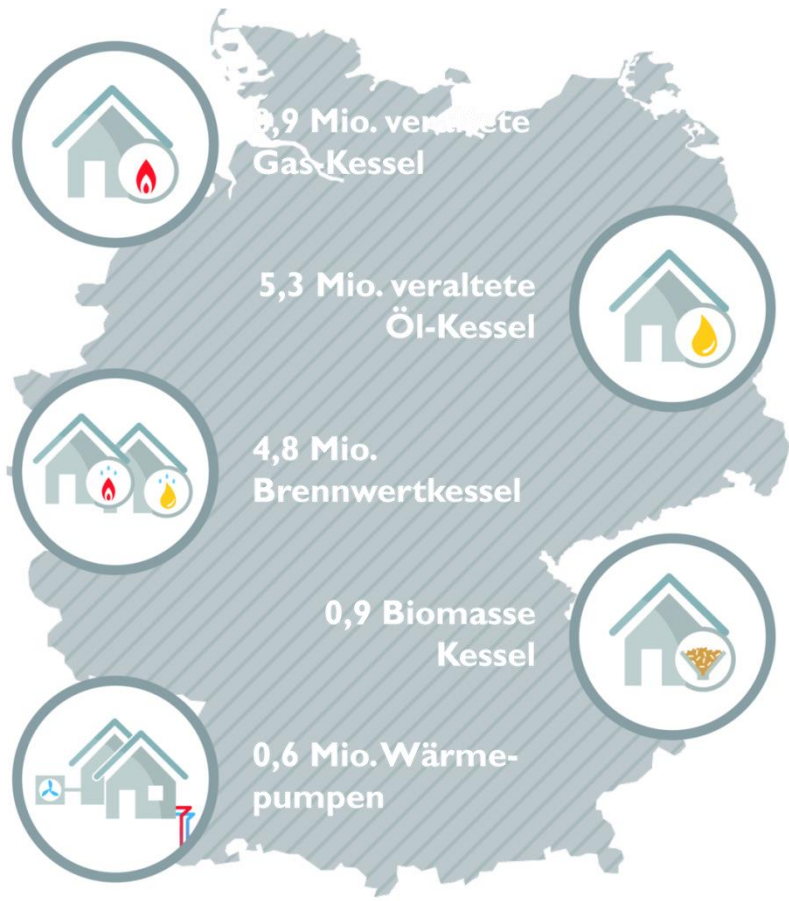


Sanierung im Altbestand



Clemens Lehr



Wärmebedarf ermitteln

Energetische Sanierung?

Brennstoff (Energieträger)	Heizwert (Energievergleich)	
1 kg Ofenöl (EL)	42 MJ/kg	11,67 kWh/kg
1 l Ofenöl (EL)	36 MJ/l	10,00 kWh/l
1 kg Heizöl (L)	41 MJ/kg	11,40 kWh/kg
1 m ³ Erdgas	37 MJ/kg	10,28 kWh/m ³
Flüssiggas Propan (kg)		12,9 kWh/kg
Flüssiggas Propan (l)		6,6 kWh/l
1 kg Steinkohle	29 MJ/kg	8,06 kWh/kg
1 kg Braunkohle	15 MJ/kg	4,17 kWh/kg
1 kg Koks	29 MJ/kg	8,06 kWh/kg
1 kg Holz-Pellets	18 MJ/kg	5,00 kWh/kg
1 kWh Strom	3,6 MJ	1,00 kWh
1 kg Holz (W = 20 %)	14,40 MJ/kg	4,00 kWh/kg
1kg Stroh (W = 15 %)	13 - 14,40 MJ/kg	3,6 - 4 kWh/kg
Getreide		4,20 - 4,80 kWh/kg
Ölsaaten		6,50 - 7,00 kWh/kg
Presskuchen		6,50 kWh/kg
Klär gas		6,0 - 7,0 kWh/m ³
Biogas aus landwirt. Reststoffen		5,5 - 7,5 kWh/m ³
Deponiegas		5,0 - 6,0 kWh/m ³
Rapsöl		10,0 kWh/kg
RME (Rapsmethylester)		10,3 kWh/kg
Rapskörner (Öl- und Faseranteil)		6,8 kWh/kg

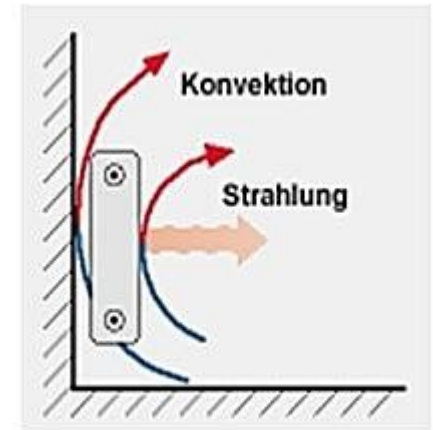
Wärmebedarf ermitteln

Durch eine Wärmebedarfsrechnung (früher nach DIN 4701, seit 2004 nach DIN EN 12831) wird die Raumheizlast Q_{HL} errechnet. Sie gibt an, wie viel Wärme Q [Watt] einem Raum zugeführt werden muss, damit bei einer gewissen Außentemperatur eine festgelegte Raumtemperatur eingehalten werden kann.

Das Verhältnis von Konvektion zu Strahlung wird für jeden Heizkörper durch den **Heizkörper-Exponenten n** in der Heizkörper-Auswahlliste angegeben und ist für weitere Berechnungen wichtig. Je kleiner der Heizkörper-Exponent ist, desto größer ist der Strahlungsanteil.

Der Heizkörper-Exponent beträgt etwa bei

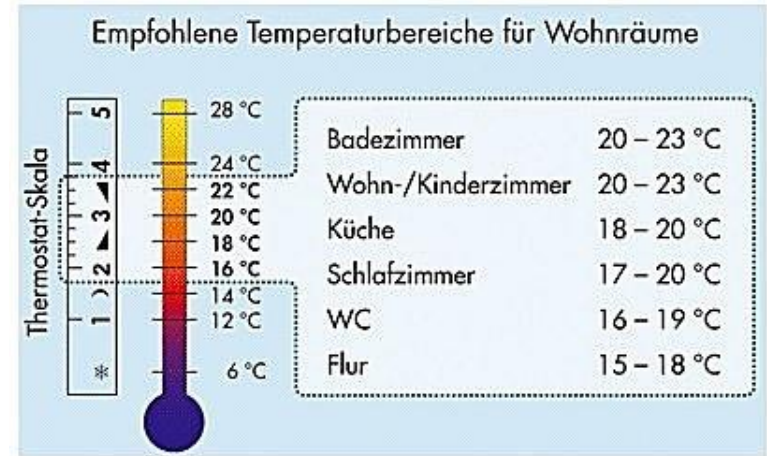
- Plattenheizkörpern $n = 1,20 - 1,30$
- Radiatoren $n = 1,3$
- Fußbodenheizungen $n = 1,1$



Für welche Raumlufttemperaturen t_L müssen die Heizkörper ausgelegt sein?

Je kleiner die Differenz zwischen Heizkörper- und Raumlufttemperatur ist, desto geringer ist die Wärmeabgabe des Heizkörpers Q_{HK} . Den Heizkörper-Auswahllisten der Hersteller liegt immer eine Raumlufttemperatur t_L von 20 °C zugrunde. Andere Raumlufttemperaturen müssen durch den **Temperatur-Umrechnungsfaktor f_T** berücksichtigt werden.

Der **Temperatur-Umrechnungsfaktor f_T** beträgt z. B. für einen Heizkörper mit einem Heizkörper-Exponent $n = 1,3$ bei einer Heizungsanlage 75/65/20 und einer Raumlufttemperatur $t_L = 22^\circ\text{C}$ etwa $f_T = 1,06$



Ein Kriterium für die Wärmeabgabe eines Heizkörpers ist die sogenannte „**mittlere Übertemperatur**“ $t_{\text{Üm}}$.

Je größer die mittlere Übertemperatur, also je wärmer der Heizkörper gegenüber seiner Umgebungstemperatur ist, desto größer ist seine Wärmeabgabe.

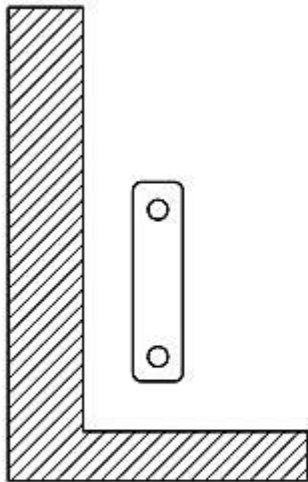
Umgekehrt: Steigt die Raumlufttemperatur t_{L} , sinkt die Wärmeabgabe des Heizkörpers. Dieser Effekt wird „Selbstregeleffekt“ genannt.

$$t_{\text{Üm}} = \frac{t_{\text{V}} + t_{\text{R}}}{2} - t_{\text{L}}$$

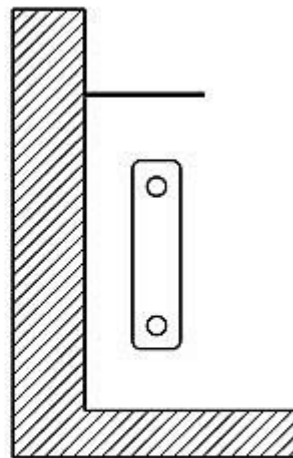
Formel 1: Heizkörper-Übertemperatur

t_{V} = Heizkörper-Vorlauftemperatur
 t_{R} = Heizkörper-Rücklauftemperatur
 t_{L} = Raumlufttemperatur

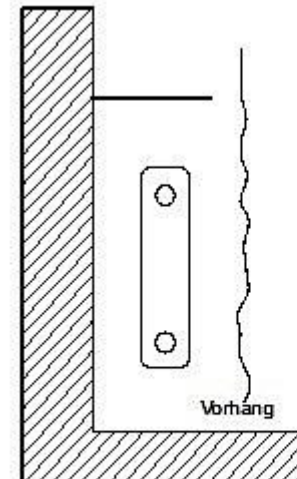
Heizkörperverkleidungen beeinträchtigen die Wärmeabgabe der Heizkörper erheblich. Die Einbausituation der Heizkörper wird durch den **Einbaufaktor** f_E berücksichtigt.



Keine Heizkörperverkleidung
 $f_E = 1,0$



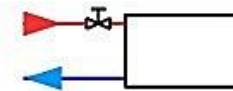
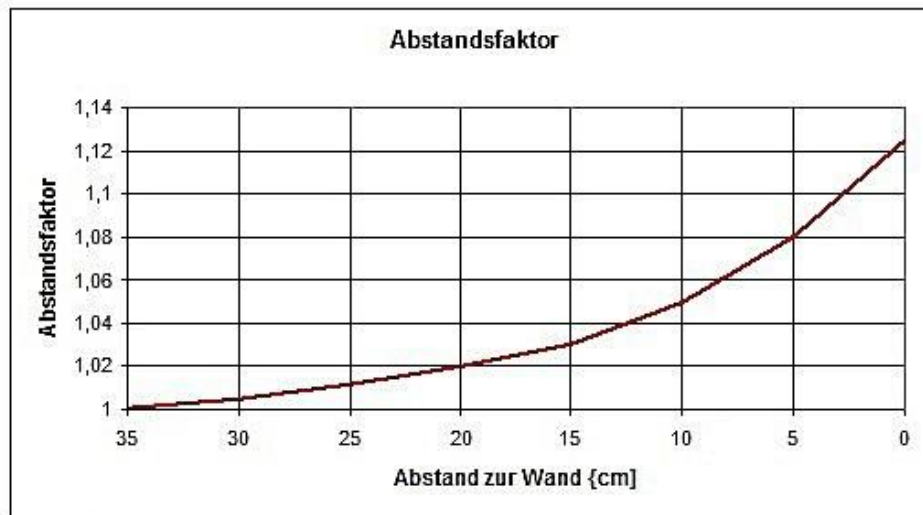
Obere Abdeckung
 $f_E = 1,04 \dots 1,1$



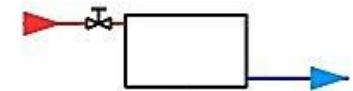
Obere Abdeckung und Vorhang
 $f_E = 1,04 \dots 1,16$

Auch der Abstand des Heizkörpers zur Wand ist entscheidend für die Heizkörperleistung und wird durch den **Abstandsfaktor** f_{Ab} berücksichtigt. Dem Diagramm kann man entnehmen, dass

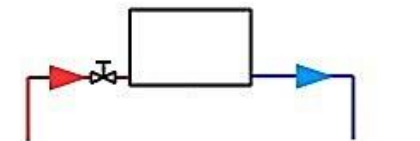
- z. B. ein Wandabstand von 20 cm einen Abstandsfaktor f_{Ab} von 1,02 ergibt, was eine Leistungsminderung von 2 % bedeutet. Ein Wandabstand von 5 cm bringt eine Leistungsminderung von 8 %.
- wie der Heizkörper angeschlossen wird. Der Heizkörper-Anschluss wird durch den **Anschlussfaktor** f_{An} berücksichtigt.



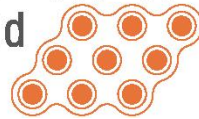
Anschluss einseitig
 $f_{An} = 1,0$



Anschluss wechselseitig
 $f_{An} = 1,0$



Anschluss wechselseitig reitend
 $f_{An} = 1,05$



Für einen Raum wurde eine Raumheizlast von $Q_{HL} = 1000 \text{ W}$ errechnet. Die Raumtemperatur soll 22 °C betragen. Der Heizkörper soll mit einem Abstand von 20 cm zur Wand eingebaut und einseitig angeschlossen werden.

$$Q_{HK} = Q_{HL} \times f_T \times f_E \times f_{Ab} \times f_{An}$$

Formel 2: erforderliche Wärmeleistung eines Heizkörpers

- Q_{HK} = erforderliche Wärmeleistung eines Heizkörpers [Watt]
- Q_{HL} = Raumheizlast [Watt]
- f_T = Temperatur-Umrechnungsfaktor
- f_E = Einbaufaktor
- f_{Ab} = Abstandsfaktor
- f_{An} = Anschlussfaktor

Wie groß muss die erforderliche Heizkörperleistung sein?

$$Q_{HK} = 1000 \text{ W} \times 1,06 \times 1,06 \times 1,02 \times 1 = 1146 \text{ W}$$

Das bedeutet, dass der Heizkörper eine Wärmeleistung von 1146 W haben muss, obwohl der Raum nur eine Heizlast von 1000 W hat.

Mit der erforderlichen Wärmeleistung des Heizkörpers Q_{HK} und den Vor- und Rücklauftemperaturen kann man die Wassermenge, die den Heizkörper durchströmen muss, nach folgender Formel errechnen:

$$V_A = 0,86 \times \frac{Q_A}{t_{VA} - t_{RA}}$$

Formel 4: Wasser-Durchflussmenge

- V_A = Wasser-Durchflussmenge im Auslegungszustand in ltr/Std
- Q_A = Wärmeleistung des Heizkörpers im Auslegungszustand in Watt
- t_{VA} = Vorlauftemperatur im Auslegungszustand in °C
- t_{RA} = Rücklauftemperatur im Auslegungszustand in °C

Wenn eine Heizungsanlage mit anderen Vor- und Rücklauftemperaturen als den Normtemperaturen errichtet wird, müssen die Norm-Heizkörperleistungen Q_{Norm} auf die anderen Temperaturen umgerechnet werden. Dies geschieht mit folgender Formel:

$$Q_{\text{tat}} = Q_{\text{N}} \times \left(\frac{\frac{t_{\text{V tat}} - t_{\text{R tat}}}{\ln \frac{t_{\text{V tat}} - t_{\text{L tat}}}{t_{\text{R tat}} - t_{\text{L tat}}}}{t_{\text{VN}} - t_{\text{RN}}}}{\ln \frac{t_{\text{VN}} - t_{\text{LN}}}{t_{\text{RN}} - t_{\text{LN}}}} \right)^n$$

Q_{tat} = tatsächliche Wärmeleistung eines Heizkörpers
 Q_{N} = Norm-Wärmeleistung eines Heizkörpers

1

$$\frac{Q_{geä}}{Q_A} = \frac{V_{geä}}{V_A} \times \frac{t_{V_{geä}} - t_{R_{geä}}}{t_{V_A} - t_{R_A}}$$

2

$$\frac{Q_{geä}}{Q_A} = \left(\frac{\frac{t_{V_{geä}} - t_{R_{geä}}}{\ln \frac{t_{V_{geä}} - t_{L_{geä}}}{t_{R_{geä}} - t_{L_{geä}}}}{t_{V_A} - t_{R_A}}}{\ln \frac{t_{V_A} - t_{L_A}}{t_{R_A} - t_{L_A}}} \right)^n$$

3

$$\frac{Q_{geä}}{Q_A} = \frac{t_{L_{geä}} - t_{At_{geä}}}{t_{L_A} - t_{At_A}}$$

- Q_A = Wärmeleistung des Heizkörpers im Auslegungszustand in Watt
- t_{V_A} = Vorlauftemperatur im Auslegungszustand in °C
- t_{R_A} = Rücklauftemperatur im Auslegungszustand in °C
- t_{L_A} = Lufttemperatur im Raum im Auslegungszustand in °C
- t_{At_A} = Außenlufttemperatur im Auslegungszustand in °C
- V_A = Wasser-Durchflussmenge im Auslegungszustand in ltr/Stk
- $V_{geä}$ = Wasser-Durchflussmenge im geänderten Zustand in ltr/Stk
- $Q_{geä}$ = Wärmeleistung des Heizkörpers im geänderten Zustand in Watt
- $t_{V_{geä}}$ = Vorlauftemperatur im geänderten Zustand in °C
- $t_{R_{geä}}$ = Rücklauftemperatur im geänderten Zustand in °C
- $t_{L_{geä}}$ = Lufttemperatur im Raum im geänderten Zustand in °C
- $t_{At_{geä}}$ = Außenlufttemperatur im geänderten Zustand in °C
- n = Heizkörper-Exponent

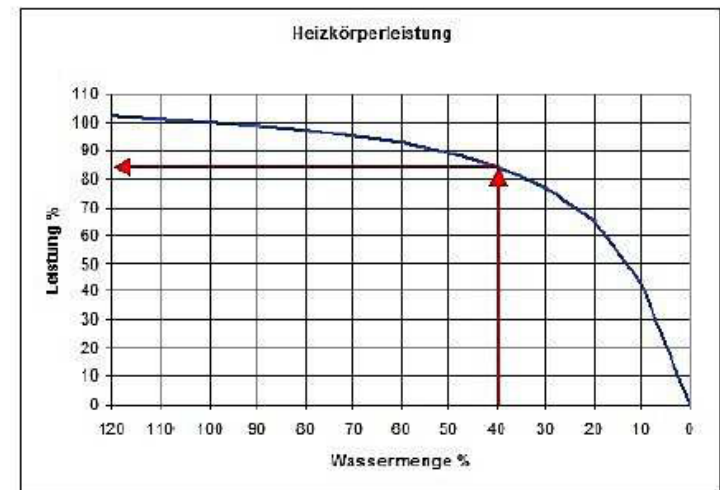
Betrieb mit geänderten Wasser-Durchflussmengen

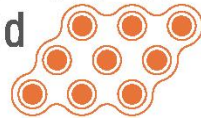
Die Wassermenge, die durch einen Heizkörper fließt, kann durch Ventile in den Rohrleitungen oder am Heizkörper und durch Verstellen der Pumpenleistung verändert werden.

Anhand des Diagramms kann man erkennen, dass dieser Heizkörper noch ca. 84 % seiner Wärmeleistung abgibt, obwohl er nur mit 40 % der Auslegungs-Wasserdurchflussmenge durchströmt wird (rote Pfeile). Das kommt daher, weil das Wasser langsamer durch den Heizkörper fließt und somit mehr Zeit hat, seine Wärme abzugeben.

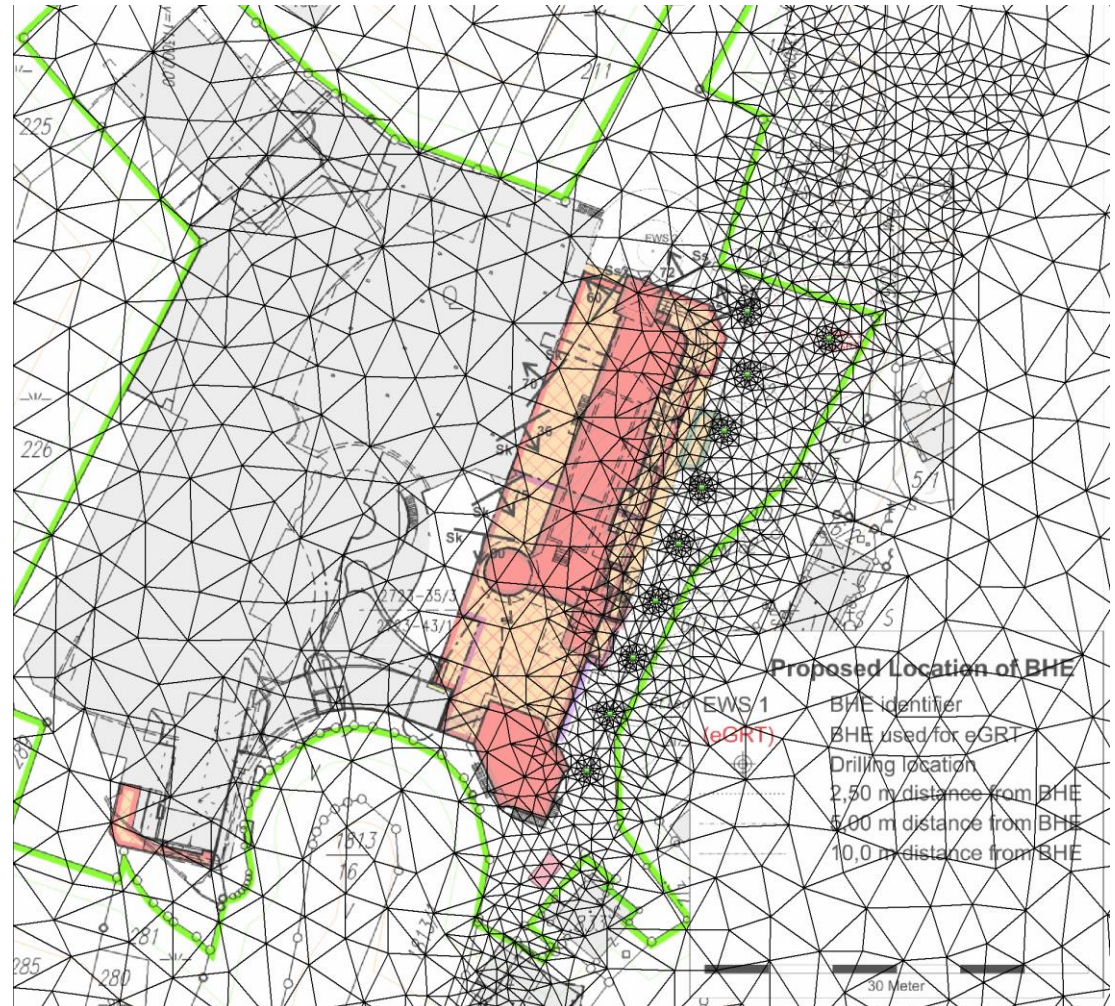
Dagegen ergibt eine Erhöhung der Wasserdurchflussmenge über die Auslegungs-Wasserdurchflussmenge

(100 %) hinaus keine wesentliche Leistungserhöhung des Heizkörpers.

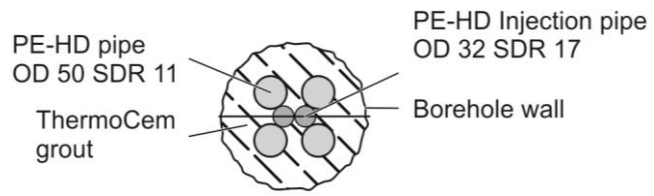




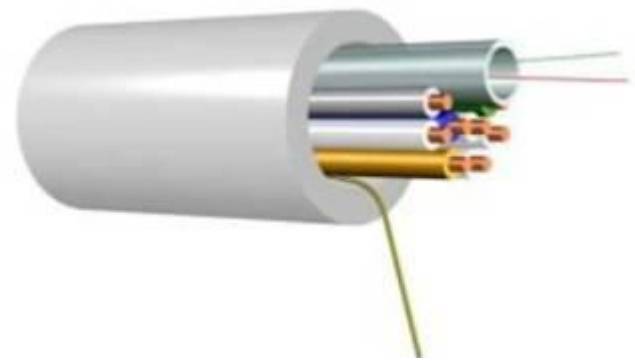
Planung



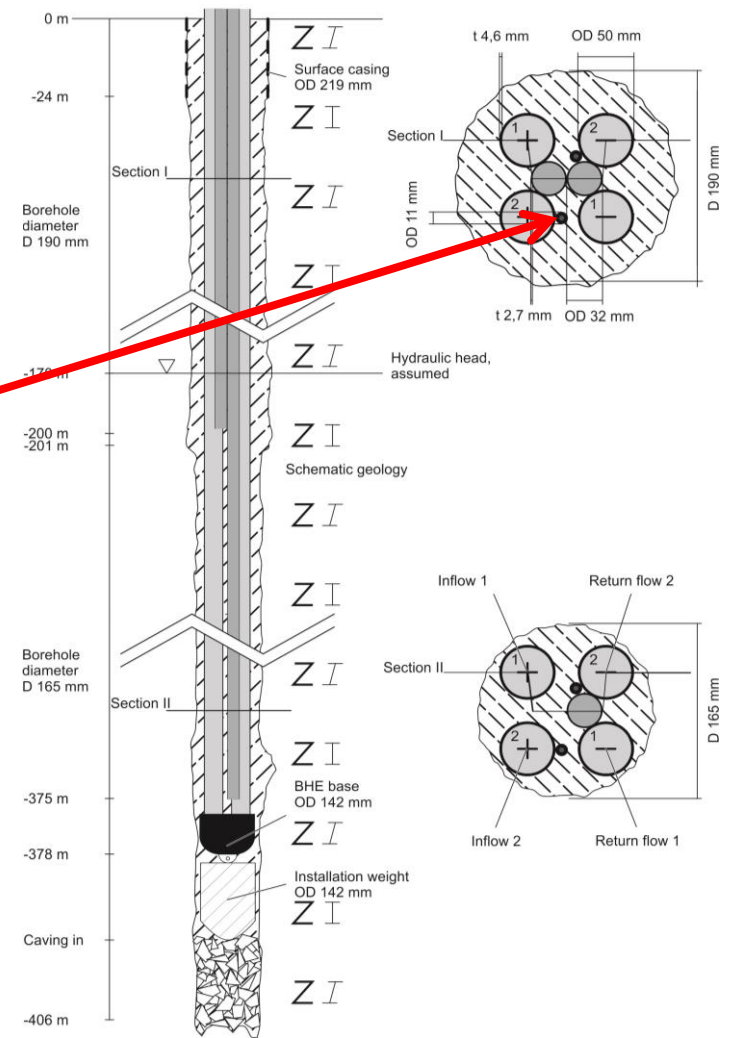
EGRT

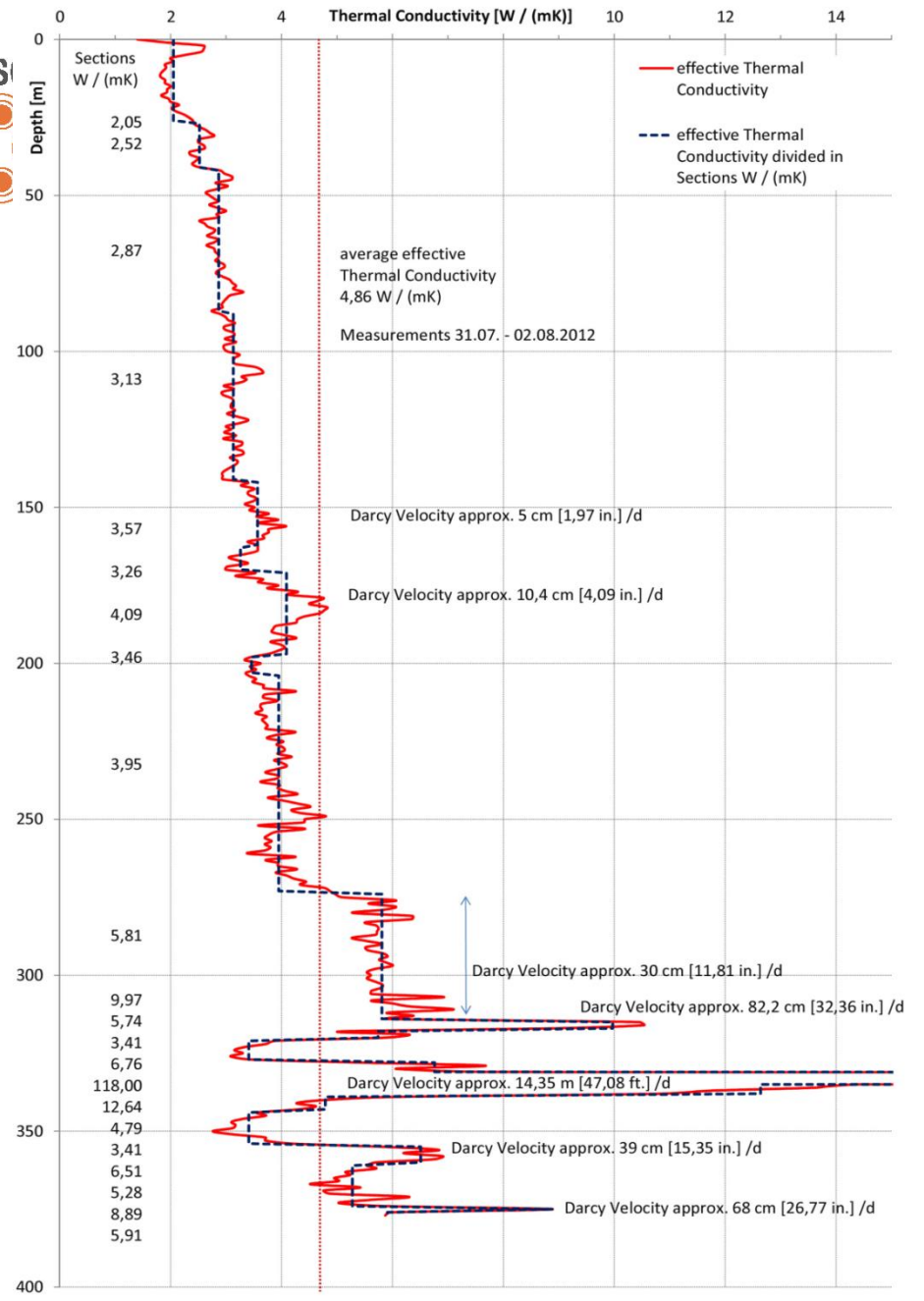


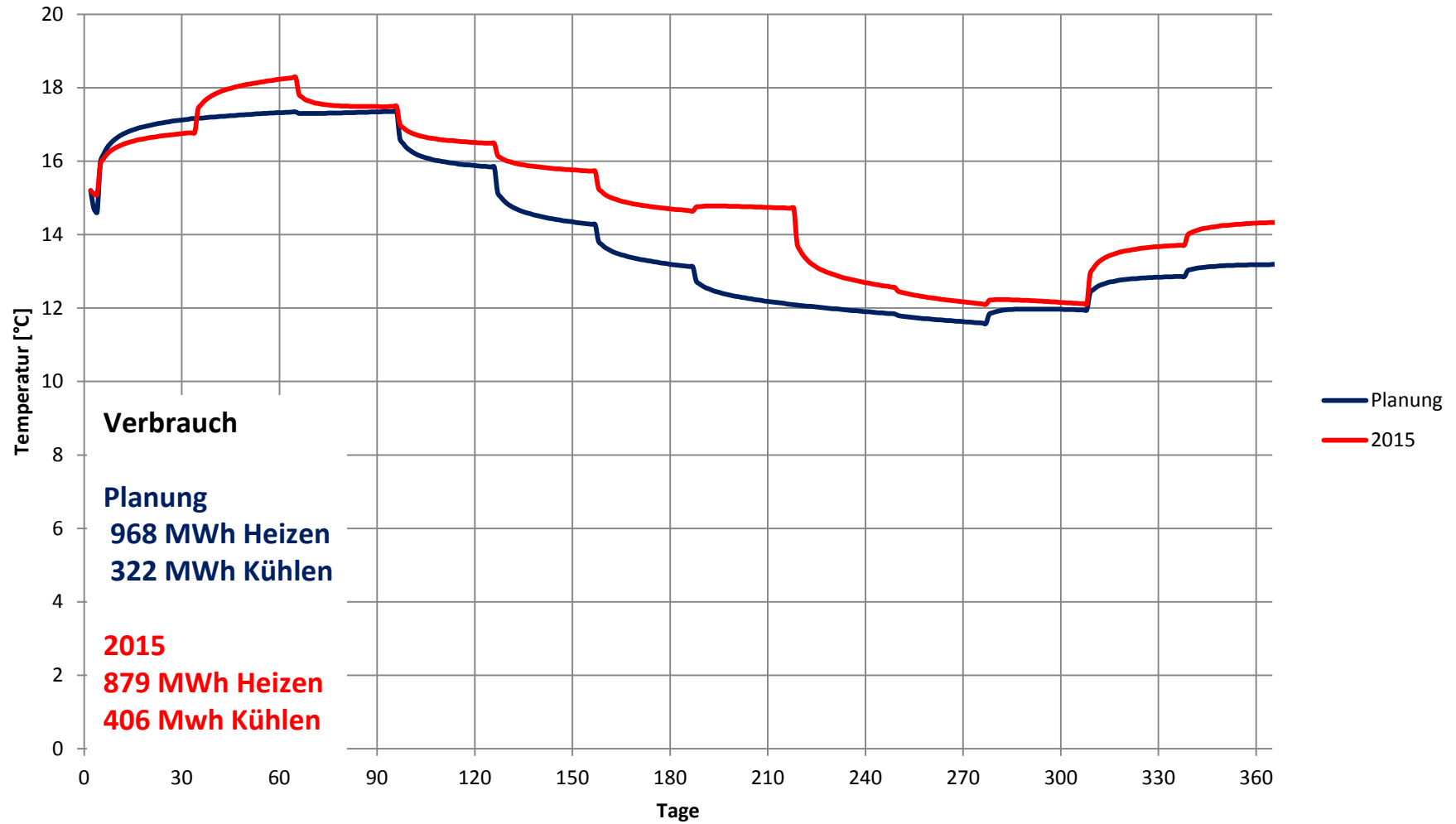
Hybrid Kabel

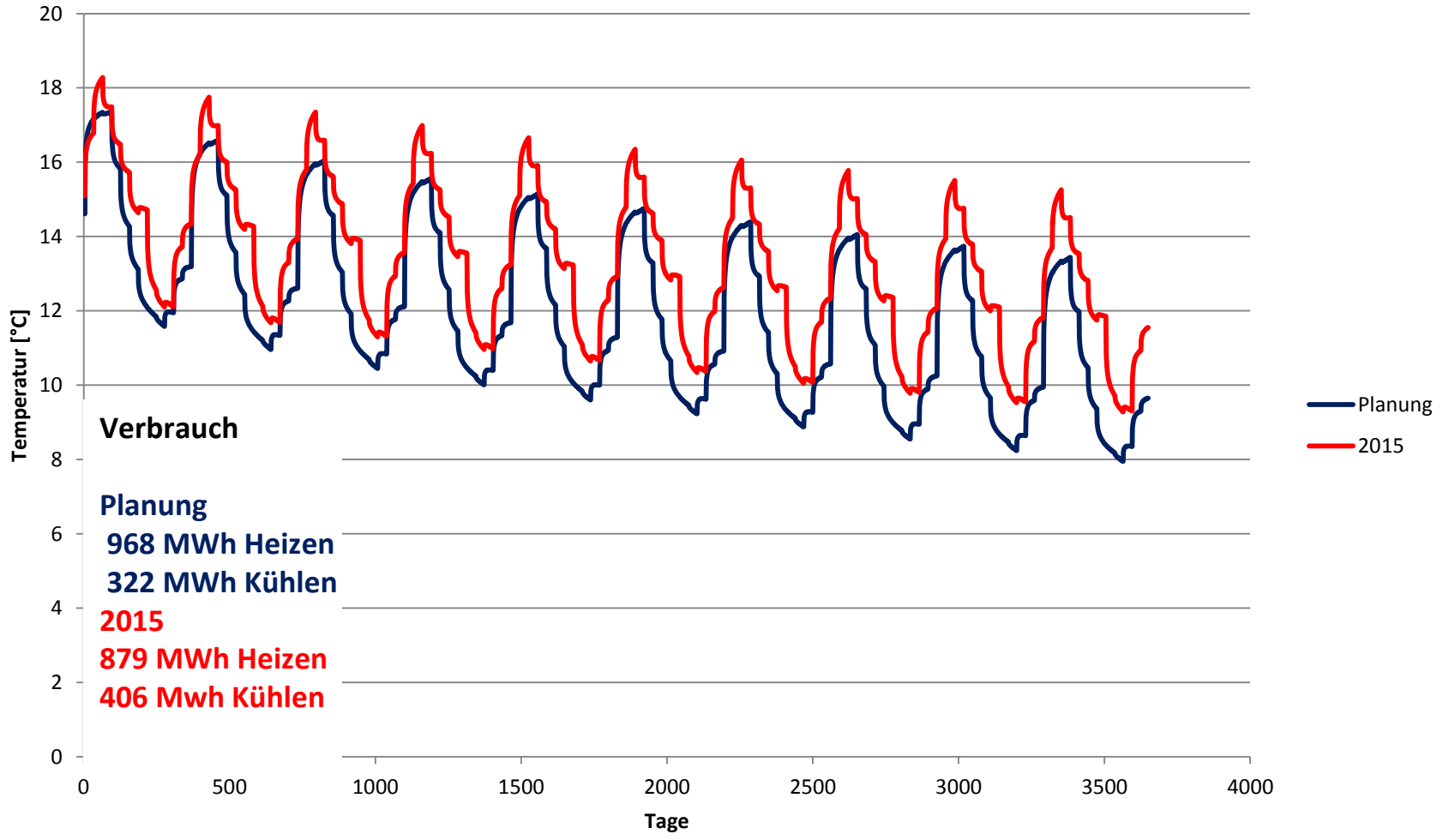


Lehr & Sass (2014): Thermo-optical parameter acquisition and characterization of geologic properties: a 400-m deep BHE in a karstic alpine marble aquifer. Environmental Earth Sciences 72, 1403-1419.









Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !