

# A R C H

## Lösung 06

Feuchte IV: Kondensatbildung, Kondensatmenge

Online: Fr 30.05.08

### Lösung zu Aufgabe 1: Kondensatbildung

- a) 1. Wasserdampfdiffusion: Kondensat entsteht, wo der reale Dampfdruck den Sättigungsdruck erreicht.  
 2. Luftinfiltration: Kondensat kann entstehen, falls ein unkontrollierter Luftstrom wärmere und feuchtere Innenluft in die kälteren Schichten transportiert.
- b) Nein, Kondensation gibt es überall dort, wo der reale Dampfdruck den (der jeweiligen Temperatur entsprechenden) Sättigungsdampfdruck erreicht.

### Lösung zu Aufgabe 2: Berechnung der Kondensatmenge

- a) Wandaufbau mit Dämmschicht aus Steinwolle:

#### KONDENSATIONSPERIODE

Innen:  $\theta_i = 20\text{ °C}$       $\varphi = 60\%$

Aussen:  $\theta_e = -10\text{ °C}$       $\varphi = 80\%$

Zeitdauer:  $1440\text{ h}$ ,  $\delta_a = 0,695\text{ mg/hmPa}$  (bei  $945\text{ mbar}$ ,  $20\text{ °C}$ )

Die Kondensationsmenge wird berechnet mit (BTIV S.40ff):

$$g_c = \delta_a \cdot \left[ \frac{p_i - p_{\text{sat}}}{s_i} - \frac{p_{\text{sat}} - p_e}{s_e} \right] \cdot \frac{1440}{1000} \text{ [g/m}^2\text{]}$$

Partialdruck  $p_i$  bei  $\theta_i = 20\text{ °C}$  und  $\varphi = 60\%$ :      $2338\text{ Pa} \cdot 0.6 = 1403\text{ Pa}$

Partialdruck  $p_e$  bei  $\theta_e = -10\text{ °C}$  und  $\varphi = 80\%$ :      $260\text{ Pa} \cdot 0.8 = 208\text{ Pa}$

Wasserdampf-sättigungsdruck  $p_{\text{sat, CD}}$  im Kondensationsbereich =  $300\text{ Pa}$   
 (aus Grafik herauslesen, siehe Anhang Aufgabenblätter)

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_i$ :      $s_i = s_{\text{Steinwolle}} + s_{\text{Modulbackstein}} + s_{\text{Innenputz}}$   
 $s_i = 0.4\text{ m} + 0.75\text{ m} + 0.08\text{ m} = 1.23\text{ m}$

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_e$ :      $s_e = s_{\text{Aussenputz}} + s_{\text{Modulbackstein}}$   
 $s_e = 0.5\text{ m} + 0.6\text{ m} = 1.10\text{ m}$

$$g_c = 0.695 \cdot \left[ \frac{1403 - 300}{1.23} - \frac{300 - 208}{1.1} \right] \cdot \frac{1440}{1000} = 814 \text{ g/m}^2$$

Überprüfung der maximal zulässigen Kondensatmenge: für Wärmedämmstoffe max. 1 Vol %.

Volumen Wärmedämmung pro  $\text{m}^2$  Wand =  $0.2 \text{ m}^3$ ; davon 1% =  $0.002 \text{ m}^3$ .

Wasser pro  $\text{m}^2$  Wand =  $814 \text{ g}$ , entspricht  $0.81 \text{ Liter} = 0.00081 \text{ m}^3$

$0.002 \text{ m}^3 > 0.00081 \text{ m}^3$  also ist die Bedingung erfüllt!

#### AUSTROCKNUNGSPERIODE

Innen:  $\theta_i = 12^\circ\text{C}$   $\varphi = 70\%$

Aussen:  $\theta_e = 12^\circ\text{C}$   $\varphi = 70\%$

Zeitdauer:  $2160\text{h}$ ,  $\delta_a = 0,709 \text{ mg/hmPa}$  (bei  $945 \text{ mbar}$ ,  $12^\circ\text{C}$ )

Die Kondensationsmenge wird berechnet mit:

$$g_{ev} = \delta_a \cdot \left[ \frac{p_{sat} - p_i}{s_i} + \frac{p_{sat} - p_e}{s_e} \right] \cdot \frac{2160}{1000} \text{ [g/m}^2\text{]}$$

Der Partialdruck  $p_i$  bei  $\theta_i = 12^\circ\text{C}$  und  $\varphi = 70\%$  beträgt  $982 \text{ Pa}$

Der Partialdruck  $p_e$  bei  $\theta_e = 12^\circ\text{C}$  und  $\varphi = 70\%$  beträgt  $982 \text{ Pa}$

Wasserdampf-sättigungsdruck  $p_{sat, CD}$  im Kondensationsbereich =  $1403 \text{ Pa}$

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_i$ :

$$s_i = s_{\text{Steinwolle}} + s_{\text{Modulbackstein}} + s_{\text{Innenputz}}$$

$$s_i = 0.4 \text{ m} + 0.75 \text{ m} + 0.08 \text{ m} = 1.23 \text{ m}$$

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_e$ :

$$s_e = s_{\text{Aussenputz}} + s_{\text{Modulbackstein}}$$

$$s_e = 0.5 \text{ m} + 0.6 \text{ m} = 1.10 \text{ m}$$

$$g_{ev} = 0.709 \cdot \left[ \frac{1403 - 982}{1.23} + \frac{1403 - 982}{1.1} \right] \cdot \frac{2160}{1000} = 1110 \text{ g/m}^2$$

$g_c < g_{ev}$  also ist die Austrocknung gewährleistet!

#### b) Wandaufbau mit Dämmschicht aus PS/ EPS

#### KONDENSATIONSPERIODE

Innen:  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$   $\varphi = 60\%$

Aussen:  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$   $\varphi = 80\%$

Zeitdauer:  $1440\text{h}$ ,  $\delta_a = 0,695 \text{ mg/hmPa}$  (bei  $945 \text{ mbar}$ ,  $20^\circ\text{C}$ )

Die Kondensationsmenge wird berechnet mit (BTIV S.40ff):

$$g_c = \delta_a \cdot \left[ \frac{p_i - p_{sat}}{s_i} - \frac{p_{sat} - p_e}{s_e} \right] \cdot \frac{1440}{1000} \text{ [g/m}^2\text{]}$$

Der Partialdruck  $p_i$  bei  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$  und  $\varphi = 60\%$  beträgt  $1403 \text{ Pa}$

Der Partialdruck  $p_e$  bei  $\theta_e = -10^\circ\text{C}$  und  $\varphi = 80\%$  beträgt  $208 \text{ Pa}$

Wasserdampf-sättigungsdruck  $p_{sat, CD i}$  im Kondensationsbereich =  $520 \text{ Pa}$

Wasserdampf-sättigungsdruck  $p_{sat, CD e}$  im Kondensationsbereich =  $350 \text{ Pa}$

(aus Grafik herauslesen, siehe Anhang: 3/16 des Polystyrols ist durchnässt, so dass gegen aussen 1/16 und gegen innen 3/4 der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke wirksam sind.)

$$\begin{aligned} \text{Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke } s_i: & \quad s_i = \frac{3}{4} \cdot s_{\text{Polystyrol}} + s_{\text{Modulbackstein}} + s_{\text{InnenPutz}} \\ & \quad s_i = 6 \text{ m} + 0.75 \text{ m} + 0.08 \text{ m} = 6.83 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke } s_e: & \quad s_e = \frac{1}{16} \cdot s_{\text{Polystyrol}} + s_{\text{Aussenputz}} + s_{\text{Modulbackstein}} \\ & \quad s_e = 0.5 \text{ m} + 0.5 \text{ m} + 0.6 \text{ m} = 1.60 \text{ m} \end{aligned}$$

$$g_c = 0.695 \cdot \left[ \frac{1403 - 520}{6.83} - \frac{350 - 208}{1.6} \right] \cdot \frac{1440}{1000} = 40.6 \text{ g/m}^2$$

## AUSTROCKNUNGSPERIODE

$$\text{Innen: } \theta_i = 12 \text{ }^\circ\text{C} \quad \varphi = 70 \%$$

$$\text{Aussen: } \theta_e = 12 \text{ }^\circ\text{C} \quad \varphi = 70 \%$$

$$\text{Zeitdauer: } 2160 \text{ h} \quad \delta_a = 0,709 \text{ mg/hmPa (bei } 945 \text{ mbar, } 12 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$\text{Die Kondensationsmenge wird berechnet mit: } g_{ev} = \delta_a \cdot \left[ \frac{p_{\text{sat}} - p_i}{s_i} + \frac{p_{\text{sat}} - p_e}{s_e} \right] \cdot \frac{2160}{1000} \text{ [g/m}^2\text{]}$$

Der Partialdruck  $p_i$  bei  $\theta_i = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $\varphi = 70 \%$  beträgt  $982 \text{ Pa}$

Der Partialdruck  $p_e$  bei  $\theta_e = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $\varphi = 70 \%$  beträgt  $982 \text{ Pa}$

Wasserdampfättigungsdruck  $p_{\text{sat, CD}}$  im Kondensationsbereich beträgt  $1403 \text{ Pa}$

Für die Austrocknungsberechnung ab Mitte Kondensationszone:

$$\begin{aligned} \text{Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke } s_i: & \quad s_i = \frac{27}{32} \cdot s_{\text{Polystyrol}} + s_{\text{Modulbackstein}} + s_{\text{InnenPutz}} \\ & \quad s_i = 6.75 \text{ m} + 0.75 \text{ m} + 0.08 \text{ m} = 7.58 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke } s_e: & \quad s_e = \frac{5}{32} \cdot s_{\text{Polystyrol}} + s_{\text{Aussenputz}} + s_{\text{Modulbackstein}} \\ & \quad s_e = 1.25 \text{ m} + 0.5 \text{ m} + 0.6 \text{ m} = 2.35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$g_{ev} = 0.709 \cdot \left[ \frac{1403 - 982}{7.58} + \frac{1403 - 982}{2.35} \right] \cdot \frac{2160}{1000} = 359 \text{ g/m}^2$$

$g_c < g_{ev}$  also ist die Austrocknung gewährleistet!

- c) Die Konstruktion mit Polystyrol weist zwar eine Kondensationszone auf, die Kondensatmenge ist aber geringer als bei der Konstruktion mit Steinwolle. Die Ausdehnung des Kondensationsbereiches in der Konstruktion selbst (Zone oder Ebene) spielt eine untergeordnete Rolle.

Die grafische Darstellung nach Glaser zeigt Folgendes: Je grösser die Abweichung des realen Dampfdrucks vom idealen Dampfdruckverlauf, desto grösser ist die Kondensatmenge. Die Steigungen des realen Dampfdrucks unterscheiden sich dann stärker zwischen Kondensation (von innen) und winterlicher Austrocknung nach aussen.

Bei gleichem Massstabsverhältnis zwischen  $s$  und  $p$  (und nur dann) können die entsprechenden Steigungen direkt, auch über verschiedene Konstruktionen, miteinander verglichen werden; je steiler desto grösser die Diffusionsstromdichte (siehe Anhang Aufgabenblätter).