

Die **Forschungsgesellschaft Heizung Lüftung Klima an der Uni Stuttgart**, kurz FG HLK mbH, kam in einer Muster-Wärmebedarfsberechnung zu einer **Reduzierung der Heizlast von 23%** beim Einsatz des TDA-Systems. Verglichen wurden 2 baugleiche Hallen, die nach den neusten gültigen Standards konstruiert und wärmegeklärt sind. Eine Halle wurde mit dem TDA-System zur Verhinderung vertikaler Wärmeschichtungen ausgelegt, die zweite Halle ohne das TDA-System. Hier die Berechnungen im Wortlaut:

Berechnung der Heizlast einer Beispielhalle (Produktionshalle 50m x 100m) für zwei verschiedene Heizsysteme:

1. Luftheizung mit Temperaturschichtung
2. Heizung mit Deckenventilator und PWW-Lufterhitzer ohne Temperaturschichtung

Auftragnehmer:

Forschungsgesellschaft
Heizung-Lüftung-Klimatechnik Stuttgart mbH
Pfaffenwaldring 6a
70569 Stuttgart
<http://www.ihr.ike.uni-stuttgart.de>

Auftraggeber:

Fa. EVT/Casafan-Ventilatoren
Gelnhäuserstraße 35
63505 Langenselbold
www.casafan.de

Forschungsgesellschaft
Heizung Lüftung **HLK**
Klimatechnik **STUTT GART**
Stuttgart mbH

Pfaffenwaldring 6 a
D - 70569 Stuttgart-Vaihingen
Tel. 0711 / 685-(1) 20 85
Telefax 0711 / 687 60 56

Vorbemerkung

Die nachfolgenden, beispielhaften Berechnungen basieren auf den heutigen Standards bei Wärmedämmung und Belüftung und sind daher eher konservativ. Bei älteren Gebäuden, bei denen diese Standards noch nicht eingehalten wurden, können die Einsparungen bei der Heizlast beim Einsatz des vorgestellten TDA-Systems gegenüber konventioneller Heizung mit Temperaturschichtungen in vertikaler Richtung durchaus höher ausfallen.

Ausgangssituation

Eine Produktionshalle soll beheizt werden. Hierfür sollen zwei Alternativen gegenüber gestellt werden:
1. konventionelle Beheizung der Halle mit Warmluft (Temperaturschichtung in vertikaler Richtung),
2. Beheizung der Halle mittels PWW-Lufterhitzer und Ventilator (keine oder nur geringe Temperaturschichtung in der Halle).

Verglichen werden dabei jeweils die Heizlasten (nur Transmission, keine Lüftung) zum Erreichen einer bestimmten Bedarfsanforderung. Die Betriebskosten beider Systeme werden nicht berücksichtigt. Hierzu liegen keine entsprechenden Daten vor.

Die ausgewählte Halle besitzt ein Flachdach mit Lichtkuppeln (10% der Deckenfläche). Die Innenabmessungen betragen 50m x 100m und die Höhe ist 12m. Die langen Seitenwände besitzen ein Fensterband (10% der Seitenfläche). An einer kurzen Seitenwand grenzt ein Bürogebäude an. Das Dach und die Wände haben einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $k_D = k_W = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. An einer

der Oberlichter $k_{DF} = 3,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, und die Fenster in den Seitenwänden $k_F = 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Der äquivalente Wärmedurchgangswiderstand des Hallenbodens zum Grundwasser ist $R_{GW} = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.
Der Aufenthaltsbereich (Behaglichkeitszone) soll eine Höhe von 5m und eine Raumtemperatur von $\vartheta_i = 18^\circ\text{C}$ haben. Für die Berechnung der Normheizlast ist eine Außentemperatur von $\vartheta_a = -12^\circ\text{C}$ vorgegeben.

Ein Ausgleich der Behaglichkeitsdefizite durch die kalten Außenwände wird durch das Anheben der Raumlufttemperatur auf $\vartheta_{i,1} = 21^\circ\text{C}$ erreicht. Dadurch erhöhen sich für beide Lösungen die Heizlasten gegenüber einer idealen Beheizung der Halle.

Berechnung der Normheizlast für ideales Heizsystem
($\vartheta_i = 18^\circ\text{C}$, ideale Durchmischung)

Die Heizlast der Produktionshalle ergibt sich zu

$$\text{Wände: } \dot{Q}_{T,Wände} = \left[50\text{m} \cdot 12\text{m} \cdot 0,35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} + 200\text{m} (10,8\text{m} \cdot 0,35 + 1,2\text{m} \cdot 1,4) \right] \cdot 30\text{K} = 39,1\text{kW}$$

$$\text{Boden: } \dot{Q}_{T,Boden} = A_{Halle} \cdot \frac{\vartheta_i - \vartheta_{GW}}{R_{GW}} = 5000\text{m}^2 \cdot \frac{8\text{K}}{5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}} = 8 \text{ kW}$$

Decke:

Der mittlere Transmissionswärmestrom durch die Decke $\bar{q}_{T,D}$ und die Untertemperatur der Decke $\Delta\vartheta_D$ folgt aus den angegebenen Durchgangskoeffizienten sowie dem normierten Wärmeübergangswiderstand $R_{a,i} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

$$\bar{k}_D = 0,9 \cdot k_D + 0,1 \cdot k_{DF} = 0,615 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad \bar{q}_{T,D} = \bar{k}_D (\vartheta_i - \vartheta_a) = 18,45 \text{ W/m}^2 \quad \Delta\vartheta_D = \bar{q}_{T,D} \cdot R_{a,i} = 2,4 \text{ K}$$

Diese Untertemperatur sowie die Untertemperatur der Seitenwände erfordern das Anheben der Lufttemperatur um 2 – 3K, damit die Kriterien für die thermische Behaglichkeit wiederum erfüllt sind (DIN 1946, operative Raumtemperatur).
 Der Wärmestrom durch die Decke ergibt sich zu $\dot{Q}_{T,Decke} = A_{Halle} \cdot \bar{q}_{T,D} = 5000m^2 \cdot 18,45 \frac{W}{m^2} = 92,3 \text{ kW}$
 Damit ergibt sich die Basisheizlast (nur Transmission) für eine angenommene Innentemperatur (Lufttemperatur) bei idealer Durchmischung zu $\dot{Q}_T = 139,4 \text{ kW}$

Berechnung der Heizlast für eine ideale Luftheizung (keine Temperaturgradienten in vertikaler Richtung)

(mit TDA-System zur Verhinderung vom Wärmeschichtungen)

Wie bereits erwähnt, muß aus Gründen der Behaglichkeit die Lufttemperatur bei Luftheizung gegenüber einem idealen Heizsystem (Strahlung und Konvektion) erhöht werden. Im Beispiel wird von einer Lufttemperatur von $\vartheta_{l,i} = 21^\circ\text{C}$ ausgegangen. Berücksichtigt man diese Temperatur bei der Berechnung der Transmissionswärmeströme, so ergeben sich die folgenden neuen Werte

$$\dot{Q}_{T,Wände} = 43 \text{ kW} \quad \dot{Q}_{T,Boden} = 11 \text{ kW} \quad \dot{Q}_{T,Decke} = 101,5 \text{ kW} \quad \text{Oder zusammengefaßt } \dot{Q}_T = 155,5 \text{ kW}$$

Dies entspricht einem **Mehraufwand** gegenüber dem Idealfall von **11,5%**.

Dieser Mehraufwand entsteht immer dann, wenn die Heizenergie ausschließlich über warme Luft in den Raum eingebracht wird. Laut Auftraggeber kann mit einem neu entwickelten Ventilator und PWW-Lufterhitzer der Gradient in vertikaler Richtung auf ein Minimum reduziert werden. In wie weit dies in der Praxis der Fall ist, muß durch entsprechende Untersuchungen gezeigt werden.

Berechnung der Heizlast für eine reale Luftheizung (Temperaturgradienten in vertikaler Richtung)

(ohne TDA-System, mit Wärmeschichtungen)

Wird eine Halle mit warmer Luft beheizt und werden keine weiteren Maßnahme zur Durchmischung der Raumluft ergriffen, so stellt sich in der Halle eine stabile Schichtung mit mehr oder weniger großen Temperaturgradienten in vertikaler Richtung ein. Der Gradient der Lufttemperatur ist dabei u.a. von der Heizlast, von der Deckenkonstruktion und der Höhe der Lufteinbringung abhängig. Im folgenden sollen zwei verschiedene Varianten berechnet werden:

1. Gradient 5K zwischen Aufenthaltsbereich und Decke
2. Gradient 10K zwischen Aufenthaltsbereich und Decke

Die 1. Variante entspricht sicherlich dem erreichbaren Minimum und stellt somit die untere Grenze für diese Lösungen dar. Realistischer und durch Veröffentlichung auch teilweise belegt ist demnach die Variante 2.

Für die Transmissionswärmeströme ergeben sich somit die folgenden Werte:

Gradient 5K

$$\dot{Q}_{T,Wände} = 46,3 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{T,Boden} = 11 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{T,Decke} = 116,8 \text{ kW}$$

$$\text{Oder zusammengefaßt}$$

$$\dot{Q}_T = 174,1 \text{ kW}$$

$$\text{Mehraufwand: } 24,8\%$$

Gradient 10K

$$\dot{Q}_{T,Wände} = 49,5 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{T,Boden} = 11 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{T,Decke} = 132,3 \text{ kW}$$

$$\text{Oder zusammengefaßt}$$

$$\dot{Q}_T = 192,8 \text{ kW}$$

$$\text{Mehraufwand: } 38,3\%$$

Vergleicht man die Luftheizungen untereinander, so führt die Verwendung von Geräten, welche die Temperaturschichtung im Raum reduzieren oder aufheben zu Einsparungen bei der Heizlast (nur Transmission) von 10% bzw. 20%. Berücksichtigt man zusätzlich noch die Verlust durch Lüftung, so liegen diese Werte noch etwas höher. Selbst bei einem minimalen Luftwechsel von 0,5 1/h reduziert sich der Lüftungsheizlast von (Annahme: Luft strömt über Decke ab, vereinfachte Berechnung) $\dot{Q}_{L,10K} = 430 \text{ kW}$ über $\dot{Q}_{L,5K} = 380 \text{ kW}$ auf $\dot{Q}_{L,ideal} = 330 \text{ kW}$. Daraus folgt eine Gesamtreduzierung der Heizlast von bis zu 23% gegenüber einer konventionelle Luftbeheizung mit Temperaturschichtung in vertikaler Richtung.

Forsthausgesellschaft
 Holzwärme-Lüftung- und Klimatechnik Stuttgart mbH
 Postfach 10000, 70372 Stuttgart
 Dipl.-Ing. C. Koenndörfer

Sitz Stuttgart, Handelsregister HRB 8465
 Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Gunther Claus
 Dipl.-Ing. Jörg Schmid
 Wissenschaftlicher Leiter: Prof. Dr.-Ing. Heinz Bach
 Baden-Württemberg, Bank Stuttgart · BLZ 600 200 30
 Konto Nr. 1054 322 100 (Unterkonto: 15801)
 Ust-IdNr.: DE 147 856 674

Die Reduzierung der Heizlast bezieht sich in der Muster-Berechnung auf eine Halle, die den neusten Standards bezüglich Isolierung und Wärmedämmung entspricht. In Hallen älteren Baujahres, bei denen die heutigen Wärmedämmvorschriften nicht zum Tragen kamen, **kann die Einsparung noch erheblich höher sein** (siehe Vorwort der Berechnung).