

## Aufgabe - Anlagenoptimierung EFH

Ein EFH wurde baulich modernisiert. Jetzt soll die Anlagentechnik nachträglich optimiert werden. Für zwei alternative Optimierungsstrategien sollen die Gesamtkosten gegenüber dem heutigen Zustand bestimmt werden.

Variante 1: Es werden die nicht voreinstellbaren Thermostatventile (THKV) gegen voreinstellbare ausgetauscht. Zusätzlich wird sofort eine neue Pumpe mit geringerer Förderhöhe eingesetzt, damit die Regelfähigkeit der THKV verbessert werden kann. Der hydraulische Abgleich wird durchgeführt, die Regler werden optimal eingestellt.

Variante 2: Es werden anstelle der nicht voreinstellbaren THKV selbsttätig abgleichende Thermostatventile (MiniCombiVentile) eingesetzt. Diese ermöglichen den hydraulischen Abgleich mit Hilfe eines internen Differenzdruckreglers und können somit auf zusätzliche Abgleichwiderstände (Voreinstellung) verzichten. Sie wirken auch im Teillastbetrieb. Die vorhandene Pumpe wird vorerst belassen und später getauscht.

In beidem Fällen erfolgt die Optimierungsrechnung (Heizlast, Rohrnetz, Anpassung des Temperaturniveaus) mit Hilfe eines Softwareprogramms nach einer Gebäudebegehung und -aufnahme. Weitere Randdaten werden zusammen mit den Teilaufgaben gegeben.

Die Vergleichsvariante ist der Bestand: die Ventile werden belassen und die Pumpe wird auch erst später getauscht.

a)

Ermitteln Sie die Annuität  $a_{p,n}$  und den Faktor für die Nachinvestition  $f_{p,s,m,n}$  sowie den Mittelwert für die Energiepreisteuerung  $m_e$  und die Teuerung der Wartung  $m_u$ .

- |   |                         |                                   |
|---|-------------------------|-----------------------------------|
| ▪ Kalkulatorischer Zins:                  |                         | $p = 6 \%$                        |
| ▪ Betrachtungszeitraum:                   |                         | $n = 15 \text{ a}$                |
| ▪ Nutzungsdauer:                          | Pumpe                   | $m = 10 \text{ a}$                |
|   | restliche Investitionen | $n = 15 \text{ a}$                |
| ▪ Teuerung der Energiekosten:             |                         | $s_e = 5 \%/a$                    |
| ▪ Teuerung der Wartungskosten:            |                         | $s_u = 2 \%/a$                    |
| ▪ Teuerung der Investitionskosten:        |                         | $s_a = 2 \%/a$                    |
| ▪ Bezogene aktuelle Elektroenergiekosten: |                         | $k_{e,0,el} = 0,20 \text{ €/kWh}$ |

b)

Bestimmen Sie die zusätzlichen Kapitalkosten für die beiden Optimierungsvarianten gegenüber der Bezugsvariante (S. unten stehende Tabelle! Leerstellen sind auszufüllen! Erläuterungen und Zwischenrechnungen gegebenenfalls auf gesondertem Blatt!).

**Beachten Sie, dass in der Variante 2 sowie in der Bezugsvariante 0 ebenfalls Investitionskosten für die Pumpe anfallen, obwohl zunächst die alte Pumpe in der Anlage verbleibt. Die Kosten ergeben sich, weil auch die vorhandene Pumpe in 5 Jahren ersetzt werden muss. Die auf den heutigen Zeitpunkt angesetzten (diskontierten) Kosten von 130 € fallen jedoch nur einmalig an ( $f_{p,s,m,n} = 1$ ) und werden vereinfachend gleichmäßig über die gesamten 15 Jahre verteilt.**

Die jährlichen Mehrkosten gegenüber der Bezugsvariante sind zu ermitteln (Siehe Tabelle!). Unter sonstige Kosten fällt die Berechnung des Hydraulischen Abgleichs.

		Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
$I_0$ , in [€]	THKV	0	160	320
	sonstige Positionen	0	400	400
	Pumpe	130	150	130
$f_{p,s,m,n}$	THKV	1,0	1,0	1,0
	sonstige Investitionen	1,0	1,0	1,0
	Pumpe	1,0		1,0
$a_{p,m}$ , in [ $a^{-1}$ ]				
$K_i$ , in [€/a]				
Mehrkosten $\Delta K_i$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]		0		

c)

Zu den Wartungs- und Unterhaltskosten der Optimierung zählt nur der jährliche Filteraustausch eines im Rahmen der Optimierung zusätzlich eingebauten Schmutzfilters. Bestimmen Sie die mittleren jährlichen Wartungs- und Unterhaltskosten.

		Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
$K_{u,0}$ , in [€/a]	Filterwechsel	0	20	20
$m_u$				
$K_{u,m}$ , in [€/a]		0		
Mehrkosten $\Delta K_{u,m}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]		0		

d)

Bestimmen Sie die jährlichen Mehrkosten durch den Kapitaldienst sowie durch die Wartung und den Unterhalt für die beiden Optimierungsvarianten. Die Summe dieser Mehrkosten entspricht der notwendigen Mindesteinsparung an Energiekosten zum Erreichen der Wirtschaftlichkeitsgrenze.

	Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
Mehrkosten $\Delta K_{u,m}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]	0		
Mehrkosten $\Delta K_i$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]	0		
notwendige Einsparung $\Delta K_{e,notwendig}$ bezogen auf die Bezugsvariante in [€/a]	0		

e)

Durch die Optimierung können der elektrische und der thermische Energieverbrauch vermindert werden. Durch den Einbau einer neuen, kleineren Umwälzpumpe bei Variante 1 sinkt die mittlere elektrische Leistungsaufnahme. Auch die vorhandene alte Pumpe in Variante 2 kann energiesparender betrieben werden, weil sie entsprechend eingestellt wird. Bestimmen Sie zunächst die Verminderung der elektrischen Energiekosten.

	Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
Pumpenleistung, in [W]	60	35	50
Pumpenlaufzeit, in [h/a]	6000	6000	6000
$W_{El}$ , in [kWh/a]			
$k_{e,0,El}$ , in [€/kWh]	0,20	0,20	0,20
$K_{e,0,El}$ , in [€/a]			
$m_e$			
$K_{e,m,El}$ , in [€/a]			
Mehr-(Minder)kosten $\Delta K_{e,m,El}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]	0		

f)

Der verminderte thermische Energieverbrauch ergibt sich vereinfachend aus einer veränderten Innentemperatur (in der Gradtagszahl  $G_t$  enthalten) und in veränderten Luftwechsell. Dies kann durch die verbesserte Regelfähigkeit der Raumregelung erreicht werden. Im Mittel wird die Raumtemperatur genauer geregelt und ist geringer. Außerdem werden weniger Überschüsse sinnlos abgelüftet (geringerer Luftwechsel).

Auch die technischen Verluste sinken nach der Optimierung, weil durch die geringeren Rücklauftemperaturen die Verteilverluste etwas abnehmen und ein besserer Brennwertnutzen erreicht wird.

Bestimmen sie die spezifische Lüftungsheizlast  $H_V$ , die Verluste für Transmission und Lüftung, den Heizwärmebedarf  $Q_h$  und den Endenergiebedarf für die thermischen Energien  $Q_{th}$  (Tabelle!). Ermitteln Sie daraus die Verminderung der thermischen Energiekosten:

Die bezogenen aktuellen thermische Energiekosten betragen  $k_{e,0,th} = 0,038 \text{ €/kWh}$ .

	Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
$n$ , in $[\text{h}^{-1}]$	0,70	0,65	0,60
Stoffwerte $\rho \cdot c_P$ , in $[\text{Wh}/\text{m}^3\text{K}]$	0,34	0,34	0,34
$V$ , in $[\text{m}^3]$	368	368	368
$H_V$ , in $[\text{W}/\text{K}]$ = $n \cdot \rho \cdot c_P \cdot V$			
$H_T$ , in $[\text{W}/\text{K}]$ = $U \cdot A$	120	120	120
$G_t$ , in $[\text{kKh}/\text{a}]$	93	90	87
$Q_T + Q_V$ , in $[\text{kWh}/\text{a}]$ = $(H_T + H_V) \cdot G_t$			
$Q_{\text{Gewinne}}$ , in $[\text{kWh}/\text{a}]$	6000	6000	6000
$Q_h$ , in $[\text{kWh}/\text{a}]$ = $Q_T + Q_V - Q_{\text{Gewinne}}$			
$Q_{\text{technisch}}$ , in $[\text{kWh}/\text{a}]$	3500	3000	3000
$Q_{th}$ , in $[\text{kWh}/\text{a}]$ = $Q_h + Q_{\text{technisch}}$			
$k_{e,0,th}$ , in $[\text{€/kWh}]$	0,08	0,08	0,08
$K_{e,0,th}$ , in $[\text{€/a}]$			
$m_e$			
$K_{e,m,th}$ , in $[\text{€/a}]$			
Mehr- (Minder)kosten $\Delta K_{e,m,th}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in $[\text{€/a}]$	0		

g)

Vergleichen Sie die notwendige und die erreichte Energiekosteneinsparung! Welche Alternative ist die gesamtwirtschaftlich sinnvollste und durch welche Einsparungen an Energien wird das Ergebnis erreicht?

	Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
notwendige Einsparung $\Delta K_{e,notwendig}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]	0		
erreichte Einsparung $\Delta K_{e,m}$ bezogen auf die Be- zugsvariante, in [€/a]	0		
Gesamtkostenunterschied $\Delta K_a$ bezogen auf die Bezugs- variante, in [€/a]	0		

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
1	1,000	1,010	1,020	1,030	1,040	1,050	1,060	1,070	1,080	1,090	1,100	1,110
2	0,500	0,508	0,515	0,523	0,530	0,538	0,545	0,553	0,561	0,568	0,576	0,584
3	0,333	0,340	0,347	0,354	0,360	0,367	0,374	0,381	0,388	0,395	0,402	0,409
4	0,250	0,256	0,263	0,269	0,275	0,282	0,289	0,295	0,302	0,309	0,315	0,322
5	0,200	0,206	0,212	0,218	0,225	0,231	0,237	0,244	0,250	0,257	0,264	0,271
6	0,167	0,173	0,179	0,185	0,191	0,197	0,203	0,210	0,216	0,223	0,230	0,236
7	0,143	0,149	0,155	0,161	0,167	0,173	0,179	0,186	0,192	0,199	0,205	0,212
8	0,125	0,131	0,137	0,142	0,149	0,155	0,161	0,167	0,174	0,181	0,187	0,194
9	0,111	0,117	0,123	0,128	0,134	0,141	0,147	0,153	0,160	0,167	0,174	0,181
10	0,100	0,106	0,111	0,117	0,123	0,130	0,136	0,142	0,149	0,156	0,163	0,170
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

Faktor $f_{p,s,m,n}$ für Ersatzbeschaffung, in [-]										
Kapitalzins p = 6 %/a										
Nutzungsdauer m, in [a]	Betrachtungszeitraum n, in [a]	Anlagenteuerung $s_a$ , in [%/a]								
		0	1	2	3	4	5	6	7	
5	10	1,75	1,79	1,83	1,87	1,91	1,95	2,00	2,05	
10	15	1,32	1,35	1,39	1,43	1,47	1,52	1,57	1,63	
12	15	1,16	1,18	1,20	1,23	1,25	1,28	1,32	1,36	
12	20	1,37	1,41	1,47	1,52	1,59	1,66	1,74	1,83	
15	20	1,18	1,21	1,24	1,28	1,33	1,38	1,43	1,50	
15	25	1,32	1,37	1,43	1,49	1,57	1,66	1,76	1,87	
15	30	1,42	1,48	1,56	1,65	1,75	1,87	2,00	2,15	
20	25	1,11	1,14	1,17	1,21	1,25	1,30	1,37	1,44	
20	30	1,20	1,24	1,30	1,36	1,44	1,53	1,64	1,77	

Mittelwertfaktoren für Preissteigerungen $m_e$ und $m_u$ , in [-]											
Kapitalzins p = 6 %/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	1,26	1,29	1,33
10	1,00	1,05	1,11	1,16	1,23	1,29	1,36	1,43	1,51	1,59	1,68
12	1,00	1,06	1,12	1,19	1,27	1,35	1,43	1,52	1,62	1,72	1,84
15	1,00	1,07	1,15	1,24	1,33	1,43	1,54	1,67	1,80	1,94	2,10
18	1,00	1,08	1,18	1,28	1,39	1,52	1,66	1,82	1,99	2,19	2,41
20	1,00	1,09	1,19	1,31	1,44	1,58	1,74	1,93	2,13	2,37	2,63
25	1,00	1,11	1,23	1,38	1,54	1,73	1,96	2,21	2,52	2,87	3,28
30	1,00	1,12	1,27	1,44	1,64	1,89	2,18	2,53	2,95	3,46	4,07

## Anlagenoptimierung EFH

h)

Tabelle 1:	Annuität $a_{p,n}$	0,103 a <sup>-1</sup>
Tabelle 2:	Reinvest $f_{p,s,m,n}$	1,39
Tabelle 3:	Teuerung $m_e$	1,43
Tabelle 3:	Teuerung $m_u$	1,15

i)

		Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
$I_0$ , in [€]	THKV	0	160	320
	sonstige Positionen	0	400	400
	Pumpe	130	150	130
$f_{p,s,m,n}$	THKV	1,0	1,0	1,0
	sonstige Investitionen	1,0	1,0	1,0
	Pumpe	1,0	<b>1,39</b>	1,0
$a_{p,n}$ , in [a <sup>-1</sup> ]		<b>0,103</b>	<b>0,103</b>	<b>0,103</b>
$K_i$ , in [€/a]		<b>13,39</b>	= (160·1 + 400·1 + 150·1,39) € · 0,103 a <sup>-1</sup> = 79,16	<b>87,55</b>
Mehrkosten $\Delta K_i$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]		0	<b>66</b>	<b>74</b>

j)

		Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
$K_{u,0}$ , in [€/a]	Filterwechsel	0	20	20
$m_u$		<b>1,15</b>	<b>1,15</b>	<b>1,15</b>
$K_{u,m}$ , in [€/a]		0	<b>23</b>	<b>23</b>
Mehrkosten $\Delta K_{u,m}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]		0	<b>0</b>	<b>23</b>

k)

	Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
Mehrkosten $\Delta K_{u,m}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]	0	<b>66</b>	<b>74</b>
Mehrkosten $\Delta K_i$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]	0	<b>23</b>	<b>23</b>
notwendige Einsparung $\Delta K_{e,notwendig}$ bezogen auf die Bezugsvariante in [€/a]	0	<b>89</b>	<b>97</b>

l)

	Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
Pumpenleistung, in [W]	60	35	50
Pumpenlaufzeit, in [h/a]	6000	6000	6000
$W_{El}$ , in [kWh/a]	<b>360</b>	<b>210</b>	<b>300</b>
$k_{e,0,El}$ , in [€/kWh]	0,20	0,20	0,20
$K_{e,0,El}$ , in [€/a]	<b>72</b>	<b>42</b>	<b>60</b>
$m_e$	<b>1,43</b>	<b>1,43</b>	<b>1,43</b>
$K_{e,m,El}$ , in [€/a]	<b>103</b>	<b>60</b>	<b>86</b>
Mehr-(Minder)kosten $\Delta K_{e,m,El}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in [€/a]	0	<b>-43</b>	<b>-17</b>

m)

	Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
$n$ , in $[h^{-1}]$	0,70	0,65	0,60
Stoffwerte $\rho \cdot c_P$ , in $[Wh/m^3K]$	0,34	0,34	0,34
$V$ , in $[m^3]$	368	368	368
$H_V$ , in $[W/K]$ = $n \cdot \rho \cdot c_P \cdot V$	<b>87,6</b>	<b>81,3</b>	<b>75,1</b>
$H_T$ , in $[W/K]$ = $U \cdot A$	120	120	120
$G_t$ , in $[kKh/a]$	93	93	90
$Q_T + Q_V$ , in $[kWh/a]$ = $(H_T + H_V) \cdot G_t$	<b>19305</b>	<b>18120</b>	<b>16971</b>
$Q_{\text{Gewinne}}$ , in $[kWh/a]$	6000	6000	6000
$Q_h$ , in $[kWh/a]$ = $Q_T + Q_V - Q_{\text{Gewinne}}$	<b>13305</b>	<b>12120</b>	<b>10971</b>
$Q_{\text{technisch}}$ , in $[kWh/a]$	3500	3000	3000
$Q_{th}$ , in $[kWh/a]$ = $Q_h + Q_{\text{technisch}}$	<b>16805</b>	<b>15120</b>	<b>13971</b>
$k_{e,0,th}$ , in $[\text{€}/kWh]$	0,08	0,08	0,08
$K_{e,0,th}$ , in $[\text{€}/a]$	<b>1344</b>	<b>1210</b>	<b>1118</b>
$m_e$	<b>1,43</b>	<b>1,43</b>	<b>1,43</b>
$K_{e,m,th}$ , in $[\text{€}/a]$	<b>1923</b>	<b>1730</b>	<b>1598</b>
Mehr- (Minder)kosten $\Delta K_{e,m,th}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in $[\text{€}/a]$	0	<b>-193</b>	<b>-324</b>

n)

	Bezugsvariante	Variante 1 neue THKV und neue Pumpe	Variante 2 MiniCombiVentile mit alter Pumpe
notwendige Einsparung $\Delta K_{e,notwendig}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in $[\text{€}/a]$	0	<b>89</b> (wäre notwendig gewesen, für Wirtschaftlichkeit)	<b>97</b>
erreichte Einsparung $\Delta K_{e,m}$ bezogen auf die Bezugsvariante, in $[\text{€}/a]$	0	<b>43 + 193</b> <b>= 236</b> (wurden erreicht)	<b>341</b>
Gesamtkostenunterschied $\Delta K_a$ bezogen auf die Bezugsvariante, in $[\text{€}/a]$	0	<b>147</b> (mehr gespart als nötig – Glück gehabt)	<b>244</b>