifischen Emissionen von Pellet-Kesseln betragen im Altbestand rd. 31% also knapp 1/3 der spezifischen Emissionen von Scheitholzöfen.

Die Staubemissionen aus Pellet-Kesseln lässt sich durch den Einbau von Staubabscheidern oder E-Filtern deutlich verringern. Für die Förderung im Rahmen der der Bundesförderung „Effiziente Gebäude“ dürfen neu installierte Feuerungsanlagen für feste Biomasse einen Feinstaubausstoß von 2,5 mg/m<sup>3</sup> (Staub bei Nennlast) nicht

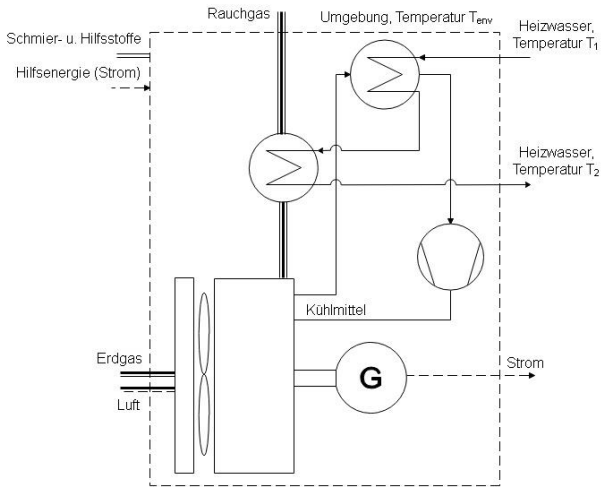
überschreiten. Das liegt deutlich unter dem nach der 1. BImSchV § 5 zulässigen Grenzwert von 20 mg/m<sup>3</sup>. Um maximal 2,5 mg/m<sup>3</sup> Staubemission nicht zu unterschreiten ist der Einbau von Staubabscheidern oder E-Filtern zumeist erforderlich, es sei denn der Kessel schafft derart geringe Staubemissionen durch andere technische Maßnahmen. Bei neuen Pellet-Kesseln ist darum von sehr niedrigen Staubemissionen auszugehen.

#### **4.2 Kohlenmonoxid CO**

Bei der Lagerung von Holzpellets sind die Anforderungen der VDI 3464 Blatt 1 zu beachten. Hintergrund dafür sind gesundheitsschädliche Kohlenmonoxidemissionen (CO) aus den Pellets, die sich im Pellet-Lager anreichern. Laut Umweltbundesamt ist innerhalb der ersten vier Wochen nach Lieferung der Pellets mit erhöhten Kohlenmonoxidkonzentrationen im Pellet-Lager zu rechnen. Daher ist eine gute Belüftung des Pellet-Lagers notwendig. Laut der Norm ENplus wird empfohlen, luftdurchlässige Deckel auf die Befüllstutzen für die Pellets zu geben (nur, wenn diese ins Freie führen!).

Zudem ist der Einsatz von mobilen CO-Messgeräten beim Betreten und von CO-Meldern im Vorraum zum Pellet-Lager ausgesprochen sinnvoll.

**Kurzbeschreibung**



Zur Stromerzeugung werden erdgasbefeuerte<sup>a</sup> Verbrennungsmotoren eingesetzt, die sich im Einzelnen u.a. durch ihren Aufbau und den Ablauf des Zünd- und Verbrennungsvorgangs des Erdgas-Luft-Gemisches unterscheiden. Bei Aggregaten auf Basis von Dieselmotoren (Selbstzündung des Gemischs) wird zum Teil Zündöl eingespritzt.

Die anfallende Abwärme aus Kühlmittelkreislauf sowie Rauchgas wird zur Wärmeauskopplung genutzt.

<sup>a</sup>Alternativ kann auch Flüssiggas eingesetzt werden.

Abbildung 1: Prinzipskizze

**Anwendungsbeispiel**

Erdgasbefeuerte KWK-Anlagen treten beispielsweise als Blockheizkraftwerke auf (BHKW). Sie werden oft in der Grundlast für Wärmenetze unterschiedlicher Größe eingesetzt. Bei deren Einsatz ist darauf zu achten, ob sie strom- oder wärmegeführt betrieben werden. BHKW können in Wärmenetzen beispielsweise auch in Kombination mit Wärmepumpen betrieben werden. Das BHKW kann in diesem Fall Strom für die Wärmepumpe bereitstellen und so für eine Entlastung des Stromnetzes sorgen. Um die Zukunftssicherheit neuer BHKW zu gewährleisten ist darauf zu achten, dass diese H<sub>2</sub>-ready ausgeführt werden, um so einen späteren Brennstoffwechsel zu ermöglichen.

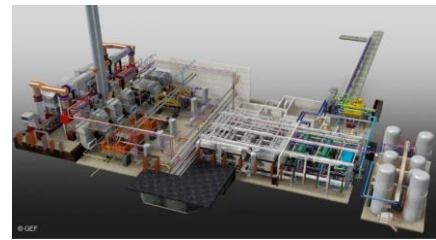


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Energiezentrale

**Parameter**

Parameter	0,001-0,1 MW	> 0,1-1 MW	> 1-18 MW
Max. elektrische (Netto-)Nutzleistung je Aggregat <sup>1</sup>	0,001-0,1 MW	> 0,1-1 MW	> 1-18 MW
Thermische Nutzleistung je Aggregat <sup>1</sup>	0,003-0,2 MW	0,2-1,2 MW	1,1-16 MW
Min. elektrische (Netto-)Nutzleistung je Aggregat <sup>1,2</sup>	30-100 %	30-70 %	30-60 %
Hochfahrzeit		≤ 5-20 min	
Thermischer Wirkungsgrad <sup>1</sup>	50-80 %	40-60 %	30-50 %
Elektrischer (Netto-)Wirkungsgrad <sup>1</sup>	20-40 %	35-45 %	40-50 %
Gesamtwirkungsgrad <sup>1,3</sup>	> 80 %	80-95 %	80-90 %
Spez. Bauraum je Aggregat		0,01-1 m <sup>3</sup> /kW <sub>el,Nutz</sub>	
Technische Nutzungsdauer		< 60.000 h <sub>vbh</sub> bzw. < 20 a	
Spez. Investitionen <sup>3</sup>	1,5-15 T€/kW <sub>el,Nutz</sub>	1-1,5 T€/kW <sub>el,Nutz</sub>	0,5-1 T€/kW <sub>el,Nutz</sub>
Betriebskosten	2-5 €Cent/kWh <sub>el,Nutz</sub>	1-2 €Cent/kWh <sub>el,Nutz</sub>	0,5-1 €Cent/kWh <sub>el,Nutz</sub>

<sup>1</sup>Nennbetrieb mit T<sub>2</sub> im Regelfall < 100 °C, Wirkungsgrade bezogen auf Heizwert.

<sup>2</sup>Bezogen auf max. elektrische (Netto-)Nutzleistung je Aggregat.

<sup>3</sup>Modulkosten inkl. EMSR, Errichtung und Einbindung; zzgl. Gebäude-/Grundstückskosten sowie sonstigen Kosten (Planung, Bauüberwachung etc.).

**Quellenangaben**

- (1) Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (Hrsg.): BHKW-Kenndaten 2014/2015 – Module, Anbieter, Kosten; 2014.
- (2) Röttsch, Dietmar: Zuverlässigkeit von Rohrleitungssystemen – Fernwärme und Wasser; 1999.
- (3) Danish Energy Agency (Hrsg.): Technology Data for Energy Plants for Electricity and District heating generation; 2016.

**Kurzbeschreibung**

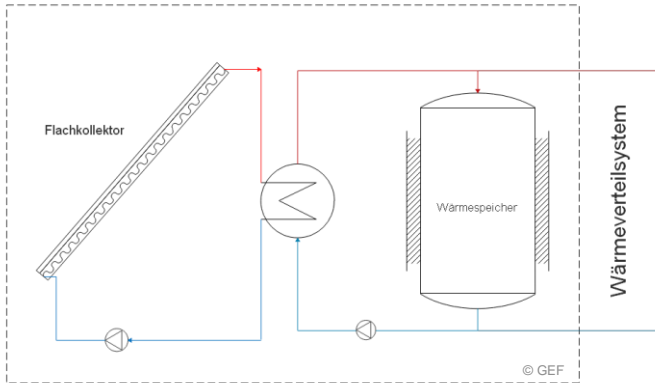


Abbildung 1: Prinzipskizze

Zentrale Komponenten von Flachkollektoren sind der Absorber mit hochselektiver Beschichtung, die transparente Abdeckung und die Wärmedämmung. Als Wärmeträgermedium wird in Gebieten mit Wintertemperaturen unter 0 °C i. d. R. ein Wasser-Glykol-Gemisch verwendet\*. Die Übertragung der Wärme aus dem Kollektorkreislauf ins Gebäude bzw. Wärmenetz erfolgt über einen Wärmetauscher.

Flachkollektoren sind einfacher im Aufbau und preislich günstiger als Vakuum-Röhren-Kollektoren, haben aber einen geringeren spezifischen Solarertrag.

Aufgrund der fluktuierenden Solarstrahlung werden solarthermische Kollektoren i. d. R. mit Speichern kombiniert, um Solarwärmeangebot und Wärmeverbrauch zeitlich zu optimieren.

\*Wasser : Propylenglykol (60:40) für Frostschutz bis zu -23°.

**Anwendungsbeispiel**

Solarthermie kann auf Gebäudeebene zur Heizungsunterstützung und/oder zur Trinkwarmwassererwärmung genutzt werden. Die Kollektoren werden hierzu i.d.R. auf den Dachflächen installiert. Da die Nutzung von Solarthermie an die Sonneneinstrahlung gebunden ist, kann ihr Einsatz nur in Kombination mit einem weiteren Erzeuger erfolgen, der Wärme konstant und zuverlässig zur Verfügung stellen kann. In Wärmenetzen wird die Solarthermie vornehmlich zur Deckung des Sommerbedarfs genutzt. Die zusätzliche Nutzung eines Wärmespeichers ist beim Einsatz auf Gebäudeebene und in Wärmenetzen empfohlen.



Abbildung: Das Solarfeld auf Ludwigsburger und Kornwestheimer Gemarkung <sup>(3)</sup>

**Parameter**

Bruttokollektorfläche (BKF)	9 m <sup>2</sup> BKF	2.500 m <sup>2</sup> BKF	33.500 m <sup>2</sup> BKF
Anlagentyp	Dachanlage	Freiflächenanlage	Freiflächenanlage
Bedarf Aufstellfläche	-	BKF x 2,5 <sup>(1)</sup>	BKF x 2 <sup>(1)</sup>
Thermische Nennleistung	6 kW*	1,75 MW*	23,5 MW*
Spez. Solarertrag **	400 kWh/m <sup>2</sup> BKF <sup>(4)</sup>	400** kWh/m <sup>2</sup> BKF <sup>(1)</sup>	300** kWh/m <sup>2</sup> BKF <sup>(1)</sup>
Technische Nutzungsdauer	25 a	25 a	25 a
Spez. Investitionen *** <sup>(4)</sup>	675 €/m <sup>2</sup> BKF <sup>(4)</sup>	450 €/m <sup>2</sup> BKF <sup>(1)</sup>	250 €/m <sup>2</sup> BKF <sup>(1)</sup>
Betriebskosten	1,5 % d. Invest <sup>(2)</sup>	2 €/MWh <sup>(1)</sup>	2 €/MWh <sup>(1)</sup>

alle Kosten netto

\* Konvention zur Angabe einer Nennleistung für Solarthermie: 0,7 kW pro m<sup>2</sup> BKF; die tatsächlich zu erwartende max. Einspeisung sollte für Großanlagen mittels Simulation ermittelt werden

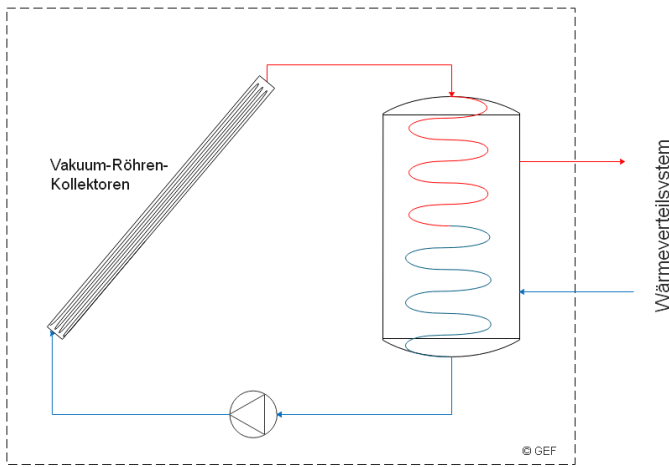
\*\* Für Einsatz in der Fernwärme mit Netztemperaturen TVL 70 °C, TRL 50 °C (für die 1,75 MW Anlage) und TVL 95 °C, TRL 55 °C (für die 23,5 MW Anlage).

\*\*\* Baustelleneinrichtung, Lieferung und Installation der Kollektoren, Befüllung und Einregulierung mit Glykol, Montage, Solar-Wärmetauscher, Pumpen, Hydraulikeinheit usw.

**Quellenangaben**

- (1) GEF Recherche.
- (2) VDI 2067 (Blatt 1).
- (3) <https://www.swlb.de/de/Unternehmen/Nachhaltigkeit/SolarHeatGrid-/Infopfad/Sonnenpfad-5-Energie-Gruenes-Netz/20-0001-Broschuere-Solarthermieanlage-web.pdf>
- (4) In Anlehnung an: IER, Universität Stuttgart, Heizkostenvergleich Neubau Mehrfamilienhaus (Stand Januar 2017)
- (5) [www.swlb.de/de/Unternehmen/Nachhaltigkeit/SolarHeatGrid-/Solarthermie-Anlage/Solarthermie-Anlage.html](http://www.swlb.de/de/Unternehmen/Nachhaltigkeit/SolarHeatGrid-/Solarthermie-Anlage/Solarthermie-Anlage.html)

**Kurzbeschreibung**



In Vakuum-Röhren-Kollektoren (VRK) werden hochselektiv beschichtete Rohre mit Wärmeträgerflüssigkeit durch evakuierte (ein- oder doppelwandige) Glasröhren geführt. Das Vakuum isoliert die Rohre gegen die Außentemperatur. Da als Wärmeträgermedium in der Regel Wasser verwendet wird, kann (anders als bei Flachkollektoren) auf einen Wärmeübertrager zwischen Kollektorkreis und Gebäude/Wärmenetz verzichtet werden.

VRK sind komplexer in der Herstellung und liegen entsprechend höher im Preis als Flachkollektoren. Sie haben jedoch einen höheren spezifischen Solarertrag und können auch Temperaturen bis 120 °C bereitstellen <sup>(4)</sup>.

Abbildung 1: Prinzipskizze

Aufgrund der fluktuierenden Solarstrahlung werden solarthermische Kollektoren in der Regel mit Speichern kombiniert, um Solarwärmeangebot und Wärmeverbrauch zeitlich zu optimieren.

**Anwendungsbeispiel**

Solarthermie kann auf Gebäudeebene zur Heizungsunterstützung und/oder zur Trinkwarmwassererwärmung genutzt werden. Die Kollektoren werden hierzu i.d.R. auf den Dachflächen installiert. Da die Nutzung von Solarthermie an die Sonneneinstrahlung gebunden ist, kann ihr Einsatz nur in Kombination mit einem weiteren Erzeuger erfolgen, der Wärme konstant und zuverlässig zur Verfügung stellen kann.

In Wärmenetzen wird die Solarthermie vornehmlich zur Deckung des Sommerbedarfs genutzt. Die zusätzliche Nutzung eines Wärmespeichers ist beim Einsatz auf Gebäudeebene und in Wärmenetzen empfohlen.



Abbildung: Kollektorfeld mit 5157 Quadratmetern Vakuumröhrenkollektoren von Ritter XL Solar (Stadtwerke Potsdam).<sup>(2)</sup>

**Parameter**

Bruttokollektorfläche (BKF)	9 m <sup>2</sup> BKF	2.000 m <sup>2</sup> BKF	22.000 m <sup>2</sup> BKF
Anlagentyp	Dachanlage	Freiflächenanlage	Freiflächenanlage
Bedarf Aufstellfläche	-	BKF x 2,5	BKF x 2
Thermische Nennleistung	6 kW	1,4 MW	15,4 MW
Spez. Solarertrag *	250 kWh/m <sup>2</sup> BKF <sup>(1)</sup>	490 kWh/m <sup>2</sup> BKF <sup>(1)</sup>	450 kWh/m <sup>2</sup> BKF <sup>(1)</sup>
Technische Nutzungsdauer	25 a	25 a	25 a
Spez. Investitionen ** <sup>(3)</sup>	900 €/m <sup>2</sup> BKF <sup>(1)</sup>	335 €/m <sup>2</sup> BKF <sup>(1)</sup>	295 €/m <sup>2</sup> BKF <sup>(1)</sup>
Betriebskosten	50 €/a <sup>(1)</sup>	1.680 €/a <sup>(1)</sup>	16.800 €/a <sup>(1)</sup>

alle Kosten netto

\* Für Einsatz in der Fernwärme mit Netztemperaturen TVL 70 °C, TRL 50 °C (für die 1,44 MW Anlage) und TVL 95 °C, TRL 55 °C (für die 15,40 MW Anlage).

\*\* Freilandmontagesystem mit Rampaufhängen, Kollektorfeldverrohrung mit hochgedämmten Formteilen, Solar-Wärmetauscher, pumpen Hydraulischer Weiche usw.

**Quellenangaben**

- (1) GEF Recherche.
- (2) <https://www.ritter-xl-solar.de/anwendungen/waermetetze/stadtwerke-potsdam/>
- (3) Paar, Ochse, Huthner et al.: Transformationsstrategien von fossiler zentraler Wärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien, Heidelberg, Februar 2013