

Planung, Einbau und Betriebserfahrung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe als Ersatz für eine Gasheizung Wege zur nachhaltigen Energieversorgung

Dr. Hermann Groß

29-02-2024 / 28-03-2024 / 10-09-2024



ZUKUNFT
FÜR AUS
LIW S
MICHENDORF
DIE KLIMAINITIAIVE

Überblick

- ▶ Einige wärmetechnische Grundlagen und Begriffe
- ▶ Planung - Heizungstausch für EFH Bj 2000 mit Brennwerttherme und Flach- bzw. Kompaktheizkörpern
- ▶ Wärmepumpe - Einbau & Betriebserfahrungen
- ▶ Schlussfolgerungen
- ▶ Anhang

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Überblick

- ▶ Einige wärmetechnische Grundlagen und Begriffe
- ▶ Planung - Heizungstausch für EFH Bj 2000 mit Brennwerttherme und Flach- bzw. Kompaktheizkörpern
- ▶ Wärmepumpe - Einbau & Betriebserfahrungen
- ▶ Schlussfolgerungen
- ▶ Anhang

Referenz:



Wärmetechnische Parameter & ihre Einheiten

Wärme, Arbeit Q : in $1[\text{J}] = 1[\text{Ws}] = 0,28 \cdot 10^{-6}[\text{kWh}] = 0,24[\text{cal}]$

Leistung, Arbeit pro Zeit $\Delta Q/\Delta t$: in $1[\text{W}] = 1[\text{J/s}] = 3600[\text{J/h}]$

Wärmeübertragung pro Zeit : $\Delta Q/\Delta t = h \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$ in $[\text{W}]$ mit h als Wärmeübergangskoeffizient in $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$, A als Kontaktfläche in $[\text{m}^2]$ und $(T_1 - T_2)$ als treibende Temperaturdifferenz in $[\text{K}]$ zwischen den Körpern (z.B. zwischen Heizkörper und Zimmerluft)

Planung, Einbau
und
Betriebsführung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetechn. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Wärmetechnische Parameter & ihre Einheiten

Wärme, Arbeit Q : in $1[\text{J}] = 1[\text{Ws}] = 0,28 \cdot 10^{-6}[\text{kWh}] = 0,24[\text{cal}]$

Leistung, Arbeit pro Zeit $\Delta Q/\Delta t$: in $1[\text{W}] = 1[\text{J/s}] = 3600[\text{J/h}]$

Wärmeübertragung pro Zeit : $\Delta Q/\Delta t = h \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$ in $[\text{W}]$ mit h als Wärmeübergangskoeffizient in $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$, A als Kontaktfläche in $[\text{m}^2]$ und $(T_1 - T_2)$ als treibende Temperaturdifferenz in $[\text{K}]$ zwischen den Körpern (z.B. zwischen Heizkörper und Zimmerluft)

Wärmeleitfähigkeit λ : in $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ als Stoffgröße von Bauteilen

Wärmeübergangswiderstand $R = d/\lambda$: in $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$ als Stoffgröße eines Bauteils der Dicke d und der Wärmeleitfähigkeit λ

Spezifische Wärmekapazität c - in $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ als Materialparameter (einige Beispiele -> Metalle: 0,400; **Luft: 1,000**; Dämmstoffe: 1,000; Holz: 2,100; **Wasser: 4,200**;)

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Wärmetechnische Parameter & ihre Einheiten

Wärme, Arbeit Q : in $1[\text{J}] = 1[\text{Ws}] = 0,28 \cdot 10^{-6}[\text{kWh}] = 0,24[\text{cal}]$

Leistung, Arbeit pro Zeit $\Delta Q/\Delta t$: in $1[\text{W}] = 1[\text{J/s}] = 3600[\text{J/h}]$

Wärmeübertragung pro Zeit : $\Delta Q/\Delta t = h \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$ in $[\text{W}]$ mit h als Wärmeübergangskoeffizient in $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$, A als Kontaktfläche in $[\text{m}^2]$ und $(T_1 - T_2)$ als treibende Temperaturdifferenz in $[\text{K}]$ zwischen den Körpern (z.B. zwischen Heizkörper und Zimmerluft)

Wärmeleitfähigkeit λ : in $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ als Stoffgröße von Bauteilen

Wärmeübergangswiderstand $R = d/\lambda$: in $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$ als Stoffgröße eines Bauteils der Dicke d und der Wärmeleitfähigkeit λ

Spezifische Wärmekapazität c - in $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ als Materialparameter (einige Beispiele -> Metalle: 0,400; **Luft: 1,000**; Dämmstoffe: 1,000; Holz: 2,100; **Wasser: 4,200**;)

Gespeicherte bzw. zugeführte Wärme Q eines Stoffes mit der Masse m , wenn dieser dadurch seine Temperatur um ΔT ändert:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Brennwert H eines Stoffes - bei Verbrennung frei werdende Wärmemenge einschliesslich Kondensationswärme in $[\text{kWh}/\text{Stoffeinheit}]$, also z.B. für Erdgas **10,8138 $[\text{kWh}/\text{m}^3]$**

Verbräuche & Heizlasten ?

Objektdaten:

- ▶ EFH (Fertigbau) 133 m²; Bj 2000; mit 10 Niedrig-T-Flachheizkörpern
- ▶ Thermoblock Gas-Brennwert-Therme (10,7-21,5[kW]) mit 120 [l] WW-Speicher

-
- ▶ Erdgasverbrauch: 1046,60 [m³/a] -> 11.317,5 [kWh/a]
 - ▶ davon für Warmwasser 159 [m³/a] -> 1.719,4 [kWh/a]
 - ▶ die Differenz ergibt die Heizenergie -> 9.598,1 [kWh/a]
-

Damit können nun Heizlasten berechnet werden:

- ▶ gemessene Heizlast H_1 :
 $9.598,1[\text{kWh}]/(365*12[\text{h}])=2,191 [\text{kW}]$
- ▶ mit Faustformel maximale Heizlast H_2 :
 $\text{JahresGasMenge}/250=(1046,6-159)/250=3,550 [\text{kW}]$

Installierte Heizleistung ? - die Heizkörper

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

- ▶ Referenz: **Pistohl, "Handbuch der Gebäudetechnik - Planungsgrundlagen u. Beispiele, Band 2 Heizung/Lüftung/Energiesparen"** Werner Verlag 5. Auflage 2005
- ▶ Kenngrößen der Heizkörperleistung sind (nach DIN EN 442) **HK-Größe**, mittlere Heizwasser-Temperatur $T_m = (T_{VL} + T_{RL}) / 2$ beim Durchfluss und die gewünschte Raum-Temperatur **T**
- ▶ **70°C** für T_m und **20°C** für Raum-Temperatur **T** als **Referenzwerte für die Leistungsdaten** in den Tabellen verschiedener, vor allem auch älterer Heizkörpermodelle ... (siehe Pistohl)

Installierte Heizleistung im Detail - die Heizkörper

alle Flachheizkörper sind 600 mm hoch; Leistung [W/m] aus
Tabelle H157/2 Pistoohl; hier z.B. für's OG ergeben sich dann die
folgenden Leistungswerte:

OG	Fläche qm	Länge mm	Typ	Leistung W/m	Last W
Arbeitszimmer 1	19,1	900	22	1666	1499,4
Arbeitszimmer 2	11,9	700	22	1666	1166,2
Schlafzimmer 2	16,5	800	22	1666	1332,8
Bad	6,2	700	22	1666	1166,2
Gesamtlänge		3100	22		

=> Heizlast OG bei $T_m = 70^\circ\text{C}$, $T = 20^\circ\text{C}$: **5.164,6 W ~ 5,165 kW**

Nebenrechnung: 5,4 m Typ22 + 2,5 m Typ11 => **Heizkörper-Wassermenge**: $4,8 \text{ [l/m]} * 5,4 \text{ [m]} + 3,2 \text{ [l/m]} * 2,5 \text{ [m]} = 33,92 \text{ [l]}$
+ Rohrwassermenge: $A = 0,6 * 0,6 * \pi = 1,1309 \text{ qcm} \Rightarrow V = A * L \sim 1,131 \text{ qcm} * 10000 \text{ cm} = 11310 \text{ kbcm} = 11,31 \text{ [l]}$

=> **Gesamt-Heizlast EG + OG** bei $T_m = 70^\circ\text{C}$, $T = 20^\circ\text{C}$: **11.443,9 W ~ 11,444 kW**
 ((EG+OG)-Fläche = 133,8 qm)

Korrekturfaktor f_1 für niedrigere T_m Werte

Korrekturfaktoren f_1 für die Heizkörperauslegung bei Absenkung der mittleren Heizwassertemperatur T_m von 70°C auf deutlich niedrigere Werte

	Raum-T = 20°C	Raum-T = 22°C	Raum-T = 24°C
$T_m = 45^\circ\text{C}$	$f_1 = 0,41$	$f_1 = 0,36$	$f_1 = 0,32$
$T_m = 40^\circ\text{C}$	$f_1 = 0,30$	$f_1 = 0,26$	$f_1 = 0,23$
$T_m = 35^\circ\text{C}$	$f_1 = 0,21$	$f_1 = 0,17$	$f_2 = 0,14$

$$\text{Heizlast}(T_m, T_{Raum}) = \text{HK-Leistung}_{70^\circ\text{C}, 20^\circ\text{C}} \cdot f_1(T_m, T_{Raum})$$

$$\text{Heizlast}(45^\circ\text{C}, 22^\circ\text{C}) = 11,444 \text{ [kW]} \cdot \mathbf{0,36} = \mathbf{4,119 \text{ [kW]}}$$

$$\text{Heizlast}(40^\circ\text{C}, 22^\circ\text{C}) = 11,444 \text{ [kW]} \cdot \mathbf{0,26} = \mathbf{2,975 \text{ [kW]}}$$

$$\text{Heizlast}(35^\circ\text{C}, 22^\circ\text{C}) = 11,444 \text{ [kW]} \cdot \mathbf{0,17} = \mathbf{1,945 \text{ [kW]}}$$

Korrekturfaktor f_1 für niedrigere T_m Werte

$$\text{Heizlast}(T_m, T_{Raum}) = \text{HK-Leistung}_{70^\circ C, 20^\circ C} \cdot f_1(T_m, T_{Raum})$$

$$\text{Heizlast}(45^\circ C, 22^\circ C) = 11,444 \text{ [kW]} \cdot \mathbf{0,36} = \mathbf{4,119 \text{ [kW]}}$$

$$\text{Heizlast}(40^\circ C, 22^\circ C) = 11,444 \text{ [kW]} \cdot \mathbf{0,26} = \mathbf{2,975 \text{ [kW]}}$$

$$\text{Heizlast}(35^\circ C, 22^\circ C) = 11,444 \text{ [kW]} \cdot \mathbf{0,17} = \mathbf{1,945 \text{ [kW]}}$$

aus den Verbrauchswerten bestimmten Heizlasten waren:

- ▶ gemessene Heizlast H_1 :
 $9.598,1 \text{ [kWh]} / (365 \cdot 12 \text{ [h]}) = \mathbf{2,191 \text{ [kW]}}$
 - ▶ maximale Heizlast H_2 (mit Faustformel):
 $\text{JahresGasMenge} / 250 = (1046,6 - 159) / 250 = \mathbf{3,550 \text{ [kW]}}$
-

Korrekturfaktor f_1 für niedrigere T_m Werte

$$\text{Heizlast}(T_m, T_{Raum}) = \text{HK-Leistung}_{70^\circ C, 20^\circ C} \cdot f_1(T_m, T_{Raum})$$

$$\text{Heizlast}(45^\circ C, 22^\circ C) = 11,444 \text{ [kW]} \cdot \mathbf{0,36} = \mathbf{4,119 \text{ [kW]}}$$

$$\text{Heizlast}(40^\circ C, 22^\circ C) = 11,444 \text{ [kW]} \cdot \mathbf{0,26} = \mathbf{2,975 \text{ [kW]}}$$

$$\text{Heizlast}(35^\circ C, 22^\circ C) = 11,444 \text{ [kW]} \cdot \mathbf{0,17} = \mathbf{1,945 \text{ [kW]}}$$

aus den Verbrauchswerten bestimmten Heizlasten waren:

- ▶ gemessene Heizlast H_1 :
 $9.598,1[\text{kWh}]/(365 \cdot 12[\text{h}]) = \mathbf{2,191 \text{ [kW]}}$
- ▶ maximale Heizlast H_2 (mit Faustformel):
 $\text{JahresGasMenge}/250 = (1046,6-159)/250 = \mathbf{3,550 \text{ [kW]}}$



Installierte HK-Leistung & gemessene niedrige Heizlasten
reichen aus, um ohne Komfortverlust mit T_m -Werten
😊 deutlich kleiner als $45^\circ C$ zu heizen! 😊

Klassifizierte Energie-Bedarfe (pro Jahr & m^2)

Nutz-Energiebedarf - Heizwärmebedarf, der vom Wärmeüberträger (Heizkörper, Fußbodenheizung, ...) an die Räume abgegeben wird.

End-Energiebedarf - berechnete Energiemenge unter standardisierten Nutzungsbedingungen, Klimadaten sowie technischen Gebäudebedingungen.

Primär-Energiebedarf - die zur Deckung des End-Energiebedarfes notwendige Energiemenge unter Einschluss aller Wandlungs-, Übertragungs- und Förderungs-Verluste.

Planung, Einbau
und
Betriebsführung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 79 ff. Gebäudeenergiegesetz (GEG) vom 1.

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

Registriernummer:

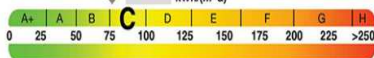
2

Energiebedarf

Treibhausgasemissionen kg CO₂-Äquivalent / (m²·a)

Endenergiebedarf dieses Gebäudes

kWh/(m²·a)



kWh/(m²·a)

Primärenergiebedarf dieses Gebäudes

Anforderungen gemäß GEG²

Für Energiebedarfsberechnungen verwenden

Die Normfolgen nach DIN EN 12831 und EN 12832

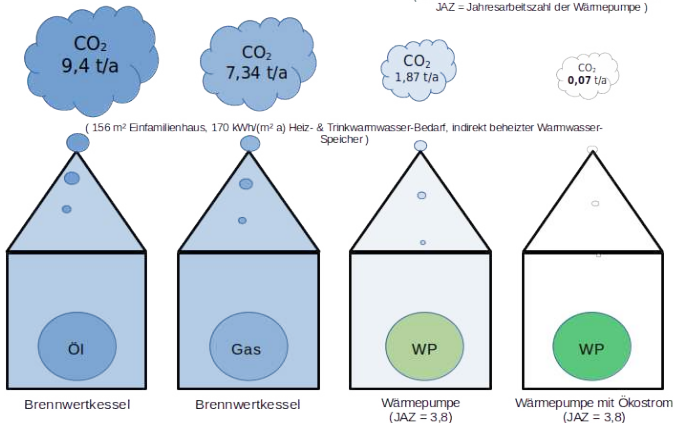
Alternativen zu Gas- bzw. Öl-Heizung

Solarthermie - Unterstützung von Trink-WW und Heizung

Photovoltaik - zur Selbstversorgung mit Strom

Wärmepumpen - für Heizung und WW

(→ CO₂-Faktor Strom 2020-2040 nach GEMIS 5.1
JAZ = Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe)



Planung, Einbau
und
Betriebsführung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

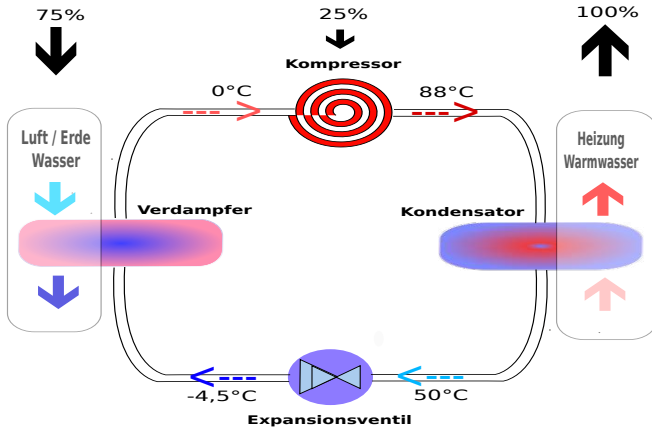
Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Wärmepumpe

Schema des Kältekreislaufes einer Wärmepumpe



Planung, Einbau
und
Betriebsführung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

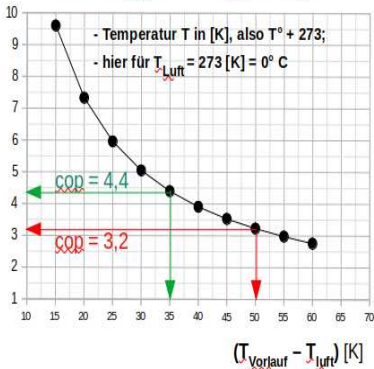
Anhang - Stoffkonstanten

Wärmepumpe - Leistungszahl

Leistungszahlen einer Wärmepumpe als Funktion
der Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Umweltreservoir

$$\text{COP} = \frac{T_{\text{Vorlauf}}}{2 \cdot (T_{\text{Vorlauf}} - T_{\text{Luft}})}$$

- Temperatur T in [K], also $T^{\circ} + 273$;
- hier für $T_{\text{Luft}} = 273 \text{ [K]} = 0^{\circ} \text{ C}$



Einfluß des Wärmeabgabe-Systems

Beispiel: Leistungszahl für eine Fußbodenheizung bei einer Vorlauf-temperatur von 35° C und einer Radiatorenheizung bei 50° C - die Umgebungswärme Luft wird hier mit 0° C angenommen.

Die höhere VL-T und somit die größere Temperatur-Differenz zur Umgebungsluft erniedrigt den COP Wert deutlich!

Wärmepumpen - Stand der Technik

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

- ▶ auch **Luft/Wasser**-Wärmepumpen sind effizient (Studie des ISE Fraunhofer Instituts 'WPsmart im Bestand');
- ▶ vor allem wegen verbesserter **Steuerungstechnik** Werte der JAZ (*Jahresarbeitszahl*) bei vielen Modellen **über 4,0**;
- ▶ **problemlose Leistungs-Skalierung** durch breites Angebot von Seriengeräten;
- ▶ optionaler **Bivalenzbetrieb** um weitere Energiequellen zu nutzen;
- ▶ optionale **Kühlfunktion** bei fast allen Geräten;

Wärmepumpen - Einbau

Alte Gasheizung und Niedrig-T-Heizkörper:

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten



Wärmepumpen - Einbau

(auch als kleine Filmdokumentation auf unserer Webseite:
<https://klimamich.de/>)

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten



Wärmepumpen - Einbau

(auch als kleine Filmdokumentation auf unserer Webseite:
<https://klimamich.de/>)

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

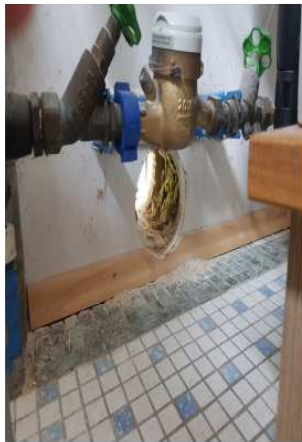
Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten



Wärmepumpen - Einbau

(auch als kleine Filmdokumentation auf unserer Webseite:
<https://klimamich.de/>)

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetechn. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten



Wärmepumpe - im Betrieb

48-Std-Monitoring (29Nov23) von Vorlauf-, Rücklauf-, Raum- & Außen-Temperaturen der Maschine:



Planung, Einbau
und
Betriebsführung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Wärmepumpe - im Betrieb

48-Std-Monitoring (02Dez23) von Vorlauf-, Rücklauf-, Raum- & Außen-Temperaturen der Maschine:



Planung, Einbau
und
Betriebsführung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetechn. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Wärmepumpe - im Betrieb

48-Std-Monitoring (09Dez23) von Vorlauf-, Rücklauf-, Raum- & Außen-Temperaturen der Maschine:

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_{in}

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

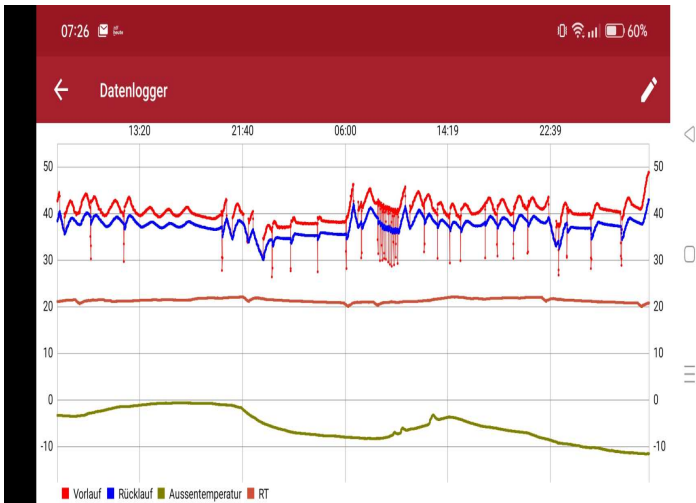
Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten



Wärmepumpe - im Betrieb

48-Std-Monitoring (30Jan24) von Vorlauf-, Rücklauf-, Raum- & Außen-Temperaturen der Maschine:



Planung, Einbau
und
Betriebsführung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Wärmepumpe - im Betrieb/Jahresbilanz

Monatlich **eingesetzter** Strom & **erzeugte** Wärmemenge:

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetechn. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_{in}

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

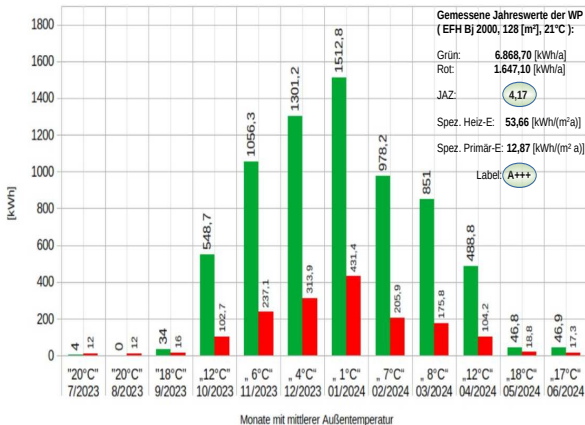
Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Eingesetzter Strom (rot) & erzeugte Wärmemenge (grün)



Wärmepumpe - mit 6,2 kWp PV-Anlage

Strombilanzen, insbesondere vom 01.07.2023 - 30.06.2024:

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_{in}

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten



Energiebilanz

- Ins Haus (26%)
- Zur Batterie
- Ins Netz
- Aus Solarenergie (18%)
- Von der Batterie
- Vom Netz

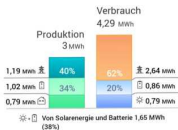
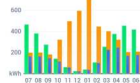


Diagramme teilen Zusammengefügte Diagramme

Produktion und Verbrauch

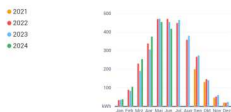


Batterie

Das Batterie diagramm ist nur in der Tagesansicht verfügbar

Vergleichen der Produktion

Monat Quartal Jahr



Vorteile für die Umwelt

Eingesparte CO₂-Emissionen

3.088,4

Äquivalent in gepflanzten Bäumen

92

Energiebilanzen - ohne bzw. mit WP

jährliche Stromverteilungen, jeweils vom 01.07. - 30.06.:

Planung, Einbau
und
Betriebserfahrung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_{in}

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten



Energiebilanz

Ohne WP

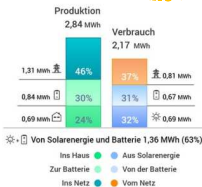


Diagramme teilen



Zusammengeführte
Diagramme

Produktion und Verbrauch



Energiebilanz

mit WP

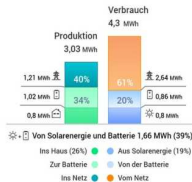


Diagramme teilen



Zusammengeführte
Diagramme

Produktion und Verbrauch



Wärmepumpe - geringe Schallemission!

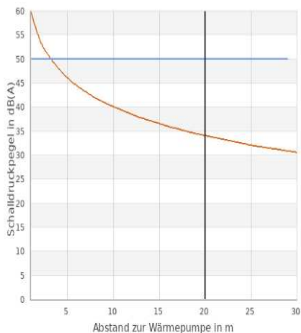
Schallberechnung für meine L/W-Wärmepumpe Bj 2023

Der Immissionsrichtwert wird sowohl im Tag- als auch im Nachtbetrieb um mindestens 6 dB(A) unterschritten.

Tagbetrieb

Beurteilungspegel Lr: 34 dB(A)

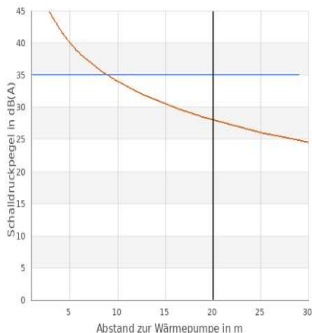
Unterschreitung des
Immissionsrichtwertes der TA Lärm um 16 dB



Nachtbetrieb (ohne Schallreduzierung)

Beurteilungspegel Lr: 28 dB(A)

Unterschreitung des
Immissionsrichtwertes der TA Lärm um 7 dB



— Beurteilungspegel nach TA Lärm

— Grenzwert (Immissionsrichtwert) nach TA Lärm

Ergebnisse (1)

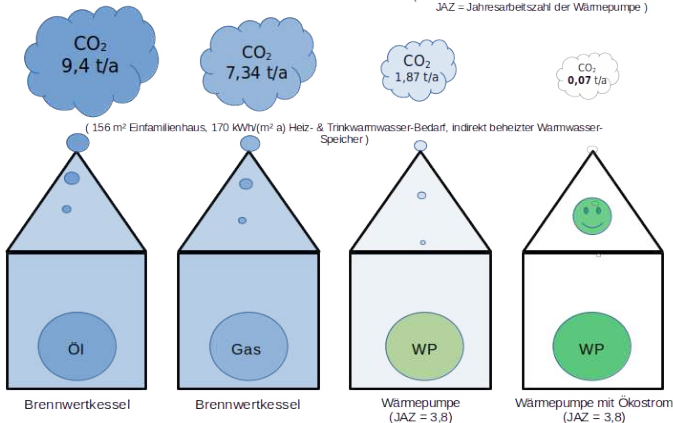
- ▶ Aus den jährlichen Verbrauchsdaten für Heizung und Warmwasser kann die **Heizlast**, also die erforderliche Nutzungenergie des Gebäudes abgeschätzt werden.
- ▶ Mit der bestimmten installierte **Heizkörperleistung** bzw. ihrem Verhältnis zur Heizlast ($\Rightarrow f_1(T_m, T_{Raum})$) lassen sich dann Betriebswerte für den **Vorlauftemperatur-Bereich** der Wärmepumpe voraussagen.
- ▶ Damit lässt sich die Wärmepumpe **optimal einstellen**: Die **Grenzwerte der Heizkurve** können ohne Komfortverlust auf niedrigere Temperaturen eingestellt werden, um auch den Energieverbrauch deutlich zu senken.
- ▶ Die bisherigen Betriebserfahrungen bestätigen, dass dieses Verfahren eine **belastbare Planungsgrundlage** liefert!

Ergebnisse (2)

Installierte HK-Leistung & gemessene niedrige Heizlasten reichen aus, um ohne Komfortverlust mit T_m -Werten

😊 deutlich kleiner als 45°C zu heizen! 😊

(- CO₂-Faktor Strom 2020-2040 nach GEMIS 5.1
JAZ = Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe)



Planung, Einbau und Betriebserfahrung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe als Ersatz für eine Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

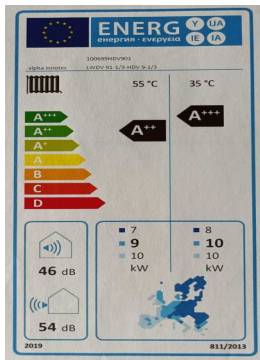
Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Hilfreiche Checkliste

- ▶ Steckbrief mit Energieverbrauchs-Werten;
- ▶ Mehrere Angebote einholen;
- ▶ Mehrjährigen Garantieleistungen & Wartungen;
- ▶ Referenzen oder Zertifikate des Anbieters;
- ▶ Mindestanforderungen (Label: A⁺⁺ oder A⁺⁺⁺) für 55°C Mittel-Temperatur- bzw. 35°C Niedrig-Temperatur-Betrieb:



Planung, Einbau
und
Betriebsführung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Expertenrat

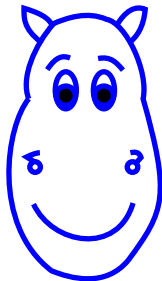
- ▶ Klaus Lohrengel bietet **jeden zweiten Mittwoch im Monat**, von 18.00 bis 20.00 Uhr, **im Cafe Kreuzpunkt eine kostenlose Beratung** an!



Dipl.-Wi.-Ing. Klaus Lohrengel
Gebäudeenergieberater (HWK)

(Vielen Dank für dieses Angebot!)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Homepage Nachbarschaftshilfe Michendorf

Planung, Einbau
und
Betriebsführung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetechn. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

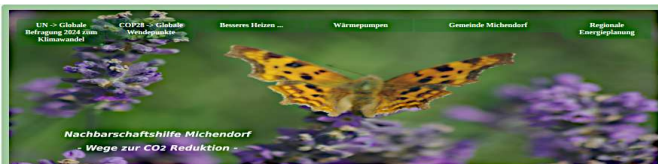
Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

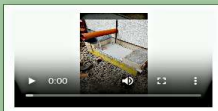
Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

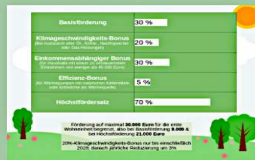


Info-Abende			
	Februar	Februar	April
Thema	Photovoltaik	Heizsysteme	Wärmeplanung
Datum & Ort	22.2.24 / 18.30 / Gemeindezentrum Apfelbaum	29.2.24 / 18.30 / Gemeindezentrum Apfelbaum	10.4.24 / 18.00 / Grundschule Meisenweg 1
	-- mehr Infos	-- mehr Infos	-- mehr Infos

Luft/Wasser-Wärmepumpe@EFH-BJ2000 als Ersatz für einen Gasbrenner - Einbauvideo:



In Zusammenarbeit u.a. mit der Klima-Initiative Michendorf werden hier Dokumente und Verweise zum **Thema Entkarbonisierung (CO₂-Reduktion)** angeboten, um aufgeschlossene Nachbarn gut zu beraten und ihnen Anstöße zum Handeln zu geben. Schwerpunkte sind zunächst Beispiele zur lokalen Stromerzeugung mit **Photovoltaik (PV)** sowie zum Einsatz von **Wärmepumpen (WP)** in Wohnhäusern beim Heizen und Kühlen, die jetzt bis zu 70% gefördert werden!



Durchlauferhitzer - Verbrauchswerte (2-Personenhaushalt):

Planung, Einbau und Betriebserfahrung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe als Ersatz für eine Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

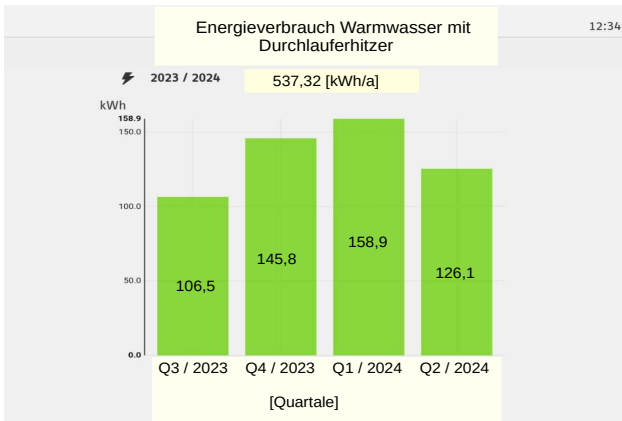
Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten



GEG - Eckpunkte der Förderung ab 2024 für selbstgenutztes Wohneigentum

Planung, Einbau
und
Betriebsführung
mit
einer Luft/Wasser-
Wärmepumpe als
Ersatz für eine
Gasheizung

Dr. Hermann Groß

Überblick

Wärmetech. Größen

Planung (1) - Heizlasten

Planung (2) - HK-Leistung

Planung (3) - T_m

Alternative Wärmepumpe

WP (1) - Prinzip

WP (2) - COP

WP (3) - Einbau

WP (4) - im Betrieb

WP (5) - Bilanzen

WP (6) - Schall

Zusammenfassung

Checkliste

Beratung

Ende

Anhang - Homepage

Anhang - DLE

Anhang - Förderung

Anhang - WP e.V.

Anhang - Stoffkonstanten

Basisförderung	30 %
Klimageschwindigkeits-Bonus (Bei Austausch alter Öl-, Kohle-, Nachtspeicher- oder Gas-Heizungen)	20 %
Einkommensabhängiger Bonus (für Haushalte mit einem zu versteuerndem Einkommen von weniger als 40.000 Euro)	30 %
Effizienz-Bonus (für Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln oder Erdwärme als Wärmequelle)	5 %
Höchstfördersatz	70 %

Förderung auf maximal **30.000 Euro** für die erste Wohneinheit begrenzt, also bei Basisförderung **9.000** & bei Höchstförderung **21.000 Euro**

20%-Klimageschwindigkeits-Bonus nur bis einschließlich 2028; danach jährliche Reduzierung um 3%

Ein **sehr hilfreiches Portal** ... und hier gleich einige Zeiger
auf dort angebotene Werkzeuge zur Planung und
Maschinen-Auswahl:

- ▶ <https://www.waermepumpe.de/>
- ▶ <https://www.waermepumpe.de/normen-technik/heizkoerperrechner/>
- ▶ <https://www.waermepumpe.de/jazrechner/>
- ▶ <https://www.waermepumpe.de/schallrechner/>

Stoffkonstanten, Dämmwerte, ... ✓

Planung, Einbau und Betriebserfahrung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe als Ersatz für eine Gasheizung

Dr. Hermann Groß

- Überblick
- Wärmetechn. Größen
- Planung (1) - Heizlasten
- Planung (2) - HK-Leistung
- Planung (3) - T_{in}
- Alternative Wärmepumpe
- WP (1) - Prinzip
- WP (2) - COP
- WP (3) - Einbau
- WP (4) - im Betrieb
- WP (5) - Bilanzen
- WP (6) - Schall
- Zusammenfassung
- Checkliste
- Beratung
- Ende
- Anhang - Homepage
- Anhang - DLE
- Anhang - Förderung
- Anhang - WP e.V.
- Anhang - Stoffkonstanten

1.2 WÄRMETECHNISCHE GRUNDBEGRIFFE		HEIZUNG					
Wärmespeicherung von Baustoffen und Bauteilen							
H 16/1 Speicherwerte ausgewählter Baustoffe u. Bauteile (nach [H 13])							
Baustoff, Bauteil Ausgewählte Beispiele	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Spez. Wärmekapazität c	Wärmeleitfähigkeit λ	Spez. Wärmekapazität c	Wärmeleitfähigkeit λ	Spez. Wärmekapazität c
	kg/m ³	W/(m·K)	kJ/(kg·K)	W/(m·K)	kJ/(m ³ ·K)	W/(m·K)	kJ/(m ³ ·K)
siehe auch Tab. A 16/1 und DIN EN 12 524							
Normalbeton, Stahlbeton	2400	2,10	1,0	142	2400	1,0	142
Leichtbeton, Stahlleichtbeton mit geschlossenen Gefügte	1000	0,38	1,0	39	1000	0,38	1000
Mauerwerk aus Vollziegel	2000	1,00	1,0	90	2000	1,00	2000
Mauerwerk aus Vollziegel, Lochziegel, Leichtziegel	1400	0,60	1,0	58	1400	0,60	1400
Mauerwerk aus Porenb-Lochziegel mit Leichtmauermörtel	700	0,20	1,0	24	700	0,20	700
Mauerwerk aus Kalksandsteinen	1800	0,99	1,0	84	1800	0,99	1800
Mauerwerk aus Porenbeton-Blocksteinen	500	0,22	1,0	21	500	0,22	500
Mauerwerk aus Leichtbeton-Hohlblocksteinen	1000	0,65	1,0	28	1000	0,65	1000
Mauerwerk aus Leichtbeton-Vollsteinen	1200	0,77	1,0	51	1200	0,77	1200
Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt	1800	0,70	1,0	70	1800	0,70	1800
Zementmörtelputze	2000	1,40	1,0	106	2000	1,40	2000
Kalk-, Kalkzementmörtelputze	1800	0,87	1,0	79	1800	0,87	1800
Gips-, Kalkgipsmörtelputze	1400	0,70	1,0	62	1400	0,70	1400
Gipsputz ohne Zuschlag	1200	0,35	1,0	41	1200	0,35	1200
Wärmedämmstoffe	600	0,20	1,0	22	600	0,20	600
Gipskartendrüsen	900	0,21	1,0	27	900	0,21	900
Fliesen	2000	1,00	1,0	90	2000	1,00	2000
Glas	2500	0,81	1,0	90	2500	0,81	2500
Sandstein, Muschelkalk	2000	0,90	1,0	106	2000	0,90	2000
Marmor, Granit, Basalt	2900	2,30	1,0	155	2900	2,30	2900
Eichenholz	800	0,21	1,0	38	1280	0,21	1280
Fichte, Kiefer, Tanne, Sperrholz	600	0,14	1,6	26	960	0,14	960
Porenbeton-Holzfasersplän	300	0,058	1,7	12	510	0,058	510
Holzwool-Leichtbauplatten	420	0,093	1,7	18	714	0,093	714
Zementestrich	2000	1,40	1,0	106	2000	1,40	2000
Arbeitsstrich	2100	1,20	1,0	100	2100	1,20	2100
Gussgestrich	2300	0,90	1,0	91	2300	0,90	2300
Linoleum	1000	0,17	1,5	32	1500	0,17	1500
Kunststoffbeläge, PVC	1500	0,23	1,5	45	2250	0,23	2250
Teppichboden, Nadelstich gekeilt	300	0,09	1,3	12	390	0,09	390
Teppichboden, Tufting gekeilt	270	0,08	1,3	11	351	0,08	351
Polystyrol-Partikelschaum	15-30	0,040	1,45	2,2	21-44	0,040	21-44
Polystyrol-Hartschaum	±30	0,035	1,4	2,5	45	0,035	45
Mineralfaser-Dämmplatten	100-200	0,040	1,0	3,6	10-200	0,040	10-200
Stahl	7800	60,00	0,4	860	3120	7800	60,00
Aluminium	2700	200,00	0,8	1310	2160	2700	200,00
Wasser	1000	0,58	4,2	98	4200	0,58	4200

¹⁾ Rechenwerte für spezifischen Wärmekapazität z. T. nach DIN EN 12 524. Es handelt sich um angenäherte Durchschnittswerte. Weitere Stoffwerte für die spez. Wärmekapazität s. Kap. A 2.1.

1 GRUNDLAGEN

Temperaturamplitudenverhältnis (TAV)
 Wärmeeintragsfähigkeit, Wärmespeicherfähigkeit und die Lage einer eventuellen Dämmschicht bestimmen die Tragheit, mit der die Raumtemperatur auf Schwankungen der Außentemperatur reagiert. Als Größe zur Beurteilung des instationären Wärmeschutzes wird das Temperaturamplitudenverhältnis (TAV) herangezogen. Es gibt an, wie groß die Amplitude der Temperaturschwankungen auf der Innenseite desselben Bauteils im Verhältnis zu derjenigen auf der Außenseite desselben Bauteils ist.

$$TAV = \frac{\max. \Delta T_{in}}{\max. \Delta T_{out}} \quad (\text{in den Grenzen von 0 bis 1})$$

H 177 Temperaturamplitudenverhältnis (TAV) einer Außenwand
 H 172 Wärmespeicherfähigkeit und TAV von Außenwänden (ausgewählte Beispiele nach [H 13])

Art der Außenwand (AW) Ausgewählte Beispiele Anzahl der Bauteile siehe z.B. [H 13]	U-Wert W/(m ² ·K)	Wärmespeicherzahl W kJ/(m ² ·K)	Temperaturamplitudenverhältnis TAV	Schematischer Wandaufbau der nebeneinander beschriebenen Außenwand
Einschalige Außenwand aus Mauerwerk 2,0 cm Außenputz 39,5 cm MW 800 kg/m ³ 1,5 cm Innenputz	0,63	150	0,06	
Einschalige Außenwand aus Porenbeton 30 cm Porenb., 600 kg/m ³ 1,5 cm Innenputz	0,56	90	0,07	
AW mit Außen-dämmung 8,0 cm PS-Dämmschicht 24 cm MW 1400 kg/m ³ 1,5 cm Innenputz	0,39	270	0,02	
AW mit Kern-dämmung 11,5 cm Strohmauerwerk 8,0 cm Mineralfaser 24 cm MW 1400 kg/m ³ 1,5 cm Innenputz	0,37	300	0,02	
AW mit Innen-dämmung 2,0 cm Außenputz 6,0 cm MW 1400 kg/m ³ 1,5 cm Innenputz	0,47	50	0,25	

Während bei der Heizung und beim wärmerischen Wärmeschutz in der Regel stationäre Zustände (= konstanter Wärmestrom beim Zustand der Beziehung) betrachtet werden, sind vor allem im Sommer durch wechselnde Sonneneinstrahlung instationäre Zustände von Interesse, bei denen sich die Temperaturzeitlich ändert.

In der Regel wird ein möglichst geringes Temperaturamplitudenverhältnis angestrebt.

Erläuterung:
 Auf der äußeren Wandoberfläche schwankt die Temperatur im Tagesverlauf z.B. zwischen 10 °C und 30 °C ($\Delta T = 20$ K).
 Auf der inneren Wandoberfläche schwankt die Temperatur, mit zeitlicher Verzögerung (hier z.B. 12 Stunden angenommen), zwischen 18 und 22 °C ($\Delta T = 4$ K).

Das Temperaturamplitudenverhältnis beträgt somit:
 $TAV = \frac{4}{20} = 0,2$