



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.



# Wärmepumpen mit Gasantrieb: 160 % Klimaschutz

Digitale ASUE-Fachtagung, 27. Oktober 2020

## VERANSTALTER

ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V.  
Robert-Koch-Platz 4  
10115 Berlin

## WÄRMEPUMPEN MIT GASANTRIEB: 160 % KLIMASCHUTZ

Wärmepumpen binden kostenlose Umweltwärme in die Gebäudeheizung ein. Zugleich können sie den sommerlichen Kältebedarf decken. Damit leisten sie einen großen Beitrag für die Energiewende.

## TECHNOLOGIEN UND PRAXISBEISPIELE MIT SOFTWARE-WORKSHOP

Werden Wärmepumpen mit Gas angetrieben, wird die umweltfreundliche Effizienzsteigerung mit einer Senkung der betrieblichen Kosten kombiniert. So ergeben sich für Betriebe oder Immobilien mit hohem, gleichzeitigem Wärme- und Kältebedarf oder einer ausufernden Stromrechnung viele Chancen.

In dieser digitalen Fachtagung klärten erfahrene Ingenieure über die zur Anwendung kommenden Technologien auf. Neben der Technik erfolgte auch deren Einordnung in die aktuell gültigen Regelungen aus dem GEG. Die für Energieberater entscheidende Eingabe von Gaswärmepumpen in spezielle Beratersoftware wurde anhand der Hottgenroth®-Software demonstriert.

In diesem Tagungsband sind die Präsentationen mit Platz für Ihre eigenen Notizen enthalten.

**WIR HOFFEN, DIESE VON UNS ERSTMALIG DIGITAL DURCHGEFÜHRTE VERANSTALTUNG WAR EINE INTERESSANTE FACHTAGUNG!**

**WIR FREUEN UNS, SIE WIEDER BEGRÜßEN ZU DÜRFEN.**

## REFERENTEN UND VORTRÄGE

### **Moderation**

Thomas Wencker, ASUE e. V.

### **Einleitung**

Jürgen Kukuk, ASUE e. V.

**Seite 4**

### **Technologische Grundlagen der verschiedenen Gaswärmepumpen**

Thomas Wencker, ASUE e.V.

**Seite 10**

### **Systemvergleich: Elektrische vs. mit Gas angetriebene Wärmepumpen**

Dr. Gerrit Földner, Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme ISE

**Seite 22**

### **Zur Zukunft des Verbrennungsmotors in Wärmepumpen**

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp, Technische Hochschule Georg Agricola

**Seite 31**

### **Gasabsorptionswärmepumpe in einem Fernwärmenetz mit Geothermie**

Dr. Jens M. Kuckelkorn, ZAE Bayern

**Seite 45**

### **Mit Wärme Kühlen: Adsorber im Einsatz**

Gregor Feig, FAHRENHEIT GmbH

**Seite 54**

### **Gaswärmepumpen in der praktischen Anwendung:**

Gasmotorwärmepumpen: Christian Tille, YANMAR Energy System Europe GmbH

Gasmotorwärmepumpen: Sven Burghardt, Schwank GmbH

Gasabsorptionswärmepumpen: Peter Kuhl, Bosch Thermotechnik GmbH

**Seite 64**

### **Einordnung von Gaswärmepumpen im GEG und Fördermöglichkeiten**

Jürgen Kukuk, ASUE e. V.

**Seite 81**

### **Die Eingabe von Gaswärmepumpen in die Hottgenroth®-Software für Energieberater im neuen GEG**

Caterina Winnen, Hottgenroth Software GmbH & Co. KG

**Seite 94**

## ÜBER ASUE

Die ASUE ist ein Verband mit Mitgliedern aus allen Bereichen der Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft. Sie engagiert sich für technologieoffene Lösungen, die einen Wandel unserer Gesellschaft und seiner Unternehmen in Richtung einer klimaneutralen Energieversorgung ermöglichen. Dabei tragen wir den Zielen der Versorgungssicherheit, der Sozialverträglichkeit und besonders dem Klimaschutz Rechnung. So sollten effiziente und nachhaltige Energiesysteme nicht nur elektrisch, sondern aus Gründen der Speicherbarkeit und Versorgungssicherheit über erneuerbare, gasförmige Energieträger konzipiert werden.

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

# Einleitung

Jürgen Kukuk, ASUE e. V.



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

## Willkommen zur ASUE-Fachtagung „160% Klimaschutz“

Stand: 23. Oktober 2019

ASUE-Fachtagung

Dipl. -Ing. Jürgen Stefan Kukuk



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.



- ✓ BHKW, Brennstoffzellen, Gaswärmepumpen, Gasturbinen, Gasbrennwertgeräte, Wasserstoff
- ✓ Broschüren und Fachinformationen
- ✓ KWK-Anmelde-Service
- ✓ Arbeitskreise und Netzwerke
- ✓ Newsletter und Presseinformationen
- ✓ Energiepolitik und Kommunikation

40  
JAHRE  
**ASUE**  
TECHNIK  
EFFIZIENZ  
INNOVATION

## Vortrags- und Fachveranstaltungen



Seit 2014 Fachveranstaltungen  
Gaswärmepumpe/Kälteerzeugung

- Frankfurt
- Remagen
- Bochum
- Fulda
- Bielefeld
- Bingen

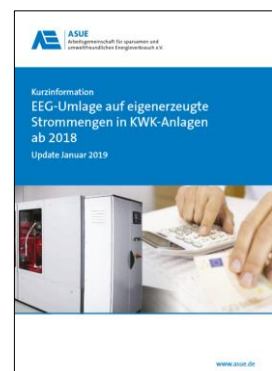


Seit 2012 Fachbeiträge auf den Berliner  
Energietagen:

- Neue Technologien zur Wärmeerzeugung
- Objekt-KWK und digitale Effizienz
- Kälteerzeugung mit Gas
- Quartiersversorgung mit Erneuerbaren



## Wichtige Broschüren der ASUE



- ✓ Das KWK-Gesetz 2017
- ✓ Biogas / Biomethan – erneuerbare Energie aus der Leitung
- ✓ Über die Wirtschaftlichkeit von Blockheizkraftwerken in Hotels
- ✓ EEG-Umlage auf eigenerzeugte Strommengen



## Wichtige Broschüren der ASUE



- ✓ Brennstoffzellen für die Hausenergieversorgung
- ✓ Wirtschaftliches Sanieren mit Brennstoffzellen
- ✓ Gasinstallation – Tipps für die Praxis
- ✓ Leitfaden zur Anmeldung und steuerlichen Behandlung von kleinen BHKW

## ASUE-Broschüren: Neuerscheinungen

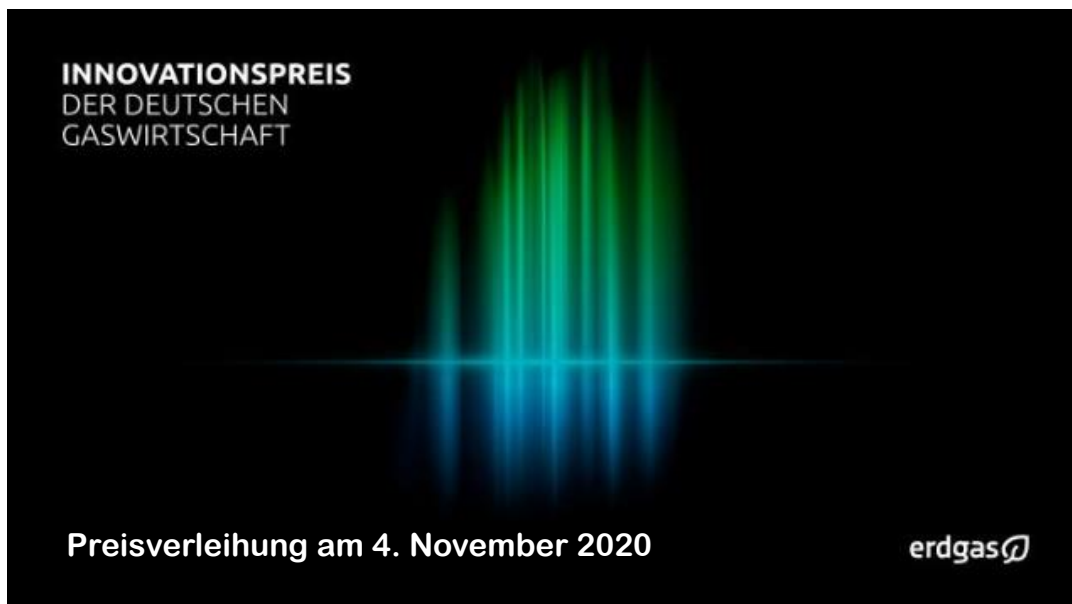


- Grundlagen der innovativen Quartiersversorgung
- Energieträger Wasserstoff – Grundlagen, Anwendung, Speicherung, Infrastruktur
- Mieterstrom aus KWK - Anlagen

## Der KWK-Anmeldeservice der ASUE



- ✓ Startberatung
- ✓ Anmeldung nach dem KWK G
- ✓ Abstimmung mit dem Strom-Netzbetreiber
- ✓ KfW- und BAFA - Förderung
- ✓ Jahresmeldungen
- ✓ Hilfe bei Erschwernissen





## Bewerbungen zum Innovationspreis

- 80 Bewerbungen
- 5 Kategorien
- 30 innovative Produkte, 16 effiziente Energie-konzepte, 8 Klimaschutz & Kommune, 17 Forschung & Entwicklung, 9 Mobilität & Verkehr
- 16 Nominierungen





**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Technologische Grundlagen der verschiedenen Gaswärmepumpen

Thomas Wencker, ASUE e. V.



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Technologische Grundlagen der verschiedenen Gaswärmepumpen

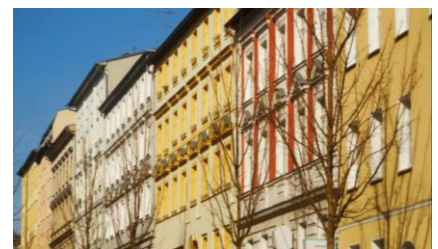
ASUE-Fachtagung „Wärmepumpen mit Gasantrieb: 160 % Klimaschutz“  
am 27. Oktober 2020, online

Thomas Wencker

## Agenda



1. **Heizungssysteme im Allgemeinen**
2. Thermische und mechanische Verdichtung
3. Gasmotorwärmepumpen
4. Gasabsorptionswärmepumpen
5. Weitere Gaswärmepumpen
6. Fazit

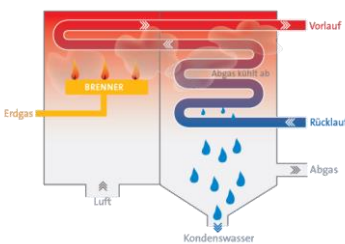


## Heizungssysteme im Allgemeinen

- Aufgabe: Möglichst sparsam angenehme Temperaturen für Bewohner, Angestellte oder Geräte bereitstellen.
- Lösungen:
  - Warmwasserbereitung
  - Wohnraumlüftung
  - Klimatisierung
  - Luftbefeuchtung
  - Etc.

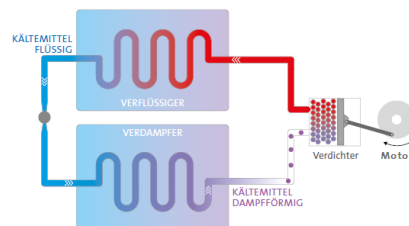


## Heizungssysteme im Allgemeinen im EFH



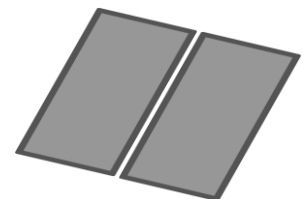
Gasbrennwerttherme  
(2018: 67,2 %)

- Holzöfen
- Pelletsöfen
- Hackschnitzel
- BHKW



Wärmepumpe  
(2018: 11,5 %)

- Brennstoffzellen
- Mikrogasturbinen
- Ölessel
- Stromdirektheizungen



Solarthermie  
(2018: ?)

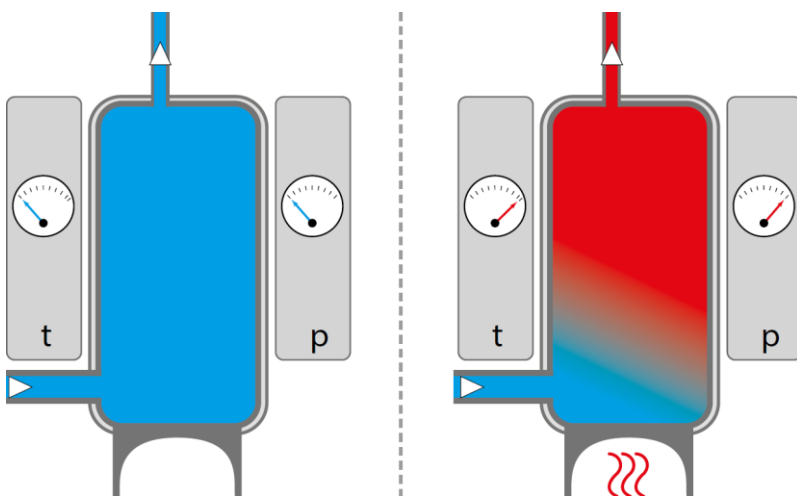


## Agenda

1. Heizungssysteme im Allgemeinen
2. **Thermische und mechanische Verdichtung**
3. Gasmotorwärmepumpen
4. Gasabsorptionswärmepumpen
5. Weitere Gaswärmepumpen
6. Fazit

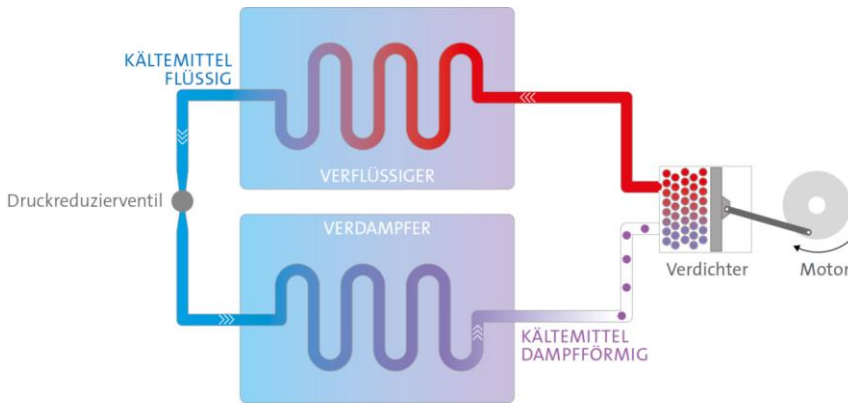


## Thermische und mechanische Verdichtung



- Prinzip:
  - Brenner erhitzen adiabates Gefäß
  - Umwandlung chemischer Energie in Wärme und Druck

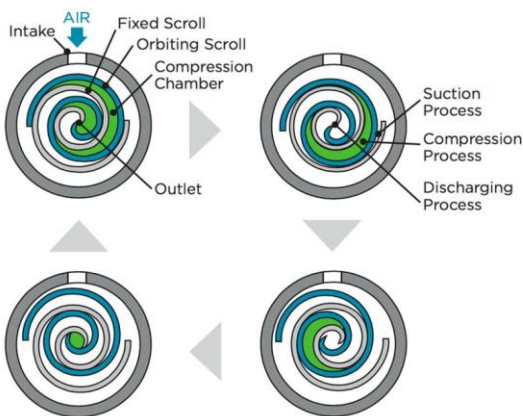
## Thermische und mechanische Verdichtung



- Prinzip:
  - Scroll- oder Schraubenkompressoren
  - Umwandlung von Bewegung und Reibung in Wärme und Druck

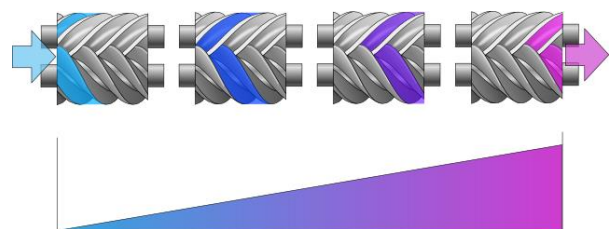
## Thermische und mechanische Verdichtung

### ■ Scrollverdichter



Grafik: Northwest Equipment Ltd.

### ■ Schraubenverdichter



Grafik: [www.kompressor.one](http://www.kompressor.one)



## Thermische und mechanische Verdichtung

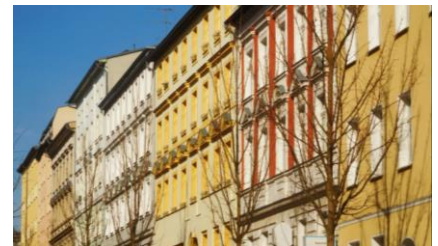
- Technologietransfer von Kälte- und Klimatechnik
- Verfahren sind bereits wirkungsgradoptimiert
- Thermodynamisches Grundverständnis erforderlich



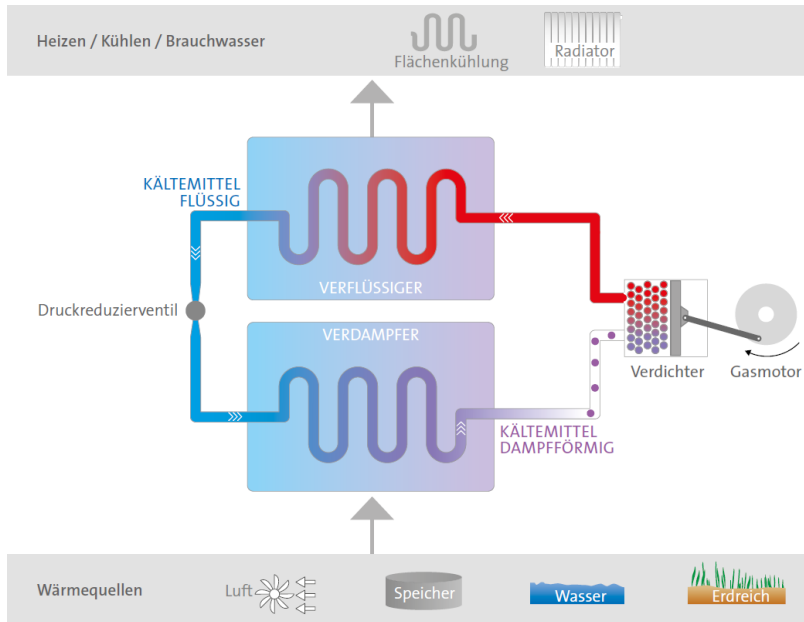
## Agenda



1. Heizungssysteme im Allgemeinen
2. Thermische und mechanische Verdichtung
3. **Gasmotorwärmepumpen**
4. Gasabsorptionswärmepumpen
5. Weitere Gaswärmepumpen
6. Fazit



## Gasmotorwärmepumpen

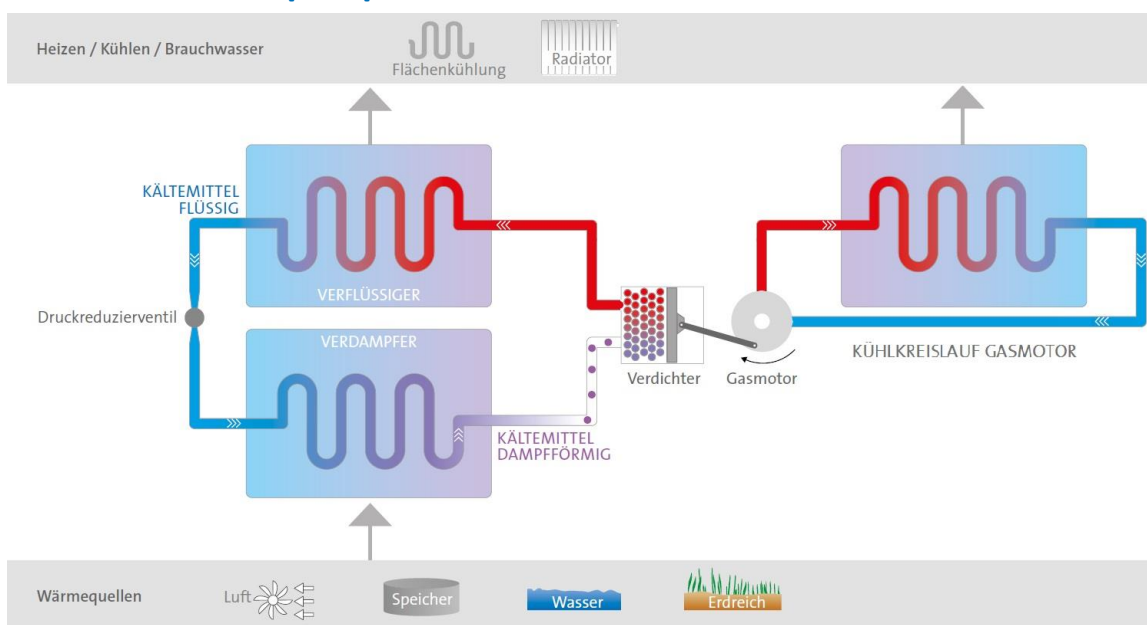


- Viertakt-Gas-Ottomotoren
- Einsatz z. B. in Staplern oder BHKWs, auch Schwachgase möglich
- Import von Geräten aus Japan
- Motorabwärme und Abgase sind höher-temperierte Wärmequelle!

Technologische Grundlagen Gaswärmepumpen, Thomas Wencker, ASUE, 27.10.2020

11

## Gasmotorwärmepumpen



Technologische Grundlagen Gaswärmepumpen, Thomas Wencker, ASUE, 27.10.2020

12





## Gasmotorwärmepumpen in Deutschland



AISIN



Panasonic

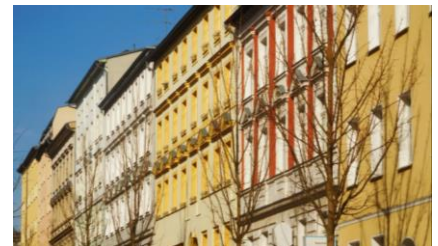


YANMAR

- Technische Daten: ASUE-Broschüre „Marktübersicht Gaswärmepumpen 2017“ (Update: 2020)

## Agenda

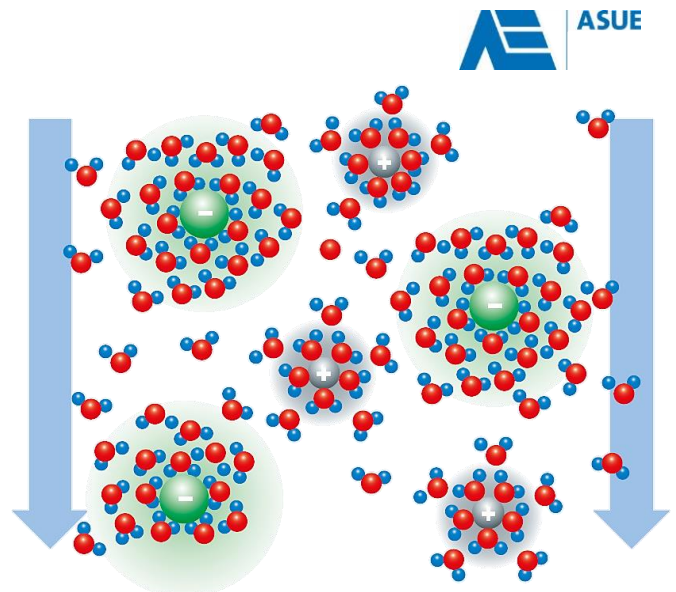
1. Heizungssysteme im Allgemeinen
2. Thermische und mechanische Verdichtung
3. Gasmotorwärmepumpen
4. **Gasabsorptionswärmepumpen**
5. Weitere Gaswärmepumpen
6. Fazit



## Gasabsorptionswärmepumpen

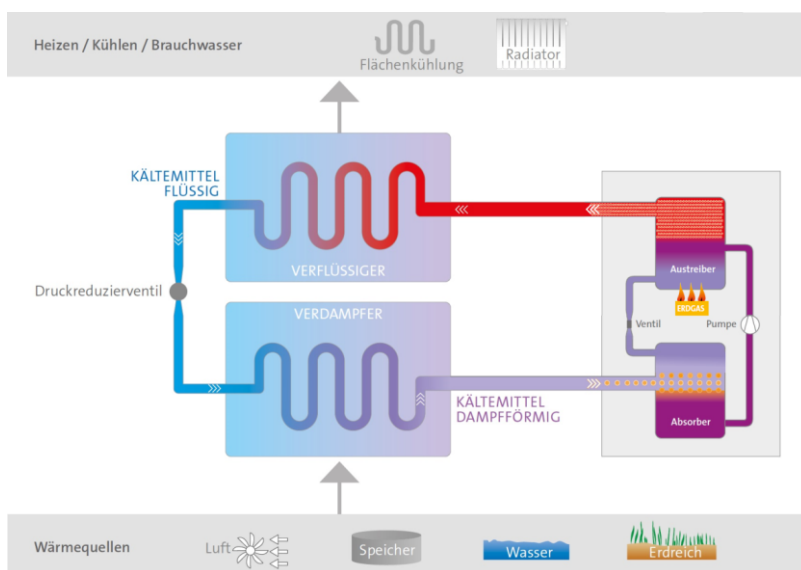
- Umweltwärme +
- Verbrennungswärme +
- „Innere Energie“:
  - Verdampfungsenthalpie
  - Kondensationswärme
  - Mischungsenthalpie

## $\Sigma$ = Wärme aus drei Quellen



Absorption am Beispiel Lithiumbromid (LiBr) und Wasser: Das Lithiumbromid löst sich in Wasser in seine Bestandteile auf: Li<sup>+</sup> (grün) und Br<sup>-</sup> (rot). Diese positiv und negativ geladenen Ionen ziehen Wassermoleküle (H<sub>2</sub>O: Wasserstoff (blau) und Sauerstoff (rot)) an und bilden eine sog. Hydrathülle. Die besonders große Elektronegativität der Brom-Ionen (2,96) führt zu einer besonders großen Hülle und damit besonders viel gebundenem Wasser.

## Gasabsorptionswärmepumpen



1. Kältemittel wird von Lösemittel absorbiert.
2. Gemisch wird in Austreiber gepumpt.
3. Kältemittel wird ausgetrieben.
4. Kältemittel kondensiert.
5. Kältemittel verdampft.
1. ...

## Gasabsorptionswärmepumpen

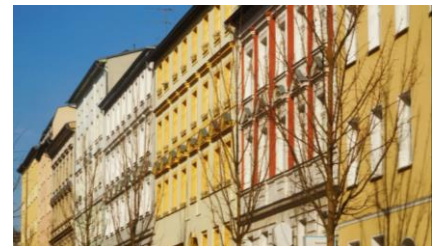
- Übliche Stoffpaarungen bei Absorptionsanlagen:
  - Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Wasser
    - Gefahrstoff
    - Minusgrade möglich
  - Lithiumbromid (LiBr) und Wasser
    - Ungefährlich
    - Korrosiv
  - Lithiumchlorid (LiCl) und Wasser
    - In der Entwicklung



Bosch Thermotechnik GmbH · Buderus

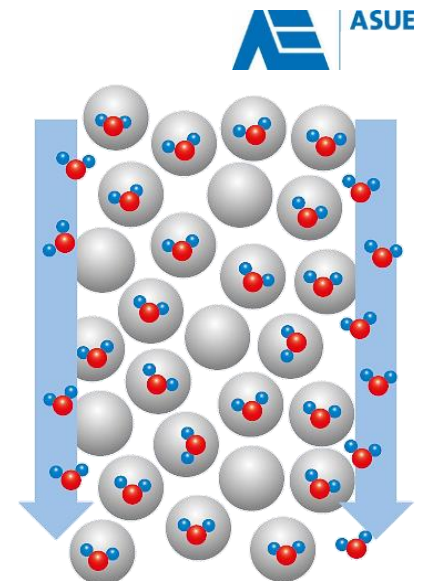
## Agenda

1. Heizungssysteme im Allgemeinen
2. Thermische und mechanische Verdichtung
3. Gasmotorwärmepumpen
4. Gasabsorptionswärmepumpen
5. **Weitere Gaswärmepumpen**
6. Fazit



## Weitere Gaswärmepumpen

- Gasadsorptionswärmepumpe
  - Zeolith oder Silikagel als Adsorbens
  - Kältemittel: Wasser! (R718, GWP = 0)
  - Heute: Anwendung Adsorber eher als reine Kälteanlagen (Serverkühlung, KWKK etc.)
  - Entwicklungen von VIESSMANN und Vaillant nicht auf dem Markt



Adsorption am Beispiel Wasser an Zeolith: Die Poren im Zeolith (grau) sind so genau auf den Moleküldurchmesser von Wasser ( $H_2O$ : Wasserstoff (blau) und Sauerstoff (rot)) abgestimmt, dass die nur auf sehr kurzer Entfernung wirkenden Van-der-Waals-Kräfte die Wassermoleküle in die Poren hinein ziehen und festhalten.

## Weitere Gaswärmepumpen

- Thermodynamische Wärmepumpe
  - Kältemittel:  $CO_2$ ! (R744, GWP = 1)
  - Thermomechanisches Kompressionsverfahren
  - Brennstoffnutzungsgrad bis zu 200 %
  - 2019: Erste Geräte im Markt



Bilder: BOOSTHEAT



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.



## Weiterführende Informationen



- Pdf-Datei
- Kostenlos



- PDF und Druck
- Mit Projekten



Technologische Grundlagen Gaswärmepumpen, Thomas Wencker, ASUE, 27.10.2020

21

TECHNIK  
EFFIZIENZ  
INNOVATION

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.





**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Systemvergleich: Elektrische vs. mit Gas angetriebene Wärmepumpen

Dr. Gerrit Földner, Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme ISE



---

## WÄRMEPUMPEN FÜR DEN MEHRFAMILIENHAUSBESTAND

Systemvergleich Kompressionswärmepumpe/Hybridsysteme, Gaswärmepumpe und Brennwertkessel

---



Dr. Gerrit Földner

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE/

ASUE Fachtagung Wärmepumpen mit Gasantrieb  
27.10.2020

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

© Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC



### Stand der Technik: Gaswärmepumpen für den Wohngebäudebestand

■ Existierende Geräte:

■ Absorption:

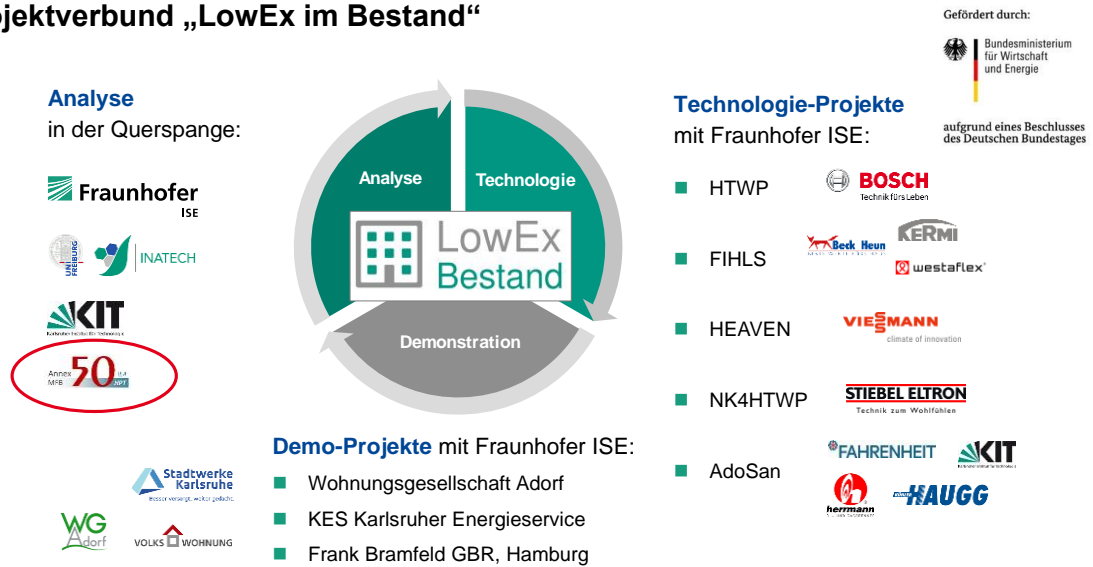
- Robur (am Markt: 41 kW-Gerät, 18 kW-Gerät)
- Bosch (am Markt mit Robur 41 kW, eigene Entwicklung 18 kW abgebrochen)
- Ariston: Eigene Entwicklung Ammoniak-Wasser
- Weitere laufende Entwicklungen, weitere Anbieter des Robur-Gerätes

■ Adsorption:

- Viessmann -> nicht mehr marktverfügbar, Entwicklung eingestellt
- Vaillant -> Entwicklung auf Standby
- Projekt ADOSO/AdoSan-LXB (Fa. Fahrenheit, FhG ISE) -> Fasermodule mit hoher Leistungsdichte

- Boostheat (20 kW-Gerät)

## Projektverbund „LowEx im Bestand“



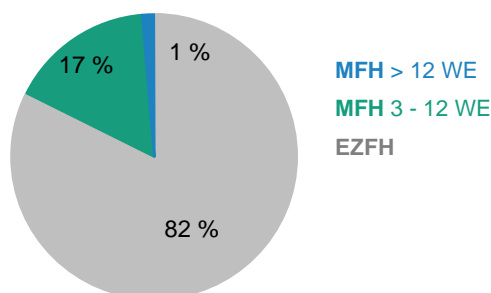
3

 © Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC

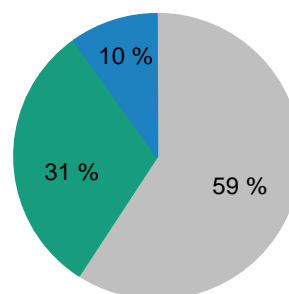
[www.lowex-bestand.de](http://www.lowex-bestand.de)

## Mehrfamilienhäuser: Bestandsanalyse Gebäude

Anteil Gebäudebestand



Anteil Wohnfläche



4

 © Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC  
Bürger, V.; Hesse, T.; Quack, D.; Palzer, A.; Köhler, B.; Herkel, S.; Engelmann, P. (2015):  
Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. CLIMATE CHANGE 06/2016. Umweltbundesamt (Hrsg.).  
Dessau-Roßlau. (ISSN: 1862-4359)



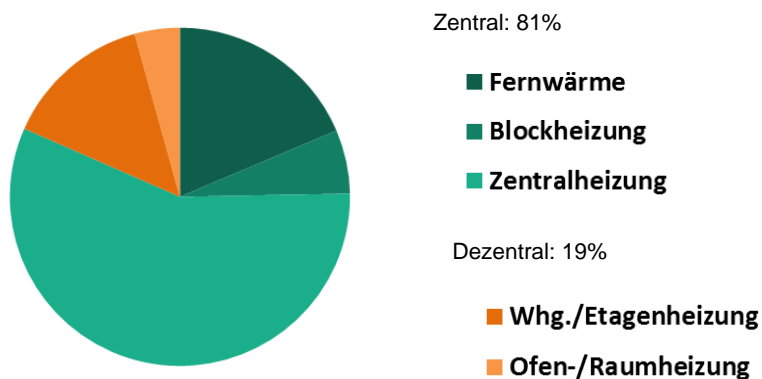
## Mehrfamilienhäuser: Marktanteile Wärmepumpen in Neubau und Bestand

- Marktanteil installierter Wärmepumpen in 2019 (BDH 2019)<sup>1</sup>:
  - Gesamt: 11,6 %
  
- Marktanteile Wärmepumpen im Neubau 2019 (Destatis 2020)<sup>2</sup>:
  - EFH: 46 %
  - MFH: 24 %
  
- Marktanteile Wärmepumpen im Bestand 2018 (BWP 2019)<sup>3</sup>:
  - Sanierung: ca. 5,5 %

5  
© Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC

1. [https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user\\_upload/Pressegrafiken/Marktstruktur\\_zehn\\_Jahre\\_2019\\_062020\\_DE.pdf](https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Pressegrafiken/Marktstruktur_zehn_Jahre_2019_062020_DE.pdf), 2. [www-genesis.destatis.de/genesis](http://www-genesis.destatis.de/genesis) (Tabelle 31121-0004 ), 3. BWP Branchenstudie 2018

## Mehrfamilienhäuser: Bestandsanalyse Raumheizung



6  
© Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC

Dr. Holger Cischinsky Dr. Nikolaus Diefenbach (2018):  
Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016 (ISBN-Nr.: 978-3-941140-71-4 )

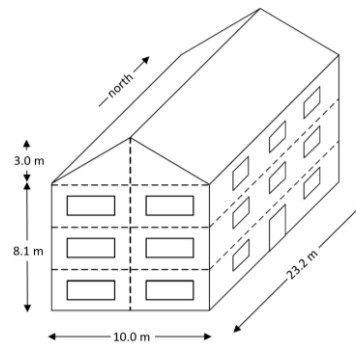
## Referenzgebäude LowEx Bestand

### ■ Baualtersklasse 1958 – 1978

- Höchster Anteil am MFH-Bestand
- Häufiger Sanierungsfall, Kosten/Nutzen oft gut

### ■ Parameter:

- 581 m<sup>2</sup> Wohnfläche, Potsdam
- Bedarf Raumheizung:
  - Saniert ~EnEV 2016 66 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)
- Bedarf Trinkwarmwasser: 11 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)



Ebert, B. (2018): Systematische Analyse von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden. [www.lowex-bestand.de](http://www.lowex-bestand.de)

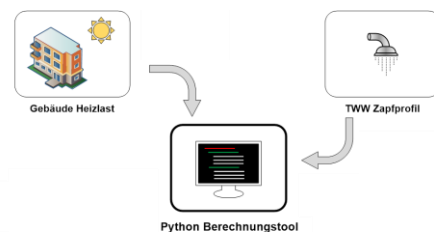
7

© Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC



## Gebäude-System-Analyse: Berechnungstool

- Wärmepumpen-Modell: kennlinienbasiert
- Heizlast: Zeitreihen aus der Gebäudesimulation TRNBuild
- TWW: Zeitreihen aus SynPRO



### ■ Energetische Bewertung von unterschiedlichen Systemvarianten

- Mono-energetisch
- Bivalent, optimiert nach
  - Energie-Bezugskosten
  - CO<sub>2</sub>-Emissionen

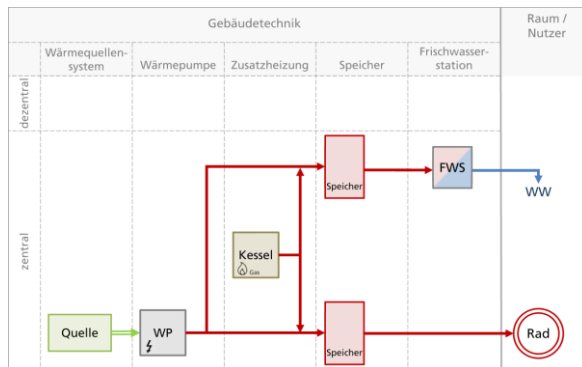
8

© Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC



## System-Varianten (saniiert)

### Bivalent (WP + Gaskessel) und mono-energetisch (WP + Heizstab)



Bivalentes Wärmepumpen (WP) - System mit Gaskessel, zentraler Frischwasser-Station (FWS) und Radiatoren (Rad)

- Verbraucher
  - Radiatoren 45/38°C
  - Puffer TWE 66°C (laden)
  
- Dimensionierung Erzeuger
  - Kessel 24 kW (Referenz)
  - Luft-WP 64°C ( $T_{VL,max}$ )
  - Bivalent alt. + Kessel 8,4 kW (A2/W35) + 24 kW
  - Monoenerg. + Heizstab 21 kW (A2/W35) + 11 kW

9

 © Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC

## Perspektive bis 2040

### Verwendete Quellen für CO<sub>2,e</sub> Emissionsfaktoren und Energie-Bezugskosten

Jahr	CO <sub>2,e</sub> Emissionen Netzstrom [g/kWh]	CO <sub>2,e</sub> Emissionen Gas mit PtG* [g/kWh]
2020	<b>402,90</b>	<b>222,9</b>
2030	193,00	204,2
2040	<b>107,05</b>	<b>194,4</b>
2050	21,10	184,7

\*PtG = Power to Gas, Bezug: Heizwert

#### CO<sub>2,e</sub>-Emissionen Netzstrom nach IINAS (KS 95), 2019:

Fritsche et. al. (2019): Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2018 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Kurzstudie. Darmstadt.

#### CO<sub>2,e</sub>-Emissionen Erdgas nach IINAS/GEMIS 5.0, 2018:

GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme). Version 5.0. Hg. v. IINAS - Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien. Online verfügbar unter <http://iinas.org/gemis-de.html>.

Jahr	WP Strompreis [ct/kWh]	CO <sub>2</sub> -Preis (COP 1) [€/t]	Gaspreis mit CO <sub>2</sub> -Preis [ct/kWh]
2020	<b>22,50</b>	0	<b>6,36</b>
2030	21,60	80	8,48
2040	<b>20,44</b>	130	<b>9,72</b>
2050	19,28	180	10,86

#### Strompreise E.ON, RWTH, ewi (2019) mit WP-Tarif 75 % des Haushaltsstrompreises (Bundesnetzagentur).

E.ON, RWTH, ewi (2019): Auswirkungen von CO<sub>2</sub>-Preisen auf den Gebäude-, Verkehrs- und Energiesektor. Online verfügbar. Bundesnetzagentur (2020): Monitoringbericht 2019. Online verfügbar.

#### Gaspreise EU Reference Scenario (2016):

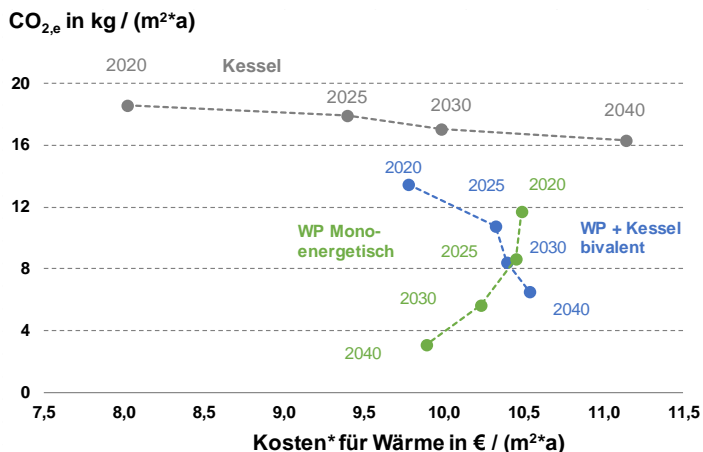
Capros, P. et al. (2016): EU Reference Scenario 2016. Energy, transport and GHG emissions, Trends to 2050. Hg. v. European Commission. Luxembourg. Online verfügbar.

10

 © Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC

## Perspektive bis 2040

### Systemvergleich ohne Förderung



	Kessel	WP + Kessel	WP Mono
Investition [€]	10.204	20.938	19.203
Wärmegestehungskosten [ct/kWh]	11,1	11,9	12
Emissionen kumuliert [kg/(m <sup>2</sup> *a)]	17,3	9,4 (-46 %)	6,7 (-61 %)

Systemvergleich für LowEx-Bestand  
Referenzgebäude saniert nach EnEV 2016.

Systeme: Gas-Brennwertkessel, Luft-WP mono-energetisch mit Heizstab, Luft-WP bivalent teilparallel mit Kessel (Betrieboptimierung jährlich nach Energie-Bezugskosten). Auslegung: Höchster Barwert mit Zinssatz 7,5%, Energie-Bezugskosten und Emissionsfaktoren vgl. vorherige Folien)

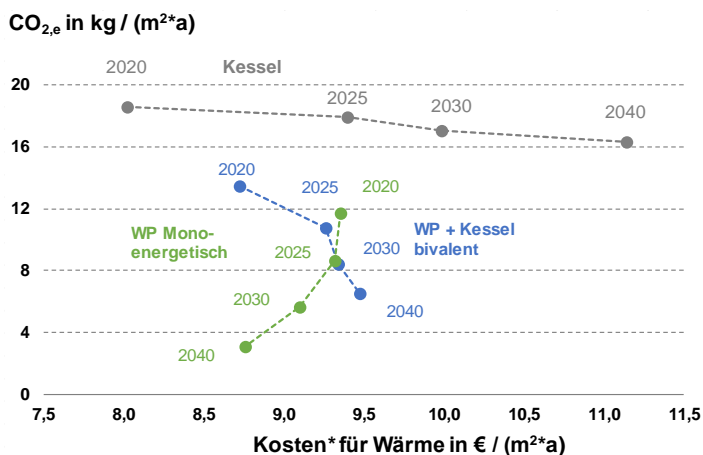
\* Abb. zeigt jährliche Energie-Bezugskosten (inflationbereinigt, nicht diskontiert) plus Annuität von Investitions- und Wartungskosten

11

 © Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC


## Perspektive bis 2040

### Systemvergleich mit BAFA-Investitionszuschuss



	Kessel	WP + Kessel	WP Mono
Investition [€]	10.204	14.657	12.482
Wärmegestehungskosten [ct/kWh]	11,1	10,7	10,7
Emissionen kumuliert [kg/(m <sup>2</sup> *a)]	17,3	9,4 (-46 %)	6,7 (-61 %)

Systemvergleich für LowEx-Bestand  
Referenzgebäude saniert nach EnEV 2016.

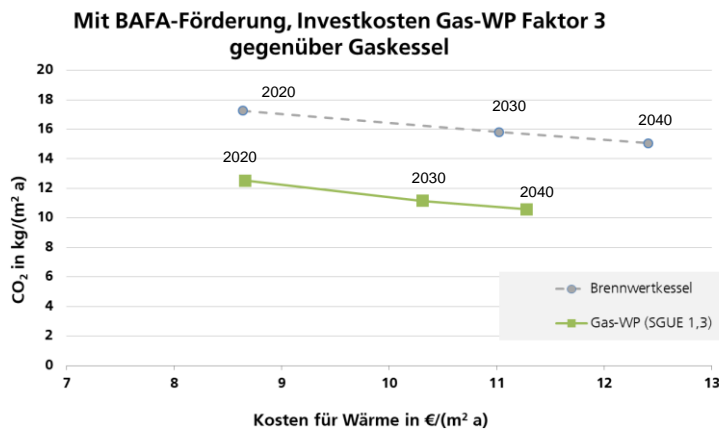
Systeme: Gas-Brennwertkessel, Luft-WP mono-energetisch mit Heizstab, Luft-WP bivalent teilparallel mit Kessel (Betrieboptimierung jährlich nach Energie-Bezugskosten). Auslegung: Höchster Barwert mit Zinssatz 7,5%, Energie-Bezugskosten und Emissionsfaktoren vgl. vorherige Folien)

\* Abb. zeigt jährliche Energie-Bezugskosten (inflationbereinigt, nicht diskontiert) plus Annuität von Investitions- und Wartungskosten

12

 © Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC


## Perspektive Gaswärmepumpe bis 2040 Systemvergleich mit BAFA-Investitionszuschuss



- GWP 24 kW
- Invest GWP ca. 20.000 € inklusive Ausseneinheit und Installation

Systemvergleich für LowEx-Bestand  
Referenzgebäude saniert nach EnEV 2016.

Systeme: Gas-Brennwertkessel, Luft-WP mono-energetisch mit Heizstab, Luft-WP bivalent teilparallel mit Kessel (Betrieboptimierung jährlich nach Energie-Bezugskosten). Auslegung: Höchster Barwert mit Zinssatz 7,5%, Energie-Bezugskosten und Emissionsfaktoren vgl. vorherige Folien)

\* Abb. zeigt jährliche Energie-Bezugskosten (inflationsbereinigt, nicht diskontiert) plus Annuität von Investitions- und Wartungskosten

13

 © Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC


## Zusammenfassung und Fazit

- Betrachtungsfall saniertes Gebäude (~Standard EnEV 2016)
- Systembetrachtung erfolgte auf Basis von in der Literatur verfügbaren Prognosen für die Entwicklung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und Energiekosten (Strom und Gas)
- WP-Systeme bieten hohe CO<sub>2,e</sub>-Einsparungen, jedoch im mono-energetischen Berechnungsfall derzeit noch höhere Betriebskosten im Vergleich zum Referenzsystem Gaskessel
- Perspektivisch: Für Kompressions-WP Erhöhung der CO<sub>2,e</sub>-Einsparungen sowie Betriebskosteneinsparungen zu erwarten, v.a. bei hohem Deckungsanteil der WP
- Aktueller BAFA-Investitionszuschuss führt über die Lebensdauer zu vergleichbaren Wärmegestehungskosten der Wärmepumpen-Systeme gegenüber dem Gaskessel-Standard-System
- Wesentliche Faktoren für erfolgreiche Gaswärmepumpe: Investkosten und Effizienz

14

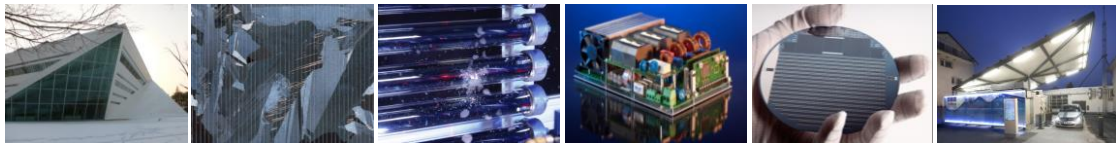
 © Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC




**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Gerrit Földner, Constanze Bongs, Jeannette Wapler, Marek Miara

Uni Freiburg, INATECH  
Stefan Hess

Mitarbeit: B. Rodenbücher, F. Braeuer, F. Ohr, M. Kleinstück, M. Abunofal

[gerrit.fueldner@ise.fraunhofer.de](mailto:gerrit.fueldner@ise.fraunhofer.de)

Gefördert durch:



**FKZ: 03SBE0001**

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

15  
© Fraunhofer ISE  
FHG-SK-ISE-PUBLIC

**Fraunhofer**  
ISE



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Zur Zukunft des Verbrennungsmotors in Wärmepumpen

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp, Techn. Hochschule Georg Agricola



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

ASUE-Fachtagung 27. Oktober 2020



# Zur Zukunft des Verbrennungsmotors -auch in Wärmepumpen



Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp  
Energieanlagentechnik und Fluidenergiemaschinen

Technische Hochschule Georg Agricola zu Bochum

1

## Inhalt



- Vorbetrachtungen
- Gasmotor-Wärmepumpe
- Entwicklungspotenziale
- Wasserstoff in Verbrennungsmotoren
- Vorteile und Flexibilität
- Abschlussbemerkung

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

2



## Rahmenbedingungen in Deutschland 2020

- Energiewende
  - Abschaltung von Kernkraftwerken, Braunkohlekraftwerken, Steinkohlekraftwerken
- Aktuell:
  - ca. 50 % regenerative Energieträger in der Stromerzeugung
  - ca. 25 % regenerative Energieträger der Gesamtenergie (incl. Mobilität, Wärmemarkt usw.)
- Lösungsansätze
  - Ausbau der erneuerbaren Energieträger: Grenze?
  - Europäischer Energieverbund
  - Dezentrale Energieversorgung
  - Sektorenkopplung
  - Energiespeicher ausbauen
  - Effizienz

## Energie-Umwandlung und -Speicherung

- Regenerative Energieträger werden u. a. umgewandelt in:
  - elektrischen Strom,
  - Gas aus Power to Gas,
  - Gas aus Biomasse,
  - Bioöl.
- Regenerative Energieträger werden u. a. gespeichert in:
  - Pumpspeicherkraftwerken,
  - Akkumulatoren,
  - Wärmenetzen,
  - Erdgas-Netzen.



## Energetische Wirkungsketten

- Strom in Brenngas:
  - Umwandlung in Wasserstoff H<sub>2</sub>: 80 %
  - Umwandlung über H<sub>2</sub> in Methan CH<sub>4</sub>: 64 %
  
- Brenngas in Strom **und Wärme**:
  - Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk (GuD) 60 %
  - Brennstoffzelle 60 %
  - Verbrennungsmotor 44 %
  - GuD-KWK 90 %
  - Brennstoffzellen-KWK: 90 %
  - Motor-KWK 90 %
  - Gasmotor-Wärmepumpe > 150 %\*

Fazit: Optimal ist eine Stromerzeugung direkt beim Verbraucher, wo auch die Wärme genutzt werden kann: KWK und Gasmotor-Wärmepumpe.

\* Bei Wärmepumpen spricht man nicht von Wirkungsgraden, sondern von Effizienz, COP usw.

## Kompressions-Kältemaschine /- Wärmepumpe mit Gasmotor

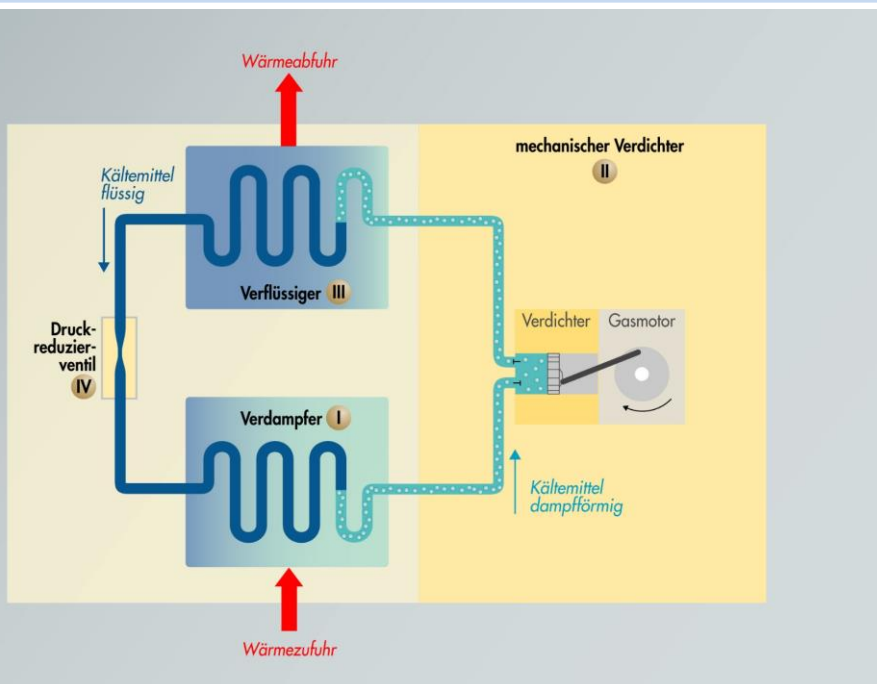


Abb.: ASUE

## Verbrennungsmotor und 2 Scroll-Verdichter einer Gasmotor-Wärmepumpe

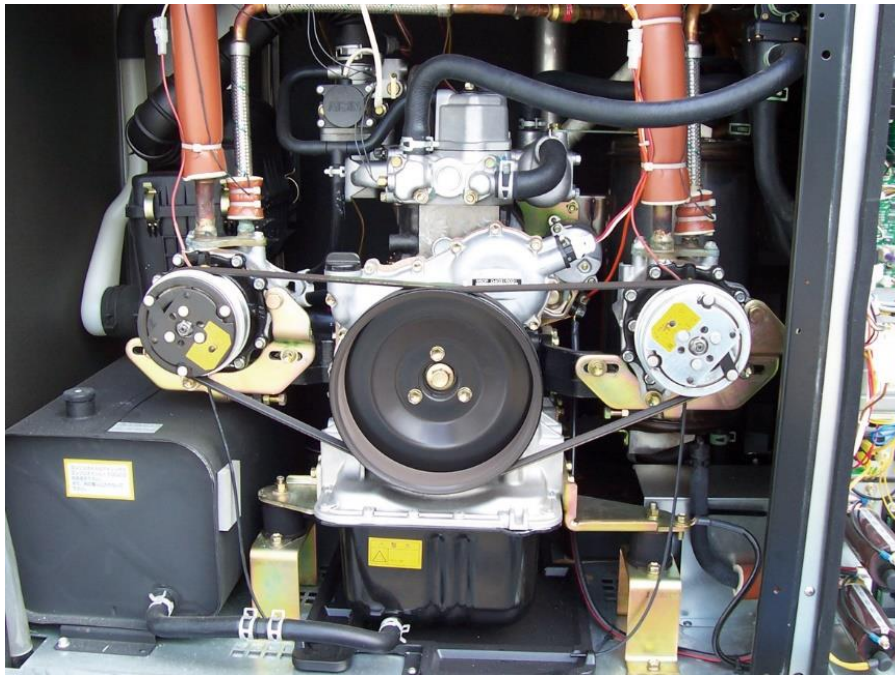


Abb.: AISIN

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

7

## Gasmotor-Wärmepumpe in Außenaufstellung



Abb.: Kaut / Sanyo

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

8

## Brennstoffe für Verbrennungsmotoren

- Benzin
- Diesel ( Heizöl HEL)
- Erdgas H und L
- Bio-Erdgas
- Biogas
- Grubengas
- Deponiegas
- Methan aus Power to Gas
- Methan
- Flüssiggas (Propan/Butan)
- Wasserstoff

Fazit: Verbrennungsmotoren sind – mit entsprechenden Modifikationen – eine Technik, die mit den meisten flüssigen und gasförmigen Brennstoffen betrieben werden kann.

## Brennstoffe für Gasmotor-Wärmepumpen

- Benzin
- Diesel (Heizöl HEL)
- Erdgas H und L
- Bio-Erdgas
- Biogas
- Grubengas
- Deponiegas
- Methan aus Power to Gas
- Methan
- Flüssiggas (Propan/Butan)
- Wasserstoff

Fazit: Verbrennungsmotoren für Gasmotor-Wärmepumpen sind aus Benzinmotoren entwickelt worden und können – nach Modifikationen – mit vielen Brennstoffen betrieben werden. Anpassungen für die weiteren Gase sind technisch möglich.

## Gasmotor-Wärmepumpen (GWP)

- GWP sind eine effiziente Technologie zur ressourcenschonenden Nutzung gasförmiger Brennstoffe, wie Erdgas, Flüssiggas, Bio-Erdgas, Erdgas aus Power to Gas.
- Sie nutzen mit Methan den konventionellen Brennstoff, der pro kWh die geringsten spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht:
  - Braunkohle: 400 g/kWh Wärme
  - Erdgas: 200 g/kWh Wärme
  - Erdgas in GWP: 133 g/kWh Wärme
- GWP eignen sich für die Brenngase, die aus überschüssigem regenerativen elektrischen Strom erzeugt werden.

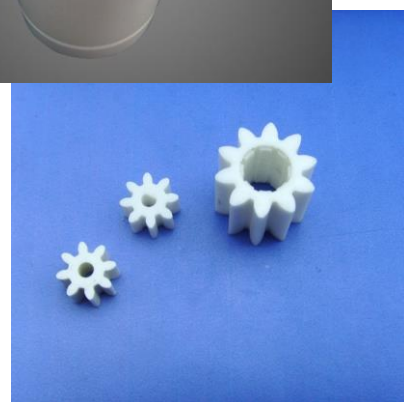
## Verbrennungsmotoren

### Grundprinzipien

- Prinzip „Diesel“ mit Selbstzündung
- Prinzip „Diesel“ mit Zündstrahl-Zündung
- Prinzip „Otto“ mit Fremdzündung

### Entwicklungspotenziale

- Turbolader
- Ladeluftkühlung
- Erhöhung der Kompression
- Nutzung der Abwärme
- Einsatz keramischer Werkstoffe:
  - höhere Prozesstemperatur
  - weniger Reibung
  - höhere Verdichtung
  - weniger C-Abbrand aus Schmieröl



## Wirkungsgradsteigerung durch höhere Kompression

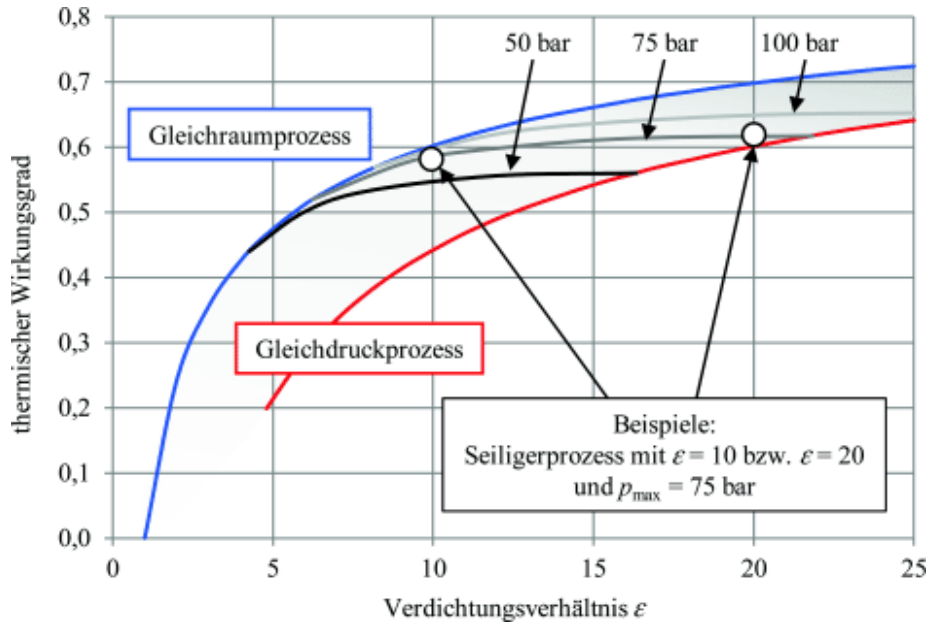


Abb.: Springer-Verlag

## Wirkungsgradsteigerung durch höhere Verbrennungs-Temperatur

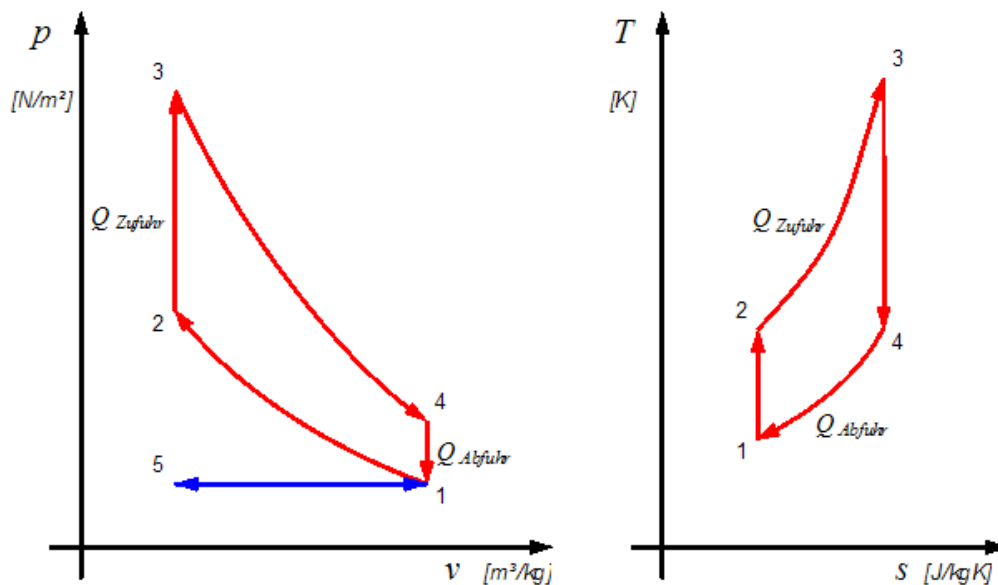


Abb.: energie.ch

## BMW 750 hL (Baureihe E38)



Abb.: BMW

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

15

## H<sub>2</sub>-Verbrennungsmotor im Pkw (BMW)



**Abgasemissionen des Wasserstoffautos**  
im Vergleich zum Benzinmotor

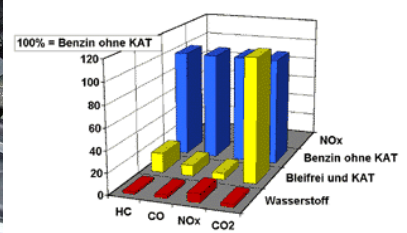
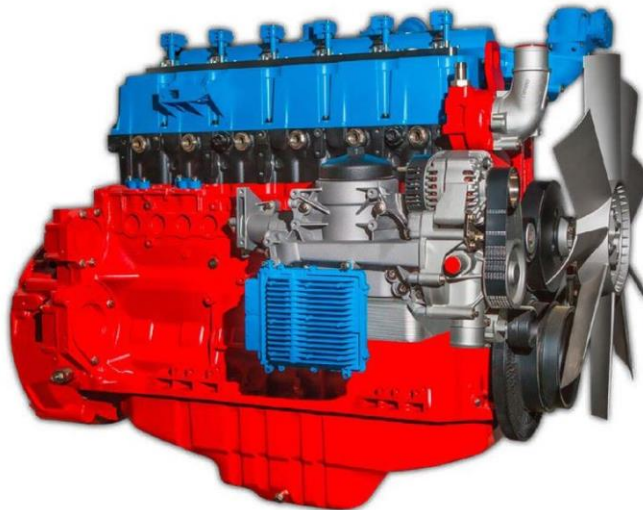


Abb.: BMW, T. Seilnacht

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

16

## Wasserstoff-Verbrennungsmotor für Nutzfahrzeuge und BHKW



Basis:  
Dieselmotor

Angepasst:  
Brennstoffeindüsung  
Flammensicherung  
Fremdzündung  
Turbolader  
Abgasrückführung

Abb.: KEYOU/Deutz

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

17

## Wasserstoff-Verbrennungsmotor

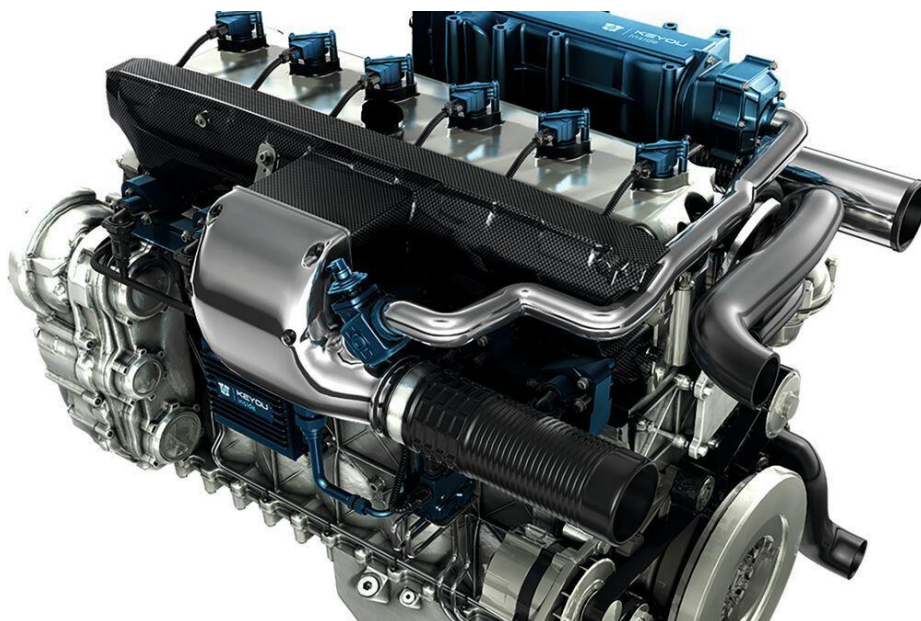


Abb.: KEYOU, München

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

18





ASUE

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

## Wasserstoff-Verbrennungsmotor in Wärmepumpen

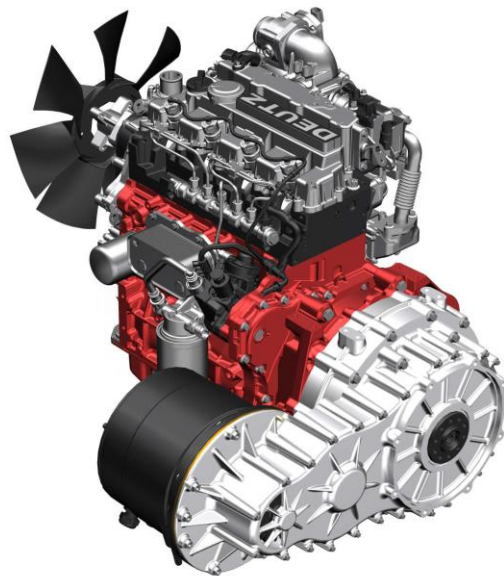


Abb.: Deutz

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

19

## Verbrennungsmotor in Wärmepumpen



<https://www.youtube.com/watch?v=iRggPS3S4>



Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

20

# CO<sub>2</sub>-Bilanz unterschiedlicher Antriebskonzepte

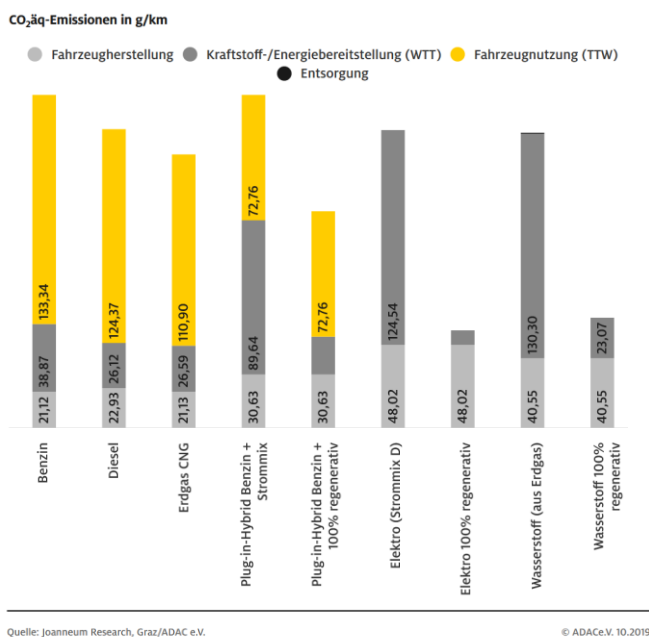
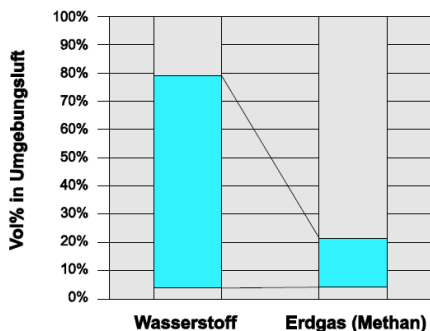


Abb.: ADAC, Oktober 2019

## Eigenschaften von Wasserstoff im Vergleich zu Methan

	Wasserstoff H <sub>2</sub>	Methan CH <sub>4</sub>
Dichte in kg/m <sup>3</sup>	0,08988	0,7175
Zündtemperatur in Luft in °C	585	540
Max. Flammgeschw. in cm/s	346	43
Zündbereich in Luft Vol.-%	4 - 73	5 - 14
Flammentemp. in Luft in °C	2130 °C	1970 °C





## Volkswirtschaftliche Bedeutung von Verbrennungsmotoren



- Hoher Entwicklungsstand in Deutschland
- Produktion und Service sind gewährleistet
- Hohes Entwicklungspotenzial
- Viele Arbeitsplätze

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

23

## Verbrennungsmotor mit Zukunft



- Verbrennungsmotoren weisen ein weiteres hohes Entwicklungspotenzial auf
- Es ist vielfach sinnvoll als Antriebsmotoren Verbrennungsmotoren zu nutzen, wenn die Abwärme genutzt werden kann: KWK, Gaswärmepumpen, Industrieanwendungen
- Verbrennungsmotoren weisen einen hohen Stand der Technik auf
- Verbrennungsmotoren sind flexibel beim Übergang von klassischen auf neue Brennstoffe einsetzbar.
  
- Technik-Neutralität und der Wettbewerb der Techniken und Energieträger untereinander führen zum technischen und wirtschaftlichen Optimum.

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

24



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.



Geben Sie Gas und bleiben Sie gesund!

Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp  
Technische Hochschule Georg Agricola zu Bochum  
jochen.arthkamp@thga.de



Prof. Dr.-Ing. Jochen Arthkamp

25



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Gasabsorptionswärmepumpe in einem Fernwärmenetz mit Geothermie

Dr. Jens M. Kuckelkorn, ZAE Bayern



Digitale ASUE-Fachtagung

Wärmepumpen mit Gasantrieb: 160 % Klimaschutz

27. Oktober 2020

## Gasabsorptionswärmepumpe in einem Fernwärmenetz mit Geothermie

J. M. Kuckelkorn, M. Riepl



Institutionelle Förderung  
durch  
Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie

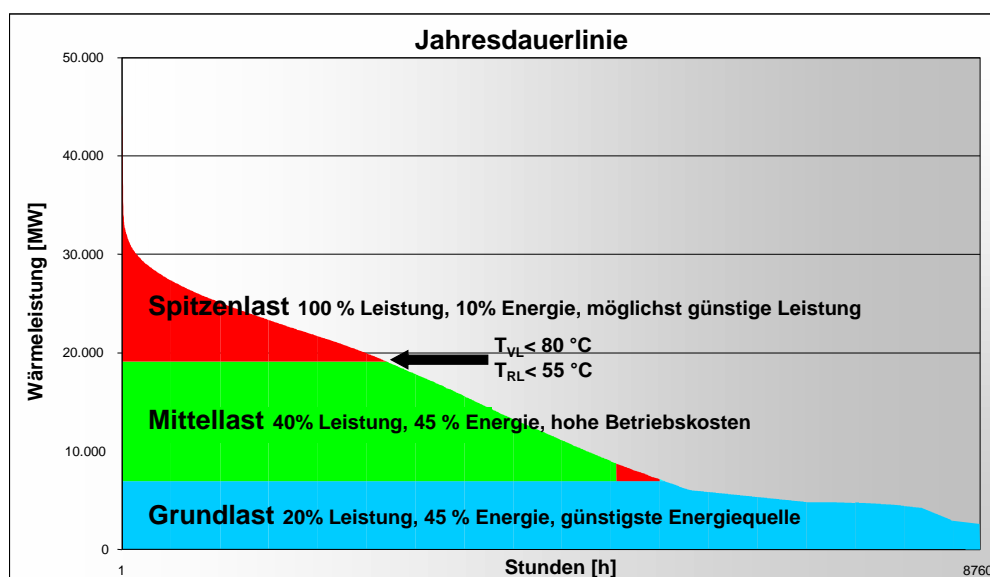


© Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.  
Alle Rechte vorbehalten, auch bezüglich jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung und Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechanmeldungen.

## Systemoptimierung der Fernwärme mit hydrothermalen Geothermie



Maximaler Ausbau hydrothermalen Heizwerke: Fallbeispiel



27.10.2020

© ZAE Bayern

2

## Energieeffiziente Mittellastanlagen

➤ Größter Kostenblock: Betriebskosten (z. B. 1. Mittellast, 2. TKP-Strom...)

### Beispiele für effiziente Mittellast-Wärmequellen:

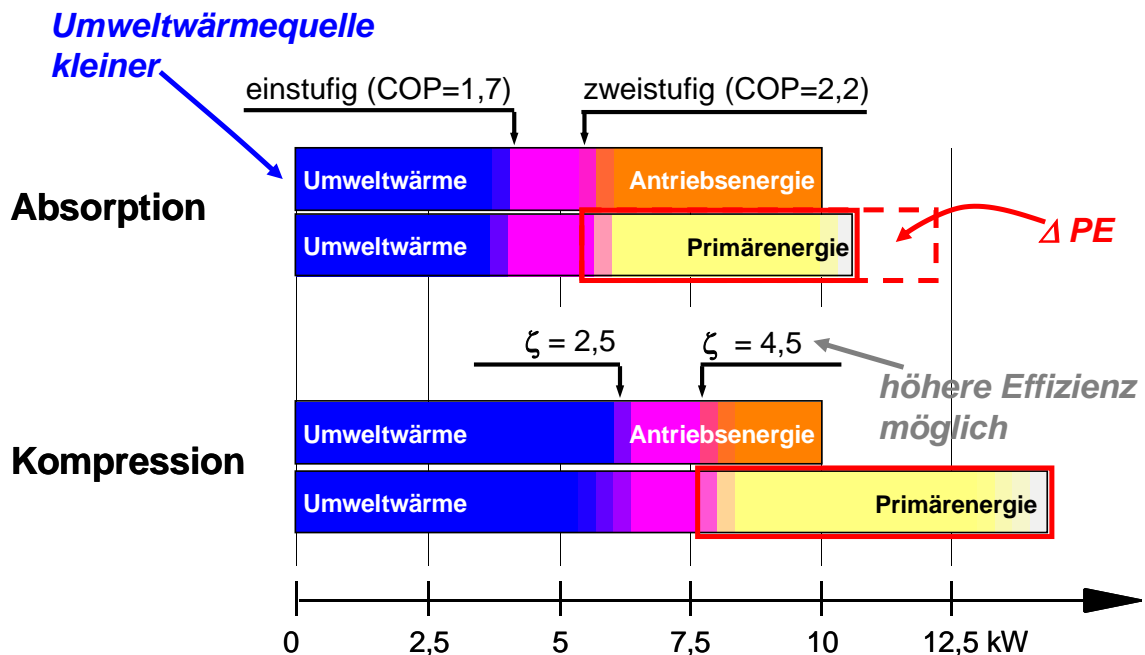
Fossile KWK	gute Verfügbarkeit, fossiler Brennstoff, Leistung?
Biomasse-KWK	gute Verfügbarkeit, Leistung?
Tiefengeothermie	geringe Betriebskosten, hoher Invest, Leistung?
Industrieabwärme	kostengünstig, prozessabhängig, Leistung?
Holzfeuerung	hohe Leistung, Trägheit
Absorptionswärmepumpen	thermisch, hohe Leistung, ggf. Antrieb m. eeff. Wärmequellen (Antrieb: Heizöl, Gas, Biomasse, Fernwärme, Tiefengeothermie...) (Wärmequelle: Geothermie-Rücklauf)
Kompressionswärmepumpen	elektrisch, hohe Leistung, geringer Temperaturhub (Antrieb: Stromnetz, BHKW, Gasturbine...) (Wärmequelle: Geothermie-Rücklauf)

27.10.2020

© ZAE Bayern

3

## Einsatz von Wärmepumpen Wirkungsgrad und Primärenergieeinsatz



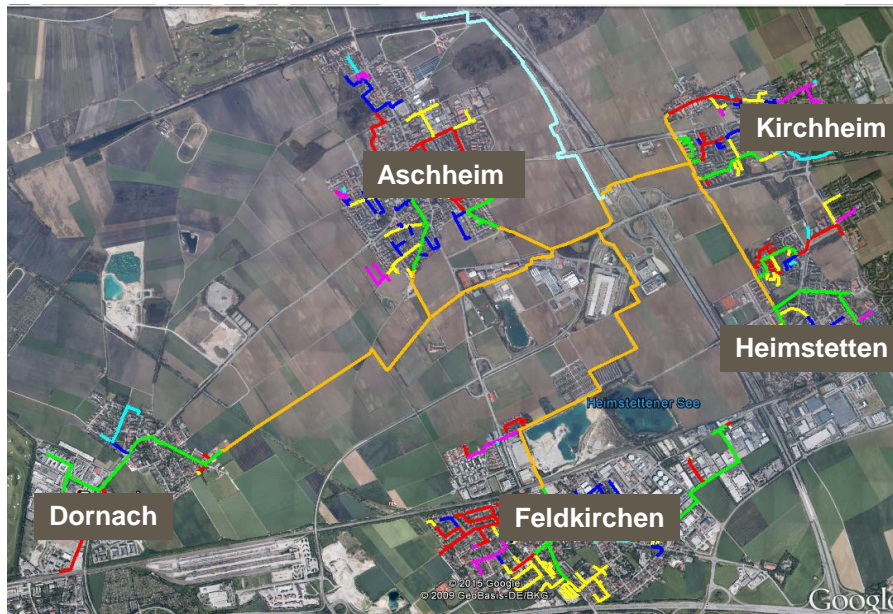
27.10.2020

© ZAE Bayern

4

## 1. Interkommunales Geothermieprojekt : AFK Geothermie GmbH

3 Gemeinden, 5 Orte, 1 Fernwärmeprojekt



27.10.2020

© ZAE Bayern

5

## 1. Interkommunales Geothermieprojekt: AFK Geothermie GmbH

### Historie

16.09.2008	Bohrbeginn Förderbohrung (ET 2621 m TVD)
20.01.2009	Entscheidung für Glasfasernetz
2009	Bau Energiezentrale und Thermalwassertrasse
27.03.2009	Bohrbeginn Reinjektions-Bohrung (ET 2529 m TVD)
Oktober 2009	Aufnahme der Wärmeversorgung
Seit 2009	Ausbau des Fernwärmenetzes
31.12.2019	Wärmelieferung an 1211 HÜS (ca. 1500 Gebäude) Vertragliche Anschlussleistung: 57,7 MW



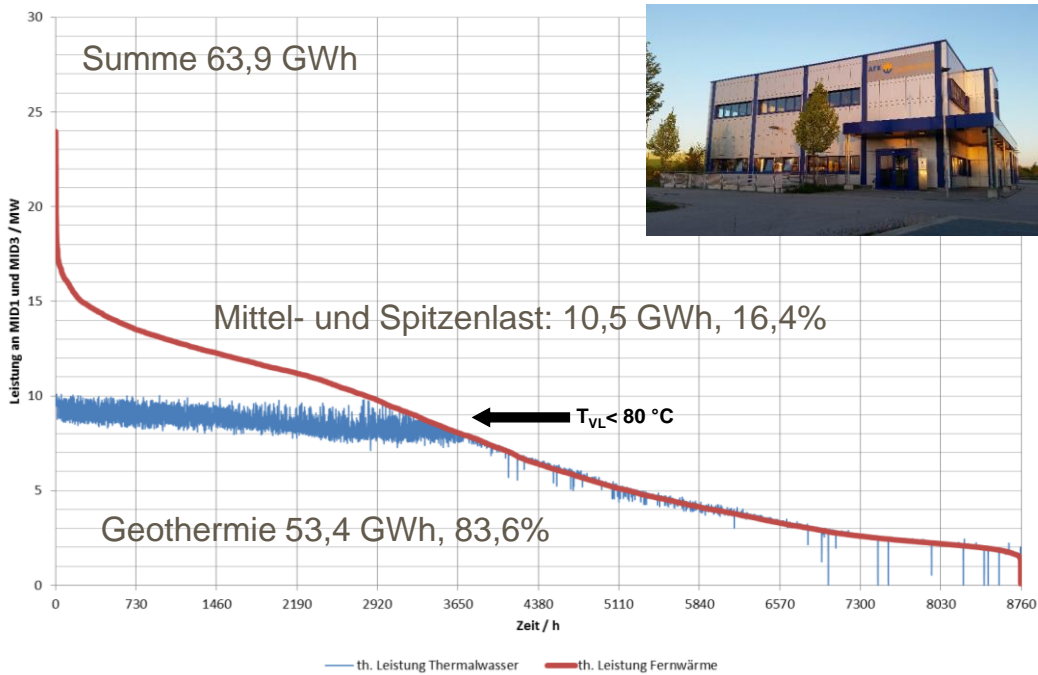
27.10.2020

© ZAE Bayern

6



## Energiezentrale AFK-Geothermie GmbH: Wärmebereitstellung 2013

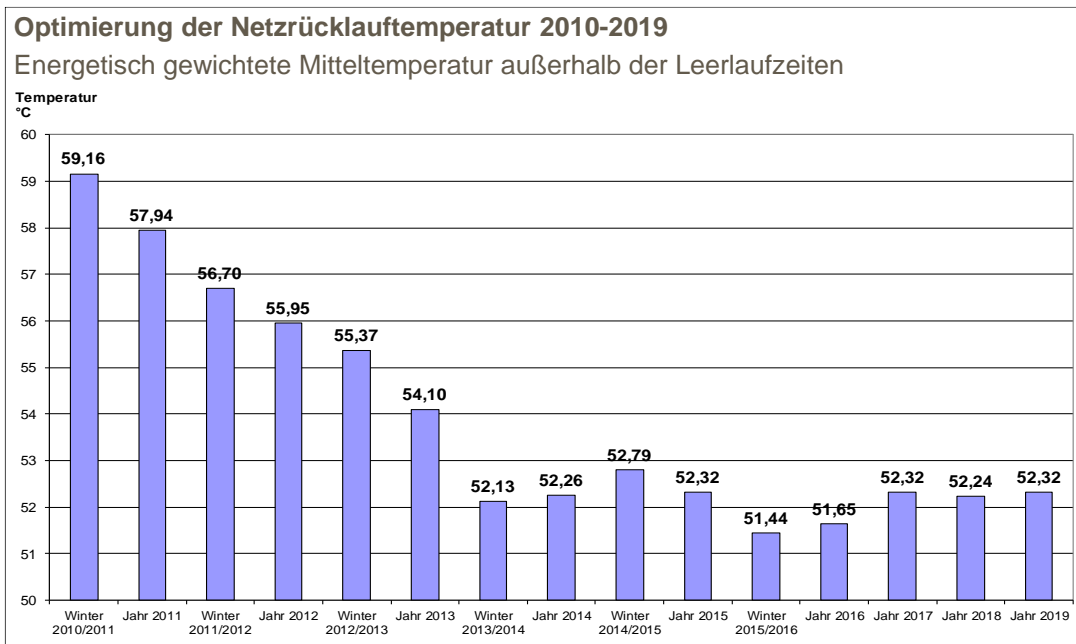


27.10.2020

© ZAE Bayern

7

## Fernwärmenetz der AFK-Geothermie GmbH: Optimierung der Netzzrücklauftemperatur



27.10.2020

© ZAE Bayern

8

## Energiezentrale der AFK-Geothermie GmbH: Umgesetzte Maßnahmen 2015

- Erhöhung der geothermischen Förderrate von ca. 77,4 l/s auf > 84,7 l/s durch Einbau einer neuen Tauchkreiselpumpe
- Bau einer Erdgasleitung
- Erweiterungsbau der Energiezentrale
- Umstellung der Mittellast auf Erdgasbetrieb
- Erhöhung der Backup-Leistung von rd. 18 MW<sub>th</sub> auf rd. 28 MW<sub>th</sub> durch Multifuelkessel



27.10.2020

© ZAE Bayern

9

## Energiezentrale der AFK-Geothermie GmbH: Umgesetzte Maßnahmen 2016

- Fertigstellung Erweiterungsbau der Energiezentrale
- Einbau eines Blockheizkraftwerks (851 kW<sub>el</sub>, 1,1 MW<sub>th</sub>)



### Erdgas-BHKW

#### Planzahlen 2016

- Stromwirkungsgrad 40,6 %
- Thermischer Wirkungsgrad 50,2 %
- Gesamtwirkungsgrad 90,8 %
- 50% teillastfähig
- wärmegeführt
- Autarkiegrad ca. 50 %

#### Betrieb 2019

- JAZ Stromerzeugung 38,4 %
  - JAZ Wärmeerzeugung 49,2 %
  - JAZ Gesamterzeugung 87,6 %
- Strom
- Eigennutzungsgrad 99,2 %
  - Autarkiegrad 57,3 %

27.10.2020

© ZAE Bayern

10

## Energiezentrale der AFK-Geothermie GmbH: Umgesetzte Maßnahmen 2016

- Einbau einer mit Erdgas direktbefeuerten LiBr-Absorptionswärmepumpe (Mittellast)
- Inbetriebnahme der Mittellastanlage
- Erhöhung der Backup-Leistung von rd. 28 MW<sub>th</sub> auf rd. 32 MW<sub>th</sub> durch BHKW sowie Gasbrenner der AWP



### Mindestanforderungen an LiBr-AWP:

- Einstufig, 5 MW<sub>th</sub>
- Integrierter Brenner (Erdgas)
- Temperaturhub 52°C/80 °C
- Wirkungsgrad (COP) ~ 1,65
- Teillastfähigkeit 25%



27.10.2020

© ZAE Bayern

11

## Energiezentrale der AFK-Geothermie GmbH: Performance der AWP

### Maschine auf Prüfstand im Auslegungspunkt:

- 5 MW<sub>th</sub>
- COP ~ 1,61
- Andere Gaszusammensetzung umgerechnet
- Maschine ungedämmt
- Ausschreibungsziele erreicht



### Maschine im Betrieb:

- Bis zu 5,5 MW<sub>th</sub>
- JAZ 2018 ~ 1,72
- JAZ 2019 ~ 1,69
- Messungenauigkeit > 3%
- T<sub>FWVL</sub> < 80 °C, parallel eingebunden
- Maschine gedämmt
- Einbindung Evaporator seriell
- Korrosion Vakuumpumpe



27.10.2020

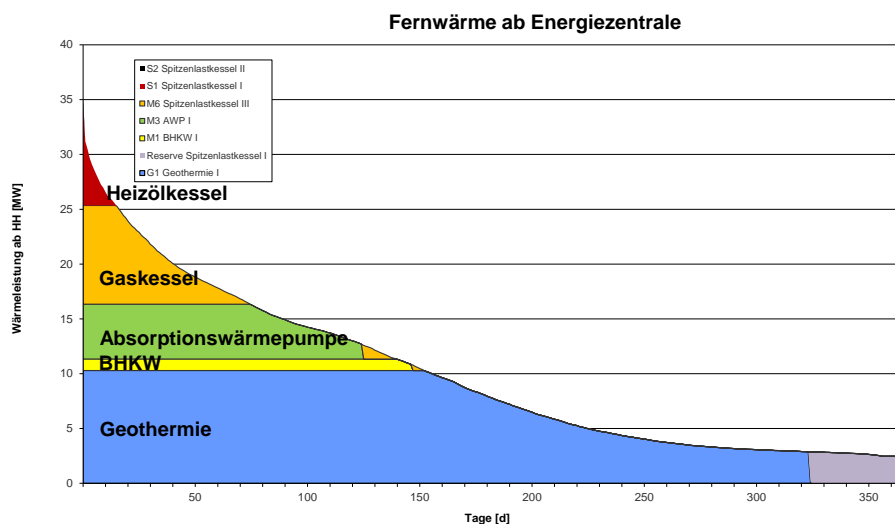
© ZAE Bayern

12

## Energiezentrale der AFK-Geothermie GmbH: Anlagenkonfiguration 2017



- Netzdienstliches BHKW: Eigenstromabdeckung mit wärmegeführtem Winterbetrieb (Sommer: Netzstrombezug)
- AWP kühlt Thermalwasserrücklauf über Sekundärseite aus

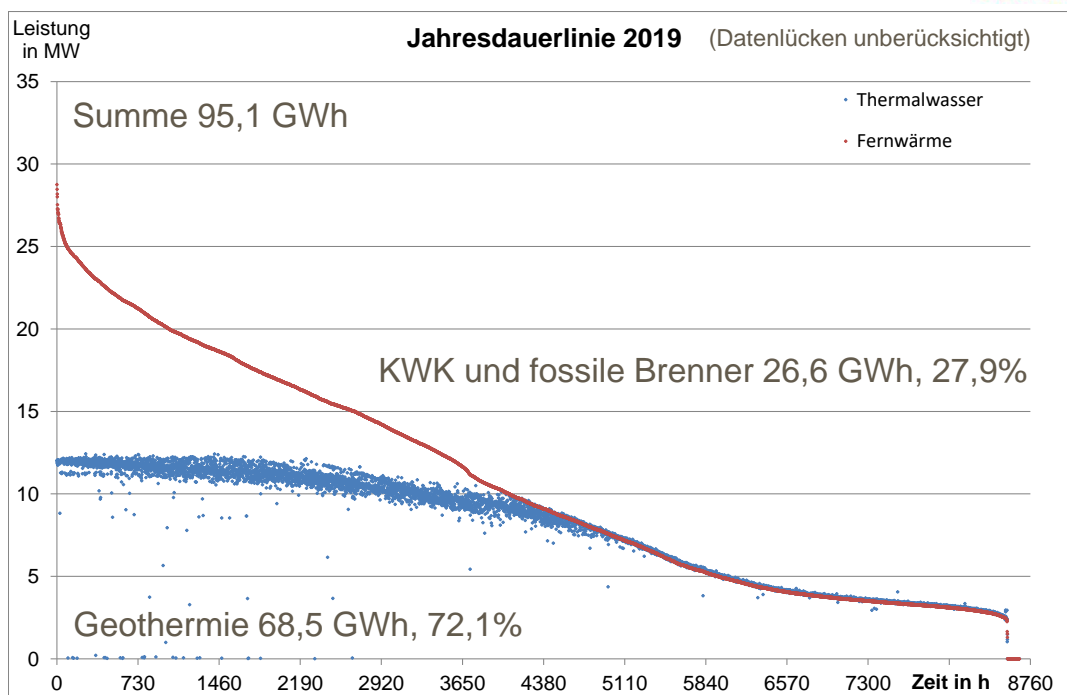


27.10.2020

© ZAE Bayern

13

## Energiezentrale der AFK-Geothermie GmbH: Wärmebereitstellung 2019



27.10.2020

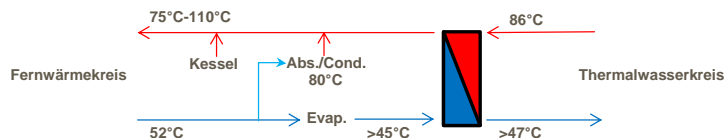
© ZAE Bayern

14

## Energiezentrale der AFK-Geothermie GmbH: Fazit Systemperformance



- Deutliche Schwankung der AWP Lastanforderung, in 2019: Hälfte der Betriebsdauer in Teillast
- Wegen sekundärseitiger Einbindung: Sekundärseitige Überströmung des Thermalwasser-Wärmeübertragers mit AWP-Betrieb nicht sinnvoll, Benefit für System-COP beschränkt



- Primärseitige Einbindung effizienter, aber u. a. Thermalwasserfestigkeit erforderlich, für Backupleistung Bypass erforderlich
- Für Systeme mit niedrigeren Thermalwassertemperaturen weniger relevant, zusätzlicher Benefit wegen Temperaturerhöhung der  $T_{FWVL}$

27.10.2020

© ZAE Bayern

15

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

## Kontakt

**Dr. Jens M. Kuckelkorn**  
Systementwicklung | Systems Engineering

ZAE Bayern  
Walther-Meißner-Str. 6 | 85748 Garching | Germany  
Jens.Kuckelkorn@zae-bayern.de

[www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)

Institutionelle Förderung  
durch

Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie





**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Mit Wärme Kühlen: Adsorber im Einsatz

Gregor Feig, FAHRENHEIT GmbH



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.



 **FAHRENHEIT**

**2002**  
Gründung

**>700**  
Installationen weltweit



**>30**  
Patente

**10 - 610**  
kW Kälteleistung

**35**  
Hoch qualifizierte Mitarbeiter

| Seite 2



### FAHRENHEIT

Adsorptionskälte spart Energie, reduziert Investitionsbedarf ins Stromnetz – und schont die Umwelt



Kann **circa 70-90 % Strom** im Vergleich zu klassischer Kühlung sparen (bei systemtypischen Kaltwassertemperaturen, aktive Kühlphase, mitteleuropäisches Klima)



Kommt **ohne synthetische Kältemittel** oder **toxische Substanzen** aus

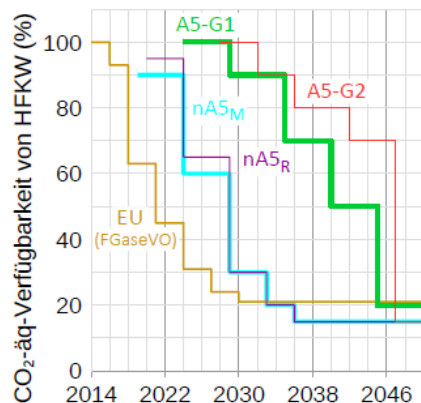
### FAHRENHEIT

## Kältemittel und ihr GWP – global warming Potential

Der Klimawandel wird vor allem durch CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht. Aber nicht nur!

GWP - definiert das relative Treibhauspotenzial eines Kältemittel oder Gases im Bezug auf CO<sub>2</sub>. Die Abkürzung hierfür lautet **CO<sub>2</sub>e** (e - für equivalent). Der Wert beschreibt die Wirkung der mittleren Erwärmung über einen bestimmten Zeitraum. (meist 100 Jahre)

Verhandlung 2009-2016 Kigali Amendment zum Montreal Protocol (1987)



Rückgang der Marktverfügbarkeit synthetischer Kältemittel von 2015 – 2047 für die EU sowie die Artikel-5- und Nicht-Artikel-5-Staaten des Montreal-Protokolls

- **EU:**
- **Artikel-5-Gruppe 2:** Bahrain, Indien, Iran, Kuwait, Oman, Pakistan, Katar, Saudi Arabien, Vereinigte Arabische Emirate
- **Artikel-5-Gruppe 1:** alle anderen Entwicklungsländer
- **Non-Artikel-5<sub>rest</sub>:** Weißrussland, Russland, Kasachstan, Tadschikistan, Usbekistan
- **Non-Artikel-5<sub>Main</sub>:** alle anderen UN-Staaten (ohne EU)



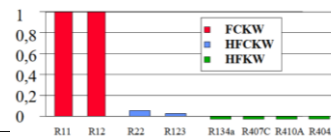
**FAHRENHEIT**

Die wichtigsten Kältemittel

Rechtlicher Status der Kältemittel gemäss Anhang Z.10 ChemRRV	Kategorie	Kältemittel	GWP <sup>1</sup>	Sicherheitsgruppe <sup>2</sup>	Bemerkungen	
Ozonschicht-abbauende, verbotene Kältemittel	FCKW (chlorhaltig, perhalogeniert)	R11 R12 R502 (Gemisch) R13B1	4750 10900 4657 7140	A1 A1 A1 A1	Verbot für Neuanlagen, Weiterverkauf, Erweiterungen und Umbauten. Bestehende Anlagen dürfen weiter betrieben, aber nicht mehr nachgefüllt werden. Für bestehende Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel: Meldepflicht (www.smkw.ch), Wartungsheft und Dichtigkeitsprüfung erforderlich.	
	HFKW (chlorhaltig, teilweise halogeniert)	R22	1810	A1		
In der Luft stabile Kältemittel, begrenzt anwendbar in neuen Anlagen und Geräten	FKW / HFKW (chlorfrei)	Einstoff-Kältemittel	R23 R32 R134a R125 R143a	14800 675 1430 3500 4470	A1 A2L <sup>4</sup> A1 A1 A2L <sup>4</sup>	Neuerstellungen, Erweiterungen und Umbauten von Anlagen mit in der Luft stabilen Kältemitteln über bestimmten Kälteleistungen sind seit 1.12.2013 verboten. Voraussetzung für eine Ausnahmegenehmigung: nach dem Stand der Technik sind die Sicherheitsanforderungen gemäss SN EN 378-1, -2 und -3 ohne in der Luft stabile Kältemittel nicht erfüllbar. Für Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel: Meldepflicht (www.smkw.ch), Wartungsheft und Dichtigkeitsprüfung erforderlich.
		Gemische (Blends)	R404A R407C R407F R410A R413A R417A R422A R422D R437A R507A	3920 1770 1825 2090 2050 2350 3140 2730 1685 3980	A1 A1 A1 A1 A2 A1 A1 A1 A1 A1	
		Gemische mit HFO (Blends)	R448A R449A R450A R513A	1386 1397 601 631	A1 A1 A1 A1	
Zulässige Kältemittel unter Vorbehalt der Einhaltung der Sicherheitsanforderungen	Natürliche Kältemittel	Einstoff-Kältemittel	R170 (Ethan) R290 (Propan) R717 (NH <sub>3</sub> ) R718 (H <sub>2</sub> O) R744 (CO <sub>2</sub> ) R600a (Isobutan) R1270 (Propen)	6 3 0 0 1 3 2	A3 A3 B2L <sup>4</sup> A1 A1 A3 A3	Natürliche Kältemittel sind für Neuanlagen, Erweiterungen und Umbauten anzustreben. Für Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel: Wartungsheft erforderlich.
		Gemische (Blends)	R290/R600a R290/R170 R723 (DME/NH <sub>3</sub> )	3 3 8	A3 A3 - 3	
	HFO (teilhalogenierte Fluor-Olefine)	R1234yf R1234ze	4 7	A2L <sup>4</sup> A2L <sup>4</sup>	Zulässige Kältemittel. Für Anlagen mit mehr als 3kg Kältemittel: Wartungsheft erforderlich.	

Kältemittel-Klassifizierung

OAP Ozonabbau-Potential verglichen mit R11



1987 2015 (2030)

**Sicherheit (Brennbarkeit/Giftigkeit)**

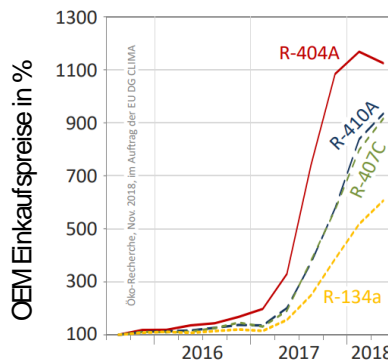
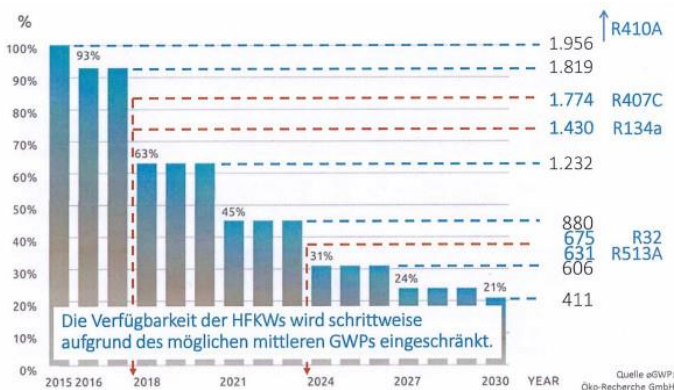
ASHRAE (American Society of Heating and Refrigeration and Air Conditioning Engineers) Norm 34 gibt eine Sicherheitsqualifikation für Kältemittel vor

stark brennbar	A3	B3
leicht brennbar	A2	B2
nicht brennbar	A1	B1
	ungiftig	giftig

Seite 5

**FAHRENHEIT**

F-Gase Verordnung in der EU – Die Zukunft konventioneller Kältetechnik



Adsorptionskältemaschinen nutzen reines Wasser als Kältemittel!

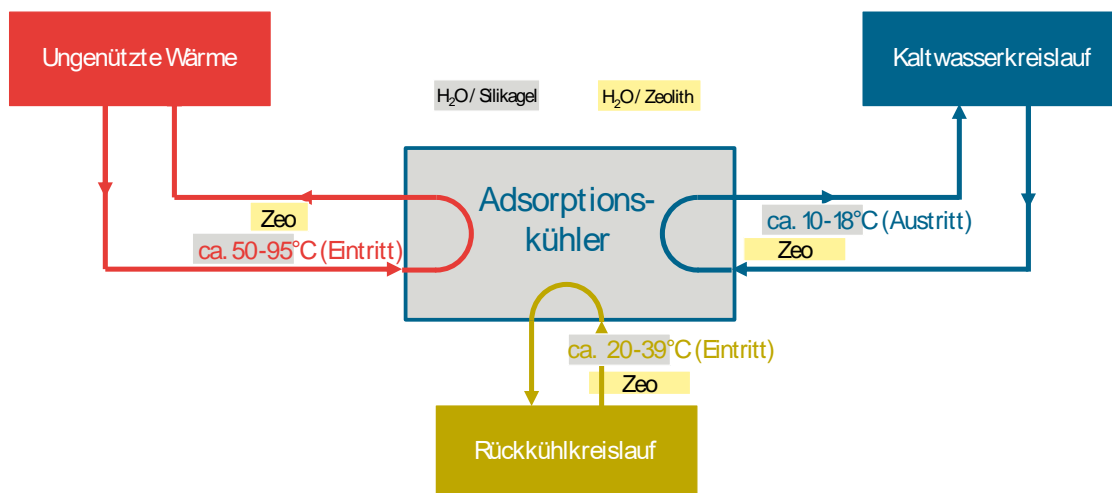


Quellen Ice-Tex (DKV) + Öko Recherche GmbH

Seite 6

## FAHRENHEIT

Die Adsorptionskältemaschine ist in drei Kreisläufe eingebettet. Zum Antrieb dient der Heißwasserkreislauf



[www.fahrenheit.cool](http://www.fahrenheit.cool)

| Seite 7

## FAHRENHEIT

Einatz - Beispiele: die Gründungsidee – solare Kühlung

**Adsorptionskühlsystem von Fahrenheit beim Deutschen Patentamt**

Eckdaten	
Antriebstemperatur	75 - 70°C
Kälteleistung	150 kW
Kaltwassertemperatur	20 - 16°C
Rückkühlung	trocken / besprüht
Betriebsstunden	ca. 1500/a
Inbetriebnahme	2010 / 2016

**Antriebswärme**

Vakuurröhre / solarthermische Kollektoren

**Kühlanwendung**

Strahlungskühlplatten (sensible Kühlung)

Quelle: Fahrenheit

| Seite 8

## FAHRENHEIT

Einsatz - Beispiele: die häufigste Anwendung – KWKK unterstützt Bestand

### Funke Components

#### Antriebswärme

KWKK im Container: Schlüsselfertiges Energie, Wärme- und Kältemodul in die vorhandene Infrastruktur integriert

#### Kälteverwendung

Ganzjährige Nutzung für Produktionsprozesse, v.a. Werkzeugkühlung



#### Eckdaten

Antriebsleistung	80 kW
Antriebstemperatur	85 - 70°C
Kälteleistung	40 kW
Kaltwassertemperatur	19 - 15°C
Rückkühler	trocken
Betriebsstunden	ca. 6000/a

ROI = 2,8 Jahre

| Seite 21

| Seite 9

## FAHRENHEIT

Einsatz - Beispiele: die häufigste Anwendung – KWKK mit integrierter Spitzenlast Propan KKM

### FAHRENHEIT HybridChiller eCoo 20 HCN 60

#### Antriebswärme | Gesamtwärmebedarf

BHKWl 22 kWel, 51,3 kWth:

#### Kälteverwendung | Verteilung

Gebäudekühlung über Fußbodenheizung



#### Eckdaten

Antriebsleistung	51,3 kW
Antriebstemperatur	85 °C
Kälteleistung	bis zu 29 +60kW
Kaltwassertemperatur	17-21°C
Rückkühler	trocken eRec 20 80

| Seite 10



### FAHRENHEIT

#### Einatz - Beispiele: riesiges Potential – Abwärmenutzung

##### Gummiwerk

###### Antriebswärme

Kondensat eines Dampfprozesses dient zum Antrieb von 3 Adsorptionskälteanlagen

###### Kälteverwendung

Kälteleistung wird zur Kühlung eines Schalt-/ Serverraums verwendet



##### Eckdaten

Antriebsleistung	72 kW
Antriebstemperatur	90 - 81°C
Kälteleistung	37 kW
Kaltwassertemperatur	18 - 14°C
Rückkühler	trocken
Kompressionskälte	zur Spitzenlastabdeckung
Inbetriebnahme	2015

ROI = 3,5 Jahre

### FAHRENHEIT

#### Einatz - Beispiele: riesiges Potential - Abwärmenutzung

##### Erko CNC

###### Antriebswärme

Druckluftabwärme aus Kaeser-Kompressoren

###### Kälteverwendung

Die erzeugte Kälte wird das ganze Jahr für die Werkzeugkühlung mittels Bohremulsion genutzt



Bei Druckluftkompressoren wird mehr als 90% der Primärenergie in Wärme umgesetzt (Beispiel CNC-Fertigung)

##### Eckdaten

Antriebsleistung	105 kW	Rückkühler	trocken
Antriebstemperatur	75°C	Betriebsstunden	ca. 6000/a
Kälteleistung	63 kW	Inbetriebnahme	2016
Kaltwassertemperatur	20°C		

ROI = 3,3 Jahre



## FAHRENHEIT

### Einatz - Beispiele: Fernwärme als Antrieb für Kälte - Contracting

#### Stadtwerke Heidelberg

##### Antriebswärme

Fernwärme, die aus einem nahegelegenen Holz-Heizkraftwerk kommt.

##### Kälteverwendung

Klimatisierung eines Kinos über eine Lüftungsanlage.

##### Eckdaten

Antriebsleistung	80 kW
Antriebstemperatur	85 - 70°C
Kälteleistung	40 kW
Kaltwassertemperatur	19 - 15°C
Rückkühler	trocken
Betriebsstunden	ca. 5.000/a



## FAHRENHEIT

### Einatz - Beispiele: Fernwärme als Antrieb für Kälte - Contracting

#### IEP Pullach - DJE Kapital AG

##### Antriebswärme

Fernwärme aus Geothermie.

##### Kälteverwendung

Kühlung des Serverraums und der Büroflächen über den Fußboden.

##### Eckdaten

Antriebsleistung	30 kW
Antriebstemperatur	85 - 70°C
Kälteleistung	16 kW
Kaltwassertemperatur	19 - 15°C
Rückkühler	trocken
Inbetriebnahme	2015





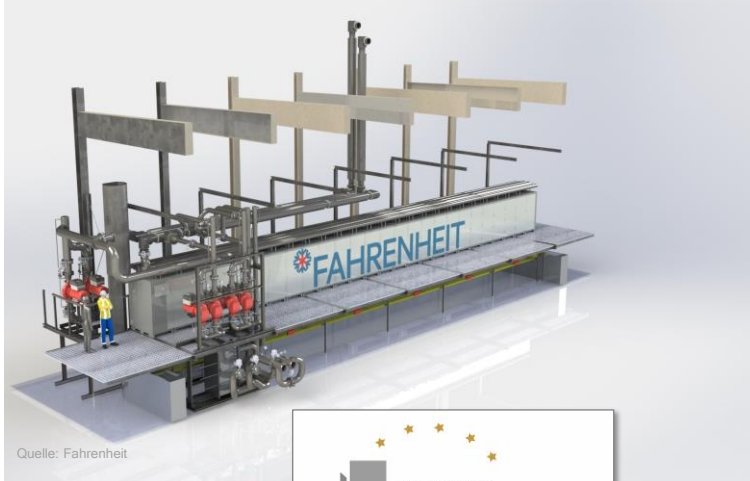
**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

## FAHRENHEIT

### Einatz - Beispiele: die häufigste Anwendung – KWKK

#### Fahrenheit Adsorptionskühlsystem am Leibniz-Rechenzentrum



Quelle: Fahrenheit



Fakten	
Antriebstemperatur	52,5°C
Kälteleistung	608 kW
Kaltwassertemperatur	18°C
Rückkühlung	Hybrid (2 Einheiten)
Länge	21 m
Länge der Rohre	ca. 170 m PE-Rohre ca. 70 m Edelstahlrohre



Quelle: Leibniz-Rechenzentrum

#### Hochleistungsrechner am Leibniz-Rechenzentrum

Super MUC-NG at LRZ - Selbstkühlung von 1.7 MW Warm- und Kaltwasser

| Seite 15

## FAHRENHEIT

### Rack-integrierte Selbstkühlung bei High Performance Computing

Integration einer Adsorptionskühlmaschine in ein Standard-19-Zoll-Computer-Rack

Modulares Kühlsystem für stark vereinfachte Planung und Installation der Infrastruktur (Warmwasser- und Kaltwasserkreislauf sind im Rack enthalten)

Temp. Bereich	Warmwasser	50 – 60 °C
	Rückkühlung	25 – 30 °C
	Kühlung	15 – 20 °C



Erster Prototyp, Sommer 2019

| Seite 16

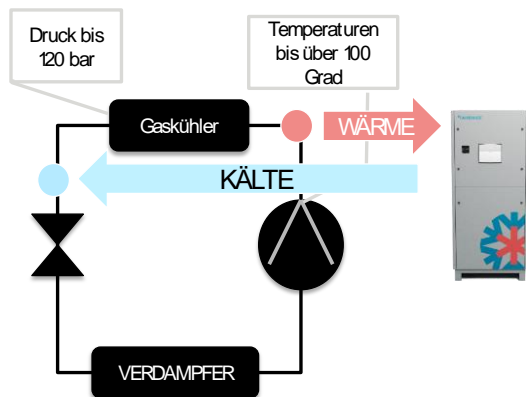


**ASUE**

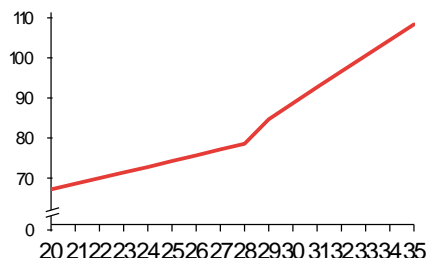
Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

## FAHRENHEIT

Einsatz - Beispiele: Abwärme einer Supermarktkühlung wird mittels Adsorption zur Effizienzsteigerung genutzt.



Austrittstemperatur Verdichter [°C]



Umgebungstemperatur [°C]



**Supermarkt nahe Mailand**  
Inbetriebnahme 2018

| Seite 17

## FAHRENHEIT



FAHRENHEIT GmbH  
Siegfriedstraße 19  
80803 München  
Deutschland  
Telefon +49 89-340 762-20

[www.fahrenheit.cool](http://www.fahrenheit.cool)



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Gaswärmepumpen in der praktischen Anwendung

Gasmotorwärmepumpen: Christian Tille, YANMAR Energy System Europe GmbH





**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

Dieser Beitrag beinhaltet eine Live-Vorführung der Heizungszentrale von YANMAR Energy System Europe GmbH und kann daher nicht abgedruckt werden.



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Gaswärmepumpen in der praktischen Anwendung

Gasmotorwärmepumpen: Sven Burghardt, Schwank GmbH



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

**ASUE Fachtagung**  
27. Oktober 2020

Sven Burghardt  
Vice President Klimasysteme

## Gasmotorwärmepumpen

**Schwank**  
Heating, Cooling, Systems.

**Panasonic**  
heating · cooling solutions



### Agenda

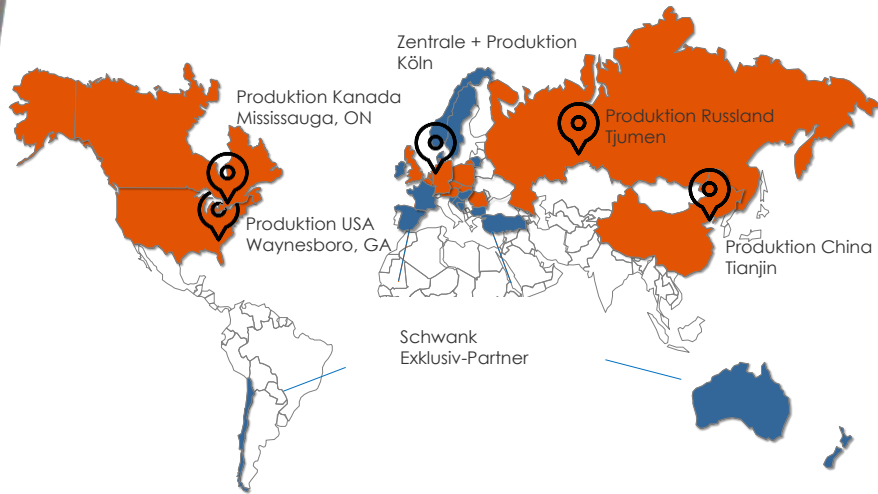
- Schwank / Panasonic
- Projektbeispiele Gasmotorwärmepumpe
  - Burkhardt-Löffler
  - Matricel GmbH
  - Estrel Hotel
- Zusammenfassung / Fazit



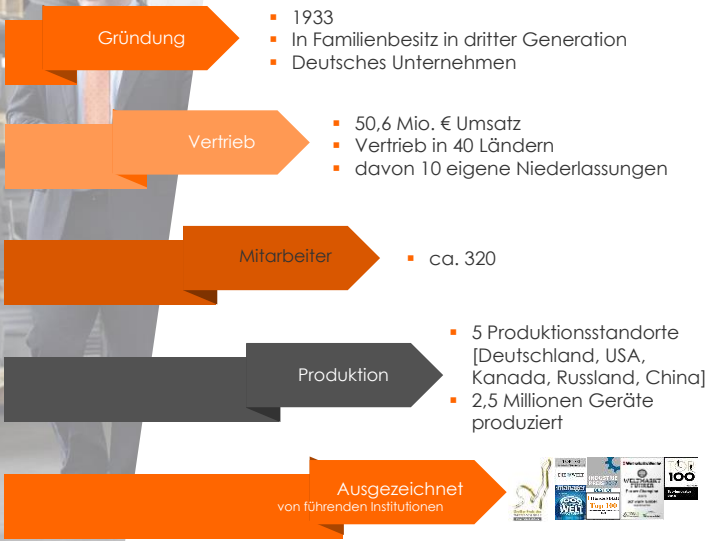
**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

**Schwank Gruppe**



**Schwank Gruppe**





**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.



## Infrarot Strahlungsheizung

**Dunkelstrahler  
deltaSchwank**

bluTek – Schwert-Brenner mit hochtemperaturbeständigem Brennraum



Modulierender EC-Motor

Feran-Reflektor mit Zwischenreflektor und optimierter Delta-Reflektorgeometrie

ModBus-Anbindung zur Integration in Building Management Systeme

Hochtemperaturbeständiges Edelstahl-Flammrohr

Pneumatischer Gas/Luft-Verbund, modulierend über Gas/Luft-Verhältnisregelung



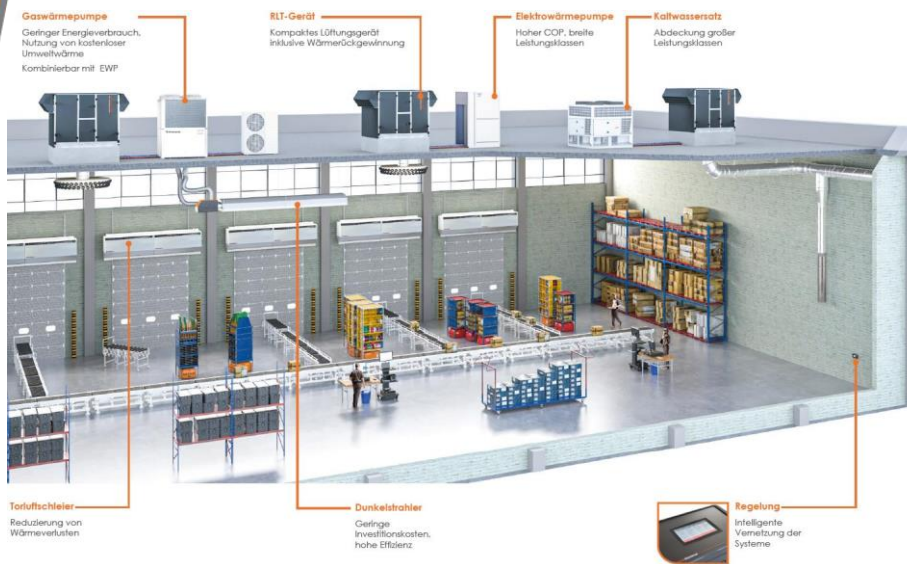


**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.



### Schwank Systembausteine für effizientes Hallenklima



## Panasonic

Kurz vorgestellt



- Unternehmensgründung 1918
- 62\* Mrd. € Umsatz [netto]
- 274.000\* Mitarbeiter
- Nr. 1 bei GWP's, führend bei EWP's
- Seit mehr als 60 Jahren führend bei Heiz- und Kühlsystem
- Seit über 30 Jahren GWP Erfahrung
- 200.000 verkaufte Geräte weltweit



60<sup>th</sup> Anniversary  
heating & cooling solutions



**Anwendungsbeispiele**



**Projektvorstellung**

**Verwaltungsgebäude in Bayreuth**

Neubau Burkhardt-Löffler



- 8 x 29 kW Dunkelstrahler für Produktionsgebäude
- Gasmotorwärmepumpe zur Heizung und Kühlung des Bürogebäudes

**Geräte**

11

**Verwaltungsgebäude in Bayreuth**

Neubau Burkhardt-Löffler



Eingesetzte Geräte:

- Gasmotorwärmepumpe  
Panasonic U-30-GE3E5-S
- Wasser-Wärmeübertrager Panasonic  
PAW-710WP5G

**Anwendung**

12

**Verwaltungsgebäude in Bayreuth**

Neubau Burkhardt-Löffler

**Systembeschreibung**

1 Pufferspeicher „Heizen“ und „Kühlen“

- „Heizen“
  - Fußbodenheizung
- „Kühlen“
  - Deckenkassetten [Kaltwasser / Fancoils]

Fensterlüftung / keine mechanische Lüftung





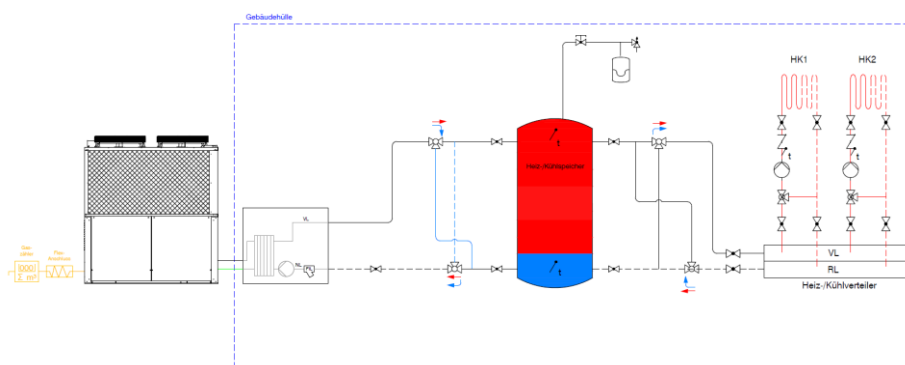
**Hydraulikschema**

13

**Verwaltungsgebäude in Bayreuth**

Neubau Burkhardt-Löffler

- Kühlen und Heizen mit manueller Umschaltung
- Wärmerückgewinnung: keine externe Nutzung


**Projektvorstellung**

14

**Estrel Hotel Berlin**

Erweiterung Kongresszentrum


Quelle: Estrel Berlin/Manuel Frauendorfer Fotografie

- Erweiterung des Tagungsbereich um 5.000 m<sup>2</sup>
- Mit zukünftiger Gesamtfläche von 28.500 qm größer als das 2014 geschlossene Internationale Congress Center (ICC)

**Geräte**

15

**Estrel Hotel Berlin**

Erweiterung Kongresszentrum



Eingesetzte Geräte:

- Gasmotorwärmepumpe Panasonic U-30-GE3E5-S
- Wasser-Wärmeübertrager Panasonic PAW-710WP5G
- Regelung bauseits

- Heizleistung 68,5 kW [45/35 °C]
- Kühlleistung 67 kW [7/13 °C]
- Wärmerückgewinnung: maximal 35,3 kW im Kühlfall / Vorlauftemp. 65°C.

Auslegung Norm-Außentemperatur: Berlin -14 °C

**Anwendung**

16

**Estrel Hotel Berlin**

Erweiterung Kongresszentrum

**Systembeschreibung**

- 800 l Puffer „Heizen“
  - Unterflurkonvektoren
  - Statische Heizkörper
- 800 l Puffer „Kühlen“
  - Unterflurkonvektoren
- WRG [Motorabwärme]: Trinkwassererwärmung

 RLT-Anlagen: 140.000 m³/h für bis zu 2.000 Personen  
 Kühlung mit Kältemaschinen + DX-Registern

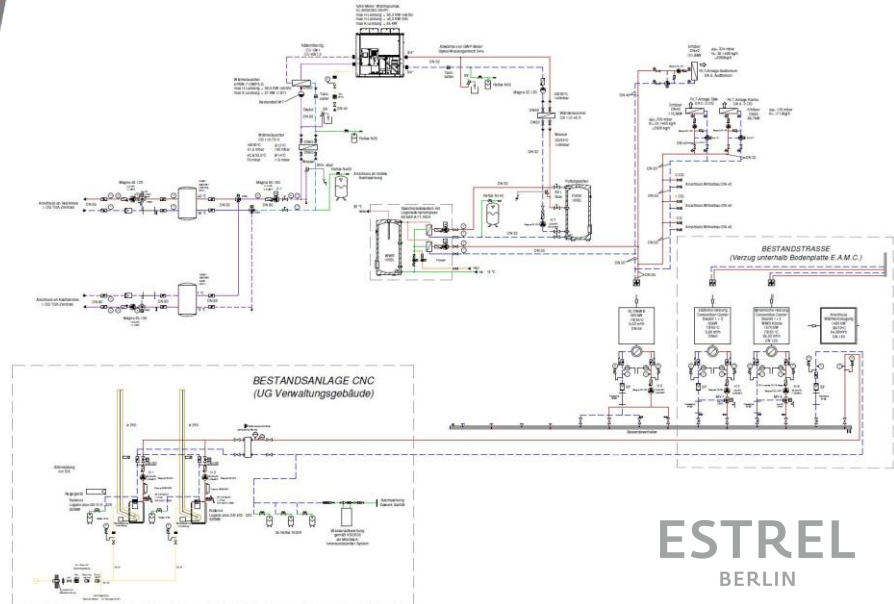
 Warum GWP: Erfüllung der EnEV (Regenerative Energie)  
 Betriebskosten

$$SCOP_H = \frac{F_{A\theta}}{\frac{F_{\theta 1}}{COP_{N1}} + \frac{F_{\theta 2}}{COP_{N2}} + \frac{F_{\theta 3}}{COP_{N3}}} = 1,3$$



**Hydraulik**

17



**Montage**

18

**Estrel Hotel Berlin**

Erweiterung Kongresszentrum

Montage incl. Kältemittelleitung



Montagegestell



Fertige Installation

**Projektvorstellung**

19

**Matricel GmbH Herzogenrath**

Wärme und Kälte für Raumheizung und -kühlung


Quelle: Aachener Nachrichten

Neubau Büro- und Betriebsgebäude

Das Unternehmen Matricel entwickelt, produziert und vermarktet Medizinprodukte und Pharmausgangsstoffe für Anwendungen in Medizin und Biotechnologie im Gebäude in Herzogenrath.

**Geräte**

20

**Matricel GmbH Herzogenrath**

Wärme und Kälte für Raumheizung und -kühlung



Eingesetzte Geräte:

- 2 Stück Gasmotorwärmepumpe Panasonic U-30-GE3E5-S
- 2 Stück Wasser-Wärmeübertrager Panasonic PAW-710WP5G
- Regelung der Heiz-Kühl-Kaskade

- Heizleistung  $2 \times 67,87 \text{ kW} = 135,74 \text{ kW}$  [45/30 °C]
- Kühlleistung  $2 \times 62,39 \text{ kW} = 124,78 \text{ kW}$  [7/13 °C]

Auslegung Norm-Außentemperatur: Aachen -12 °C

**Anwendung**

21

**Matricel Herzogenrath**

Wärme und Kälte für Raumheizung und -kühlung


**Systembeschreibung**

- 1.500 l Puffer „Heizen“
  - RLT-Anlage 65 kW [45/30 °C]
  - Deckensegel 60 kW [40/37 °C]
  - Statische Heizkörper [45/30 °C]
- 1.500 l Puffer „Kühlen“
  - RLT-Anlage 60 kW [6/12 °C] Entfeuchtung/Kühlung Zuluft Büros
  - Deckensegel: 55 kW [18/21 °C] Kühlung Büros

Ganzjährig Kühlen + Heizen / Deckensegel im 4-Leiter-System

- WRG [Motorabwärme]: Trinkwassererwärmung / Heisspeicher

$$SCOP_H = \frac{F_{A,g}}{\frac{F_{g1}}{COP_{N1}} + \frac{F_{g2}}{COP_{N2}} + \frac{F_{g3}}{COP_{N3}}} = 1,3$$

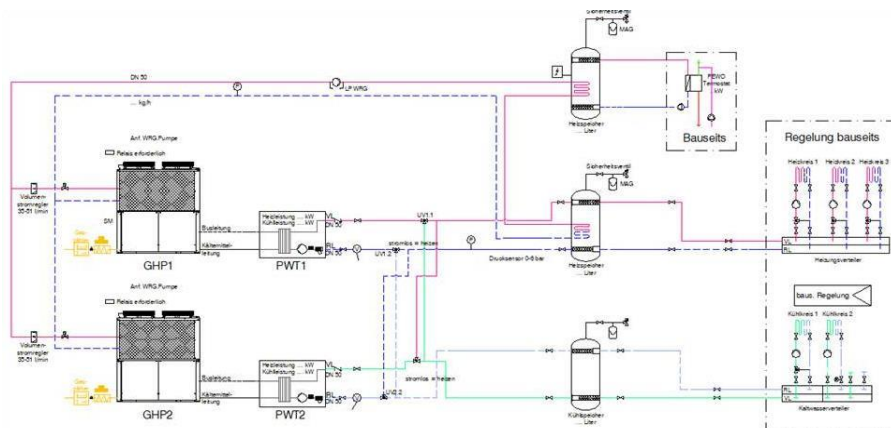
**Hydraulik**

22

**Matricel Herzogenrath**

Wärme und Kälte für Raumheizung und -kühlung

- Kühlen und Heizen ganzjährig / GWP umschaltbar
- Wärmerückgewinnung auf Pufferspeicher WW-Bereiter / Heisspeicher





#### Zusammenfassung / Fazit

- Flexibel einsetzbar bei Neubau und Sanierung
- Besonders hoher Nutzen bei Anforderung Kühlen, Heizen und Warmwasser/Wärmerückgewinnung
- Empfehlung: getrennte Pufferspeicher Kühlen und Heizen
- Jedes Projekt ist anders:  
Volle Nutzung des GWP-Potentials durch projektspezifisches Regelungssystem
- Wirtschaftlich u. a. durch günstiges Verhältnis elektrischer Strom / Gas
- ...und Gasmotorwärmepumpen von Panasonic sind BAFA-gelistet



**Wir freuen uns  
auf ihre Projektanfragen.**





**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Gaswärmepumpen in der praktischen Anwendung

Gasabsorptionswärmepumpen: Peter Kuhl, Bosch Thermotechnik GmbH



Dieser Vortrag musste wegen technischer Probleme leider entfallen, wird aber bei der kommenden Fachtagung im März 2021 nachgeholt.





**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Einordnung von Gaswärmepumpen im GEG und Fördermöglichkeiten

Jürgen Kukuk, ASUE e. V.



ASUE

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.



ASUE

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

## Einordnung von Gaswärmepumpen im GEG und Fördermöglichkeiten

Stand: 27. Oktober 2019

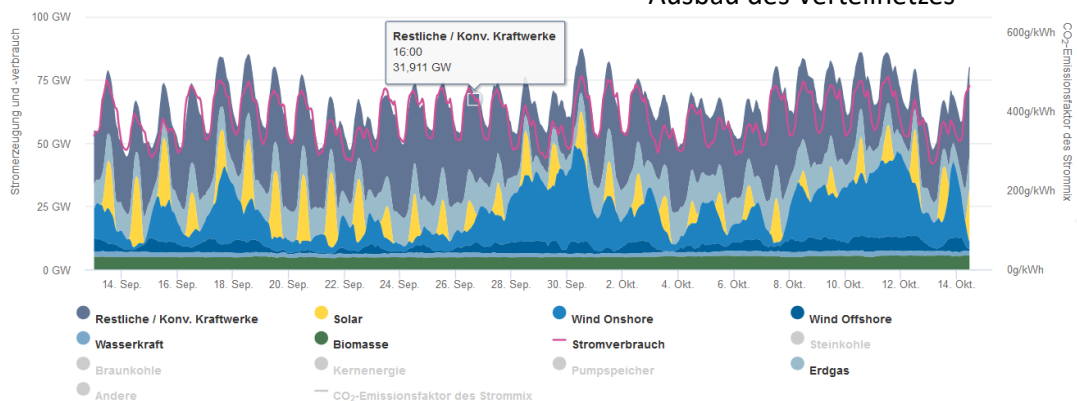
ASUE-Fachtagung

Dipl. -Ing. Jürgen Stefan Kukuk

### Verfügbarkeit und Preistrends Strom

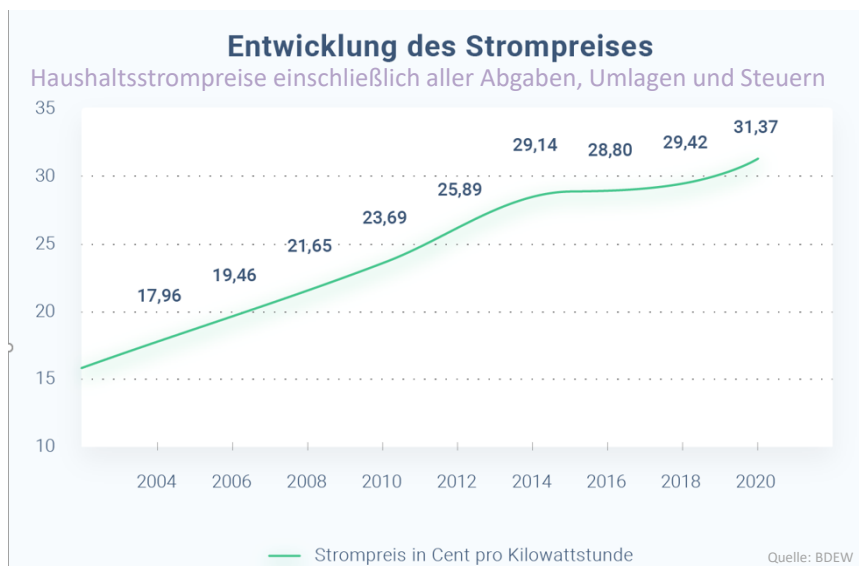


- Höherer Anteil erneuerbare Stromerzeugung
- Zunehmende Volatilität
- Sukzessive Abschaltung Kohle
- Atomausstieg
- Investitionen in HS- und Verteilnetz
- Ausbau des Verteilnetzes

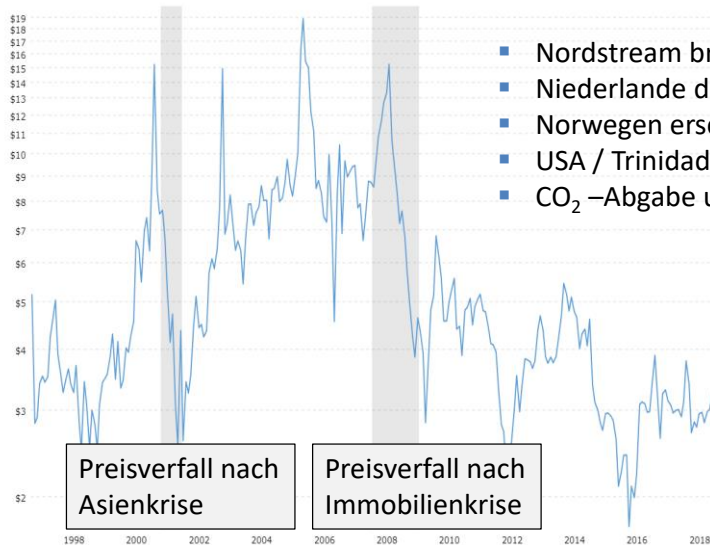


Jürgen Stefan Kukuk, ASUE

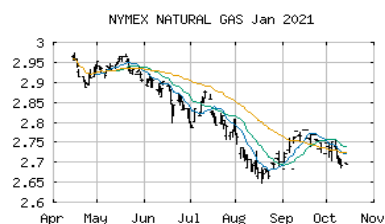
2

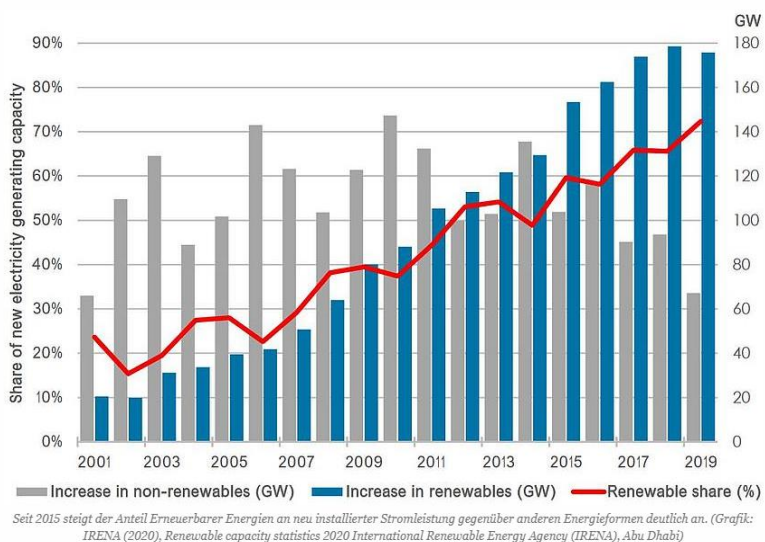


### Verfügbarkeit und Preistrends Erdgas



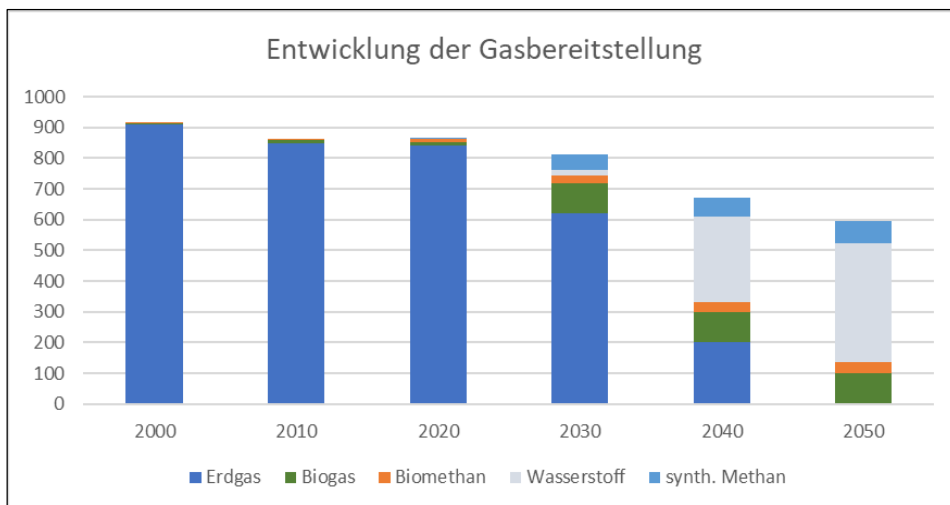
- Nordstream bringt zusätzliche Gasverfügbarkeit
- Niederlande drosseln planmäßig Lieferung L-Gas
- Norwegen erschließt Barentssee
- USA / Trinidad liefern LNG nach Europa
- CO<sub>2</sub> -Abgabe und Netzkosten



**Drei Viertel der neu installierten Stromleistung ist Erneuerbar**


Jürgen Stefan Kukuk, ASUE

5

**Entwicklung der Gasbereitstellung**


ASUE Recherchen aus Branchenangaben

Jürgen Stefan Kukuk, ASUE

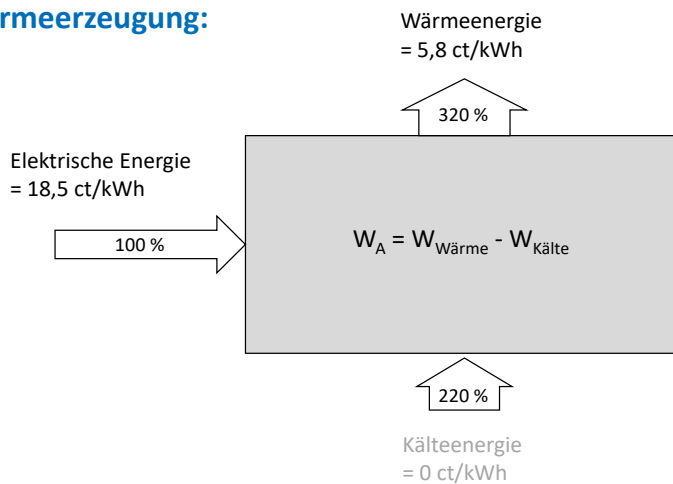
6



## Wärmemengen und Kosten der elektrischen Anwendung



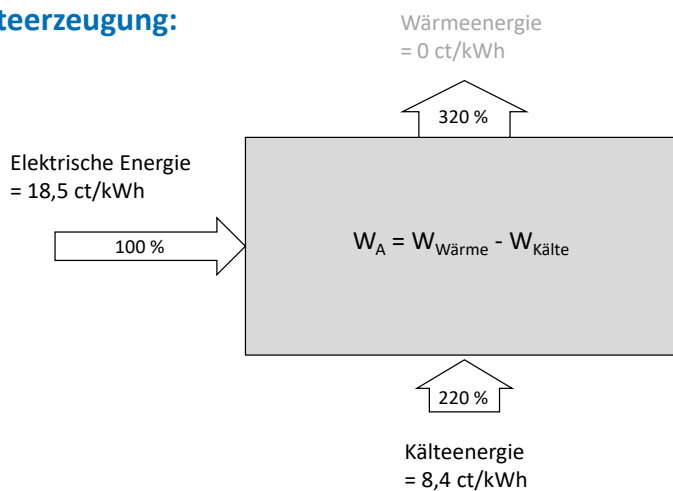
### Wärmeerzeugung:



## Wärmemengen und Kosten der elektrischen Anwendung



### Kälteerzeugung:

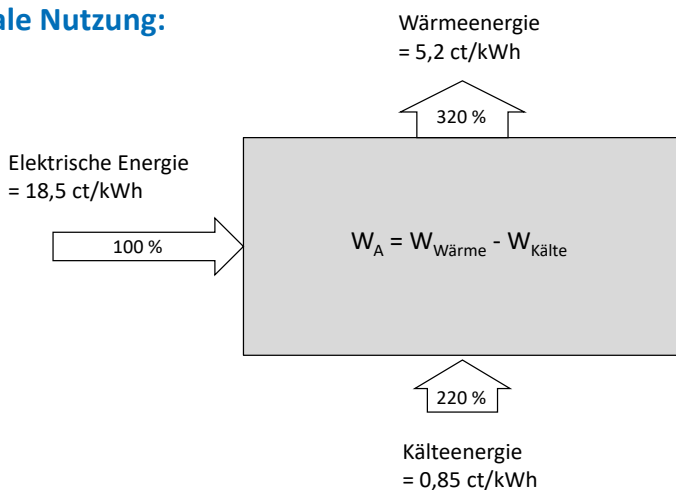




## Wärmemengen und Kosten der elektrischen Anwendung



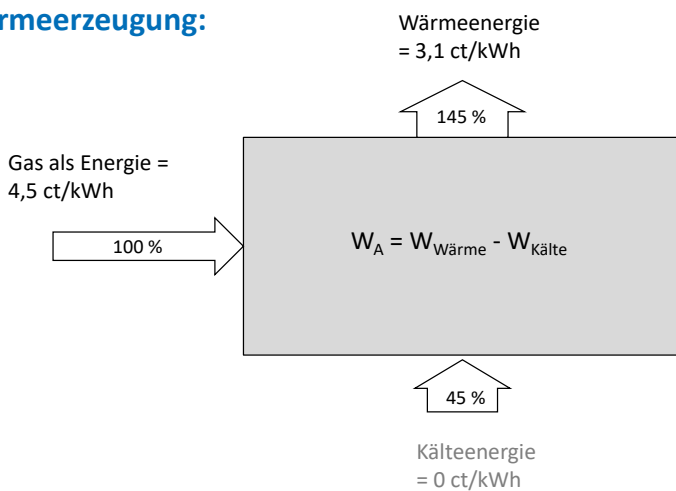
### Duale Nutzung:



## Wärmemengen und Kosten der gasbasierten Anwendung



### Wärmeerzeugung:

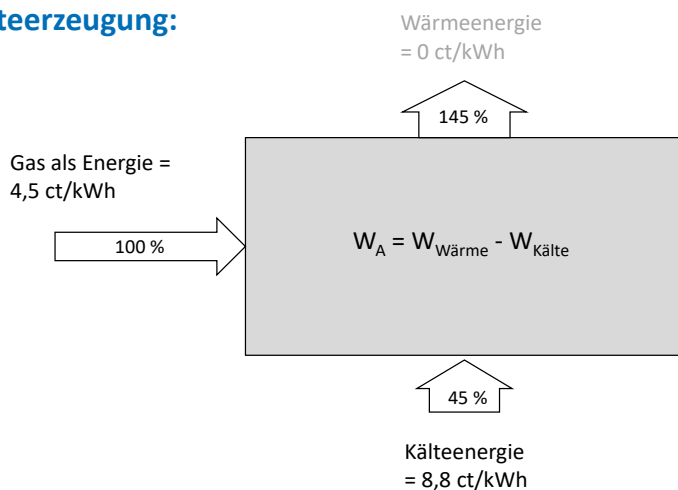




## Wärmemengen und Kosten der gasbasierten Anwendung



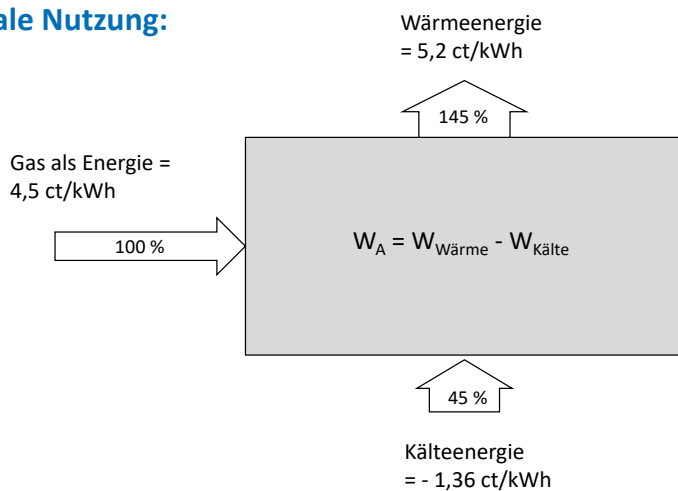
### Kälterzeugung:



## Wärmemengen und Kosten der elektrischen Anwendung

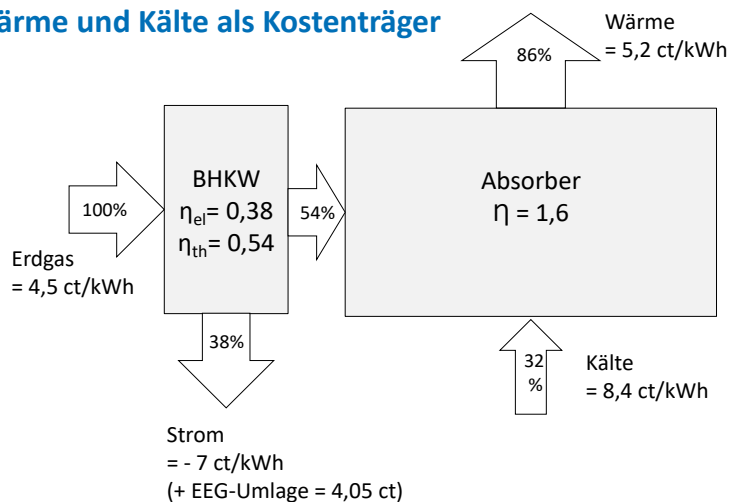


### Duale Nutzung:



## Wärmemengen und Kosten im KWKK-Prozess

### Wärme und Kälte als Kostenträger



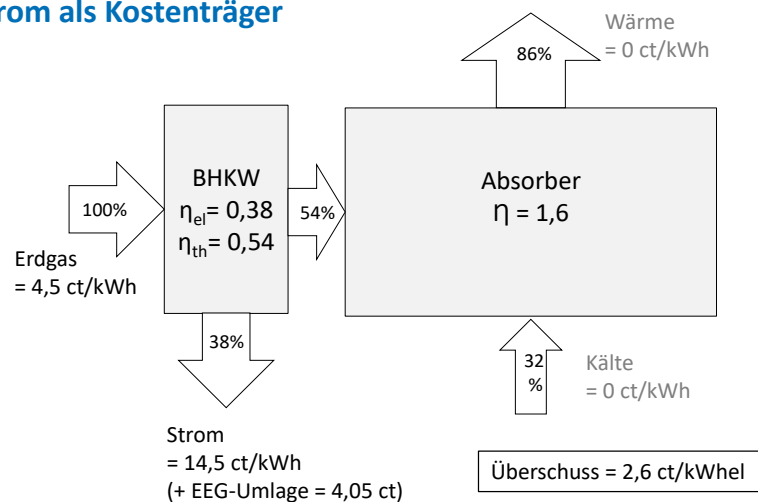
Jürgen Stefan Kukuk, ASUE

13



## Wärmemengen und Kosten im KWKK-Prozess

### Strom als Kostenträger



Jürgen Stefan Kukuk, ASUE

14







### Anwendungsbereiche von Gaswärmepumpen

	Gasmotorische WP	Absorptions-WP	Adsorptions-WP	CO <sub>2</sub> -Anwendungen
Klimatisierung / Kühlung	Industrie / Gewerbe	Ammoniak/Lithiumbromid	Zeolith-Anwendungen	
Kälteerzeugung	Neue Markteinführung	Ammoniak-Anwendungen		
Wärmeerzeugung	Industrie / Gewerbe	Neue Markteinführung	(Häusliche Zeolithanwend.)	Neue Markteinführung

Direkte Gasanwendung  
 KWKK-Anwendung



### Anwendungsbereiche von Gaswärmepumpen

Verkaufsräume	Logistikhallen	Verwaltung	Lebensmittelherstellung
IT-Zentren	Wohnhäuser	Krankenhäuser	Innovative Quartiere

- Wärme- und Kälte zugleich
- Strom, Wärme, Kälte
- Kühlen im Sommer, heizen im Winter



## Bedeutung der Primärenergie-Faktoren

### Elektrische Wärmepumpe

Strom	Aufwandszahl	Umweltwärme	PEF
1,8	0,33	0,0	0,6

### Gaswärmepumpe

Erdgas	Aufwandszahl	Umweltwärme	PEF
1,1	0,7	0,0	0,77

### Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

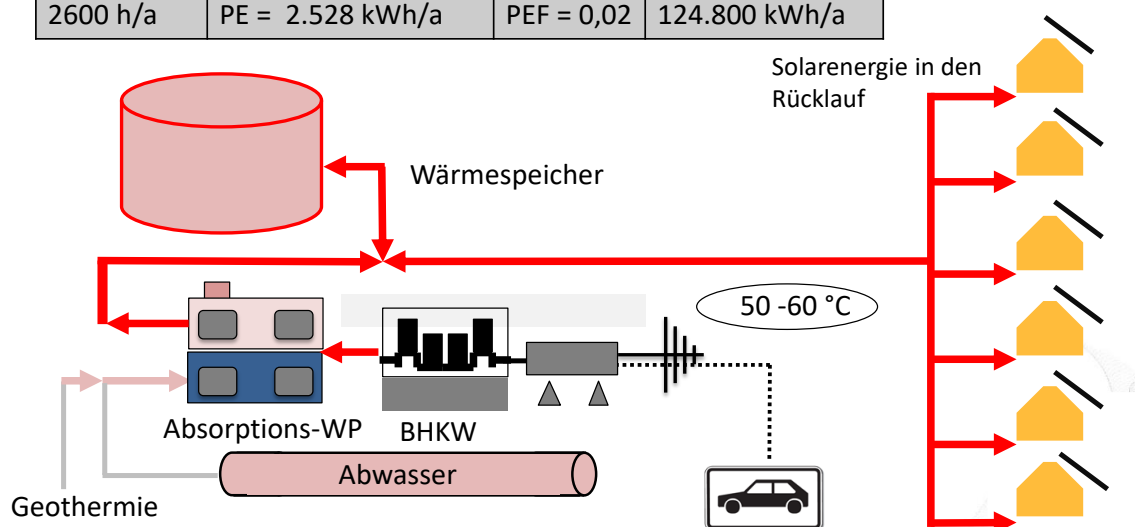
Erdgas	Aufwandszahl	Stromgutschrift	PEF
1,1	1-0,54*0,32	0,38*2,8	- 0,15



Jürgen Stefan Kukuk, ASUE

17

<b>21,3 kW</b>	<b>17 kW<sub>el</sub>, 26,7 kW<sub>th</sub></b>	<b>GUF = 1,6</b>	<b>6 x 8 kW<sub>th</sub></b>
2600 h/a	PE = 2.528 kWh/a	PEF = 0,02	124.800 kWh/a



Jürgen Stefan Kukuk, ASUE

18



## Einordnung im GEG



### § 37

Die Anforderung nach 15% erneuerbare Energie wird erfüllt, wenn die Nutzung von EE durch eine Wärmepumpe (elektrisch oder brennstoffbetrieben) zu < 50% den Wärmebedarf eines Hauses erfüllt.

EE kann Geothermie, Umgebungsluft und auch Abwärme sein.

### § 89

Eine Wärmepumpe muss die Anforderung nach Richtlinie 2009/28/EG erfüllen. (=> Nachhaltigkeitskriterien)



## Einordnung im GEG



Anlage 5 zu § 31, vereinfachtes Nachweisverfahren für ein zu errichtendes Wohngebäude, Abs. 3, Tabelle 2;

- hh) Wenn die Ausführungsvariante eine Luft-Wasser-Wärmepumpe vorsieht, muss die Wärmepumpe mindestens die in DIN V 18599-5: 2018-09 Anhang C.1 Tabelle 60 bis 62 angegebenen Leistungszahlen aufweisen.
- ii) Wenn die Ausführungsvariante eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe vorsieht, muss die Wärmepumpe mindestens die in DIN V 18599-5: 2018-09 Anhang C.1 Tabelle 64 angegebenen Leistungszahlen aufweisen.
- jj) Wenn die Ausführungsvariante eine Sole-Wasser-Wärmepumpe vorsieht, muss die Wärmepumpe mindestens die in DIN V 18599-5: 2018-09 Anhang C.1 Tabelle 63 angegebenen Leistungszahlen aufweisen.



**Förderprogramm: Heizen mit erneuerbaren Energien**

Art der Heizung	Fördersatz	Fördersatz bei Austausch der Ölheizung	Neubau
Solarthermieanlage	30 %	30 %	30 %
Wärmepumpe oder Biomasseheizung	35 %	45 %	35 %
Hybridheizung mit EE (Gas-Strom)	35 %	45 %	35 %
Nachrüstung von Partikelabscheidern bei Biomasseanlage	35 %		35 %
Gashybridheizung mit EE	30 %	40 %	
Gasbrennwert (renewable ready)	20 %		

**Steuerliche Abzugsfähigkeit bei selbstgenutztem Wohnraum**

Steuerliche Abschreibung bei selbstgenutzten Immobilien EStG § 35 Steuerermäßigung für energetische Maßnahmen
Verminderung der tarifl. Einkommenssteuer um 20% der Maßnahme der 3 Jahre (7%, 7%, 6%; höchstens 14.000 €/a, max. 40.000 € insgesamt)
Das Haus ist älter als 10 Jahre
Kosten des Energieberaters ebenfalls absetzbar
Nur Fachunternehmen
Keine Kombination mit anderen Förderungen oder betrieblichen Aufwendungen



## Fazit



- Grenzen der elektrischen Wärmepumpentechnologie erreicht – wirtschaftlich und geologisch
- Dezentrale Stromerzeugung gewinnt an Bedeutung
- Kälteerzeugung ist weiter zunehmendes Entwicklungsfeld
- Zunahme von sensiblen Gebäuden (IT-Zentren, Krankenhäuser, Logistik-Zentren, Verwaltung)
- Verschärfung der Kältemittel-VO
- Verfügbarkeit von Gas – Erdgas und erneuerbare Gase
- Strompreis wird volatil – Angebot und Nachfrage





**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und  
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# Die Eingabe von Gaswärmepumpen in die Hottgenroth<sup>®</sup>-Software für Energieberater im neuen GEG

Caterina Winnen, Hottgenroth Software GmbH & Co. KG



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

**HOTTGENROTH  
SOFTWARE**

**ETU**

# Herzlich willkommen



**HOTTGENROTH  
SOFTWARE**

**ETU**

## Caterina Winnen

**Referentin für das Thema Gebäude-Energieeffizienz und EnEV**

**Aus- und Weiterbildung:**

- Ausbildung zur IT-Systemkauffrau
- Weiterbildung: Gebäude- und Energieberater im Handwerk





**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

**HOTTGENROTH  
SOFTWARE**

**ETU**

## Unternehmen

Hottgenroth/ETU entwickelt kaufmännische, technische und CAD-Software sowie Internetanwendungen für die Bereiche Energieeffizienz, Bauhaupt- und Nebengewerbe sowie haustechnische Planung und Auslegung. In einigen Bereichen ist Hottgenroth Software heute Marktführer.



**HOTTGENROTH  
SOFTWARE**

**ETU**







**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

**HOTTGENROTH  
SOFTWARE**

**ETU**



## Energieberater 18599 3D

Die Energieberatungssoftware zur Energetischen Planung und Bewertung von Gebäuden im GEG-Zeitalter



**HOTTGENROTH  
SOFTWARE**

**ETU**

## Energieberater 18599 3D

**Berechnung**

**Wohngebäude** | **Nichtwohngebäude**

Neubau | Bestand |  **DN 18599** |  DN 4108-6 / 4701-10 |  Modellgebäudeverfahren: EnEV 2016

**Randbedingungen / Grenzwerte:**

Frei - Energieberatung |  **GEG/EnEV - Energieausweis / Nachweise** |  GEG

Für die DIN EN 18599-Berechnung wird mit der Auswahl GEG 2020, EnEV 2014/16 und EnEV 2009 automatisch die jeweils zugehörige Normausgabe 2018, 2011 und 2007 verwendet.

**Gebäudeerfassung**

**CAD-Erfassung** **HottCAD**  
- Raumexakte Gebäudeerfassung mit HotCAD  
- Tabellarische Darstellung der Räume, Zonen und Bauteile  
- Erfassung der Eigenschaften aller Gebäudeelemente  
- Individuelle Erfassung (ohne CAD)

**Detaillierte Erfassung**  
Tabellarische Erfassung der wärmeabgebenden Gebäudehülle

**Erfassungs-Assistent**  
Einfache Erfassung der Gebäudegeometrie anhand von Grundriss, Geschossen, Dachtyp, Dachneigung...

**Anlagenerfassung**

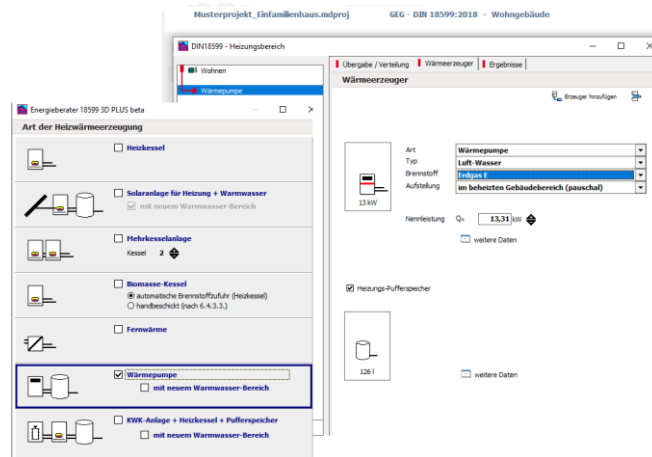
**Detaillierte Erfassung**  
Ausführliche Erfassung der Anlagentechnik

**Erfassungs-Assistent**  
Assistent für eine schnelle Erfassung der Anlagentechnik  
- für die häufigsten Standardfälle...





### Auswahl Wärmeerzeuger



Allgemeines | Pumpendaten | Einbausituation | Version 2011 | Kennlinien

**Wärmepumpe**  
 Wärmepumpentyp: **Luft-Wasser**  
 Antriebsart: **gasmotorangetrieben**  
 Brennstoff: **Erdgas E**

Name: **Erzeuger 1**  
 Hersteller:  
 Bezeichnung:  
 Baujahr: **2020**

Nennleistung:  $Q_n$   
 Pufferspeicher: **Speicher 1**  
 Trinkwasserspeicher: **keinen**  
 Speicher in der Wärmepumpe integriert:

Bivalenter Betrieb  
 Heizgrenztemperatur: **15°C - für alle anderen Gebäude**  
 Speicherbeladungsregel: Einschaltung  $\Phi_{n,15}$  **50,00** °C  
 Speicherbeladungsregel: Abschaltung  $\Phi_{n,15,2}$  **60,00** °C  
 Wärmerückgewinnung vor Fortluft- Wärmepumpen  
 Erdreich-Zuluft-Wärmeübertragung vorhanden  
 Standardwert Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung:   
 Lufttemperatur: **in Zone**  
 Zone: **Wohnen**

**PRODUKTKENNWERTE:**  
 für Senken-Temperatur: 35 °C  Standard-Kennwerte

Nr.	T <sub>Senke</sub> °C	T <sub>Quelle</sub> °C	COP	rel. Leistung	Leistung kW
1	35,0	-5,0	3,00	0,88	7,81
2	35,0	0,0	3,50	1,00	8,87
3	35,0	5,0	4,00	1,12	9,93

Leistung aus Gebäudeheizlast: 8,9 kW  
 Heizleistung:   
 Leistungszahl COP:   
**Die Katalog-Auswahl wird vorbereitet ...**  
... das kann einen Moment dauern.





Bauart	Hersteller	Bezeichnung	Aufstellung	max. Vorlauftemp	max. Leistung	el. Zuheizung	Funktionsprinzip	Regelung	Auslegung	Kühlleistung	Status
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS13.2 RB	Innen- oder Auß	55	16,2	nicht vorhanden	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS13.2 RE	Innen- oder Auß	55	15,2	9,0	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS11.2 RT	Innen- oder Auß	55	15	9,0	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS6.2 RTS	Innen- oder Auß	55	9,5	9,0	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS8.2 RT	Innen- oder Auß	55	10,2	9,0	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS8.2 RE	Innen- oder Auß	55	10,2	9,0	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS6.2 RB	Innen- oder Auß	55	9,5	nicht vorhanden	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS8.2 RTS	Innen- oder Auß	55	10,2	9,0	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS6.2 RT	Innen- oder Auß	55	9,5	9,0	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS13.2 RT	Innen- oder Auß	55	16,2	9,0	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS11.2 RB	Innen- oder Auß	55	15	nicht vorhanden	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell
Luft/Wasser	Bosch Thermotechnik Gm	Logatherm WPLS13.2 RB	Innen- oder Auß	55	16,2	9,0	Kompression	modulierend	Heizung, Kühlung		aktuell

1 of 26

Thermotechnik GmbH Buderus Deutschland

Auslegung

Funktionsprinzip

Regelung

Bauart

Aufstellung

el. Zuheizung [kW]

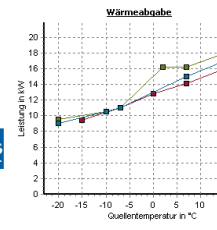
Vorlauftemperatur [°C]

Min Max

Leistung [kW]

Min Max

Filter zurücksetzen



**Buderus**

PRODUKTKENNWERTE: Bosch Thermotechnik GmbH Buderus Deutschland - Logatherm  
für Senken-Temperatur 35 °C  Standard-Kennwerte

Nr.	T Senke °C	T Quelle °C	COP	rel. Leistung	Leistung kW
1	35,0	-7,0	2,80		0,00
2	35,0	2,0	3,20		0,00
3	35,0	7,0	3,80		0,00



13 kW

Art: Sorptions-Gaswärmepumpe

Typ: Sorptions-Gaswärmepumpe

Brennstoff: Erdgas E

Aufstellung: in keiner Zone - im Unbeheizten

Nennleistung  $Q_n$ : 13,31 kW

weitere Daten

Sorptions-Gaswärmepumpe DIN 18599-5 - 6.5.5

Typ: Sorptions-Gaswärmepumpe

Brennstoff: Erdgas E

Name: Erzeuger WP

Hersteller:

Bezeichnung:

Baujahr: 2020

Nennleistung  $Q_n$ : 9,76 kW

Warmwasser-Bereitung: keine

Produktwerte:  Standardkennwerte

	35/28	55/45	70/55
therm. Nutzungsgrad $\eta_{0,2}$	1,300	1,200	1,100
Hilfsenergie im Betrieb $P_{SOLL, \Phi}$	0,012	kW/kW Heizlast $\Phi$	
Hilfsenergie Stillstand $P_{SOLL, 0}$	0,020	kW	



**ASUE**

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

**HOTTGENROTH  
SOFTWARE**

**ETU**

## Übergabe

**Wohnen**  **Versorgte Zone**  **Zone wird versorgt zu**  %

**Übergabekomponente**

**Regelung**

weitere Daten

**Wärmeabgabe über**

**Anordnung**

intermittierender Betrieb (zeitabhängige raumweise Temperaturabsenkung)

**Wärmeabgabe über**

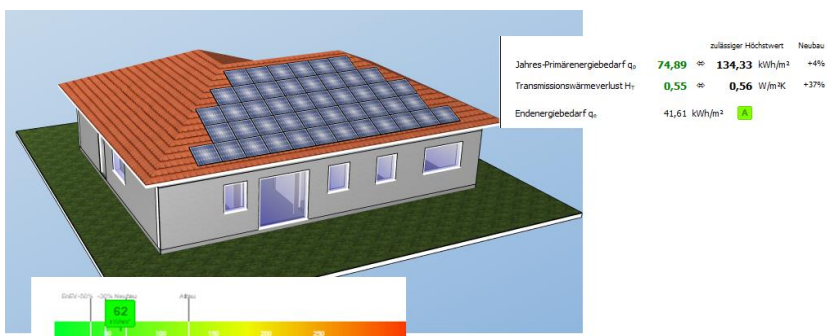
**System**

**Wärmedämmung der Verlegefläche**  **Wärmeträgermedium**

**Raumtemperaturregelung**

intermittierender Betrieb (zeitabhängige raumweise Temperaturabsenkung)

## DIN 18599 - Bestand





**ASUE**

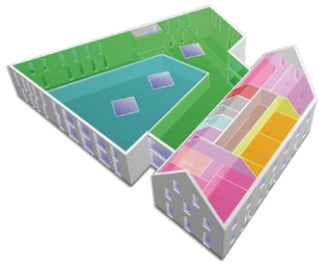
Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

**HOTTGENROTH  
SOFTWARE**

**ETU**



## ETU-Simulation



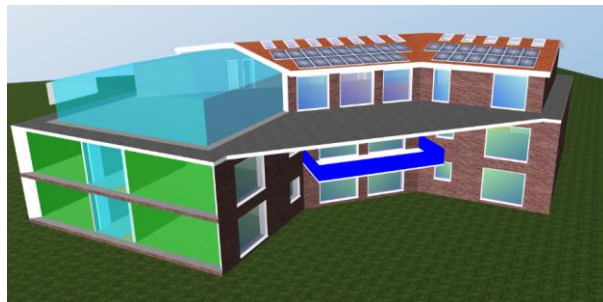
Think BIM,  
we do!

**HOTTGENROTH  
SOFTWARE**

**ETU**

### Parameter der thermischen Gebäude-Simulation:

- Bauteile
- Klimadaten
- Nutzungsprofile
- Verschattung
- Bedarfsprofile
- Zonen gleicher Nutzung





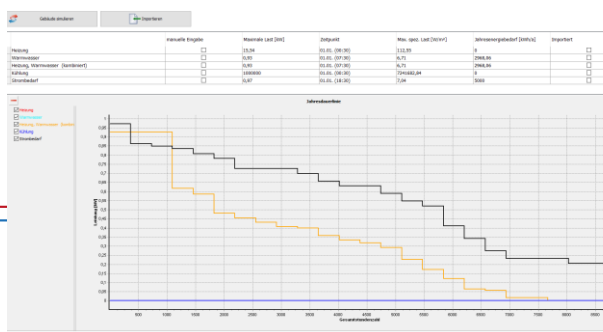
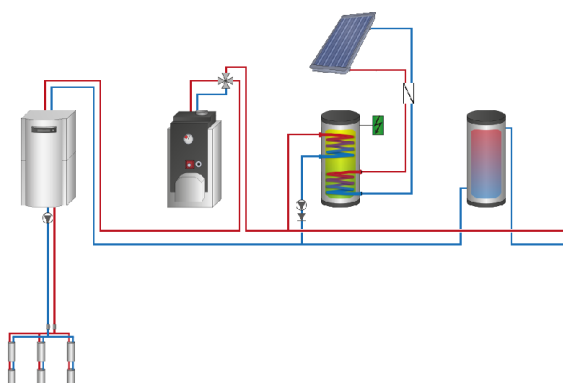
ASUE

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

HOTTGENROTH SOFTWARE

ETU

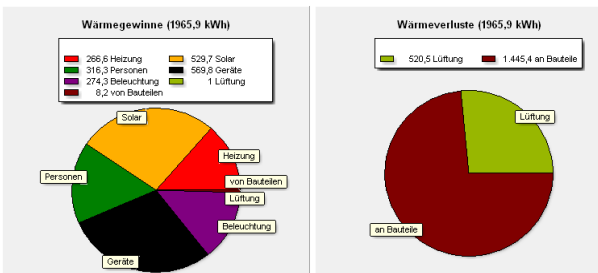
### Anlagenschemen



### Ergebnisse:

- Heizbedarf
- Kühlbedarf
- Geräte
- Personen
- Sonneneinstrahlung
- Beleuchtung
- Lüftungsverluste
- Wärmespeicherung
- Lüftung

Heizenergiebedarf:	316,1 kWh	Max. abgegebene Heizleistung:	0,85 kW (13. Januar, 7-8 h)
Heizenergieabgabe:	266,6 kWh	Abgegebene Auslegungs-Heizleistung:	0,02 kW (24. Januar, 14-15 h)
Kühlenergiebedarf:	719,7 kWh	Max. abgegebene Kühlleistung:	0 kW
Kühlenergieabgabe:	0 kWh	Abgegebene Auslegungs-Kühlleistung:	0 kW
Wärmeabgabe Geräte und Beleuchtung:	844,1 kWh	Betriebsstunden:	1172 h (Heizung), 0 h (Kühlung)
Gesamte Energieabgabe:	1110,7 kWh (42,4 kWh/m²)		



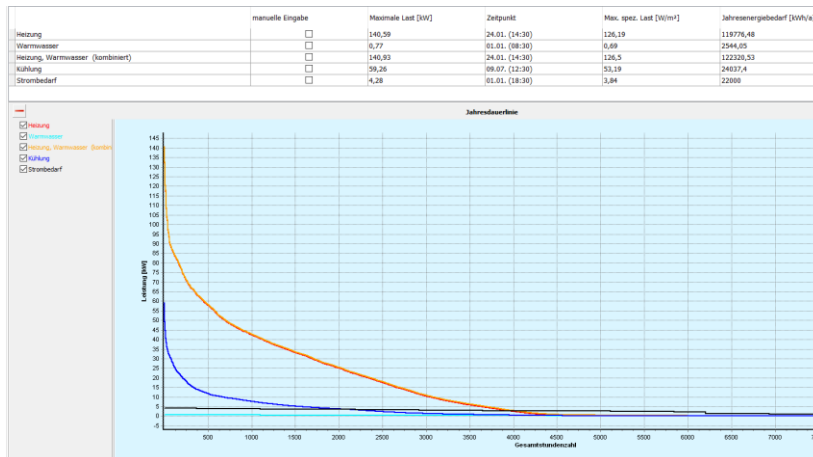
**Über- und Untertemperaturen:**

Maximale Temperaturüberschreitung:	6,4 °C	Maximale Temperaturunterschreitung:	0,2 °C
Übertemperaturstunden (Innenluft):	1500 h	Untertemperaturstunden (Innenluft):	34 h
Übertemperaturgradstunden (Operative):	4391,4 h	Untertemperaturgradstunden (Operative):	22,6 h

Verkehrszeit: 2871 h



### Simulation der Jahresdauerlinie



**Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit**



## **Herausgeber**

ASUE Arbeitsgemeinschaft für  
sparsamen und umweltfreundlichen  
Energieverbrauch e. V.  
Robert-Koch-Platz 4  
10115 Berlin

Telefon 030 / 22 19 13 49-0  
info@asue.de  
[www.asue.de](http://www.asue.de)

Digitale ASUE-Fachtagung vom 27. Oktober 2020:

„Wärmepumpen mit Gasantrieb: 160 % Klimaschutz“