

Aufgabe - Wirtschaftlichkeit Heizkörper

Der Preis von Flachheizkörpern (mit einem Heizkörperexponenten $n = 1,3$) und mit 600 mm Bauhöhe ergebe sich wie folgt: 80 € / lfdm. und fester Zuschlag je Heizkörper 40 € / Heizkörper. Die mittlere Leistung dieser Heizkörper beträgt bei der Temperaturpaarung 90/70/20 °C: 1,25 kW / lfd.m.

Für die Ausrüstung eines alten MFH mit einer Heizlast am kältesten Tag von $\dot{Q}_{\text{Gebäude}} = 200 \text{ kW}$ und 100 Heizkörpern (alle Bauhöhe 600 mm) sollen die Mehrinvestitionen für die Auslegung 70/55/20 °C gegenüber 90/70/20 °C errechnet werden.

Aufgaben

- Bestimmen Sie dazu zunächst die mittlere Leistung dieser Heizkörper in kW/ lfd. m bei der geringeren Auslegungstemperatur mit dem Auslegungsdiagramm für Heizkörper (siehe Anlage 1)!
- Bestimmen Sie für beide Auslegungstemperaturen den Gesamtvolumenstrom! Weitere Größen: $c_p = 4,2 \text{ kJ/(kgK)}$ und $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- Ermitteln Sie den Gesamtdruckabfall ($\Delta p = C \cdot \dot{V}^2$) im Netz für beide Fälle. Der hydraulische Gesamtwiderstand des Netzes sei für beide Fälle gleich: $C = 0,00681 \text{ bar h}^2/\text{m}^6$.
- Wie ändert sich die hydraulische Leistung für die beiden Auslegungstemperaturpaare?
- Wie ändert sich die elektrische Leistungsaufnahme für die beiden Auslegungstemperaturpaare bei einem Pumpenwirkungsgrad von 20 %?
- Wie ändern sich die Kosten für die beiden Auslegungstemperaturpaare, wenn von 2000 h/a Vollbenutzungstunden der Pumpe und einem Strompreis von 0,12 € / kWh_{El} ausgegangen wird?

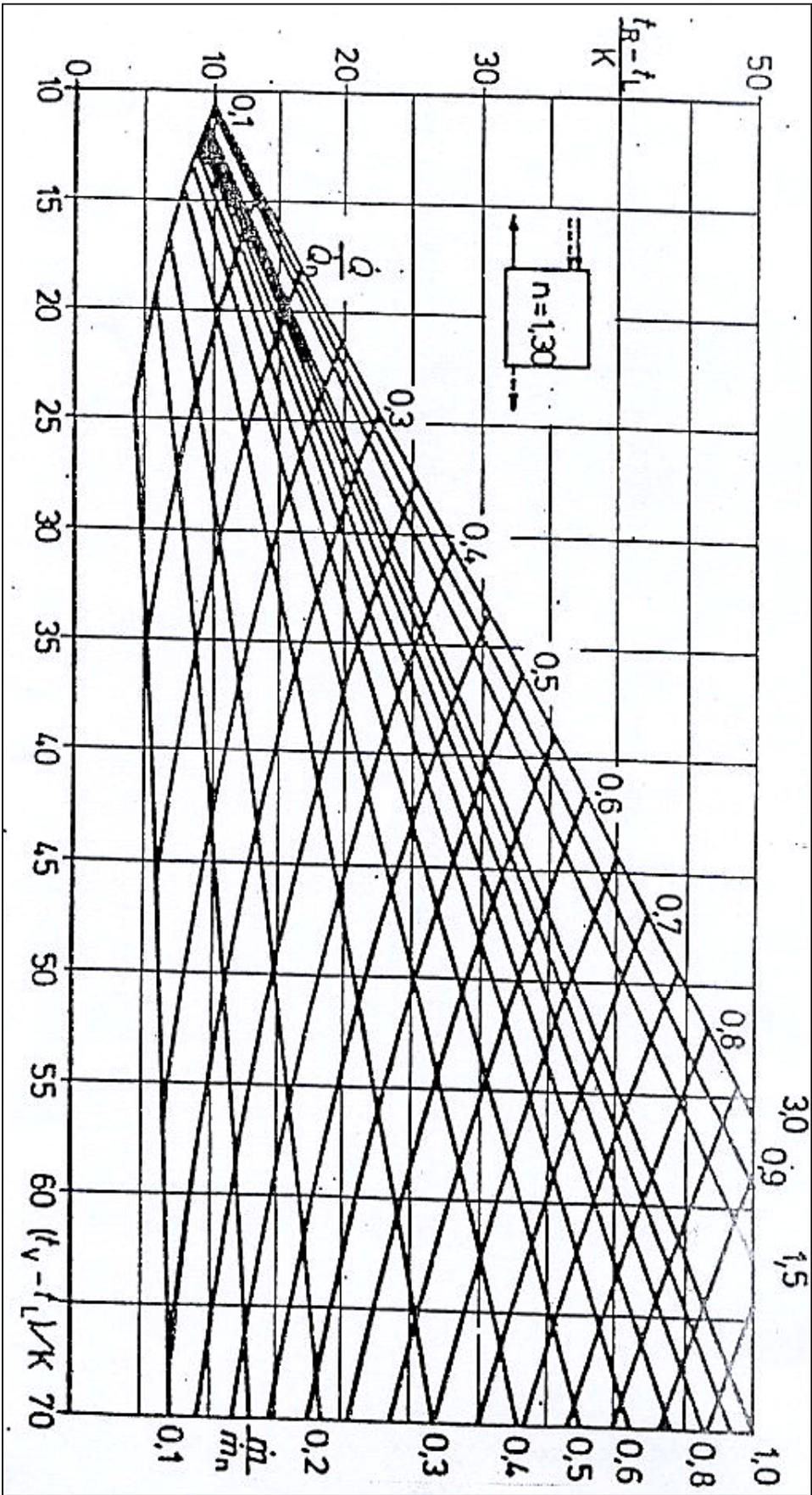
Zusammen mit den Ergebnissen aus Aufgabe a) bis f) soll die Wirtschaftlichkeit eines Standardkessels (90/70/20 °C) im Vergleich zu einem NT-Kessel (70/55/20 °C) untersucht werden. Es gilt für beide Kessel: $\dot{Q}_{\text{Kessel}} = \dot{Q}_{\text{Gebäude}}$.

Weitere Daten:

- | | |
|--|----------------------------|
| • Kosten für den Kessel, 200 kW, Standardkessel: | I = 7500 € |
| • Jahresnutzungsgrad des Standardkessels: | $\eta_{a,HU} = 0,88$ |
| • Verteilungsnutzungsgrad des Netzes mit Standardkessel: | $\eta_v = 0,96$ |
| • Kosten für den Kessel, 200 kW, NT-Kessel: | I = 9000 € |
| • Jahresnutzungsgrad des NT-Kessels: | $\eta_{a,HU} = 0,94$ |
| • Verteilungsnutzungsgrad des Netzes mit NT-Kessel: | $\eta_v = 0,98$ |
| • Nutzenergie im Raum: | 400.000 kWh/a |
| • Gaspreis: | 0,04 € / kWh _{HO} |
| • Umrechnung: | $H_o / H_u = 1,11$ |

- g) Bestimmen Sie für den Standardkessel: den Jahresverbrauch an Gas (in kWh_{HU}), die Jahreskosten für Gas bei heutigen Preisen! Bestimmen Sie ebenfalls die mittleren Energiekosten für den Gasbezug und den Stromverbrauch (Kosten heute siehe Punkt f) !) bei einer Preissteigerung von 3 %/a! Es gilt: kalkulatorischer Zins: 8 %/a, Lebensdauer 15a (siehe Anlage 2).
- h) Bestimmen Sie für den NT-Kessel: den Jahresverbrauch an Gas (in kWh_{HU}), die Jahreskosten für Gas bei heutigen Preisen! Bestimmen Sie ebenfalls die mittleren Energiekosten für den Gasbezug und den Stromverbrauch (Kosten heute siehe Punkt f) !) bei einer Preissteigerung von 3 %/a! Es gilt: kalkulatorischer Zins: 8 %/a, Lebensdauer 15a (siehe Anlage 2).
- i) Ermitteln Sie die jährlichen Kosten für die Investition für den Standardkessel und die Heizkörper mit 90/70/20 °C Auslegung! Es gilt: kalkulatorischer Zins: 8 %/a, Lebensdauer 15a (siehe Anlage 2).
- j) Ermitteln Sie die jährlichen Kosten für die Investition für den NT-Kessel und die Heizkörper mit 70/55/20 °C Auslegung! Es gilt: kalkulatorischer Zins: 8 %/a, Lebensdauer 15a (siehe Anlage 2).
- k) Die Wartungs- und Instandhaltungskosten werden für beide Varianten gleich angenommen. Ermitteln Sie den Unterschied in den Jahresgesamtkosten zwischen beiden Varianten aus den Ergebnissen der Aufgabenpunkte g) bis k)!

Anlage 1



Anlage 2

Annuitäten $a_{p,n}$, in [1/a]												
Betrach- tungszeitraum n, in [a]	Kapitalzinssatz p, in [%/a]											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	0,091	0,096	0,102	0,108	0,114	0,120	0,127	0,133	0,140	0,147	0,154	0,161
12	0,083	0,089	0,095	0,100	0,107	0,113	0,119	0,126	0,133	0,140	0,147	0,154
13	0,077	0,082	0,088	0,094	0,100	0,106	0,113	0,120	0,127	0,134	0,141	0,148
14	0,071	0,077	0,083	0,089	0,095	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,136	0,143
15	0,067	0,072	0,078	0,084	0,090	0,096	0,103	0,110	0,117	0,124	0,131	0,139
16	0,063	0,068	0,074	0,080	0,086	0,092	0,099	0,106	0,113	0,120	0,128	0,136
17	0,059	0,064	0,070	0,076	0,082	0,089	0,095	0,102	0,110	0,117	0,125	0,132
18	0,056	0,061	0,067	0,073	0,079	0,086	0,092	0,099	0,107	0,114	0,122	0,130
19	0,053	0,058	0,064	0,070	0,076	0,083	0,090	0,097	0,104	0,112	0,120	0,128
20	0,050	0,055	0,061	0,067	0,074	0,080	0,087	0,094	0,102	0,110	0,117	0,126
21	0,048	0,053	0,059	0,065	0,071	0,078	0,085	0,092	0,100	0,108	0,116	0,124
22	0,045	0,051	0,057	0,063	0,069	0,076	0,083	0,090	0,098	0,106	0,114	0,122
23	0,043	0,049	0,055	0,061	0,067	0,074	0,081	0,089	0,096	0,104	0,113	0,121
24	0,042	0,047	0,053	0,059	0,066	0,072	0,080	0,087	0,095	0,103	0,111	0,120
25	0,040	0,045	0,051	0,057	0,064	0,071	0,078	0,086	0,094	0,102	0,110	0,119
26	0,038	0,044	0,050	0,056	0,063	0,070	0,077	0,085	0,093	0,101	0,109	0,118
27	0,037	0,042	0,048	0,055	0,061	0,068	0,076	0,083	0,091	0,100	0,108	0,117
28	0,036	0,041	0,047	0,053	0,060	0,067	0,075	0,082	0,090	0,099	0,107	0,116
29	0,034	0,040	0,046	0,052	0,059	0,066	0,074	0,081	0,090	0,098	0,107	0,116
30	0,033	0,039	0,045	0,051	0,058	0,065	0,073	0,081	0,089	0,097	0,106	0,115

Mittelwertfaktoren für Preissteigerungen m_e und m_u , in [-]												
Kapitalzins p = 7 %/a												
Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preissteigerung s, in [%/a]											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,19	1,22	1,25	1,29	1,33	
10	1,00	1,05	1,10	1,16	1,22	1,29	1,35	1,42	1,50	1,58	1,66	
12	1,00	1,06	1,12	1,19	1,26	1,34	1,42	1,51	1,61	1,71	1,82	
15	1,00	1,07	1,15	1,23	1,32	1,42	1,53	1,65	1,78	1,92	2,07	
18	1,00	1,08	1,17	1,27	1,38	1,50	1,64	1,79	1,96	2,14	2,35	
20	1,00	1,09	1,19	1,30	1,42	1,56	1,71	1,89	2,08	2,31	2,56	
25	1,00	1,10	1,22	1,36	1,51	1,69	1,90	2,15	2,43	2,75	3,13	
30	1,00	1,12	1,25	1,41	1,60	1,83	2,10	2,42	2,80	3,26	3,82	
Kapitalzins p = 8 %/a												
Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preissteigerung s, in [%/a]											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,22	1,25	1,29	1,32	
10	1,00	1,05	1,10	1,16	1,22	1,28	1,35	1,42	1,49	1,57	1,65	
12	1,00	1,06	1,12	1,19	1,26	1,33	1,41	1,50	1,59	1,69	1,80	
15	1,00	1,07	1,14	1,22	1,31	1,41	1,51	1,63	1,75	1,89	2,04	
18	1,00	1,08	1,17	1,26	1,37	1,49	1,62	1,76	1,92	2,10	2,30	
20	1,00	1,08	1,18	1,29	1,40	1,54	1,68	1,85	2,04	2,25	2,48	
25	1,00	1,10	1,21	1,34	1,49	1,66	1,85	2,08	2,34	2,65	3,00	
30	1,00	1,11	1,24	1,39	1,57	1,77	2,02	2,31	2,66	3,08	3,59	

Antworten

- a) Der Heizkörper hat bei 90/70/20°C-Auslegung eine Leistung von 1,25 kW/lfdm. Wenn er mit einer geringeren Übertemperatur betrieben wird, dann sinkt die Leistung.

Es werden 2 Punkte in die Anlage gezeichnet:

Punkt 1 bei $t_V - t_L = 90^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 70\text{K}$ und $t_R - t_L = 70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 50\text{K}$

Punkt 2 bei $t_V - t_L = 70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 50\text{K}$ und $t_R - t_L = 55^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 35\text{K}$

Es wird das Verhältnis der Leistungen bezogen auf den Normzustand dieses Diagramms (90/70/20°C) aus dem Bild abgelesen:

$$\frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_N} = 1,00 \quad \text{und} \quad \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_N} \approx 0,63.$$

Das Verhältnis der Heizkörperleistungen zueinander beträgt:

$$\frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_1} = \frac{\dot{Q}_2 / \dot{Q}_N}{\dot{Q}_1 / \dot{Q}_N} = \frac{0,63}{1,00} = 0,63.$$

Die Leistung vermindert sich auf 63% des Wertes durch die geringere Übertemperatur. Die Leistung beträgt: $0,63 \cdot 1,25\text{kW} / \text{lfdm} = 0,79\text{kW} / \text{lfdm}$.

- b) Der Gesamtvolumenstrom gilt für das ganze Haus und wird bestimmt durch die Temperaturspreizung im Auslegungsfall und die Heizlast des Gebäudes.

$$\dot{V}_{90/70} = \frac{\dot{Q}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta} = \frac{200\text{kW}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 20\text{K}} \cdot \frac{3600\text{kJ}}{\text{kWh}} = 8,571 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{V}_{70/55} = \frac{\dot{Q}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta} = \frac{200\text{kW}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 15\text{K}} \cdot \frac{3600\text{kJ}}{\text{kWh}} = 11,429 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}.$$

- c) Der Druckabfall berechnet sich mit Hilfe des Widerstandes wie folgt:

$$\Delta p_{90/70} = C \cdot \dot{V}_{90/70}^2 = 0,00681 \frac{\text{bar} \cdot \text{h}^2}{\text{m}^6} \cdot \left(8,57 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)^2 = 0,50\text{bar}$$

$$\Delta p_{70/55} = C \cdot \dot{V}_{70/55}^2 = 0,00681 \frac{\text{bar} \cdot \text{h}^2}{\text{m}^6} \cdot \left(11,43 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)^2 = 0,89\text{bar}.$$

- d) Die hydraulische Leistung berechnet sich mit Hilfe des Druckverlustes und des Volumenstromes wie folgt:

$$P_{H,90/70} = \Delta p_{90/70} \cdot \dot{V}_{90/70} = 0,50\text{bar} \cdot 8,571 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{100000\text{Pa}}{\text{bar}} \cdot \frac{\text{h}}{3600\text{s}} \cdot \frac{\text{N/m}^2}{\text{Pa}} \cdot \frac{\text{kW}}{1000\text{Nm/s}} = 0,119\text{kW}$$

$$P_{H,70/55} = \Delta p_{70/55} \cdot \dot{V}_{70/55} = 0,89\text{bar} \cdot 11,429 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{100000\text{Pa}}{\text{bar}} \cdot \frac{\text{h}}{3600\text{s}} \cdot \frac{\text{N/m}^2}{\text{Pa}} \cdot \frac{\text{kW}}{1000\text{Nm/s}} = 0,283\text{kW}$$

Die hydraulische Leistungsaufnahme ist für die 70/55-Auslegung um 164 W höher.

- e) Die elektrische Leistung berechnet sich mit Hilfe der hydraulischen Leistung und des elektrischen Wirkungsgrades wie folgt:

$$P_{el,90/70} = \frac{P_{H90/70}}{\eta_{el}} = \frac{0,119\text{kW}}{0,20} = 0,595\text{kW}$$

$$P_{el,70/55} = \frac{P_{H70/55}}{\eta_{el}} = \frac{0,283\text{kW}}{0,20} = 1,415\text{kW}$$

Die elektrische Leistungsaufnahme ist für die 70/55-Auslegung um 820 W höher.

- f) Die Kosten für den Pumpenbetrieb berechnen sich zu:

$$K_{el,90/70} = P_{el,90/70} \cdot \text{Vollbenutzungsstunden} \cdot k_{el} = 0,595\text{kW} \cdot 2000 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 142,8 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$K_{el,70/55} = P_{el,70/55} \cdot \text{Vollbenutzungsstunden} \cdot k_{el} = 1,415\text{kW} \cdot 2000 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 339,6 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Die elektrische Energiekosten sind für die 70/55-Auslegung um 196,8 €/a höher.

- g) Der Gasverbrauch beträgt bei 400000 kWh/a Nutzwärme im Raum, einem Verteilungsnutzungsgrad des 90/70-Netzes von 96% und einem Jahresnutzungsgrad des Standardkessels von 88%:

$$Q_F = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{\eta_V \cdot \eta_{a,HU}} = \frac{400000\text{kWh/a}}{0,96 \cdot 0,88} = 473485\text{kWh/a}$$

Die Gaskosten zu heutigen Preisen betragen:

$$K_{e,0} = Q_F \cdot k_{\text{Gas},0} \cdot \frac{H_O}{H_U} = 473485 \frac{\text{kWh}_{HU}}{\text{a}} \cdot 0,04 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_{HO}} \cdot 1,11 \frac{\text{kWh}_{HO}}{\text{kWh}_{HU}} = 21023 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Der Mittelwertfaktor wird aus Anlage 2 abgelesen für $p = 8\%/a$, $n = 15a$ und $s = 3\%/a$: $m_e = 1,22$.

Die mittleren Gaskosten bei 90/70-Auslegung betragen:

$$K_{e,m,\text{Gas}} = K_{e,0} \cdot m_e = 21023 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot 1,22 = 25648 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Die mittleren Stromkosten bei 90/70-Auslegung betragen:

$$K_{e,m,\text{El}} = K_{el} \cdot m_e = 142,8 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot 1,22 = 174 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

- h) Der Gasverbrauch beträgt bei 400000 kWh/a Nutzwärme im Raum, einem Verteilungsnutzungsgrad des 70/55-Netzes von 98% und einem Jahresnutzungsgrad des NT-Kessels von 94%:

$$Q_F = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{\eta_V \cdot \eta_{a,HU}} = \frac{400000\text{kWh/a}}{0,98 \cdot 0,94} = 434216\text{kWh/a}$$

Die Gaskosten zu heutigen Preisen betragen:

$$K_{e,0} = Q_F \cdot k_{\text{Gas},0} \cdot \frac{H_O}{H_U} = 434216 \frac{\text{kWh}_{HU}}{\text{a}} \cdot 0,04 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_{HO}} \cdot 1,11 \frac{\text{kWh}_{HO}}{\text{kWh}_{HU}} = 19279 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Der Mittelwertfaktor wird aus Anlage 2 abgelesen für $p = 8\%/a$, $n = 15a$ und $s = 3\%/a$: $m_e = 1,22$.

Die mittleren Gaskosten bei 70/55-Auslegung betragen:

$$K_{e,m,Gas} = K_{e,0} \cdot m_e = 19279 \frac{\text{€}}{a} \cdot 1,22 = 23521 \frac{\text{€}}{a}.$$

Die mittleren Stromkosten bei 70/55-Auslegung betragen:

$$K_{e,m,El} = K_{el} \cdot m_e = 339,6 \frac{\text{€}}{a} \cdot 1,22 = 414 \frac{\text{€}}{a}.$$

i) Der Kessel kostet 7500 €.

Um die 200 kW Heizleistung des Gebäudes abdecken zu können, werden 100 Heizkörper installiert. Da ein Meter Heizkörper 1,25 kW Leistung hat, wird folgende Meterzahl Heizkörper benötigt: $200\text{kW} / 1,25\text{kW} / \text{lfdm.} = 160\text{lfdm.}$ Die Kosten für Heizkörper betragen zusammengesetzt aus Meterpreis und festen Zuschlag:

$$160\text{lfdm.} \cdot 80 \frac{\text{€}}{\text{lfdm.}} + 100\text{HK} \cdot 40 \frac{\text{€}}{\text{HK}} = 16800 \text{ €}.$$

Die Annuität wird aus Anlage 2 abgelesen für $p = 8\%/a$ und $n = 15a$: $a_{p,n} = 0,117$ $1/a$.

Die jährlichen Kapitalkosten für Kessel und Heizkörper der 90/70-Auslegung betragen:

$$K_i = I \cdot a_{p,n} = (7500 \text{ €} + 16800 \text{ €}) \cdot 0,117 \frac{1}{a} = 2843 \frac{\text{€}}{a}.$$

j) Der Kessel kostet 9000 €.

Um die 200 kW Heizleistung des Gebäudes abdecken zu können, werden 100 Heizkörper installiert. Da ein Meter Heizkörper 0,79 kW Leistung hat, wird folgende Meterzahl Heizkörper benötigt: $200\text{kW} / 0,79\text{kW} / \text{lfdm.} = 253\text{lfdm.}$ Die Kosten für Heizkörper betragen zusammengesetzt aus Meterpreis und festen Zuschlag:

$$253\text{lfdm.} \cdot 80 \frac{\text{€}}{\text{lfdm.}} + 100\text{HK} \cdot 40 \frac{\text{€}}{\text{HK}} = 24253 \text{ €}.$$

Die Annuität wird aus Anlage 2 abgelesen für $p = 8\%/a$ und $n = 15a$: $a_{p,n} = 0,117$ $1/a$.

Die jährlichen Kapitalkosten für Kessel und Heizkörper der 70/55-Auslegung betragen:

$$K_i = I \cdot a_{p,n} = (9000 \text{ €} + 24253 \text{ €}) \cdot 0,117 \frac{1}{a} = 3891 \frac{\text{€}}{a}.$$

k) Der unterschied in den Gesamtkosten der beiden Lösungen wird ohne die Wartungskosten bestimmt:

90/70-Auslegung:

Energie Gas: 25648 €/a

Energie Strom: 174 €/a

Kapital: 2843 €/a

Gesamtkosten: =28665 €/a

70/55-Auslegung:

Energie Gas: 23521 €/a

Energie Strom: 414 €/a

Kapital: 3891 €/a

Gesamtkosten: =27826 €/a

Die Mehrkosten für die 90/70-Auslegung gegenüber der 70/55-Auslegung betragen 839 €/a.