

Lösungen der Aufgaben

- Energiespeicherung -
- Energieverluste -
- Luft und Feuchtigkeit -

1

Lösungen

Aufgabe 1

Ein Gebäude hat einem Wärmebedarf von 24.000 kWh pro Jahr.

- 1a Wie groß muss ein Wasserspeicher sein (in m³), um den gesamten Jahresenergiebedarf zu speichern (Maximaltemperatur: 90 °C, Minimaltemperatur: 40 °C, Masse Wasser: 1.000 kg/m³)?
- 1b Welche Höhe hat der Speicher in Form eines Zylinders mit einer Grundfläche von ca. 20 m²?
- 1c Welchen Verluststrom hat der Speicher, wenn er mit 40 cm Dämmmaterial umgeben ist (U-Wert: 0,1)?
Annahme: Mittlere konstante Speichertemperatur: 60 °C, mittlere konstante Außentemperatur: 10 °C
Hinweis: Durchmesser des Zylinders: 3,6 m,
Umfang eines Kreises: $2 \cdot \pi \cdot \text{Radius}$
- 1d Wieviel Energie verliert der Speicher pro Monat?

2

Lösungen

Aufgabe 1

Ein Gebäude hat einem Wärmebedarf von 24.000 kWh pro Jahr.

1a Wie groß muss ein Wasserspeicher sein (in m³), um den gesamten Jahresenergiebedarf zu speichern (Maximaltemperatur: 90 °C, Minimaltemperatur: 40 °C, Masse Wasser: 1.000 kg/m³)?

Wärmespeicherzahl des Wassers:

1,162 Wh / (kg·K) [Folie 27] ungefähr: 1.200 Wh / (m³·K)

Temperaturdifferenz

DeltaT = 90K – 40K = 50K

Notwendige Speichermasse

Wärmemenge = Speichermasse x Wärmespeicherzahl x DeltaT

Speichermasse = Wärmemenge / (Wärmespeicherzahl x DeltaT)

= 24.000 kWh / (1,2 kWh / (m³·K) x 50K)

= 24.000 kWh / 60 kWh/kg

= 400m³ = 400.000 Liter

3

Lösungen

Aufgabe 1

1b Welche Höhe hat der Speicher in Form eines Zylinders mit einer Grundfläche von ca. 20 m²?

Volumen = Grundfläche x Höhe

Höhe = Volumen / Grundfläche

Höhe = 400m³ / 20 m² = 20 m

4

Lösungen

Aufgabe 1

- 1c** Welchen Verluststrom hat der Speicher, wenn er mit 40 cm Dämmmaterial umgeben ist (U-Wert = $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)?
 Annahme: Mittlere konstante Speichertemperatur: $60 \text{ }^\circ\text{C}$, mittlere konstante Außentemperatur: $10 \text{ }^\circ\text{C}$
 Hinweis: Durchmesser des Zylinders: $3,6 \text{ m}$,
 Umfang eines Kreises: $2 \cdot \text{Pi} \cdot \text{Radius}$

Bestimmung der Hüllfläche, über die Energie entweicht:

$$\text{Fläche Deckel und Boden} = 20\text{m}^2 + 20\text{m}^2 = 40 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Fläche Mantel} &= \text{Umfang Kreis} \times \text{Höhe} \\ &= 2 \times \text{Pi} \times (3,6/2)\text{m} \times 20\text{m} \\ &\sim 2 \times 3 \times 1,8\text{m} \times 20\text{m} \\ &\sim 120\text{m} \times 1,8\text{m} \\ &\sim 120\text{m}^2 + 96 \text{ m}^2 \sim 220\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Gesamte Hüllfläche (näherungsweise)} : 220\text{m}^2 + 40 \text{ m}^2 = \mathbf{260 \text{ m}^2}$$

$$\begin{aligned} \text{Wärmeverluststrom: } Q_v &= \text{U-Wert} \times \text{Fläche} \times \text{DeltaT} (60-10)\text{K} \\ &= 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \times 260\text{m}^2 \times 50\text{K} = \mathbf{1.300\text{W}} \end{aligned}$$

5

Lösungen

Aufgabe 1

- 1d** Wieviel Energie verliert der Speicher pro Monat?

$$\begin{aligned} \text{Verlust pro Tag} &= \text{Wärmestrom} \times 24 \text{ h} \\ &= 1.300\text{W} \times 24\text{h} \\ &= 24.000\text{Wh/d} + 7.200 \text{ Wh/d} \\ &= 31.200\text{Wh/d} \\ &\sim 31.000\text{Wh/d} \end{aligned}$$

Verlust pro Monat (30 Tage)

$$\begin{aligned} \text{Verlust pro Monat} &= \text{Verlust pro Tag} \times 30 \text{ Tage/Monat} \\ &= 31\text{kWh/d} \times 30\text{d} \\ &= \mathbf{930 \text{ kWh/Monat}} \end{aligned}$$

6

Lösungen

Aufgabe 2

In einem Raum mit einer Größe von 4 m x 5 m und einer Raumhöhe von 2,5 m wird durch Stoßlüftung die Luft komplett ausgetauscht.

- 2a Wie viele kWh Wärme gehen durch den Luftaustausch verloren (Außentemperatur: -10 °C, Raumtemperatur: 20 °C)?
Annahme: Das Luftvolumen wird wieder auf 20 °C erwärmt.
- 2b Wieviel Liter Öl werden durch 5-maliges Lüften pro Tag verbraucht (Wirkungsgrad der Heizung: 0,8)?
- 2c Die 5 m lange Außenwand hat einen U-Wert von 2 W/m²K.
Wieviel Energie geht durch die Wand an einem Wintertag verloren?
Annahme: Konstante Innentemperatur 20 °C,
konstante Außentemperatur -10 °C
- 2d Wieviel m³ Erdgas müssen pro Tag eingesetzt werden, um den Energieverlust durch die Außenwand zu kompensieren (Wirkungsgrad der Heizung: 0,8)?

7

Lösungen

Aufgabe 2

In einem Raum mit einer Größe von 4 m x 5 m und einer Raumhöhe von 2,5 m wird durch Stoßlüftung die Luft komplett ausgetauscht.

- 2a Wie viele kWh Wärme gehen durch den Luftaustausch verloren (Außentemperatur: -10 °C, Raumtemperatur: 20 °C)?
Annahme: Das Luftvolumen wird wieder auf 20 °C erwärmt.

Wärmespeicherzahl der Luft:

1,29 Wh / (kg·K) [Folie 27] 0,36 Wh / (m³·K)

Temperaturdifferenz

DeltaT = 20K – -10K = 30K

Energie zum Erwärmen der kalten Außenluft

Wärmemenge = Luftvolumen x Wärmespeicherzahl x DeltaT
 = 4m x 5m x 2,5m x 0,36 Wh / (m³·K) x 30K
 ~ 50m³ x 10 Wh/m³
 ~ 500Wh = **0,5 kWh**

8

Lösungen

Aufgabe 2

2b Wieviel Liter Öl werden durch 5-maliges Lüften pro Tag verbraucht (Wirkungsgrad der Heizung: 0,8)?

Energieverlust 5mal Lüften = $0,5\text{kWh/Lüftung} \times 5 \text{ Lüftungen} = 2,5 \text{ kWh}$

Endenergieeinsatz Heizöl = $2,5 \text{ kWh/Wirkungsgrad}$
 = $2,5 \text{ kWh}/0,8$
 = $2,5 \text{ kWh} \times 1,25$
 ~ $3,1 \text{ kWh}$
 ~ **0,3 Liter Heizöl**

Anm.: Energieinhalt 1 Liter Heizöl ~ 10 kWh

Lösungen

Aufgabe 2

2c Die 5 m lange Außenwand hat einen U-Wert von $2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Wieviel Energie geht durch die Wand an einem Wintertag verloren?

Annahme: konstante Innentemperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$,
 konstante Außentemperatur $-10 \text{ }^\circ\text{C}$

Wandfläche = Länge x Höhe
 = $5\text{m} \times 2,5 \text{ m} = 12,5 \text{ m}^2$

Wärmefluss = Fläche x U-Wert x DeltaT
 = $12,5 \text{ m}^2 \times 2\text{W/m}^2\text{K} \times 30\text{K}$
 = $25\text{W/K} \times 30\text{K}$
 = 750W

Energieverlust = Wärmefluss x Zeit
 = $750\text{W} \times 24\text{h}$
 = $15000\text{Wh/d} + 3000\text{Wh/d}$
 = $18000\text{Wh/d} = \mathbf{18kWh/d}$

Lösungen

Aufgabe 2

2d Wieviel m³ Erdgas müssen pro Tag eingesetzt werden, um den Energieverlust durch die Außenwand zu kompensieren (Wirkungsgrad der Heizung: 0,8)?

$$\begin{aligned}
 \text{Endenergie Erdgas} &= \text{Nutzenergie/Wirkungsgrad} \\
 &= 18\text{kWh/d} \times 1/0,8 \\
 &= 18\text{kWh/d} \times 1,25 \\
 &= 18\text{kWh/d} + 4,5\text{kWh/d} \\
 &= 22,5\text{kWh/d}
 \end{aligned}$$

$$\text{Energieinhalt Erdgas} \sim 10\text{kWh/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Energieverlust in Erdgas} &\sim 22,5\text{kWh/d} / 10\text{kWh/m}^3 \\
 &\sim 2,3 \text{ m}^3 \text{ Erdgas pro Tag}
 \end{aligned}$$

11

Lösungen

Aufgabe 3

In der Schulung wurde u.a. das h-x-Diagramm vorgestellt, das die Aufnahme von Feuchtigkeit durch die Luft darstellt. Mit Hilfe von diesem Diagramm können die nächsten Fragen beantwortet werden.

3a An einem schwülen Sommertag (Lufttemperatur: 30 °C, relative Luftfeuchte: 100 %) wird der Kellerraum eines Gebäude (Raumvolumen: ca. 60 m³) durch das geöffnete Kellerfenster so belüftet, dass die Raumvolumen etwa 1 x pro Stunde ausgetauscht wird. Der Keller hat eine konstante Temperatur von 10 °C.

Wieviel Liter Wasser schlägt sich im Keller über einem Zeitraum von 12 Stunden nieder?

3b An einem kalten Wintertag (Lufttemperatur -5 °C) wird gesättigte Außenluft (relative Luftfeuchte 100 %) über eine Lüftungsanlage in das Gebäude befördert und dort auf 20 °C erwärmt.

Wie hoch ist die relative Luftfeuchte nach der Erwärmung auf 20 °C?

12

Lösungen

Aufgabe 3

3a An einem schwülen Sommertag (Lufttemperatur: 30 °C, relative Luftfeuchte: 100 %) wird der Kellerraum eines Gebäude (Raumvolumen: ca. 60 m³) durch das geöffnete Kellerfenster so belüftet, dass das Raumvolumen etwa 1 x pro Stunde ausgetauscht wird. Der Keller hat eine konstante Temperatur von 10 °C.

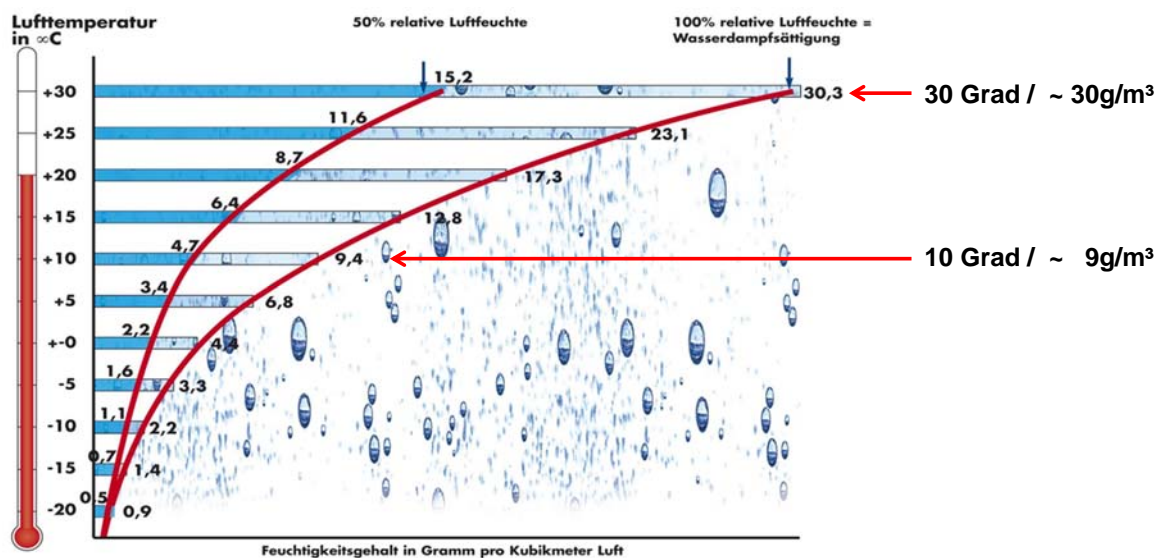
Wieviel Liter Wasser schlägt sich im Keller über einem Zeitraum von 12 Stunden nieder?

13

Lösungen

Aufgabe 3a

Ablesen aus dem (H,x)-Diagramm



Feuchteausfall bei gesättigter Luft bei Abkühlung von 30°C auf 10°C: 21g/m³

Feuchteausfall in 12 Stunden bei 60m³/h:

Wassermenge ~ 20g/m³ x 60m³/h x 12h

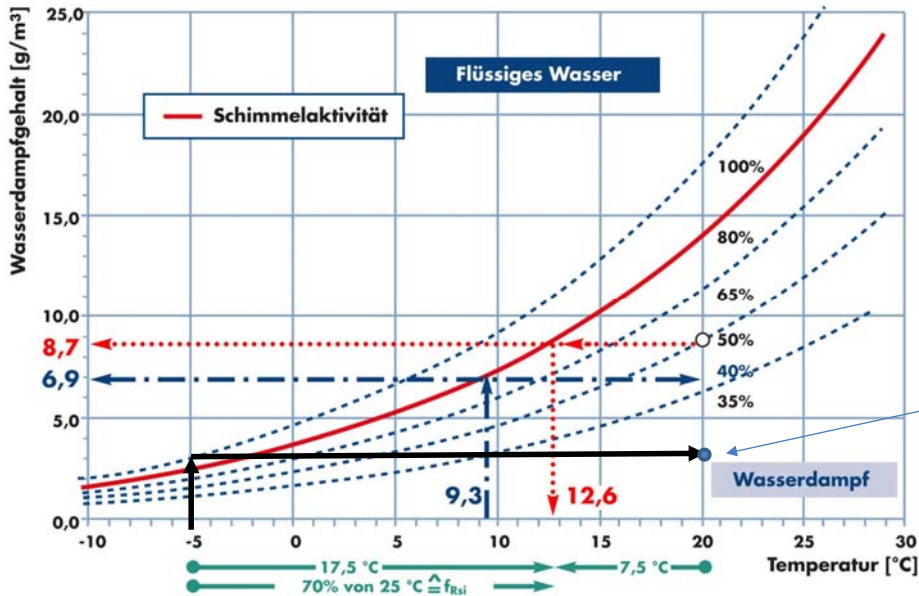
~ 14400g ~ **14,5 Liter Wasser** (Gewicht Wasser: 1Liter = 1kg)

14

Lösungen

3b An einem kalten Wintertag (Lufttemperatur $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) wird gesättigte Außenluft (relative Luftfeuchte 100 %) über eine Lüftungsanlage in das Gebäude befördert und dort auf $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ erwärmt.

Wie hoch ist die relative Luftfeuchte nach der Erwärmung auf $25\text{ }^{\circ}\text{C}$?



relative Feuchte: ca. 20 %

15

Energie und Energiemanagement

Energie in verschiedenen Varianten

Lösungen der Aufgaben

- Witterungsbereinigung -
- Auswertung Lastverläufe -
- Energiemanagement -

16

Lösungen

Aufgabe 4

Sie erhalten die Aufgabe, die Jahreswärmeverbräuche mehrere Gebäude gleicher Nutzung (einfache Verwaltungsgebäude) in verschiedenen Regionen in Hessen zu vergleichen. Ihnen liegen folgende Informationen zum Gebäudestandort und zum Jahresenergieverbrauch im Jahr 2014 vor:

Postleitzahl	Jahreswärmeverbrauch pro Quadratmeter Nutzfläche
34121	120 kWh/m ² a
35394	130 kWh/m ² a
60311	110 kWh/m ² a
64287	140 kWh/m ² a

Welches Gebäude hatte unter Berücksichtigung der Witterungseinflüsse den geringsten Verbrauch pro Quadratmeter Nutzfläche ?

Lösungen

Aufgabe 4

Witterungsbereinigung durchführen (Faktoren aus Folie 88 1. Spalte (1.1. – 31.12.2014))

Postleitzahl	Jahreswärmeverbrauch	Witterungsfaktoren
34121	120 kWh/m ² a	1,22 (ca. 1,2)
35394	130 kWh/m ² a	1,2
60311	110 kWh/m ² a	1,4
64287	140 kWh/m ² a	1,29 (ca. 1,3)

Zeitraum	von	01.01.2014
	bis	31.12.2014
Postleitzahl		
34117		1,22
34119		1,21
34121		1,22
34123		1,21
34125		1,18
35390		1,27
35392		1,22
35394		1,2
35396		1,2
35398		1,23
60311		1,4
60313		1,39
60314		1,38
60316		1,38
60318		1,37
64283		1,37
64285		1,27
64287		1,29
64289		1,24
64291		1,33

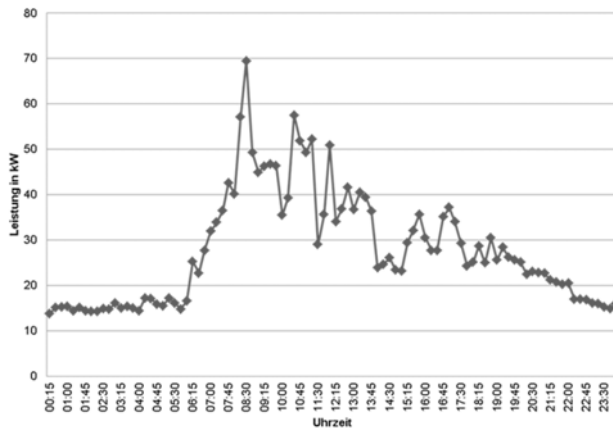
Witterungsbereinigte spezifische Jahreswärmeverbräuche (Wärmeverbrauch x Witterungsfaktor)

Postleitzahl	Jahreswärmeverbrauch		Witterungsfaktoren	witterungsbereinigter Jahreswärmeverbrauch
34121	120 kWh/m ² a	x	1,22 (ca. 1,2)	= 144 kWh/m ² a
35394	130 kWh/m ² a	x	1,2	= 156 kWh/m ² a
60311	110 kWh/m ² a	x	1,4	= 154 kWh/m ² a
64287	140 kWh/m ² a	x	1,29 (ca. 1,3)	= 180 kWh/m ² a

Lösungen

Aufgabe 5

Gegeben ist folgender Tagesgang der elektrischen Leistungsaufnahme eines Gebäudes:

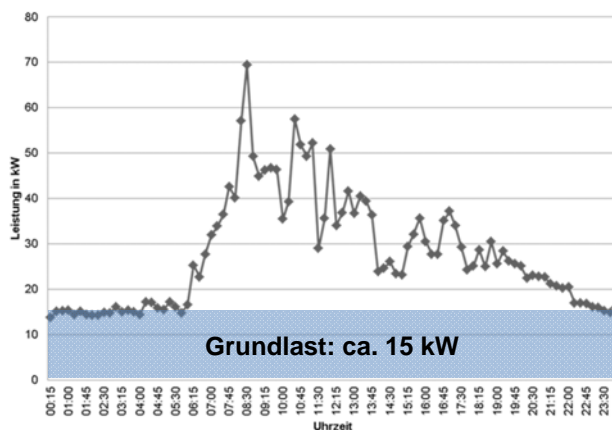


- Wie hoch ist die elektrische Grundlast des Gebäudes?
- Welche elektrische Energie wurde an diesem Tag ungefähr verbraucht?
- Die Küche in diesem Gebäude verfügt über einen Kombidämpfer mit einer Anschlussleistung von 18 kW. Zu welchen Zeiten ist das Gerät wahrscheinlich in Betrieb?
- Wenn das Gebäude mit einem Grundlast-BHKW (Verhältnis zwischen elektrischer und thermischer Leistung von 1:2) ausgestattet wird, welche Wärmeleistung steht dann dauerhaft zur Verfügung?

19

Lösungen

- Wie hoch ist die elektrische Grundlast des Gebäudes?

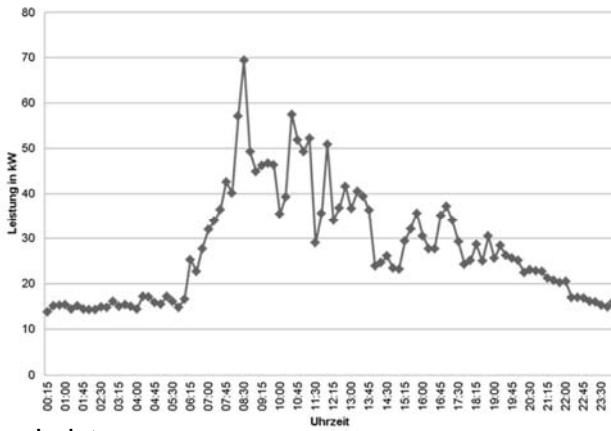


Grundlast: ca. 15 kW

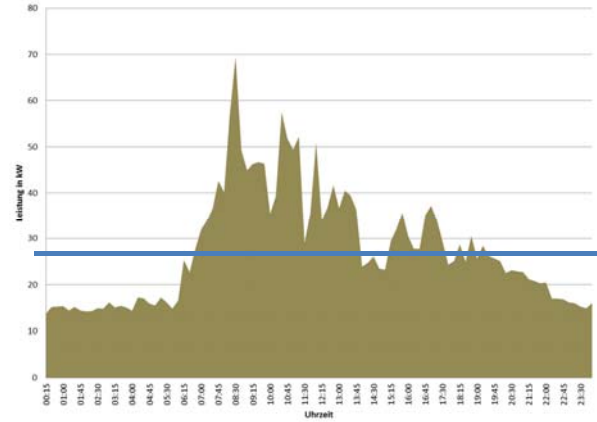
20

Lösungen

5b Welche elektrische Energie wurde an diesem Tag ungefähr verbraucht ?



Leistung



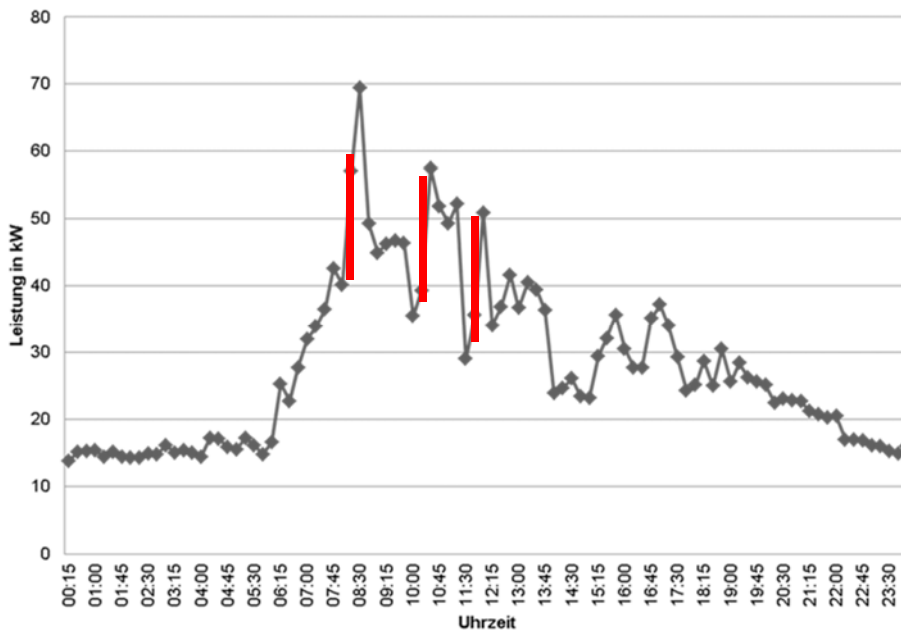
Energie = Leistung x Zeit

— Geschätzter Mittelwert (optisch ermittelt)

Energie pro Tag = mittlere Leistung x 24h ~ 25kWx24h ~ **600kWh** (Exakter Wert: 660 kWh)

Lösungen

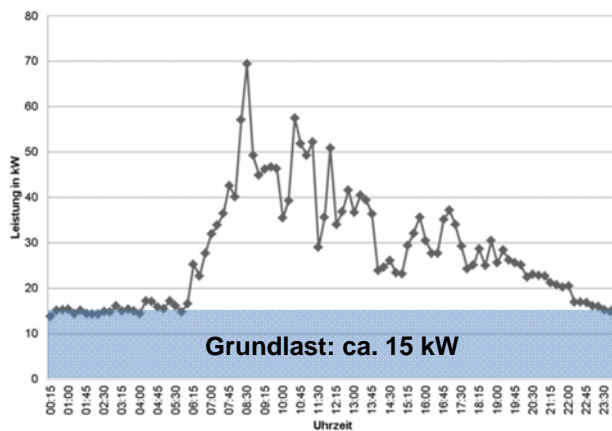
5c Die Küche in diesem Gebäude verfügt über einen Kombidämpfer mit einer Anschlussleistung von 18 kW. Zu welchen Zeiten ist das Gerät wahrscheinlich in Betrieb?



Betrieb des Kombidämpfers wahrscheinlich zu Zeiten, in denen sich die Leistung um ca. 20 kW ändert

Lösungen

- 5d Wenn das Gebäude mit einem Grundlast-BHKW (Verhältnis zwischen elektrischer und thermischer Leistung von 1:2) ausgestattet wird, welche Wärmeleistung steht dann dauerhaft zur Verfügung?



$$\begin{aligned} \text{Thermische Leistung BHKW} &= \text{elektrische Leistung} \times 2 \\ &= 15\text{kW} \times 2 = \mathbf{30\text{kW}} \end{aligned}$$

Achtung: Zum Dauerbetrieb des BHKW müssen **30kW** Wärme immer abgenommen werden !!

23

Lösungen

Aufgabe 6

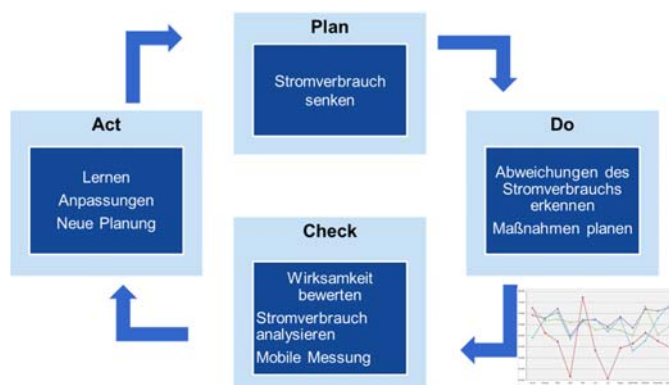
Stellen Sie sich folgendes Szenario vor:

Sie sind der Energiebeauftragte/die Energiebeauftragte Ihrer Organisation. Sie haben die Aufgabe, den Stromverbrauch der Beleuchtung um mind. 20% zu senken.

Wie müssen Sie den PDCA-Regelkreis aufbauen, um dieses Ziel zu erreichen?

Welche Personen müssen Sie in ihrer Organisation konkret mit einbeziehen?

Wie sieht ein möglicher Projektplan aus?



24