Gebäudeautomation

Klausur vom 14. Juli 2025: Lösungen

Jörn Loviscach

Versionsstand: 16. Juli 2025, 12:01

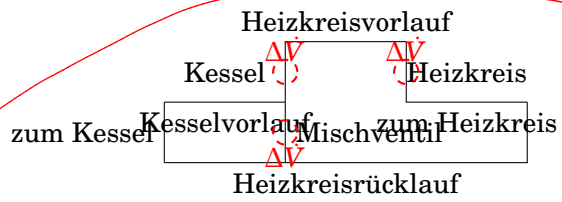
This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Germany License. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/ or send a letter to Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.

Von Grok 4 (Version 0709, via LMArena) in einem Rutsch als LaTeX ausgegebene Lösungen. Nötige Korrekturen, um das Dokument TeXen zu können: in der Lösung zu Aufgabe 5 einige $ ergänzt. Anmerkungen von Jörn Loviscach in Rot.

1. Die CO_2-Produktion pro Person beträgt typischerweise etwa $0{,}02\,\mathrm{m}^3/\mathrm{h}$ (bei sitzender Tätigkeit). Für drei Personen ergibt sich eine Gesamtproduktion von $\dot{G} = 3 \times 0{,}02\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{h}} = 0{,}06\,\mathrm{m}^3/\mathrm{h}$. Im stationären Zustand gilt $\dot{V} = \frac{\dot{G}}{(C_{\text{Raum}} - C_{\text{außen}}) \times 10^{-6}}$, wobei $C_{\text{Raum}} = 900\,\text{ppm}$ und $C_{\text{außen}} = 500\,\text{ppm}$. Somit $\dot{V} = \frac{0{,}06}{400 \times 10^{-6}} = 150\,\mathrm{m}^3/\mathrm{h}$. Die Luftwechselrate ist $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{150}{50} = 3\,\mathrm{h}^{-1}$.

Erklärung: Die Formel leitet sich aus der Massenbilanz für CO_2 ab: Der Frischluftstrom $\dot{V}$ entfernt CO_2 mit der Differenzkonzentration, um die Produktion auszugleichen. Die Produktionsrate basiert auf Standardwerten aus der Lüftungstechnik (z. B. VDI 6022). Durch Einsetzen der Werte erhält man $\dot{V}$, und Division durch das Raumvolumen gibt n.

2.



Die markierten Stellen (rot) sind das Mischventil und die Vor-/Rücklaufanschlüsse, wo eine Erhöhung der Sekundärkreistemperatur das Mischverhältnis verändert und damit die Volumenströme im Primär- und Sekundärkreis anpasst.

3. Im Mollier-Diagramm (h-x-Diagramm) verläuft die Verdunstungskühlung entlang einer Isenthalpen (konstante spezifische Enthalpie), da der Prozess adiabat ist. Die Taupunkttemperatur liegt auf der Sättigungslinie (100 % relative Feuchte), die eine steilere Steigung hat als die Isenthalpen. Daher schneidet die Isenthalpe die Sättigungslinie nie, und die Luft kühlt asymptotisch zur Nasskugeltemperatur, ohne den Taupunkt zu erreichen.

Feucht

positive, anders wo?

4. **Zwei Aspekte dafür:** Umluft reduziert den Energiebedarf, da bereits konditionierte Luft wiederverwendet wird und weniger Außenluft beheizt oder gekühlt werden muss. Umluft ermöglicht eine bessere Kontrolle der Raumluftqualität durch wiederholte Filterung von Partikeln und Schadstoffen. **Ein Aspekt dagegen:** Umluft kann zu einer Anreicherung von CO_2 und anderen Innenraumschadstoffen führen, was die Frischluftversorgung mindert und die Luftqualität verschlechtert.

5. Die Temperatur nach dem Wärmetauscher beträgt $T_{\text{zuluft}} = 5\,°\text{C} + \frac{2}{3}(20\,°\text{C} - 5\,°\text{C}) = 15\,°\text{C}$ (Vereinfachung: Rückwärmzahl gilt für sensible Wärme, Feuchte wird vernachlässigt). Die erforderliche Heizung ist $\Delta T = 24\,°\text{C} - 15\,°\text{C} = 9\,\text{K}$. Mit $\rho \approx 1{,}2\,\text{kg/m}^3$, $c_p \approx 1{,}005\,\text{kJ/(kg·K)}$ und $\dot{V} = 5000\,\text{m}^3/\text{h}$ ergibt sich $\dot{m} = 5000 \times 1{,}2\,\text{kg/h} = 6000\,\text{kg/h}$. Die Leistung ist $P = \frac{6000 \times 1{,}005 \times 9}{3600} \approx 15\,\text{kW}$ (Vereinfachung: trockene Luft, konstante Dichte).

kW

Erklärung: Die Rückwärmzahl-Formel $\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1}$ gibt die Austrittstemperatur. Die Heizleistung folgt aus $P = \dot{m} c_p \Delta T / 3600$, wobei $\dot{m}$ aus Volumenstrom und Dichte berechnet wird; Feuchte wird ignoriert, da sie den sensiblen Anteil nur gering beeinflusst.

hier

??? 6. Maschinenlernen erfordert hochwertige Trainingsdaten, die in der Gebäudeautomation oft unvollständig oder verrauscht sind, was zu unzuverlässigen Modellen führt. Die Echtzeit-Anforderungen in der Automation machen komplexe ML-Modelle rechenintensiv und schwer einsetzbar ohne leistungsstarke Hardware. Die mangelnde Interpretierbarkeit von Black-Box-Modellen erschwert die Zertifizierung und Fehlersuche in sicherheitskritischen Systemen wie Heizung oder Lüftung.

Raspi reicht!

7. Die PCM-Wand entspricht elektrisch einer Parallelschaltung aus zwei Kondensatoren: Einer ist voll geladen (geschmolzener Anteil, konstante Spannung bei Schmelztemperatur) und der andere ungeladen (erstarrter Anteil, der noch Energie aufnehmen kann). Der geladene Kondensator modelliert den Anteil, der die Phasenwechselenthalpie bereits absorbiert hat und nun wie ein Puffer mit konstanter Temperatur wirkt. Der ungeladene Kondensator repräsentiert den verbleibenden Kapazitätsanteil, der bei weiterer Wärmezufuhr schmilzt und die effektive thermische Kapazität erhöht.

f! weil dann Temperaturänderung

8. Mehr Fenster erhöhen den Wärmedurchgangskoeffizienten U des Gebäudes, da Fenster typischerweise schlechter isolieren als Wände, was den Wärmeverlust steigert. Die Zeitkonstante $\tau = C/U$ (mit C als thermischer Kapazität) sinkt dadurch, da U im Nenner wächst. Das Gebäude reagiert schneller auf Außentemperaturänderungen, was zu stärkeren Temperaturschwankungen führt.

+ zwei weitere Aspekte

ändert also

9. Die ursprüngliche Anlagenkennlinie gilt für drei parallele identische Räume, deren hydraulischer Widerstand additiv $1/R_{\text{ges}} = 3/R$ ist. Nach Abtrennung eines Raums ~~wird~~ der Widerstand ~~zu~~ sodass $1/R'_{\text{ges}} = 2/R$, also $R'_{\text{ges}} = (3/2)R_{\text{ges}}$. Die neue Kennlinie entsteht, indem man die ursprüngliche um den Faktor 3/2 in der Druckachse streckt (bei gleichem Volumenstrom höherer Druckverlust).

Murks!

falsch

10. Der Regler hat $K_p = 0{,}5\,\text{K}^{-1}$, und bei $T = 22\,°\text{C}$ gilt $y = 0{,}3$. Unter Annahme $y = K_p(T_{\text{soll}} - T)$, folgt $0{,}3 = 0{,}5(T_{\text{soll}} - 22\,°\text{C})$, also $T_{\text{soll}} = 22{,}6\,°\text{C}$. Im stationären Zustand

K

wenn man T_{soll} so definieren will

gilt $\dot{Q} = 2000y = 50(T - 7)$. Einsetzen von $y = 0{,}5(22{,}6 - T)$ ergibt $1000(22{,}6 - T) = 50(T - 7)$, also $20(22{,}6 - T) = T - 7$, $452 - 20T = T - 7$, $459 = 21T$, $T \approx 21{,}86\,°\mathrm{C}$.

Erklärung: Aus dem gegebenen Punkt wird T_{soll} bestimmt. Die Wärmebilanz setzt Heizleistung gleich Verlust, und Einsetzen der Reglergleichung führt zu einer linearen Gleichung für T, die algebraisch gelöst wird (Droop-Effekt des P-Reglers).

11. Verwechslung mit Generator?

1. Eine einzige Zielfunktion ermöglicht den Abwägungskompromiss zwischen konkurrierenden Aspekten wie Komfort und Kosten durch Gewichtung, was eine kohärente Optimierung erlaubt, statt isolierte Optimierungen, die zu Konflikten führen. Gelaber

2. Thermischer Komfort kann als Predicted Mean Vote (PMV) ausgedrückt werden, eine Zahl zwischen -3 und +3, die aus Temperatur, Feuchte, Luftgeschwindigkeit und anderen Faktoren berechnet wird. Man müsste noch das Vorzeichen lösen

3. Bei Verwendung des Maximums statt der Summe minimiert die Optimierung den schlechtesten Aspekt (Minimax-Ansatz), was zu robusteren Lösungen gegen Extremfälle führt, aber potenziell höhere Gesamtkosten verursacht, da nicht alle Anteile gleichmäßig optimiert werden.

12. BACnet ist für komplexe Gebäudeautomation konzipiert, da es objektbasierte Kommunikation und Integration über IP-Netzwerke unterstützt, was es für große Systeme mit vielen Geräten geeignet macht. KNX dient primär der dezentralen Hausautomation mit Fokus auf Bus-Systeme und einfache Installation, ideal für smarte Homes mit niedriger Latenz. Modbus/TCP eignet sich für industrielle Anwendungen durch sein einfaches Master-Slave-Protokoll über TCP/IP, das kostengünstig ist, aber weniger Funktionen für Gebäude-spezifische Objekte bietet. diffus

?

Aufgabe: drei Aspekte!