



Erfahrungen und Ergebnisse im Altbau

Vortrag zur 1. Eichenauer Energiemesse 29-30.11.2024

Bernhard Keppler

# Intro

## ➤ Zur Person:

Bernhard Keppler, verheiratet, seit 2003 in Eichenau

Elektrotechnikingenieur, Entwickler, Projekt- und Teamleiter in der Halbleiterbranche

## ➤ Motivation:

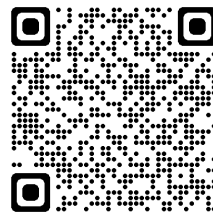
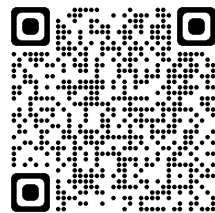
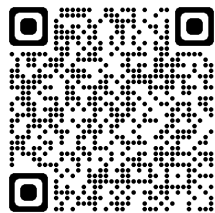
Schockerlebnis Ukrainekrieg => Gas- und Energiekrise, Nachdenken über CO2 Footprint

Beauftragung einer PV Anlage

End-Of-Life Symptome der Gastherme

Viele Bedenken und Fragen und ein Aha-Erlebnis durch Carsten Herbert's Youtube-Kanal,

Wärmepumpe im Altbau I-III:



# Agenda

- Bilanz: Verbrauch, Kosten, Betrieb
- Photovoltaik als Kostenbremse
- Funktioniert eine Wärmepumpe in meinem Haus?
- Die kommende Heizperiode nutzen...
- Fragen, Diskussion

Bilanz:

Verbrauch, Kosten, Betrieb

Günstiger als Gas



# Vorher - Nachher



bis 03/2023

- Gasbrennwerttherme:
  - 5,8-19 kW Wärmeleistung
- Jahresverbrauch Ø:
  - 15471 kWh/a
  - Davon 3176 kWh/a für warmes Wasser

saniert



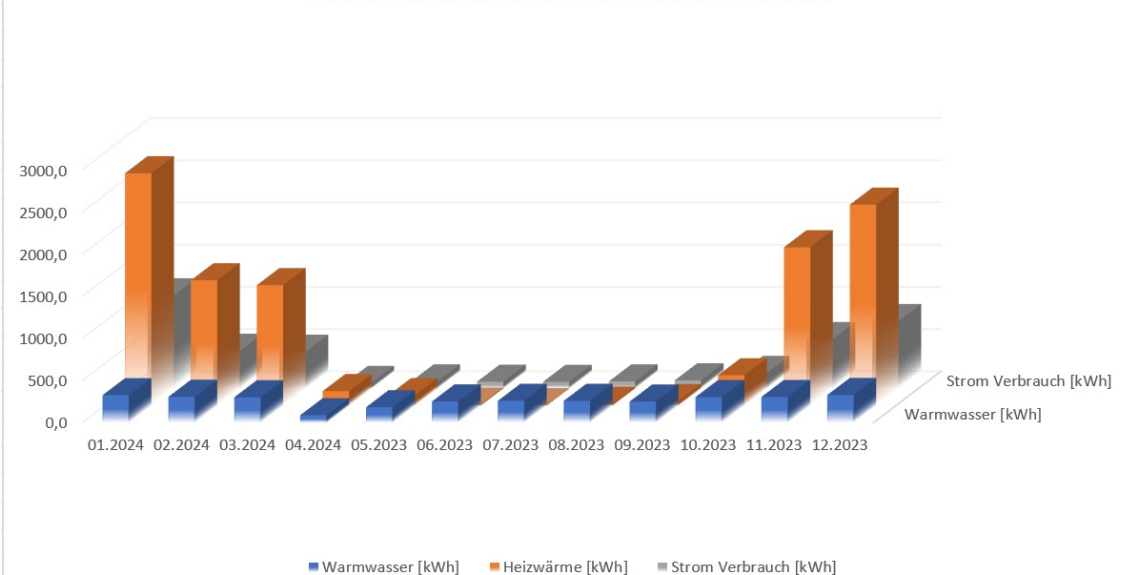
Ab 04/2023

- Inneneinheit:
  - Puffer- und WW Speicher,
  - 8.6 kW Zusatzheizung
- Außeneinheit:
  - Bei A-7/W35: Wärmeleistung 7 kW
  - Max. Geräusch: 55dB bei Vollast



| Monat.Jahr            | Warmwasser [kWh] | Heizwärme [kWh] | Strom Verbrauch [kWh] | Wärmenergie [kWh] COP |            |
|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| 01.2024               | 324,6            | 2751,9          | 1102,9                | 3076,5                | 2,8        |
| 02.2024               | 304,9            | 1483,8          | 444,9                 | 1788,7                | 4,0        |
| 03.2024               | 299,7            | 1425,4          | 434,0                 | 1725,2                | 4,0        |
| 04.2024               | 87,1             | 170,2           | 63,7                  | 257,3                 | 4,0        |
| 05.2023               | 181,9            | 122,6           | 82,4                  | 304,5                 | 3,7        |
| 06.2023               | 249,9            | 7,6             | 78,5                  | 257,5                 | 3,3        |
| 07.2023               | 257,9            | 2,0             | 77,2                  | 260,0                 | 3,4        |
| 08.2023               | 257,1            | 21,3            | 82,4                  | 278,4                 | 3,4        |
| 09.2023               | 248,9            | 51,1            | 94,8                  | 300,0                 | 3,2        |
| 10.2023               | 302,3            | 357,3           | 182,5                 | 659,6                 | 3,6        |
| 11.2023               | 303,2            | 1874,6          | 583,7                 | 2177,8                | 3,7        |
| 12.2023               | 326,7            | 2379,1          | 797,8                 | 2705,8                | 3,4        |
| <b>Gesamtergebnis</b> | <b>3144,3</b>    | <b>10646,9</b>  | <b>4024,8</b>         | <b>13791,2</b>        | <b>3,5</b> |

ENERGIEVERBRAUCH ÜBER 1 JAHR



## Heizperiode 23/24:

- Energiebedarf: 13791 kWh
- Davon Wasser: 3144 kWh
- Strom dafür: 4025 kWh
- Bei 0,27€/kWh: **1087€**
- Bei 0,09€/kWh Gas: **1241€**

## Das Haus:

Reihenmittelhaus, 120m<sup>2</sup>

Baujahr 1969, gedämmtes Dach

Doppelglasfenster (ca. 2000)

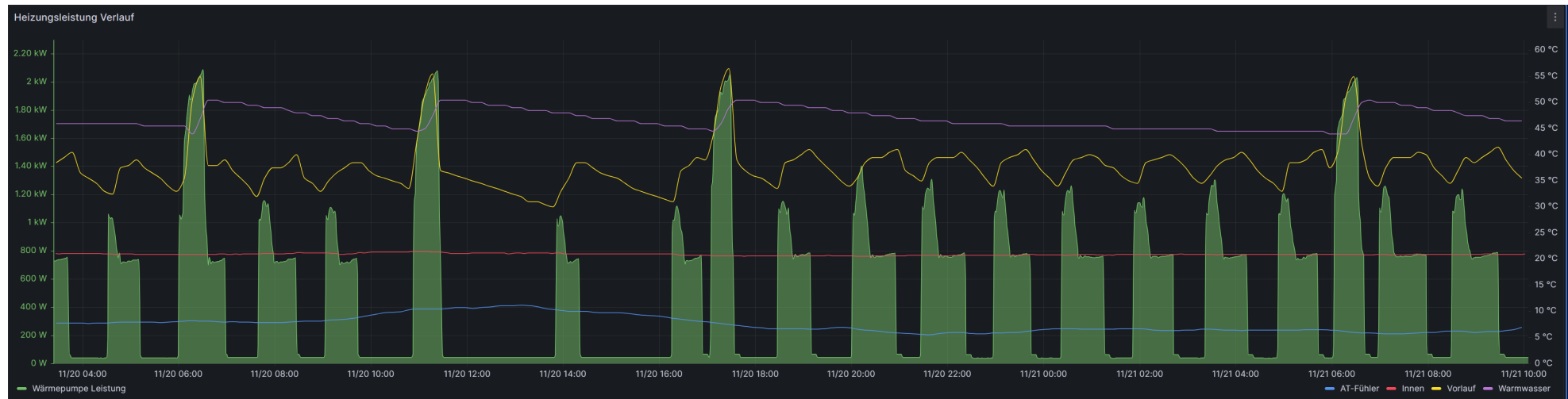
Gemessen:  
5. Aug. 23 => Sommer, nur Warmwasser



- Der COP (coefficient of operation = Leistungszahl) für WW: 3.3-3.6
- Hier ca. 3 kWh/d eingesetzt um 9,9 kWh/d WW zu erzeugen

Gemessen:

20. Nov. 23 => milder Tag, ca. 7°C



- Die WP moduliert die Heizleistung über On/Off Verhältnis. Minimale On-Wärmeleistung der Maschine ist 3 kW
- El. Anlaufleistung 1,2kW (Regelkreis einschwingen) und el. Dauerleistung ~800 W

Gemessen:  
25. Nov. 23 => 0°C



- Die WP moduliert die Heizleistung über die Kompressordrehzahl.
- Kontinuierliche Vorlauftemperatur
- Man sieht Enteisungszyklen

Gemessen:

3/4. Dec. 23 => -12°C, richtig kalt



- Die WP läuft mit max. Leistung. Zusatzheizung schaltet sich temporär ein (projektierter Bivalenzpunkt bei -10°C)
- Die Innentemperatur ist trotzdem konstant bei 21°C
- **Es funktioniert.**

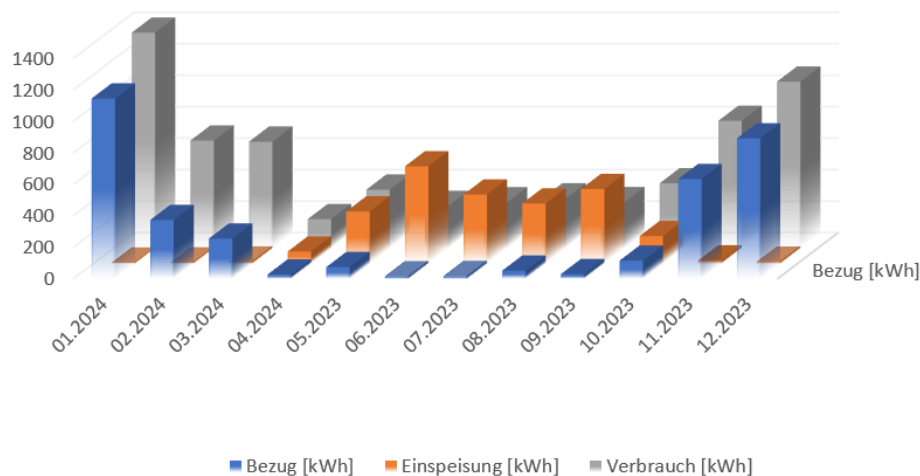
# Photovoltaik als Kostenbremse

Die Königslösung



| Monat.Jahr            | Bezug [kWh] | Einspeisung [kWh]          | Verbrauch [kWh] | Kosten [€] |
|-----------------------|-------------|----------------------------|-----------------|------------|
| 01.2024               | 1143        | 3                          | 1368            | 308        |
| 02.2024               | 371         | 4                          | 682             | 100        |
| 03.2024               | 253         | 9                          | 675             | 68         |
| 04.2024               | 24          | 73                         | 182             | 1          |
| 05.2023               | 71          | 328                        | 370             | -7         |
| 06.2023               | 13          | 615                        | 266             | -46        |
| 07.2023               | 15          | 436                        | 289             | -31        |
| 08.2023               | 49          | 379                        | 314             | -17        |
| 09.2023               | 27          | 471                        | 290             | -30        |
| 10.2023               | 112         | 171                        | 410             | 17         |
| 11.2023               | 631         | 17                         | 807             | 169        |
| 12.2023               | 889         | 9                          | 1056            | 239        |
| <b>Gesamtergebnis</b> | <b>3598</b> | <b>2516</b>                | <b>6708</b>     | <b>770</b> |
|                       |             | <b>PV Produktion [kWh]</b> | <b>6826</b>     |            |

## STROMBILANZ ÜBER 1 JAHR



## 1 Jahr PV Betrieb

- Von Mai'23 – Mitte April'24:  
6826 kWh produziert mit 5,7 kW peak  
und 22 kWh Batterie

2683 kWh\*0,27 €

4025 kWh\*0,27 €

- Haushalt + Heizung = Gesamte Kosten

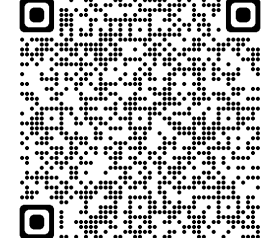
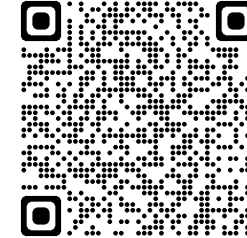
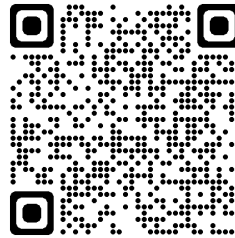
Nur WP: 724€ + 1087€ = 1811€

Nur Gas: 724€ + 1237€ = 1961€

**WP+PV: = 770 €**

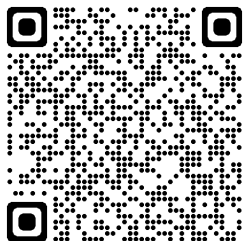
15471 kWh\*0,08 €

# Carbon Footprint



| Kraftstofftyp    | Kohlendioxid [g] | Footprint [kg CO <sub>2</sub> ]                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1l Diesel/Heizöl | 2640             | 1 Jahr Öl fürs Haus: $1547,1 \text{ l} * 2,64 \text{ kg/l}$ = 4084 kg<br>1 Jahr Hausstrom: $2683 \text{ kWh} * 0.434 \text{ kg/kWh}$ = <u>1164 kg</u><br><b>5248 kg</b>                                                                          |
| 1l Benzin        | 2390             | 10000 km Auto: $10000/100 * 7l * 2,39 \text{ kg/l}$ = 1673 kg                                                                                                                                                                                    |
| 1m3 Erdgas       | 1820             | 1 Jahr Gas fürs Haus: $1547,1 \text{ m}^3 * 1,82 \text{ kg/m}^3$ = 2816 kg<br>1 Jahr Hausstrom: $2683 \text{ kWh} * 0.434 \text{ kg/kWh}$ = <u>1164 kg</u><br><b>3980 kg</b>                                                                     |
| 1 kWh Strom      | 434              | 1 Jahr Strom für WP: $4025 \text{ kWh} * 0.434 \text{ kg/kWh}$ = 1747 kg<br>1 Jahr Hausstrom: $2683 \text{ kWh} * 0.434 \text{ kg/kWh}$ = <u>1164 kg</u><br><b>2911 kg</b><br>Mit PV: $3598 \text{ kWh} * 0.434 \text{ kg/kWh}$ = <b>1562 kg</b> |

- Ziel: **3,5t/Person** und Jahr.
- Aktuell: **11,17t/Person** und Jahr.



## Durchschnittliche Treibhausgasbilanz pro Person in Deutschland 2021

Veröffentlicht von [Statista Research Department](#), 02.01.2024

📊 Eine Person verursacht in Deutschland (Stand 2021) im Durchschnitt jährlich 11,17 Tonnen Treibhausgase in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. 2,04 Tonnen entfallen auf den Bereich Wohnen, 1,69 Tonnen auf die Ernährung, 3,79 Tonnen auf sonstigen Konsum (zum Beispiel Bekleidung und Freizeitaktivitäten). Diese durchschnittliche Treibhausgasbilanz liegt höher als übliche Angaben zu den [Pro-Kopf-Emissionen Deutschlands](#), da sie Emissionen berücksichtigt, die durch den Konsum von im Ausland hergestellten Produkten entstehen. Man spricht auch von einer konsumbasierten CO<sub>2</sub>-Bilanz (in Abgrenzung zu einer territorial basierten CO<sub>2</sub>-Bilanz).

# Funktioniert eine Wärmepumpe in meinem Haus?

Antwort in 3 Schritten: Ja!

# Ein paar gängige Verbrauchsdaten in kWh

- **Faustformel:**

1 Liter Öl = 10 kWh

1 m<sup>3</sup> Erdgas = 10 kWh

- **Wasser erwärmen:**

1 Liter Wasser um 1 K = 1,16 Wh

- **Warmwasser Bedarf pro Person und Tag ca. 30 l:**

30 l Wasser von 10°C auf 60°C =  $1,16 \frac{\text{Wh}}{\text{K} \cdot \text{kg}} * 30 \text{ l} * 50\text{K}$  = 1,74 kWh

4 Personen, 1 Jahr =  $4 * 365 * 1,74 \text{ kWh}$  = 2540 kWh

Nutzgrad 0,5 (ohne Zirkulation) =>  $2540 \text{ kWh} / 0,5$  = **5080 kWh**

- **Vollbad, 150 l, 40°C:**

37,5l mit 10°, 112,5l mit 50° =>  $1,16 \frac{\text{Wh}}{\text{K} \cdot \text{kg}} * 112 \text{ l} * 40\text{K}$  = 5,2 kWh

# Zwei Formeln zur Leistungsauslegung aus bekanntem Verbrauch

## Hottinger Verfahren

$$\eta * E * \frac{\Delta T_{max}}{Nutzung/d * GTZ} = \text{Heizleistung}$$

Am Beispiel des Hauses:

$$\frac{0,92 * 12.295 \text{ kWh}}{3.610 \text{ Kd} * 0,75 * 24h/d} * (20^{\circ}\text{C} - -14,2^{\circ}\text{C}) = \mathbf{5,95 \text{ kW}}$$

Wirkungsgrad der Therme ( $\eta$ ): 0,92  
 Heizenergieverbrauch im Jahr (E): 12.295 kWh  
 Langjährige Gradtagzahl (GTZ): 3.610 Kd  
 Nutzung der Heizung am Tag: 75%  
 Auslegungsgrenze: -14,2°C

- Durch Messung nachgewiesen  
mathematische Herleitung im Backup
- Im Beispiel später erklärt

## Norm Verfahren

$$\frac{(\text{Jahresverbrauch} - \text{Warmwasser}) * \text{Wirkungsgrad}}{\text{Vollbenutzungstunden}} = \text{Heizleistung}$$

$$\mathbf{365} * 24h * \frac{15^{\circ}\text{C} - 9,2^{\circ}\text{C}}{15^{\circ}\text{C} - -14,2^{\circ}\text{C}} = \mathbf{1740h \text{ in Eichenau}}$$

In Eichenau (82223) ergeben sich damit 1740 Vollbenutzungstunden bei  
 Heizgrenze: 15°C  
 Auslegungsgrenze: -14,2°C  
 Tagesdurchschnitt: 9,2°C

Am Beispiel des Hauses:

$$\frac{(15.471 - 3.176) \text{ kWh} * 0,92}{1740h} = \mathbf{6,5 \text{ kW}}$$

Wirkungsgrad der Therme: 0,92  
 Energieverbrauch im Jahr: 15.471 kWh  
 Warmwasser: 3.176 kWh

Systematischer Fehler. Muss korrigiert werden: 264 Heiztage, 6°C durchschnittlich, und damit Heizleistung 5,79 kW

Nach Norm:

$$365 * 24h * \frac{15^{\circ}\text{C} - 9,2^{\circ}\text{C}}{15^{\circ}\text{C} - -14,2^{\circ}\text{C}} = \mathbf{1740h \text{ in Eichenau}}$$

Korrigiert:

$$\mathbf{264} * 24h * \frac{15^{\circ}\text{C} - \mathbf{6^{\circ}\text{C}}}{15^{\circ}\text{C} - -14,2^{\circ}\text{C}} = \mathbf{1953 h \text{ in Eichenau}}$$

# 1. Lerne Dein Haus kennen.

➤ Gas/Öl Rechnungen der letzten Jahre raussuchen. Was war der jährliche Verbrauch im Mittel?

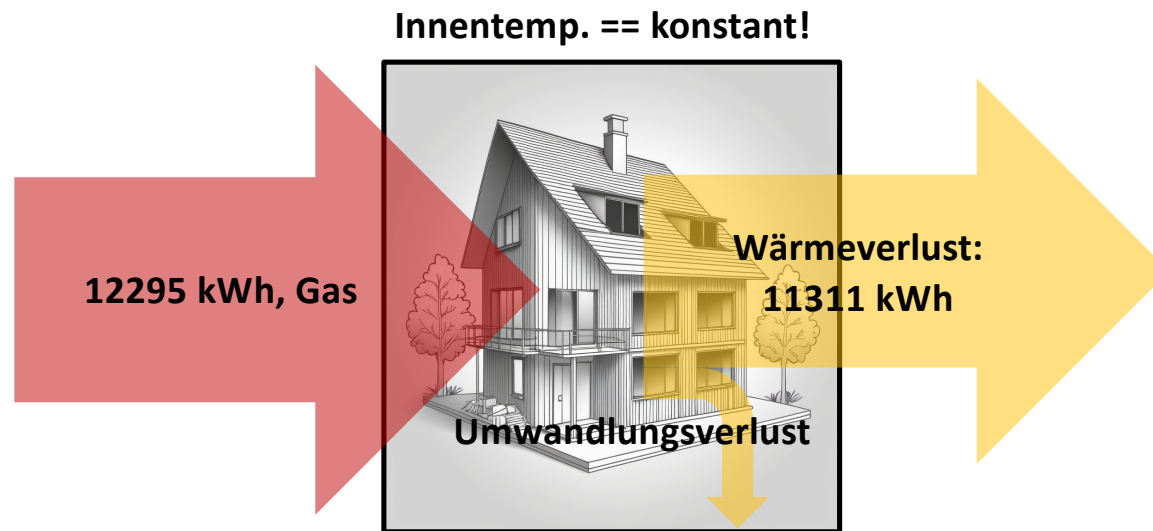
- Bei Gas, Jahresverbrauch steht da in kWh: z.B. 15741 kWh
- Bei Öl, z.B. 1725l/a => mit 10 multiplizieren: 17250 kWh

➤ Warmwasserbedarf abschätzen. Wie viele Personen im Haushalt?

- Pro Person 30l/d Warmwasser, d.h. 1,74 kWh/d => bei 4 Personen 2540 kWh/a. Nutzgrad berücksichtigt: 5080 kWh/a

➤ In meinem Haus: **15741 kWh/a**

- Warmwasserverbrauch: **3176 kWh/a** (ermittelt über Zähler der Gastherme)
- Heizungsverbrauch: 15741 kWh – 3176 kWh = **12295 kWh/a**



- Heizen heißt: wer die Innentemperatur konstant haben will, muss den Wärmeverlust nach Außen ersetzen, also Energie in das System reinstecken.
- Wie finden wir dafür die maximal notwendige Leistung heraus?

## 2. Ausrechnen!

Verbrauch **nur** Heizung

Der maximale  
Temperaturunterschied  
Innen zu Außen

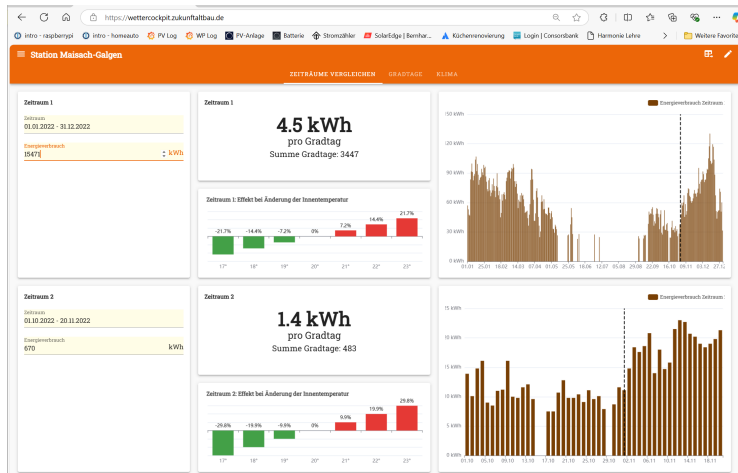
Gradtageszahl (GTZ)  
Die Summe über alle  
Temperaturdifferenzen des  
Jahres an denen die **Heizung an  
war**: Tagesmittel < 15°C die

Berücksichtigung  
Umwandlungsverlust  
der Therme

$$\eta * E * \frac{\Delta T_{max}}{Nutzung/d * GTZ} = \text{Heizleistung}$$

Wir können nicht 100%  
der Zeit heizen wegen der  
Warmwasserbereitung

$$0,92 * 12.295 \text{ kWh} * \frac{(20^{\circ}\text{C} - -14,2^{\circ}\text{C})}{0,75 * 24\text{h/d} * 3.610 \text{ Kd}} = 5,95 \text{ kW}$$



➤ Wetterdaten, **Gradtageszahlen (GTZ)** hier:

<https://wettercockpit.zukunftaltbau.de/>



### 3. Muss eine Fußbodenheizung her? Nein...

- Wir nehmen die flächenspezifische Heizlast her und überschlagen ob die Heizkörper funktionieren würden:

$$\frac{\text{Heizlast}}{\text{Fläche}} \left[ \frac{W}{m^2} \right] = \frac{6500 W}{120 m^2} = 54 \frac{W}{m^2}$$

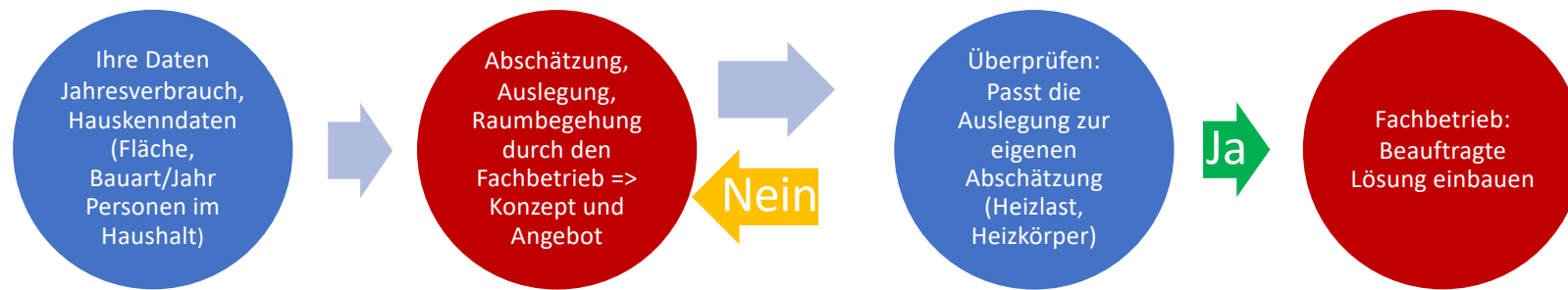
- Pro Raum die Heizleistung ausrechnen und prüfen ob die notwendige Leistung bei 55°C abgegeben wird (Datenblatt Heizkörper)

| Raum            | Geschoss     | Fläche [m2] | Heizkörper | Leistung [W] | Gewählt [W] | Typ                                          |
|-----------------|--------------|-------------|------------|--------------|-------------|----------------------------------------------|
| Wohnzimmer      | Erdgeschoss  | 27,73       | 1          | 1500         | 1650        | Typ 33 350x2000                              |
| Küche           | Erdgeschoss  | 8,83        | 1          | 476          | 1130        | Typ 33 600x1000mm                            |
| Toilette        | Erdgeschoss  | 1,88        | 1          | 101          | 413         | Typ 22 600x500 mm                            |
| Flur            | Erdgeschoss  | 5,22        | 1          | 281          | 413         | Typ 22 600x500 mm                            |
| Flur            | 1. Geschoss  | 1,98        | 0          | 0            |             |                                              |
| Arbeitszimmer 1 | 1. Geschoss  | 8,82        | 1          | 476          | 1130        | Typ 33 600x1000mm                            |
| Arbeitszimmer 2 | 1. Geschoss  | 9,8         | 1          | 529          | 1130        | Typ 33 600x1000mm                            |
| Schlafzimmer 1  | 1. Geschoss  | 17,93       | 1          | 968          | 1130        | Typ 33 600x1000mm                            |
| Bad             | 1. Geschoss  | 5,03        | 1          | 272          | 555         | Badheizkörper mit Mittenanschluß 1500x750 mm |
| Flur            | Dachgeschoss | 1,24        | 0          | 0            |             |                                              |
| Schlafzimmer 2  | Dachgeschoss | 22,42       | 1          | 1210         | 1062        | Typ 33 200x2000                              |
| Studio          | Dachgeschoss | 10          | 1          | 540          | 495         | Typ 33 350x600 mm                            |

- Je niedriger der Vorlauf-Soll, desto besser => Fußbodenheizung kann, muss nicht.
- Austausch der alten Rippenheizkörper (Strahlung) gegen Plattenheizkörper (Konvektion).
- Wir sehen: bei 55°C Vorlauf reicht die Leistung (bis auf 2 Grenzfälle), die Heizkörper passen in den Bauraum. Die Leistungsanpassung macht der Heizungsbauer per hydraulischem Abgleich.

★ Die Heizleistung liegt je nach Rechenmethode bei mir zwischen 5,95 kW und 6,7 kW

# Wie geht's weiter: mit dem Heizungsbauer reden!

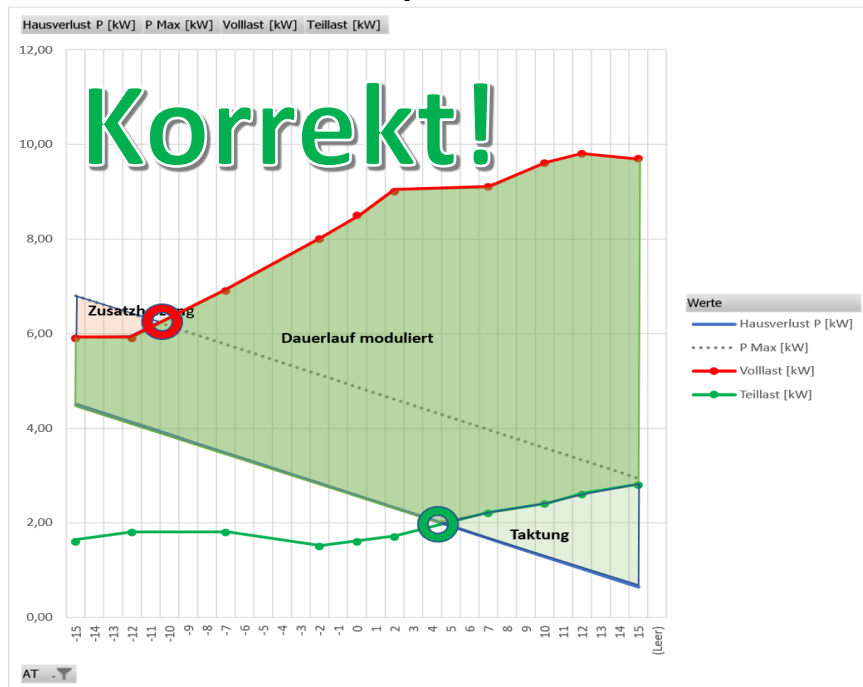


**Nicht aufgeben** bis **ALLE** Diskrepanzen plausibel geklärt sind:

- Passt die Auslegung (ermittelte Heizlast) zu den eigenen Ergebnissen?
- Heizkörperauslegung plausibel?

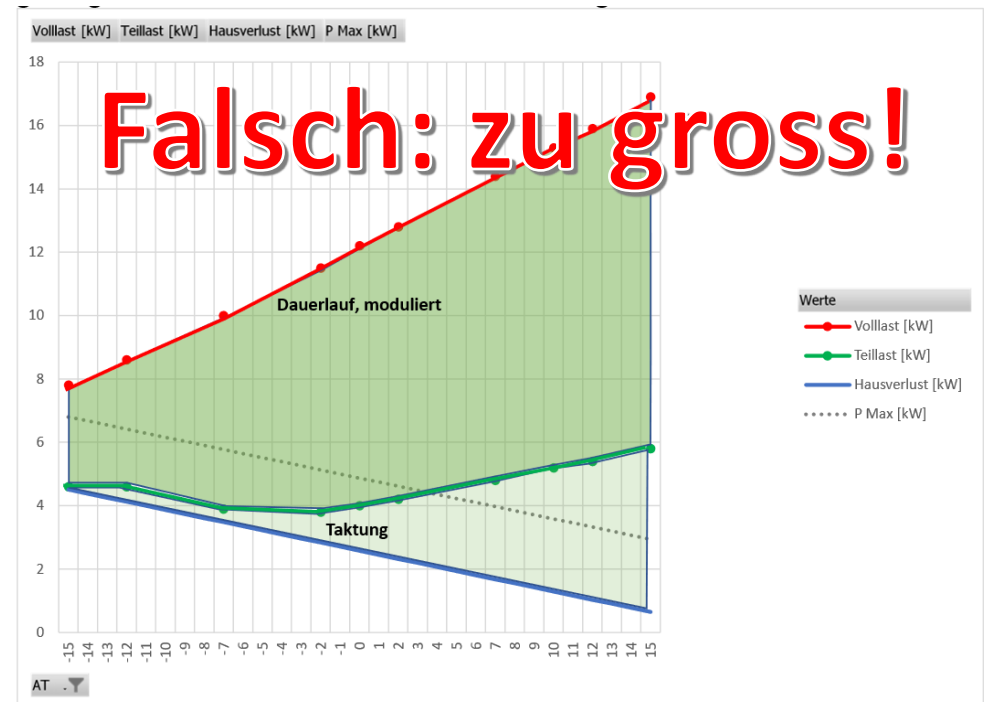
dann beauftragen.

# Fehler vermeiden: Beispiel 55°C max. Vorlauf, Heizlast 6,7 kW\*



**7 kW Maschine**, Taktbetrieb erst ab 5°C aufwärts. Zusatzheizung für 3 Tage (statistisch) im Jahr wenn Außentemp. < -10°C

\* Abschätzung nach raumweiser Heizlastberechnung



**9,2 kW Maschine**, Hauskennlinie immer unterhalb min. Heizleistung, hauptsächlich Taktbetrieb. **Hoher Stromverbrauch**, da der Regelkreis pro Takt jeweils neu einschwingt

# Die kommende Heizperiode nutzen...

Dann wissen Sie Bescheid.

# Daten sammeln

- **Heute:** Gaszählerstand notieren
- Datenlogger anbringen (Option):
  - Innentemperatur automatisch protokollieren
  - Welche durchschnittliche Innentemperatur?
- **Im Januar:**
  - Gaszähler ablesen, Differenz bilden, Warmwasserschätzung abziehen
  - GTZ für heute bis Ablesetag hier: <https://wettercockpit.zukunftaltbau.de/>
  - Rechnen:
$$\eta * E * \frac{\Delta T_{max}}{Nutzung/d * GTZ} = Heizleistung$$



# Die Wärmepumpe simulieren

## 7. Feb. 23, -7°C =>Typischer Verlauf, Gas



- Gastherme auf 6 kW Heizleistung gedrosselt => wie ausgerechnet
- Elektronische Thermostate eingesetzt => damit 1000 kWh Gas eingespart in 22/23
- Heizkurve auf 1.0 abgesenkt
- Check ob die Leistung ausreicht.

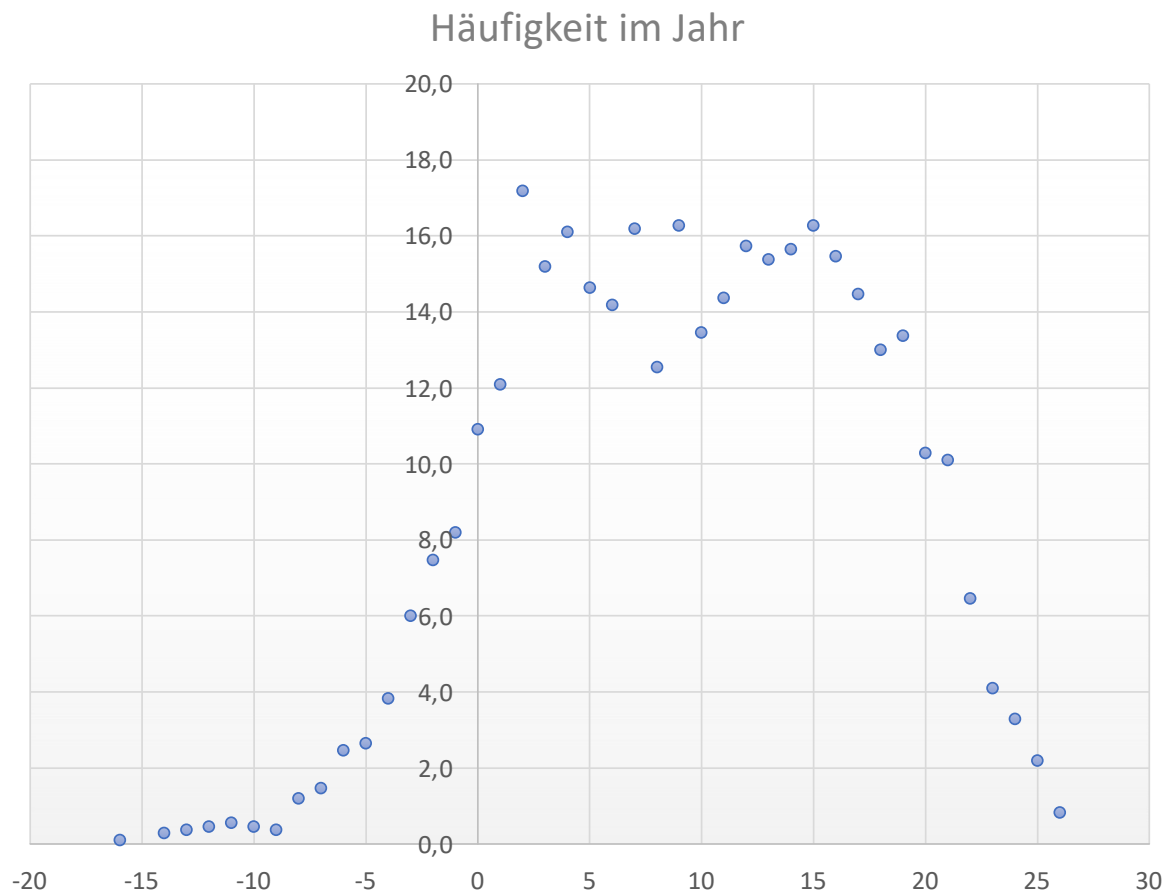
# Danke!

Zeit für Fragen und Diskussion

Backup



# Temperatur: Häufigkeit kalter Tage



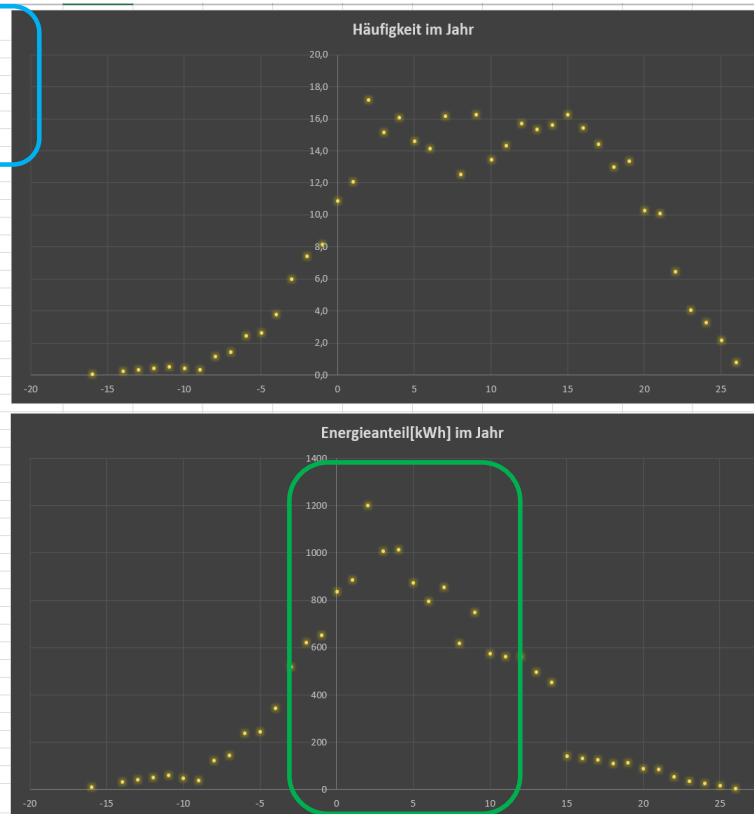
|                        |                  |
|------------------------|------------------|
| Flughafen MUC:         |                  |
| mittl. Tagestemp.      | wie oft pro Jahr |
| -14°C und kälter       | 1                |
| -10°C und kälter       | 3                |
| -6°C und kälter        | 8                |
| zwischen 5°C und 7°C   | 29               |
| zwischen 7°C und 15°C  | 120              |
| kälter als 15°C        | 256              |
| bis 5°C, Dauerlauf 7kW | 107              |
| bis 7°C, Dauerlauf 5kW | 136              |
| 15°C und wärmer        | 110              |
| GTZ                    | 3669             |

# Verbrauchsprognose mit Histogramm

| TMK [°C]      | dT [K] für 20°C Innen | Häufigkeit | Häufigkeit im Jahr      | Heizgrenze | Energieanteil[kWh] im Jahr |
|---------------|-----------------------|------------|-------------------------|------------|----------------------------|
| -16           | 36                    | 1          | 0,1                     | 1          | 11,91818182                |
| -14           | 34                    | 3          | 0,3                     | 1          | 33,9                       |
| -13           | 33                    | 4          | 0,4                     | 1          | 43,96363636                |
| -12           | 32                    | 5          | 0,5                     | 1          | 53,40909091                |
| -11           | 31                    | 6          | 0,5                     | 1          | 62,23636364                |
| -10           | 30                    | 5          | 0,5                     | 1          | 50,31818182                |
| -9            | 29                    | 4          | 0,4                     | 1          | 39,01818182                |
| -8            | 28                    | 13         | 1,2                     | 1          | 122,7909091                |
| -7            | 27                    | 16         | 1,5                     | 1          | 146,1818182                |
| -6            | 26                    | 27         | 2,5                     | 1          | 238,3363636                |
| -5            | 25                    | 29         | 2,6                     | 1          | 247,0272727                |
| -4            | 24                    | 42         | 3,8                     | 1          | 344,7818182                |
| -3            | 23                    | 66         | 6,0                     | 1          | 521,4                      |
| -2            | 22                    | 82         | 7,5                     | 1          | 622,4545455                |
| -1            | 21                    | 90         | 8,2                     | 1          | 655,3636364                |
| 0             | 20                    | 120        | 10,9                    | 1          | 836,7272727                |
| 1             | 19                    | 133        | 12,1                    | 1          | 886,2636364                |
| 2             | 18                    | 189        | 17,2                    | 1          | 1201,009091                |
| 3             | 17                    | 167        | 15,2                    | 1          | 1009,590909                |
| 4             | 16                    | 177        | 16,1                    | 1          | 1015,336364                |
| 5             | 15                    | 161        | 14,6                    | 1          | 873,7909091                |
| 6             | 14                    | 156        | 14,2                    | 1          | 798,4363636                |
| 7             | 13                    | 178        | 16,2                    | 1          | 856,0181818                |
| 8             | 12                    | 138        | 12,5                    | 1          | 621                        |
| 9             | 11                    | 179        | 16,3                    | 1          | 750,1727273                |
| 10            | 10                    | 148        | 13,5                    | 1          | 574,5090909                |
| 11            | 9                     | 158        | 14,4                    | 1          | 564,4909091                |
| 12            | 8                     | 173        | 15,7                    | 1          | 564,6090909                |
| 13            | 7                     | 169        | 15,4                    | 1          | 499,3181818                |
| 14            | 6                     | 172        | 15,6                    | 1          | 455,0181818                |
| 15            | 5                     | 179        | 16,3                    | 0          | 141,5727273                |
| 16            | 4                     | 170        | 15,5                    | 0          | 134,4545455                |
| 17            | 3                     | 129        | 11,6                    | 0          | 125,7545455                |
| 18            | 2                     | 117        | 10,6                    | 0          | 113,1                      |
| 19            | 1                     | 147        | 13,4                    | 0          | 116,2636364                |
| 20            | 0                     | 113        | 10,3                    | 0          | 89,37272727                |
| 21            | -1                    | 113        | 10,3                    | 0          | 87,79090909                |
| 22            | -2                    | 71         | 6,5                     | 0          | 56,15454545                |
| 23            | -3                    | 33         | 3,0                     | 0          | 35,59090909                |
| 24            | -4                    | 25         | 2,3                     | 0          | 28,47272727                |
| 25            | -5                    | 24         | 2,2                     | 0          | 18,98181818                |
| 26            | -6                    | 9          | 0,8                     | 0          | 7,118181818                |
| 3669,5        |                       | 4018       | 365                     |            | 15654,01818                |
| Gradtageszahl | 11 Jahre              | Tage       | Jahresverbrauch [kWh/a] |            |                            |

$$Q(dT) = 3,4 \frac{kWh}{K} * dT + 8,7 kWh$$

Multipliziert mit der Anzahl der Tage

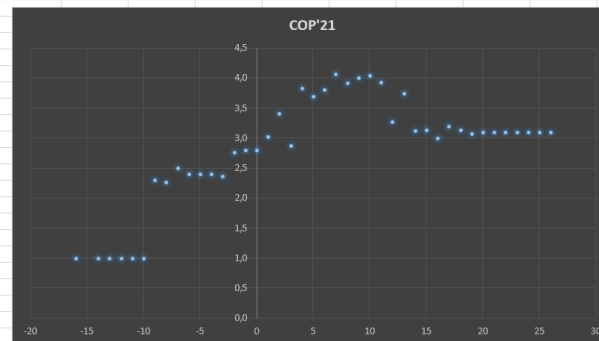
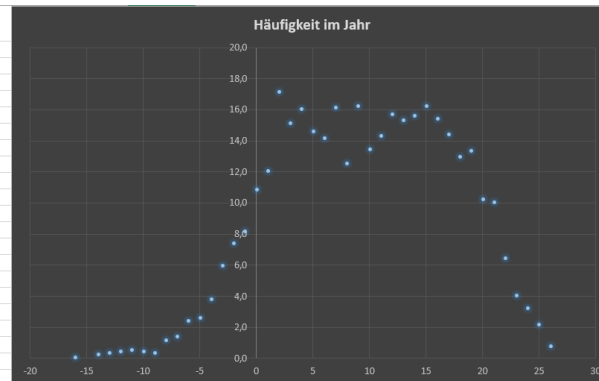


- **Zone Of Interest:**  
- 3°C bis 10°C => hier haben wir die größten Anteile am Jahresenergieverbrauch
- Wir sehen: **sehr kalte Tagesmitteltemperaturen sind selten (< 2/Jahr unter -10°C).**
- In der **Zone Of Interest** arbeitet die Wärme-pumpe mit einer guten Leistungszahl 3+ !

Note: Hier liegen die Flughafenendaten zugrunde, daher leicht andere GTZ

# Prognose mit Histogramm

| TMK [°C] | dt [K] für<br>21°C Innen | dt [K] für<br>20°C Innen | COP'21 | COP'20 | Häufigkeit<br>im Jahr | Häufigkeit<br>im Jahr | Heizgrenze | Energieanteil[kWh] El.<br>im Jahr 21°C Innen | Energie' 21<br>h im Jahr 20°C | Energieanteil[kWh] El.<br>im Jahr 20°C | Energie' 20<br>h im Jahr 20°C |
|----------|--------------------------|--------------------------|--------|--------|-----------------------|-----------------------|------------|----------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|
| 26       | -5                       | -6                       | 3,1    | 3,1    | 9                     | 0,8                   | 0          | 7,12                                         | 2,30                          | 7,12                                   | 2,30                          |
| 25       | -4                       | -5                       | 3,1    | 3,1    | 24                    | 2,2                   | 0          | 18,98                                        | 6,12                          | 18,98                                  | 6,12                          |
| 24       | -3                       | -4                       | 3,1    | 3,1    | 36                    | 3,3                   | 0          | 28,47                                        | 9,18                          | 28,47                                  | 9,18                          |
| 23       | -2                       | -3                       | 3,1    | 3,1    | 45                    | 4,1                   | 0          | 35,59                                        | 11,48                         | 35,59                                  | 11,48                         |
| 22       | -1                       | -2                       | 3,1    | 3,1    | 71                    | 6,5                   | 0          | 56,15                                        | 18,11                         | 56,15                                  | 18,11                         |
| 21       | 0                        | -1                       | 3,1    | 3,1    | 111                   | 10,1                  | 0          | 87,79                                        | 28,32                         | 87,79                                  | 28,32                         |
| 20       | 1                        | 0                        | 3,1    | 3,1    | 113                   | 10,3                  | 0          | 89,37                                        | 28,83                         | 89,37                                  | 28,83                         |
| 19       | 2                        | 1                        | 3,1    | 3,1    | 147                   | 13,4                  | 0          | 116,26                                       | 37,80                         | 116,26                                 | 37,50                         |
| 18       | 3                        | 2                        | 3,1    | 3,1    | 143                   | 13,0                  | 0          | 113,10                                       | 36,05                         | 113,10                                 | 36,77                         |
| 17       | 4                        | 3                        | 3,2    | 3,1    | 159                   | 14,5                  | 0          | 125,75                                       | 39,30                         | 125,75                                 | 40,08                         |
| 16       | 5                        | 4                        | 3,0    | 3,2    | 170                   | 15,5                  | 0          | 134,45                                       | 44,76                         | 134,45                                 | 42,02                         |
| 15       | 6                        | 5                        | 3,1    | 3,0    | 179                   | 16,3                  | 0          | 141,57                                       | 45,08                         | 141,57                                 | 47,13                         |
| 14       | 7                        | 6                        | 3,1    | 3,1    | 172                   | 15,6                  | 1          | 508,18                                       | 162,67                        | 455,02                                 | 144,88                        |
| 13       | 8                        | 7                        | 3,7    | 3,1    | 169                   | 15,4                  | 1          | 551,55                                       | 147,15                        | 499,32                                 | 159,84                        |
| 12       | 9                        | 8                        | 3,7    | 3,7    | 173                   | 15,7                  | 1          | 618,08                                       | 188,90                        | 564,61                                 | 150,63                        |
| 11       | 10                       | 9                        | 3,9    | 3,3    | 158                   | 14,4                  | 1          | 613,33                                       | 156,13                        | 564,49                                 | 172,52                        |
| 10       | 11                       | 10                       | 4,0    | 3,9    | 148                   | 13,5                  | 1          | 620,25                                       | 153,68                        | 574,51                                 | 146,25                        |
| 9        | 12                       | 11                       | 4,0    | 4,0    | 179                   | 16,3                  | 1          | 805,50                                       | 200,98                        | 750,17                                 | 185,86                        |
| 8        | 13                       | 12                       | 3,9    | 4,0    | 138                   | 12,5                  | 1          | 663,65                                       | 169,35                        | 621,00                                 | 154,95                        |
| 7        | 14                       | 13                       | 4,1    | 3,9    | 178                   | 16,2                  | 1          | 911,04                                       | 223,81                        | 856,02                                 | 218,43                        |
| 6        | 15                       | 14                       | 3,8    | 4,1    | 156                   | 14,2                  | 1          | 846,65                                       | 222,77                        | 798,44                                 | 196,15                        |
| 5        | 16                       | 15                       | 3,7    | 3,8    | 161                   | 14,6                  | 1          | 923,55                                       | 249,72                        | 873,79                                 | 229,91                        |
| 4        | 17                       | 16                       | 3,8    | 3,7    | 177                   | 16,1                  | 1          | 1070,05                                      | 279,33                        | 1015,34                                | 274,54                        |
| 3        | 18                       | 17                       | 2,9    | 3,8    | 167                   | 15,2                  | 1          | 1061,21                                      | 370,04                        | 1009,59                                | 263,55                        |
| 2        | 19                       | 18                       | 3,4    | 2,9    | 189                   | 17,2                  | 1          | 1259,43                                      | 369,14                        | 1201,01                                | 418,79                        |
| 1        | 20                       | 19                       | 3,0    | 3,4    | 133                   | 12,1                  | 1          | 927,37                                       | 306,41                        | 886,26                                 | 259,76                        |
| 0        | 21                       | 20                       | 2,8    | 3,0    | 120                   | 10,9                  | 1          | 873,82                                       | 312,76                        | 836,73                                 | 276,46                        |
| -1       | 22                       | 21                       | 2,8    | 2,8    | 90                    | 8,2                   | 1          | 683,18                                       | 243,99                        | 655,36                                 | 234,57                        |
| -2       | 23                       | 22                       | 2,8    | 2,8    | 82                    | 7,5                   | 1          | 647,80                                       | 234,06                        | 622,45                                 | 222,31                        |
| -3       | 24                       | 23                       | 2,4    | 2,8    | 66                    | 6,0                   | 1          | 541,80                                       | 228,88                        | 521,40                                 | 188,39                        |
| -4       | 25                       | 24                       | 2,4    | 2,4    | 42                    | 3,8                   | 1          | 357,76                                       | 149,07                        | 344,78                                 | 145,65                        |
| -5       | 26                       | 25                       | 2,4    | 2,4    | 29                    | 2,6                   | 1          | 255,99                                       | 106,66                        | 247,03                                 | 102,93                        |
| -6       | 27                       | 26                       | 2,4    | 2,4    | 27                    | 2,5                   | 1          | 246,68                                       | 102,78                        | 238,34                                 | 99,31                         |
| -7       | 28                       | 27                       | 2,5    | 2,4    | 16                    | 1,5                   | 1          | 151,13                                       | 60,37                         | 146,18                                 | 60,91                         |
| -8       | 29                       | 28                       | 2,3    | 2,5    | 13                    | 1,2                   | 1          | 126,81                                       | 56,12                         | 122,79                                 | 49,05                         |
| -9       | 30                       | 29                       | 2,3    | 2,3    | 4                     | 0,4                   | 1          | 40,25                                        | 17,50                         | 39,02                                  | 17,27                         |
| -10      | 31                       | 30                       | 1,0    | 2,3    | 5                     | 0,5                   | 1          | 51,86                                        | 51,86                         | 50,32                                  | 21,88                         |
| -11      | 32                       | 31                       | 1,0    | 1,0    | 6                     | 0,5                   | 1          | 64,09                                        | 64,09                         | 62,24                                  | 62,24                         |
| -12      | 33                       | 32                       | 1,0    | 1,0    | 5                     | 0,5                   | 1          | 54,95                                        | 54,95                         | 53,41                                  | 53,41                         |
| -13      | 34                       | 33                       | 1,0    | 1,0    | 4                     | 0,4                   | 1          | 45,20                                        | 45,20                         | 43,96                                  | 43,96                         |
| -14      | 35                       | 34                       | 1,0    | 1,0    | 3                     | 0,3                   | 1          | 34,83                                        | 34,83                         | 33,90                                  | 33,90                         |
| -16      | 37                       | 36                       | 1,0    | 1,0    | 1                     | 0,1                   | 1          | 12,23                                        | 12,23                         | 11,92                                  | 11,92                         |
|          |                          |                          |        |        |                       |                       |            | Gas'21                                       | WP'21                         | Gas'20                                 | WP'20                         |
|          |                          |                          |        |        |                       |                       |            | Kosten €/kWh                                 | 0,09                          | 0,27                                   |                               |
|          |                          |                          |        |        |                       |                       |            | Jahresverbrauch [kWh/a]                      | 16523                         | 5283                                   | 15654                         |
|          |                          |                          |        |        |                       |                       |            | Kosten €/a                                   | 1487                          | 1426                                   | 1409                          |
|          |                          |                          |        |        |                       |                       |            |                                              |                               |                                        |                               |
|          |                          |                          |        |        |                       |                       |            | Gas'21                                       | WP'21                         | Gas'20                                 | WP'20                         |
|          |                          |                          |        |        |                       |                       |            | Sommervverbrauch [kWh/a]                     | 955                           | 307                                    | 955                           |
|          |                          |                          |        |        |                       |                       |            | Kosten €/a                                   | 86                            | 83                                     | 86                            |

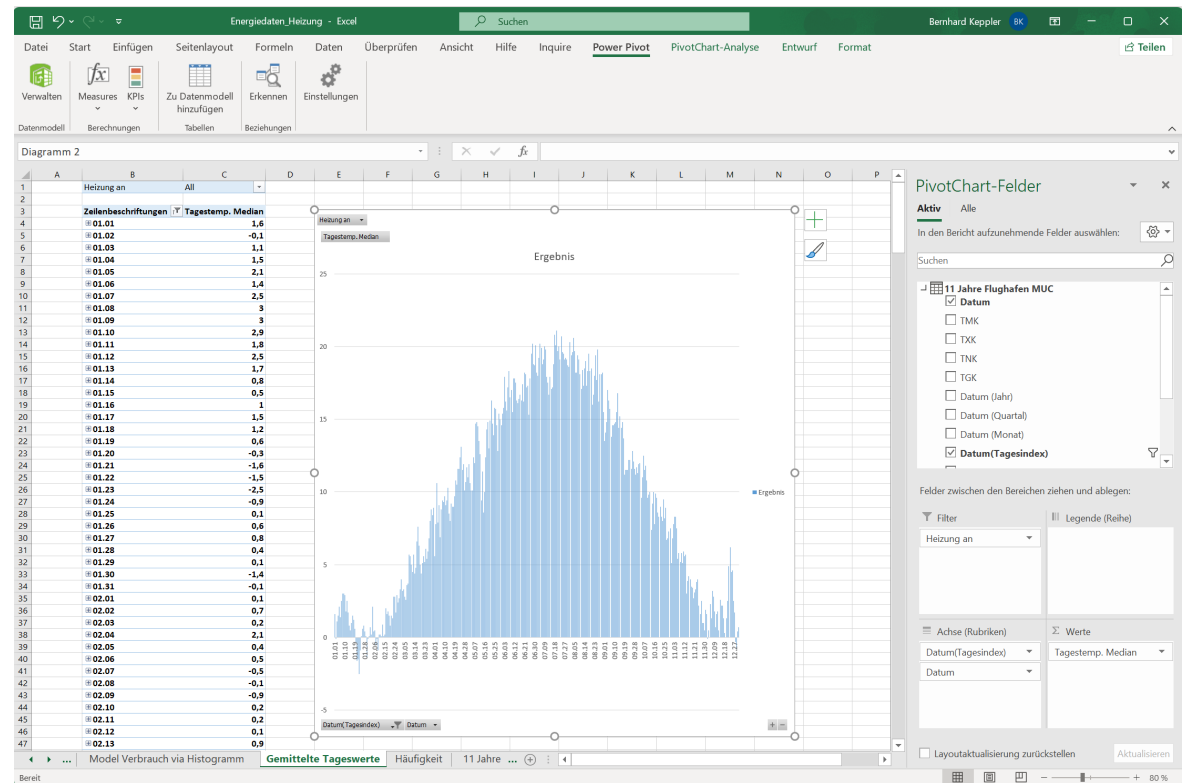


- Kosten Gas vs. WP identisch bei aktueller Marktsituation
- Niedrigere Temperatur => WP wird günstiger vs. Gas
- Wenn Fußbodenheizung bereits vorhanden => no-brainer für WP.

# Ein Temperaturmodell

z.B. mit Excel:

- Sortiere die Tagesmessungen pro Jahrestag => wir haben hier z.B. 11x den 1.1. (Daten aus 11 Jahren)
- Wir nehmen pro Jahrestag den Median der mittleren Tagestemperatur
- Tagesfeiner Temperaturverlauf über 1 Jahr



# Die Hauskennlinie und Gradtageszahl GTZ

- Wir heizen, wenn die Außentemperatur unter 15°C fällt. An einem Heiztag haben wir also eine Temperaturdifferenz ( $dT$ ) > 5 Kelvin (aus 20°C – 15°C)
- Wieviel Energie brauchen wir an einem Heiztag? Also Gesamtverbrauch (Q) teilen durch die Anzahl der Heiztage (N):

$$\frac{Q[kWh]}{N}$$

- Jetzt kommt die Temperaturdifferenz ins Spiel: wir brauchen ja an kalten Tagen mehr Energie als an warmen Tagen. Also überlegen wir uns einen relativen Faktor:

$\frac{dT}{\sum dT/N}$  und damit wird die Heizenergie über die Heiztage passend verteilt:

$$\frac{Q[kWh]}{N} * \frac{dT}{\sum dT} = \frac{Q[kWh] * dT}{\sum dT}$$

- Uns interessiert aber welche Leistung in [W] pro 1 Kelvin Temperatur-differenz benötigt wird. Also teilen wir durch  $dT$  und machen eine Annahme zur täglichen Betriebszeit und zum Wirkungsgrad:

$$\frac{Q[kWh] * dT}{\sum dT} * \frac{1000}{0,75 * 24h/d} \Rightarrow \frac{0,92 * Q[kWh] * 1000}{\sum dT * 0,75 * 24h/d} \left[ \frac{W}{K} \right]$$

- Die Summe über alle Temperaturdifferenzen des Jahres ( $\sum dT$ ) die größer 5 K waren (d.h. Heizung an) ist die **Gradtageszahl (GTZ)**.

Eine Formel die aussagt **wieviel Watt Leistung pro Kelvin Temperaturdifferenz** unser Haus braucht:

$$\frac{\text{Wirkgrd} * \text{Jahresheizverbrauch [kWh]}}{\text{GTZ [Kd]}} * \frac{1000}{\text{Auslastung} * 24h/d} = \text{spez. Leistung [W/K]}$$

Welche **Leistung** braucht unsere Heizung schlimmstenfalls (-14,2°C, GTZ aus dem Temp.-Modell)?

$$\frac{0,92 * 12295 kWh}{3610 Kd * 0,75 * 24h/d} * (20^\circ\text{C} - -14,2^\circ\text{C}) = \mathbf{5,95 kW}$$

Klimakarte, Bundesverband  
Wärmepumpe:  
Jahresmitteltemperatur 8.7 °C,  
Norm-Außentemperatur -14.2 °C



Hottingerformel

$$\dot{Q}_{h,max} = \frac{E \cdot \eta \cdot \Delta T_{max}}{t_H \cdot HGT}$$



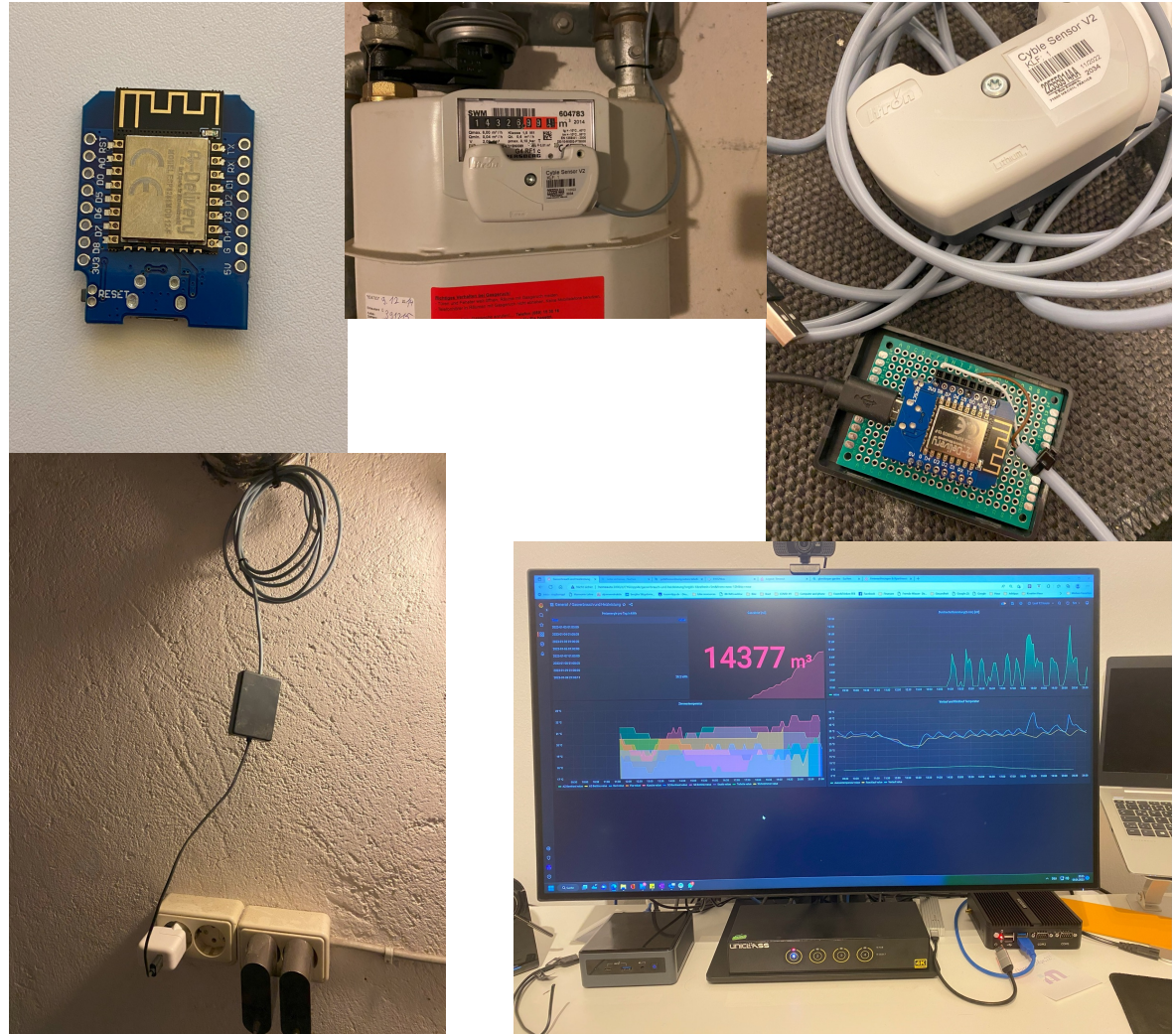
# Links

|                                                             |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Carsten Herbert,<br>Wärmepumpe im Altbau I                  |    |
| Carsten Herbert,<br>Wärmepumpe im Altbau II                 |    |
| Carsten Herbert,<br>Wärmepumpe im Altbau III                |    |
| Wetterdaten vom DWD                                         |    |
| Carsten Herbert, Kompass<br>für den Fördergeld<br>Dschungel |  |
| Bundesverband<br>Wärmepumpe,<br>Förderrechner               |  |



# Aber wie messen?

- ESP8266/ESP32
- Raspberry/IndustriePC, Debian Linux, IObroker
- InfluxDB (Zeitreihen Datenbank)
- Grafana



# Nachrechnen für Eichenau...

**Standort**

☒ Postleitzahl des Standortes **PLZ 82223 (Eichenau)**

☐ Zuordnung der nächstgelegenen Klimastation

☒ Zuordnung der drei nächstgelegenen Klimastationen (mit Wichtung nach Entfernung)

☐ Klimastation

917 - Darmstadt (Hessen) - 1995-08-01 bis 2023-06-12 - Lon=8,68°/Lat=49,88°

Stationsnummer: (alternative Eingabe)

917 - Darmstadt (Hessen) - 1995-08-01 bis 2023-06-12 - Lon=8,68°/Lat=49,88°

☐ Pauschale Höhenkorrektur

Höhe Messung Klima 541 m

Höhe Gebäudestandort 0 m

Differenz 0 m

Änderungskoeffizient (Vorschlagswert - 0,5 K / 100 m; kann bei Bedarf geändert werden) -0,50 K/100m

► Temperaturdifferenz 0,00 K

| Gewichtung                        | ID   | Wetterstation        | Bundesland | Lat (N) | Lon (O) | Höhe über NN | Vollständigkeit der Temperaturmessdaten |
|-----------------------------------|------|----------------------|------------|---------|---------|--------------|-----------------------------------------|
| 51%                               | 6346 | Malsach-Galgeln      | Bayern     | 48,21   | 11,20   | 531 m        |                                         |
| 29%                               | 3379 | München-Stadt        | Bayern     | 48,16   | 11,54   | 515 m        |                                         |
| 20%                               | 7431 | Oberhaching-Laufzorn | Bayern     | 48,01   | 11,55   | 604 m        |                                         |
| gewichtetes Mittel Klimastationen |      |                      |            |         |         | 541 m        | 100%                                    |

**Zeitraum und Ausgabegrößen**

Art der Konditionierung: Heizung

Start: Monat 1 Jahr 2022

Ausgabegröße: Gradtagzahl (aufsummierte Differenzen zwischen Innen- und Außentemperatur)

Innentemperatur: 20 °C nur für Gradtagzahl

Heizgrenztemperatur: 15 °C für Gradtagzahl und Heiz- bzw. Kühlgradtage

**Temperaturdaten**

\*Außentemperatur  
→ Tagesmittel der Außenlufttemperatur

| 2022               |            |                            |              |                       | langjähriges Mittel (20 Jahre)* |                    |            |                            |              |                       |                              |
|--------------------|------------|----------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|------------|----------------------------|--------------|-----------------------|------------------------------|
| Monat              | Tag        | Gradtagzahl GTZ 20/15 [Kd] | Heiztage [d] | Außen-temperatur [°C] | Außentemp. an Heiztagen [°C]    | Monat              | Tag        | Gradtagzahl GTZ 20/15 [Kd] | Heiztage [d] | Außen-temperatur [°C] | Außentemp. an Heiztagen [°C] |
| Jan 2022           | 31         | 576                        | 31           | 1,4                   | 1,4                             | Jan                | 31         | 610                        | 31           | 0,3                   | 0,3                          |
| Feb 2022           | 28         | 448                        | 28           | 4,0                   | 4,0                             | Feb                | 28         | 536                        | 28           | 1,0                   | 1,0                          |
| März 2022          | 31         | 470                        | 31           | 4,8                   | 4,8                             | März               | 31         | 475                        | 31           | 4,7                   | 4,7                          |
| Apr 2022           | 30         | 371                        | 30           | 7,6                   | 7,5                             | Apr                | 29         | 319                        | 29           | 9,5                   | 8,8                          |
| Mai 2022           | 31         | 117                        | 15           | 15,0                  | 12,0                            | Mai                | 23         | 209                        | 23           | 13,2                  | 11,0                         |
| Jun 2022           | 30         | 11                         | 2            | 18,9                  | 14,1                            | Jun                | 10         | 68                         | 10           | 17,4                  | 12,9                         |
| Jul 2022           | 31         | 8                          | 1            | 20,0                  | 14,1                            | Jul                | 5          | 31                         | 5            | 18,9                  | 13,8                         |
| Aug 2022           | 31         | 1                          | 0            | 19,5                  | 14,7                            | Aug                | 6          | 41                         | 6            | 18,3                  | 13,6                         |
| Sep 2022           | 30         | 186                        | 20           | 13,1                  | 10,7                            | Sep                | 20         | 164                        | 20           | 14,1                  | 11,9                         |
| Okt 2022           | 31         | 207                        | 28           | 12,8                  | 12,5                            | Okt                | 30         | 325                        | 30           | 9,6                   | 9,1                          |
| Nov 2022           | 30         | 426                        | 30           | 5,8                   | 5,8                             | Nov                | 30         | 463                        | 30           | 4,5                   | 4,5                          |
| Dez 2022           | 31         | 580                        | 31           | 1,8                   | 1,8                             | Dez                | 31         | 575                        | 31           | 1,5                   | 1,5                          |
| <b>Jahr gesamt</b> | <b>366</b> | <b>3387</b>                | <b>246</b>   | <b>10,4</b>           | <b>6,3</b>                      | <b>Jahr gesamt</b> | <b>366</b> | <b>3816</b>                | <b>274</b>   | <b>9,4</b>            | <b>6,1</b>                   |

Verhältnis der Gradtagzahl GTZ 20/15 für 2022 zum 20-Jahres-Mittel am gleichen Standort: 0,89

Verhältnis der Heiztage HT 15 für 2022 zum 20-Jahres-Mittel am gleichen Standort: 0,90

Erläuterungen UserForm Info Calc.Evaluation Tab.StationMapping List.Station.TA Data.TA.HD Data.Sol Tab.Est

|                         |          |
|-------------------------|----------|
| Energie Heizung [kWh]/a | 12295,16 |
| Energie WW [kWh]/a      | 3175,99  |
| Therm. Energie [kWh]/a  | 15471,15 |

$$12295,16 \text{ kWh} * 1000 * 0,92 / (3816 * 24 \text{ h}) = 123,5 \text{ W/K}$$

$$123,5 \text{ W/K} * (21^\circ\text{C} - 14,2^\circ\text{C}) * 1/0,75 = 5796 \text{ W} = 5,8 \text{ kW}$$

$$1,16 \text{ Wh} * 1121 * (50^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})/1 \text{ h} = 5.2 \text{ kW}$$

$$123,5 \text{ W/K} * (21^\circ\text{C} - 14,2^\circ\text{C}) / 120 \text{ m}^2 = 36,2 \text{ W/m}^2$$

$$12295,16 \text{ kWh} * 1000 / (3610) = 3,4 \text{ kWh/K}$$

**Kennlinie:**  $Q(dT)=3,4 \text{ kWh/K} * dT + 8,7 \text{ kWh}$  für  $dT > 5 \text{ K}$ . Note: GTZ 3610 aus den Modelldaten

## Fazit:

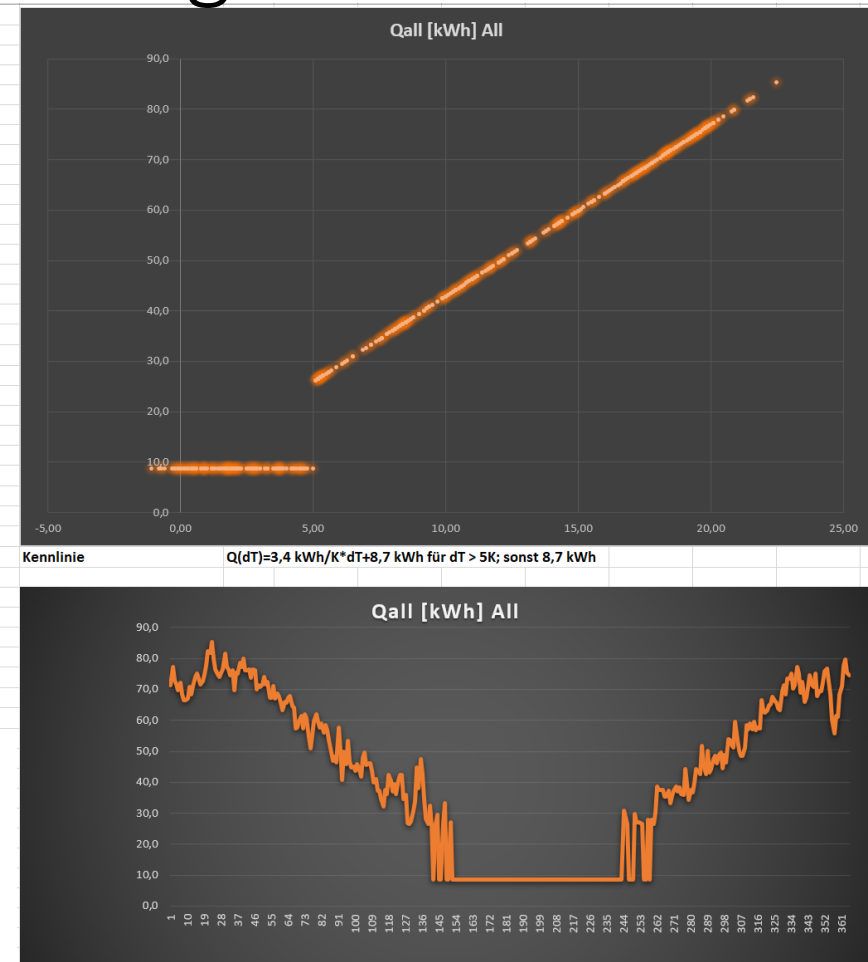
- Ganz sicher aber braucht man in diesem Fall nicht 19 kW (wie in ursprünglich in meinem Haus verbaut)



# Model: Temp.-differenz und Energiebedarf

| Parameter                      |                           | MM.DD  | TMK-Median | Heizgrenze | deltaT [K] | QHz [kWh] Heat | Qall [kWh] All |
|--------------------------------|---------------------------|--------|------------|------------|------------|----------------|----------------|
| Sollwert Raum [°C] historisch  |                           | 20     | 01.01      | 1,60       | 1          | 18,40          | 62,67          |
| Sollwert Raum [°C] optimiert   |                           | 19     | 01.02      | -0,10      | 1          | 20,10          | 68,46          |
| Auslegungsgrenze [°C]          |                           | -14    | 01.03      | 1,10       | 1          | 18,90          | 64,37          |
| Wohnfläche beheizt [m2]        | ✓                         | 120,00 | 01.04      | 1,50       | 1          | 18,50          | 63,01          |
| Gerät                          | Vaillant, VC DE 196/3-5   | 01.05  |            | 2,10       | 1          | 17,90          | 60,97          |
| P(89/60°C) [kW]                | 5,7 - 19                  | 01.06  |            | 1,40       | 1          | 18,60          | 63,35          |
| Q [kW]                         | 5,8 - 19,4; 12kW begrenzt | 01.07  |            | 2,50       | 1          | 17,50          | 59,61          |
| Wirkungsgrad Brennwert         | 98,2%                     | 01.08  |            | 3,00       | 1          | 17,00          | 57,90          |
| Heizleistung [kW]              | 19,4                      | 01.09  |            | 3,00       | 1          | 17,00          | 57,90          |
| Warmwasserleistung [kW]        | 23,6                      | 01.10  |            | 2,90       | 1          | 17,10          | 58,24          |
| Inbetriebnahme                 | 01.03.2010                | 01.11  |            | 1,80       | 1          | 18,20          | 61,99          |
| Lifetime [h]                   | 106488,00                 | 01.12  |            | 2,50       | 1          | 17,50          | 59,61          |
| Betrieb Hz [h]                 | 7568                      | 01.13  |            | 1,70       | 1          | 18,30          | 62,33          |
| Betrieb WW [h]                 | 1607                      | 01.14  |            | 0,80       | 1          | 19,20          | 65,40          |
| Hz Cycles                      | 88200                     | 01.15  |            | 0,50       | 1          | 19,50          | 66,42          |
| WW cycles                      | 34200                     | 01.16  |            | 1,00       | 1          | 19,00          | 64,71          |
| Zwischenergebnisse             |                           | 01.17  |            | 1,50       | 1          | 18,50          | 63,01          |
| Overtime Hz [h]/h              | 0,071069                  | 01.18  |            | 1,20       | 1          | 18,80          | 64,03          |
| Overtime WW [h]/h              | 0,015091                  | 01.19  |            | 0,60       | 1          | 19,40          | 66,08          |
| Offtime [h]/h                  | 0,913840                  | 01.20  |            | -0,30      | 1          | 20,30          | 69,14          |
| Energie Heizung [kWh]/h        | 1,40                      | 01.21  |            | -1,60      | 1          | 21,60          | 73,57          |
| Energie WW [kWh]/h             | 0,36                      | 01.22  |            | -1,50      | 1          | 21,50          | 73,23          |
| Therm. Energie [kWh]/h         | 1,77                      | 01.23  |            | -2,50      | 1          | 22,50          | 76,64          |
| Energie Heizung [kWh]/a        | 12295,16                  | 01.24  |            | -0,90      | 1          | 20,90          | 71,19          |
| Energie WW [kWh]/a             | 3175,99                   | 01.25  |            | 0,10       | 1          | 19,90          | 67,78          |
| Therm. Energie [kWh]/a         | 15471,15                  | 01.26  |            | 0,60       | 1          | 19,40          | 66,08          |
| Endergebnisse historisch       |                           | 01.27  |            | 0,80       | 1          | 19,20          | 65,40          |
| Auslegungsgrenze [kW]          | 4,83                      | 01.28  |            | 0,40       | 1          | 19,60          | 66,76          |
| Spez. Heizleistung [W/m2]      | 40,21                     | 01.29  |            | 0,10       | 1          | 19,90          | 67,78          |
| QHspec [W/K]                   | 141,92                    | 01.30  |            | -1,40      | 1          | 21,40          | 72,89          |
| QAspec[W/Km2]                  | 1,18                      | 01.31  |            | -0,10      | 1          | 20,10          | 68,46          |
| Gesamtenergiebedarf [kWh]      | 15471,15                  | 02.01  |            | 0,10       | 1          | 19,90          | 67,78          |
| Gesamtenergiebedarf [kWh/m2/a] | 128,93                    | 02.02  |            | 0,70       | 1          | 19,30          | 65,74          |
| Gradtageszahl                  | 3609,8                    | 02.03  |            | 0,20       | 1          | 19,80          | 67,44          |
| Heiztage                       | 262                       | 02.04  |            | 2,10       | 1          | 17,90          | 60,97          |

- Je tiefer die mittlere Tagestemperatur desto höher der Energiebedarf
- Heizgrenze bei 15°C => nurmehr Energie für warmes Wasser im Sommer.

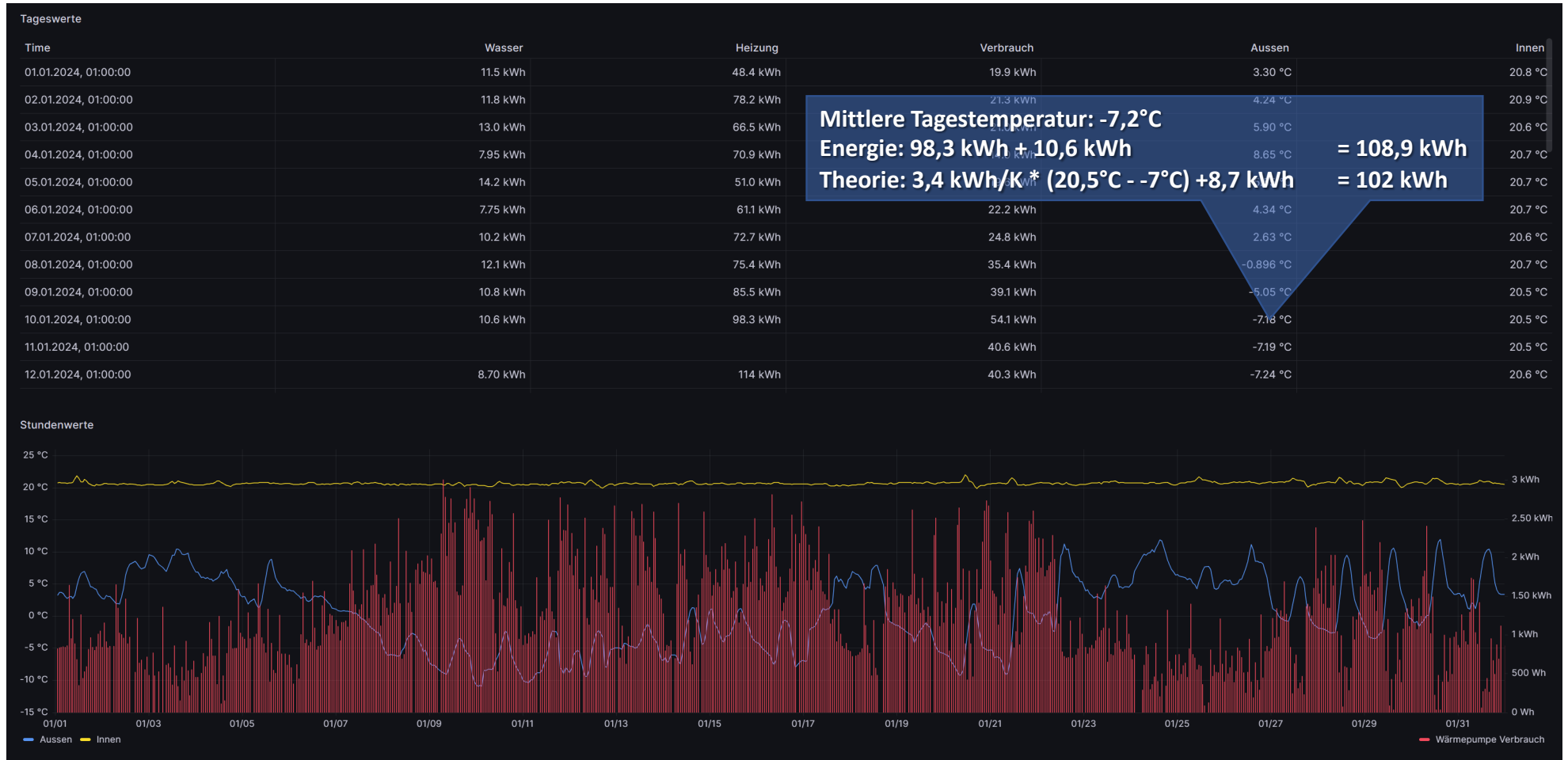


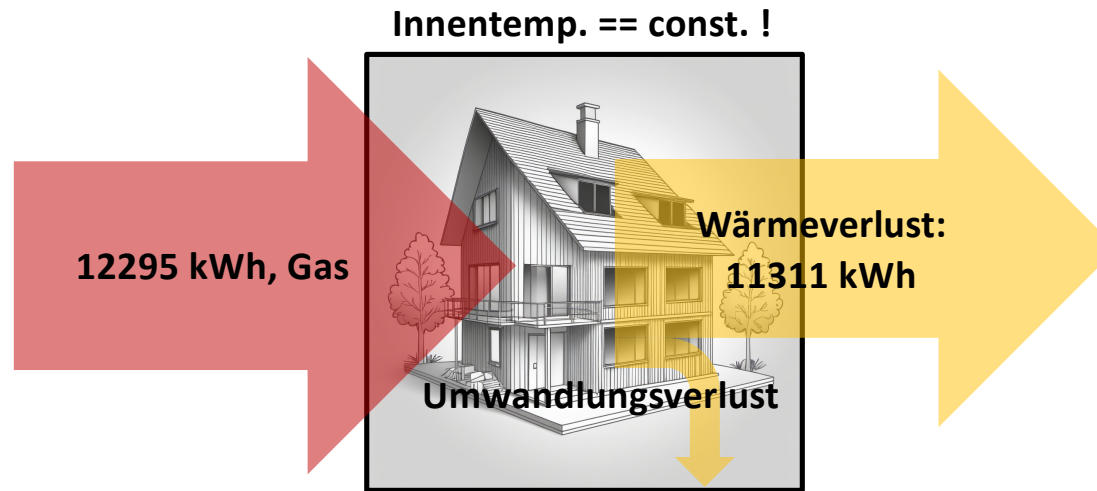
# PV und Wärmepumpe



- Hilft, aber reicht nicht aus in der Heizsaison.
- Sommer und Übergangszeit => wesentlicher Beitrag.

# Gemessen: Januar'24

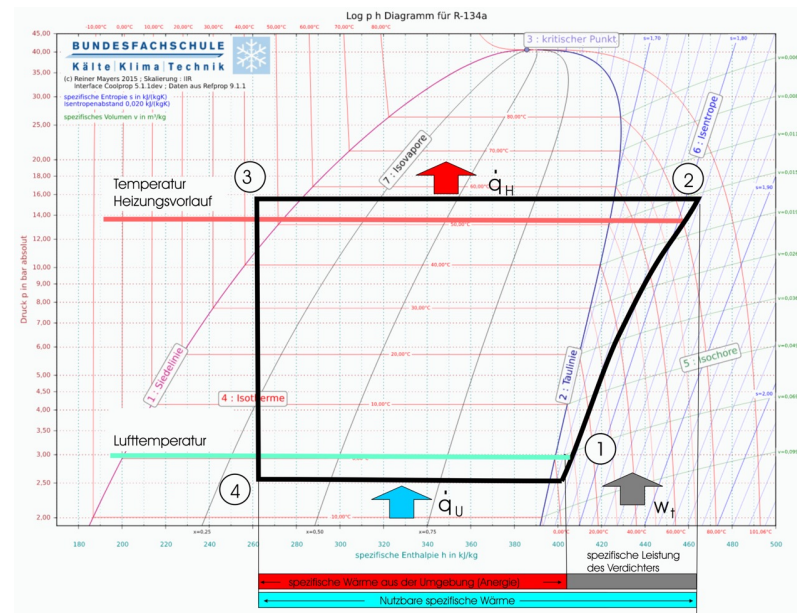
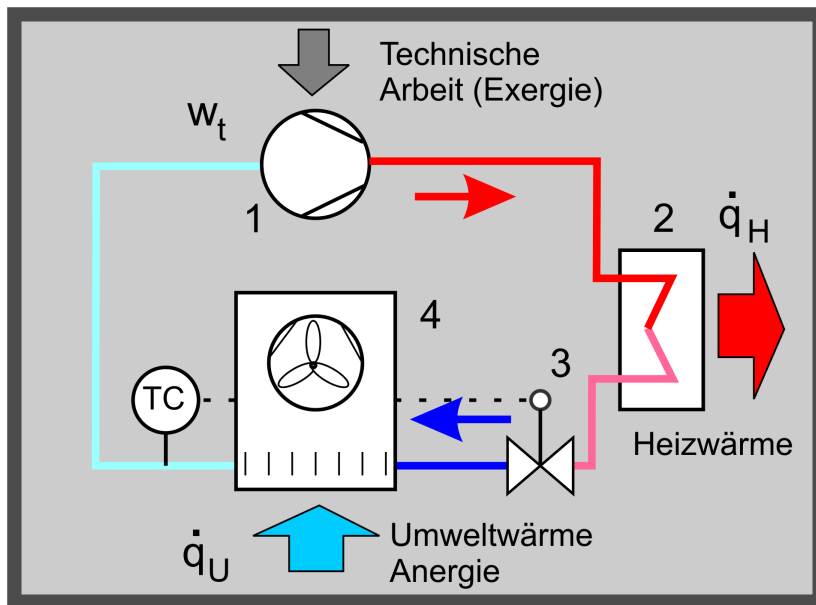




- Das System verrichtet Arbeit (heizen) um die Innentemperatur trotz des Wärmeverlustes konstant zu halten.
- Dabei entsteht ein Umwandlungsverlust von zugeführter Energie zur Erzeugung der Wärmeenergie (Verbrennung in der Gastherme) die den Wärmeverlust ausgleichen soll, so dass die Innentemperatur konstant bleibt
- Der Wirkungsgrad des Systems ist definiert durch  $\eta = \frac{\text{Nutzenergie}}{\text{zugeführte Energie}}$ , bei der Gastherme geht man von 0,92 aus.
- Wir müssen den Wärmeverlust durch Heizung ersetzen, also ist unsere *Nutzenergie* =  $\eta * \text{zugeführte Energie}$
- Man setzt daher in die Norm- oder Hottingerformel ein: **0,92 \* 12295 kWh = 11311 kWh** und erhält damit eine Auslegungsleistung des Systems (egal ob Therme oder Wärmepumpe) für den Worst Case (aka Normtemperatur, -14,2°C in 82223 Eichenau, innen konstant 20°C)

$$\eta * E * \frac{\Delta T_{\max}}{\text{Nutzung/d*GTZ}} = \text{Heizleistung}, \frac{0,92 * 12.295 \text{ kWh}}{3.610 \text{ Kd} * 0,75 * 24 \text{ h/d}} * (20^{\circ}\text{C} - -14,2^{\circ}\text{C}) = 5,95 \text{ kW}$$

# Kreisprozess Wärmepumpe



[Wärmepumpe – Wikipedia](https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmepumpe)