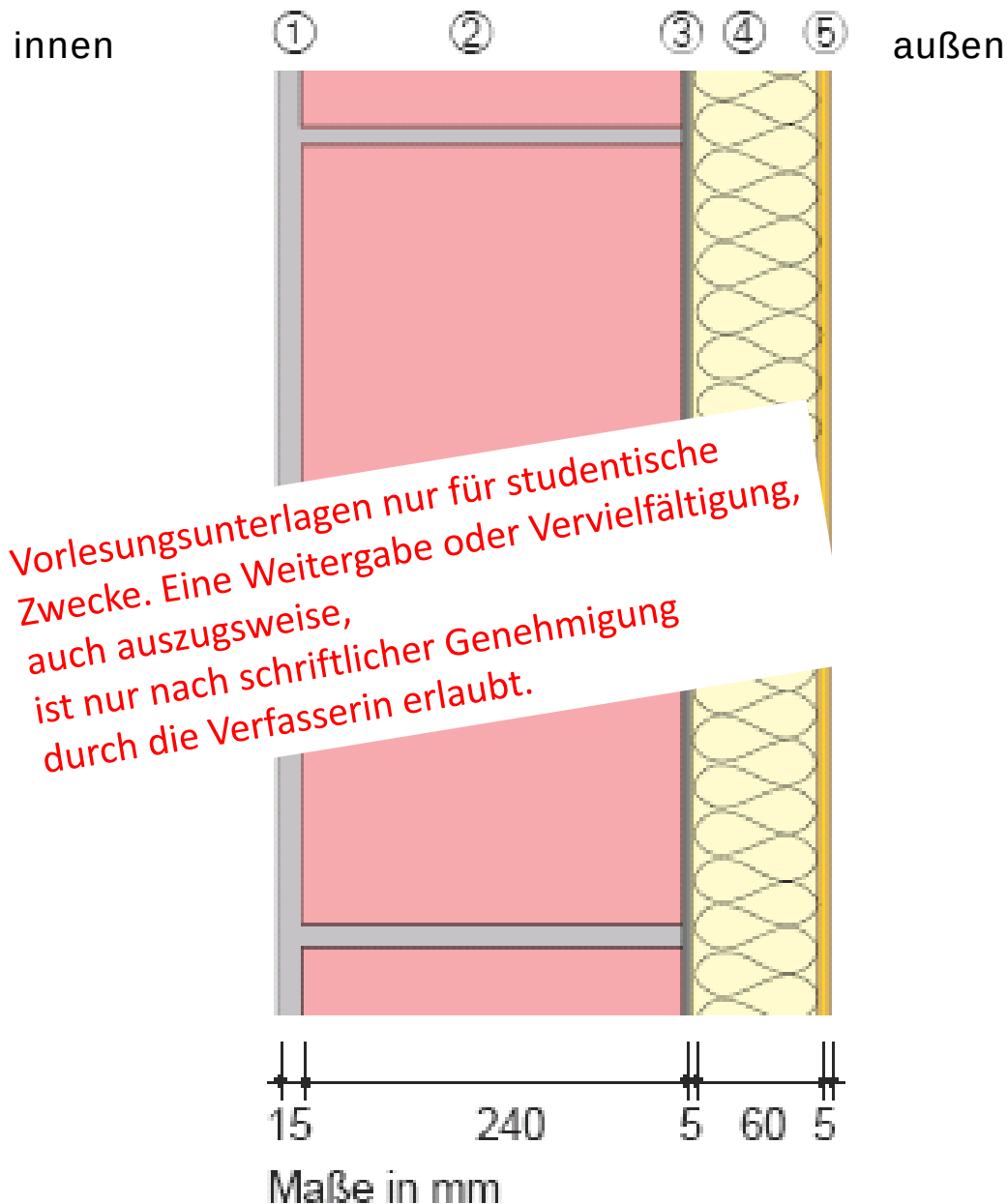


Berechnungsbeispiel



1: Gipsmörtel

2: Hochlochziegel
 $\rho_R = 1400 \text{ kg/m}^3$

3: Zementmörtel

4: Polyurethan-Hartschaum
(PUR)
nach DIN EN 13165,
Kategorie I, Nennwert 0,033

5: Kunstharzputz

Berechnungsbeispiel

Aufgabenstellung

- A) Erfüllt der Wärmedurchlasswiderstand die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2?**
- B) Wie groß ist der Wärmedurchgangswiderstand bzw. der Wärmedurchgangskoeffizient der betrachteten Außenwand?**
- C) Welche Temperatur sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -5°C , Innenlufttemperatur: 20°C)?**
- D) Welcher Sättigungsdampfdruck ist an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten?**
- E) Führen Sie den Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3.**

für das Diffusions-
diagramm

Schicht Nl.	d [m]	μ [-]	S_d [m]	$\frac{\Sigma S_d}{S_d \cdot \pi} [-]$	λ [$\frac{W}{m \cdot K}$]	$R_n (R_{si}, R_{se})$ [$\frac{m^2 \cdot K}{W}$]	ΔT [K]	Θ [°C]	p_{sat} [Pa]
W-Übergang innen									
1 Gipsmörtel	0,015								
2 Hochlochziegel	0,24								
3 Zementmörtel	0,005								
4 PUR-Dämmung	0,06								
5 Kunstharzputz	0,005								
W-Übergang außen									
$R = \Sigma R_n$									
R_T									
U									

Vorbereitung: Tabelle zeichnen, Materialkennwerte zusammentragen (d, μ, λ)
 λ, μ aus DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456

Achtung: diese Lösung entspricht jener in den Videos.
 Hier weicht die Umrechnung von Nenn- auf
 Bemessungswert von den aktuell gültigen Werten ab.

In den Vorlesungsfolien ist die Lösung dieser Aufgabe
 mit allen aktuell gültigen Kennwerten dargestellt. Die
 Vorgehensweise ist jedoch in beiden Lösungen die
 Gleiche!

A) Erfüllt der Wärmedurchlasswiderstand die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2?

ungünstigste Wert für das Diffusionsdiagramm

WÄRME $R = \frac{d}{\lambda}$

FEUCHTE

Schicht Nr.	d [m]	μ [-]	S_d [m]	ΣS_d [m]	λ [W/mK]	$R_n (R_{si}, R_{se})$ [m²K/W]	ΔT [K]	Θ [°C]	p_{sat} [Pa]
W-Übergang innen						0,13 0,25	2,8 K	20	2337
1 Gipsmörtel	0,015	10	0,15	0,03	0,70	0,021	0,2 K	20-2,8=17,2	1961
2 Hochlochziegel	0,24	5/10	1,2	0,28	0,58	0,414	4,6 K	17,2-0,2=17,0	1937
3 Zementmörtel	0,005	15/35	0,075	0,30	1,6	0,003	0	17,0-4,6=12,4	1439
4 PUR-Dämmung	0,06	40/260	2,4	0,79	0,04	1,500	16,8 K	12,4	1439
5 Kunstharzputz	0,005	50/200	1,0	1,0	0,70	0,007	0,1 K	-4,4	422
W-Übergang außen						0,04 0,04	0,5 K	-4,5	419
						0,04 0,04	0,5 K	-5	401

$$S_d = \mu \cdot d$$

$$\Sigma S_d = 4,825 \text{ m}$$

$$= S_{d,T}$$

$$R = \Sigma R_n$$

$$R_T$$

$$U$$

$$1,945$$

$$2,115$$

$$0,473$$

→ Wärmeschutznachweis

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_n + R_{se}$$

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Übersetzung: Tabelle zeichnen, Materialkennwerte zusammentragen (d, μ, λ)

λ, μ aus DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456

Anmerkung zu λ : Bemessungswert maßgebend; Wärmedämmung:

$$\lambda = 1,2 \cdot \lambda_{D, \text{Nennwert}}$$

A WÄRME

$$R_{soll} \leq R_{ist} = \Sigma R_n \text{ mit } R_n = \frac{d_n}{\lambda_n}$$

- schweres oder leichtes Bauteil $m \geq 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \rightarrow$ schweres Bauteil
 $m < 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \rightarrow$ leichtes Bauteil

$$m = \Sigma \rho_n \cdot d_n = \dots + 1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,24 \text{ m} + \dots = 336 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} > 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \triangle$$

$$R_{soll} = 1,2 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}, \text{ da Temperatur} > 19^\circ \text{C (s. Fußnote "Niedrig beheizt")}$$

$$\Rightarrow R_{soll} < R_{ist} \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

*für das Diffusions-
diagramm*

$R = \frac{d}{\lambda}$

Schicht Nr.	d [m]	μ [-]	$S_{d,i}$ [m]	$S_{d,e}$ [m]	λ [W/mK]	$R_s (R_{s,i}, R_{s,e})$ [m²K/W]	ΔT [K]	Θ [°C]	P_{ent} [W/m²]
W. Übergang innen									
1 Glaswolle	0,015	10			0,20	0,021			
2 Hohllochziegel	0,24	5/10			0,58	0,414			
3 Zementmörtel	0,005	15/35			1,6	0,003			
4 PUR-Dämmung	0,06	40/20			0,04	1,500			
5 Kunstharzputz	0,005	50/20			0,70	0,007			
W. Übergang außen									
$R = \sum R_s$						1,945	→ Wärmeschutznachweis		
R_T									
U									

B) Wie groß ist der Wärmedurchgangswiderstand bzw. der Wärmedurchgangskoeffizient der betrachteten Außenwand?

R_T Wärmedurchgangswiderstand
 U ... Wärmedurchgangskoeffizient

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad ; \quad U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

Achtung! ~~andere~~ Werte für R_{si} als bei wärmetechnische Betrachtung

Wärme $R_{si} = 0,13$; $R_{se} = 0,04$ $\rightarrow$ Kenngröße (EnEV, Wärmeschutz (U-Wert))
abh. v. Richtung Wärmestrom

Feuchte $R_{si} = 0,25$; $R_{se} = 0,04$ $\rightarrow$ Feuchteschutz - Temperaturberechnungen
egal in welche Richtung d. Wärmestrom geht

$$R = \frac{R}{\lambda}$$

für das Diffusions-
koeffizienten

Schicht Nr.	d [m]	μ [°]	S_{eff} [m]	$\epsilon_{\text{eff}} /$ $S_{\text{eff}} \cdot \mu$	λ [m]	$R_s (R_{\text{eff}})$ [m²/K]	ΔT [K]	θ [°C]	P_{ext} [W/m²]
W. Übergang innen						0,13			
1 Glasfenster	0,015	10			0,70	0,021			
2 Hochlochziegel	0,24	5/10			0,58	0,414			
3 Zementmörtel	0,005	15/25			1,6	0,003			
4 PUR-Dämmung	0,06	40/20			0,04	1,500			
5 Kunstharzputz	0,005	50/100			0,70	0,007			
W. Übergang außen						0,04			

$$R = \sum R_s$$

$$R_T = 1,145$$

$$U = 0,473$$

→ Wärmeschutzrechnung

$$R_T = R_s + \epsilon R_{\text{int}} + R_{\text{se}}$$

$$U = \frac{1}{R_T}$$

C) Welche Temperatur sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -5°C, Innenlufttemperatur: 20 °C)?

C) Temperaturverteilung, ACHTUNG andere Werte für R_{si} als bei wärmeschutztechnischen Betrachtungen!

Schritt 1:
 R_{si} , R_T , U

WÄRME $R_{si} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$
 $R_{se} = 0,04 \frac{m^2K}{W} \Rightarrow R_T$

$2,115 \frac{m^2K}{W} ; 0,473 \frac{W}{m^2K}$

$\Rightarrow$ Kenngröße Wärmeschutz (z.B. Herstellerangaben, EnEV)

FEUCHTE $R_{si} = 0,25 \frac{m^2K}{W}$
 $R_{se} = 0,04 \frac{m^2K}{W} \Rightarrow$

$2,235 \frac{m^2K}{W} ; 0,447 \frac{W}{m^2K}$

$\rightarrow$ Hilfsgröße zur Temperaturberechnung

für das Diffusions- Äquivalent						FEUCHTE		
Schicht Nr.	d [m]	μ [-]	S_d [m]	$\frac{S_d}{S_{ref}}$ [-]	λ [W/mK]	$R_s (R_{s,i})$ [m^2K/W]	ΔT [K]	ϕ [kg/m^3]
W. Übergang innen						0,13	2,3 K	
1 Gipsmörtel	0,015	10			0,70	0,021		
2 Hochdruckriegel	0,24	5/10			0,58	0,414		
3 Zementmörtel	0,005	15/35			1,6	0,003		
4 PUR-Dämmung	0,06	40/20			0,04	1,50		
5 Kunststoffputz	0,005	50/100			0,70	0,007		
W. Übergang außen						0,04		
						0,447		
						2,235		

$R = R_{si} + \sum R_{s,i} + R_{se}$
 $R_T = R_{si} + \sum R_{s,i} + R_{se}$
 $U = \frac{1}{R_T}$

Fortsetzung:

C) Welche Temperatur sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -5°C, Innenlufttemperatur: 20 °C)?

Schritt 2:
Temperatur-
gradienten
 ΔT

$$q = U \cdot \Delta T_{\text{ges}} = 0,447 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 25\text{K} = 11,175 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$q = \frac{1}{R_n} \cdot \Delta T_n$$

$$\Rightarrow \Delta T_n = q \cdot R_n$$

$$\Delta T_{\text{Si}} = 11,175 \cdot 0,25 = 2,8\text{K}$$

$$\Delta T_1 = 11,175 \cdot 0,021 = 0,2\text{K}$$

$$\Delta T_2 = 11,175 \cdot 0,414 = 4,6\text{K}$$

für das Diffusions-
Wärme- $\dot{Q} = \frac{Q}{t}$

FEUCHTE

Schicht Nr.	d [m]	μ [-]	S_d [m]	$\frac{S_d}{S_{\text{diff}}}$	R_{s1} [m ² W/K]	R_{s2} [m ² W/K]	ΔT [K]	θ [°C]	ϕ [W/m ²]
W. Übergang innen									
1 Gipsmörtel	0,015	10			0,13	0,25	2,8 K		
2 Hochlochziegel	0,24	5/10			0,20	0,021	0,2 K		
3 Zementmörtel	0,005	15/35			0,58	0,414	4,6 K		
4 PUR-Dämmung	0,06	40/25			1,6	0,005	0		
5 Kunstharzputz	0,005	50/60			0,04	1,80	16,8 K		
W. Übergang außen					0,70	0,007	0,1 K		
						0,04	0,5 K		
					$R = \sum R_n$	1,145			
					R_T	2,115			
					U	0,473			

Wärmeschutzrechenweg:
 $R_T = R_{s1} + \sum R_n + R_{s2}$
 $U = \frac{1}{R_T}$

Vorbereitung: Tabelle zeichnen, Materialkennwerte zusammenstellen

Schritt 3: Temperatur en an den Schicht- grenzen θ

für das Diffusions-
Wärme $R = \frac{R_s}{\lambda}$

FEUCHTE

Etage Nr.	d [m]	μ [-]	S_d [m]	$S_{d,1}$ [m]	λ [W/mK]	$R_s (R_{s,1})$ [m²K/W]	ΔT [K]	θ [°C]	$R_{s,2}$ [m²K/W]
W. Übergang innen						0,13	2,8 K	20	
1 Gipsmörtel	0,015	10			0,70	0,021	0,2 K	20-2,8=17,2	
2 Hochlochziegel	0,24	5/10			0,58	0,414	4,6 K	17,2-0,2=17,0	
3 Zementmörtel	0,005	15/35			1,6	0,003	0	17,0-4,6=12,4	
4 PUR-Dämmung	0,06	40/20			0,04	1,500	16,8 K	12,4	
5 Kunstharzputz	0,005	50/100			0,70	0,007	0,1 K	-4,4	
W. Übergang außen						0,04	0,5 K	-4,5	

$R = \sum R_s$
 $R_T = 1,145$
 $U = 0,473$

$\rightarrow$ Wärmeschutzrechenweg
 $R_T = R_{s,1} + \sum R_{s,i} + R_{s,2}$
 $U = \frac{1}{R_T}$

D) Welcher Sättigungsdampfdruck ist an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten?

für das Diffusions-
diagramm

WÄRME +
FEUCHTE

Schicht Nr.	d [m]	μ [-]	$s_{d,0}$ [m]	$s_{d,1}$ [m]	λ [W/mK]	$R_s (R_{s,0})$ [m²K/W]	ΔT [K]	θ [°C]	p_{sat} [hPa]
W-Übergang innen						0,13	2,8 K	17,2	156,1
1 Gipsmörtel	0,015	10			0,70	0,021	0,2 K	17,2-0,2=17,0	153,7
2 Hochlochziegel	0,24	5/10			0,58	0,414	4,6 K	17,0-4,6=12,4	143,9
3 Zementmörtel	0,005	15/35			1,6	0,003	0	12,4	143,9
4 PUR-Dämmung	0,06	40/20			0,04	1,50	16,8 K	-4,4	42,2
5 Kunstharzputz	0,005	50/100			0,70	0,007	0,1 K	-4,5	41,9
W-Übergang außen						0,04	0,5 K	-5	40,1

$R_T = 1,145$
 $R_T = R_{s,0} + \sum R_n + R_{se}$
 $U = \frac{1}{R_T}$

E) Führen Sie den Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3.

Schritt 1:

Ermittlung von S_d und $S_{d,T}$

ungünstigste Luft für das Diffusionsklima Wärme $R = \frac{d}{\lambda}$ FEUCHTE

Schicht Nr.	d [m]	μ [-]	S_d [m]	$S_{d,T}$ [m]	λ [W/mK]	$R_s (R_{s,e})$ [m²K/W]	ΔT [K]	θ [°C]	ρ_{max} [%]
W. Übergang innen						0,13	5,8 K	20	15,6
1 Gipsmörtel	0,015	10	0,15		0,70	0,021	0,2 K	17,2-20 = -2,8	19,6
2 Hochlochziegel	0,24	5/10	1,2		0,58	0,414	4,6 K	17,2-0,2 = 17,0	19,3
3 Zementmörtel	0,005	15/35	0,015		1,6	0,003	0	17,0-4,6 = 12,4	14,3
4 PUR-Dämmung	0,06	40/20	2,4		0,04	1,50	16,8 K	-4,4	4,2
5 Kunstharzputz	0,005	50/20	1,0		0,70	0,007	0,1 K	-4,5	4,1
W. Übergang außen						0,04	0,5 K	-5	0,0

$S_d = \mu \cdot d$ ↓ $S_{d,T} = 4,825 \text{ m}$
 $= S_{d,T}$

$R = \frac{d}{\lambda}$
 $R_s = 1,145$
 $R_T = 2,145$
 $U = 0,473$

$\rightarrow$ Glismerschutznachweis
 $R_T = R_s + \sum R_{n,T} + R_{se}$
 $U = \frac{1}{R_T}$

Schritt 2:

Ermittlung von $\Sigma S_d / S_{d,T}$

unausgetriggter
Wert
für das Diffusions-
äquivalent

Wärme $R = \frac{1}{k}$

FEUCHTE

Schicht Nr.	d [m]	μ [-]	S_d [m]	$\Sigma S_d / S_{d,T}$	λ [W/mK]	$R_s (R_{s,e})$ [m²K/W]	ΔT [K]	Θ [°C]	P_{max} [Pa]
w. Übergang innen						0,13	2,8 K	$2 - 2,8 = -0,8$	196,1
1 Gipsmörtel	0,015	10	0,15	0,03	0,70	0,014	0,2 K	$172 - 0,2 = 171,8$	13,57
2 Hochlochziegel	0,24	5/10	1,2	0,28	0,58	0,17	4,6 K	$170 - 4,6 = 165,4$	14,39
3 Zementmörtel	0,005	15/35	0,015	0,30	1,6	0,003	0	17,4	143,0
4 PUR-Dämmung	0,06	40/20	2,4	0,73	0,04	1,80	16,8 K	-4,4	422
5 Kunstharzputz	0,005	50/20	1,0	1,0	0,70	0,007	0,1 K	-4,5	419
w. Übergang außen						0,04	0,5 K	-5	401

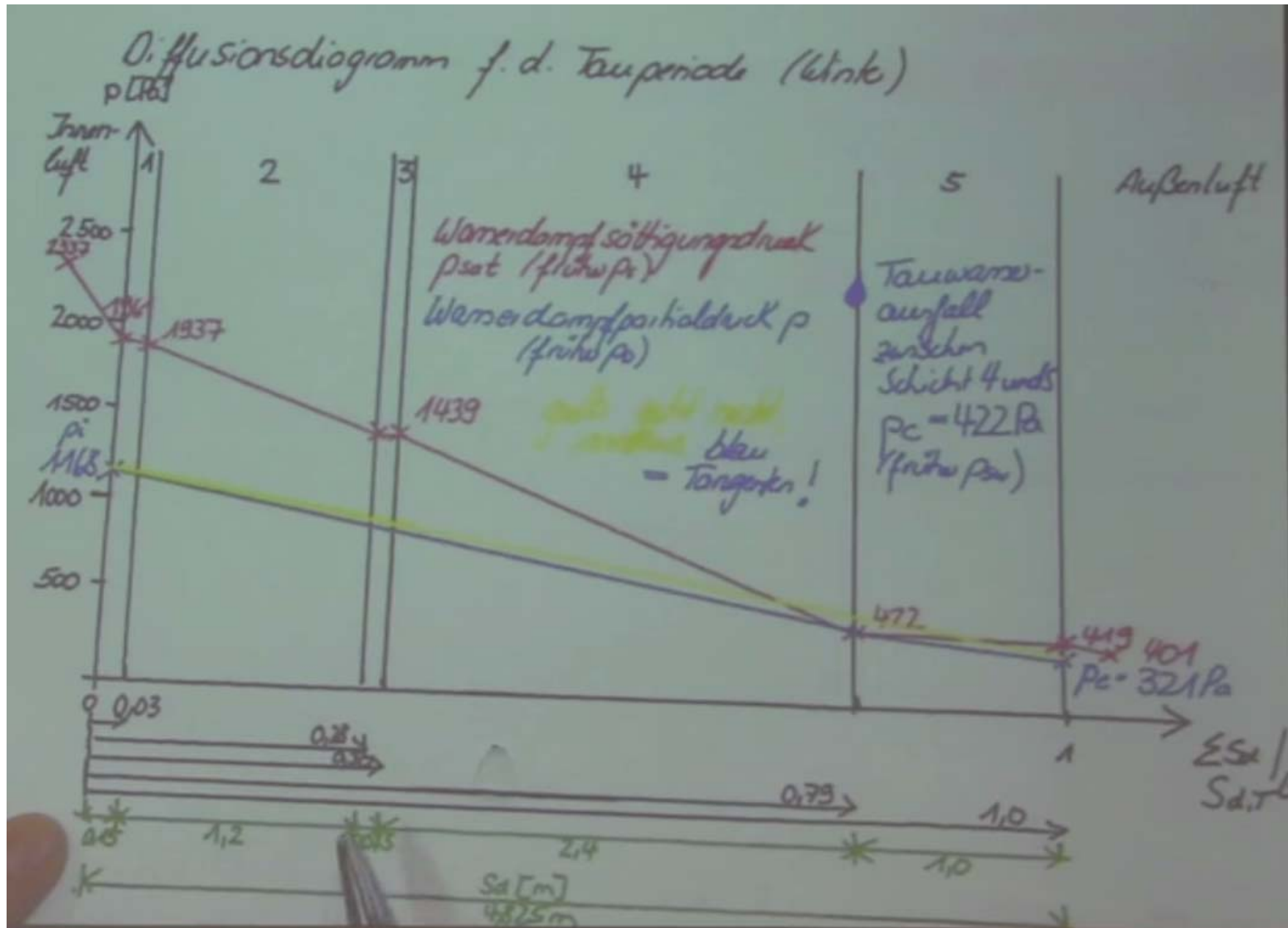
↓

$S_d = \mu \cdot d$ $\Sigma S_d = 4,825 \text{ m}$
 $= S_{d,T}$

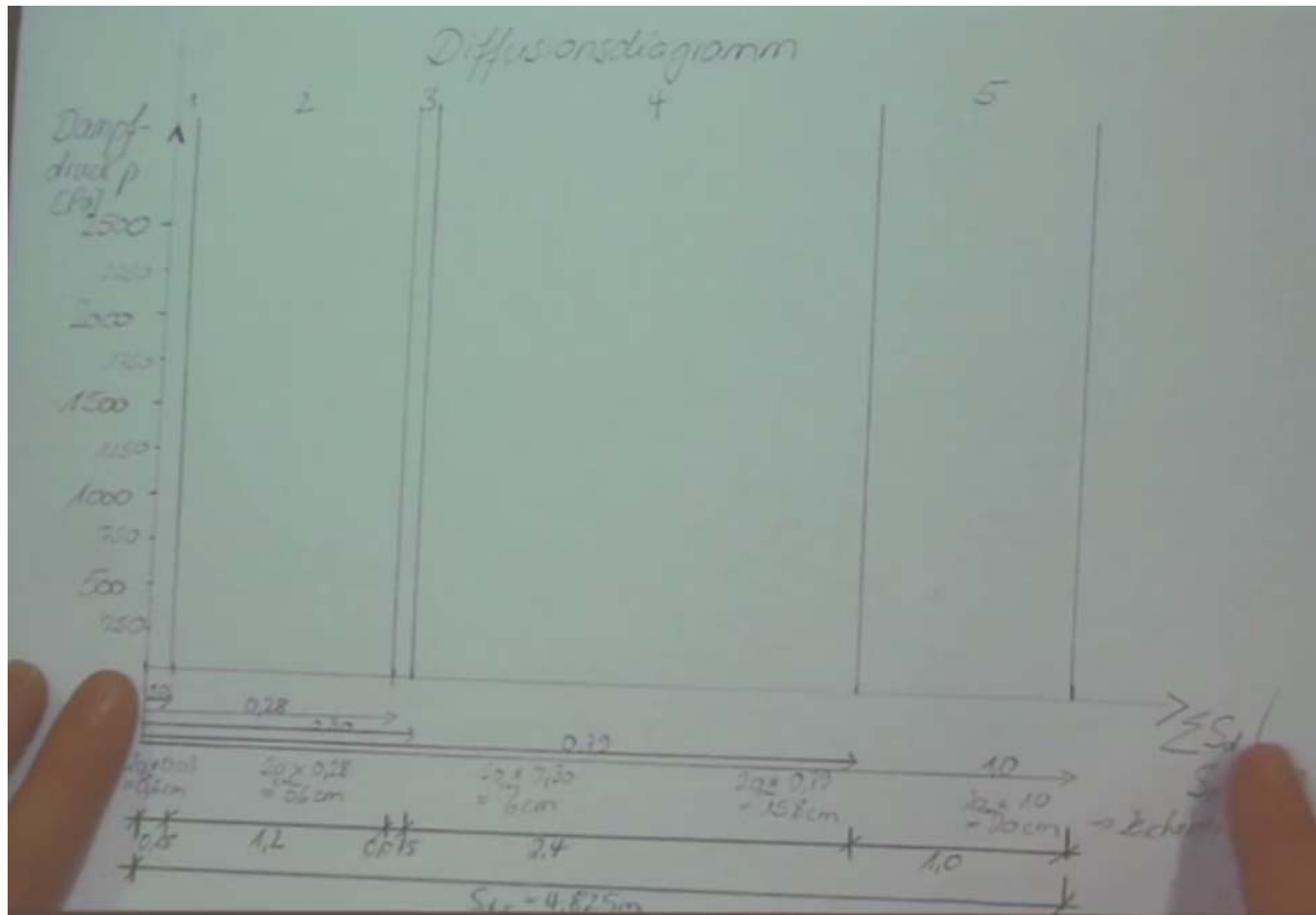
R = ΣR_s
 $R_T = 2,115$
 $U = 0,473$

→ Wärmeschutznachweis
 $R_T = R_s + \Sigma R_{nt} + R_{se}$
 $U = \frac{1}{R_T}$

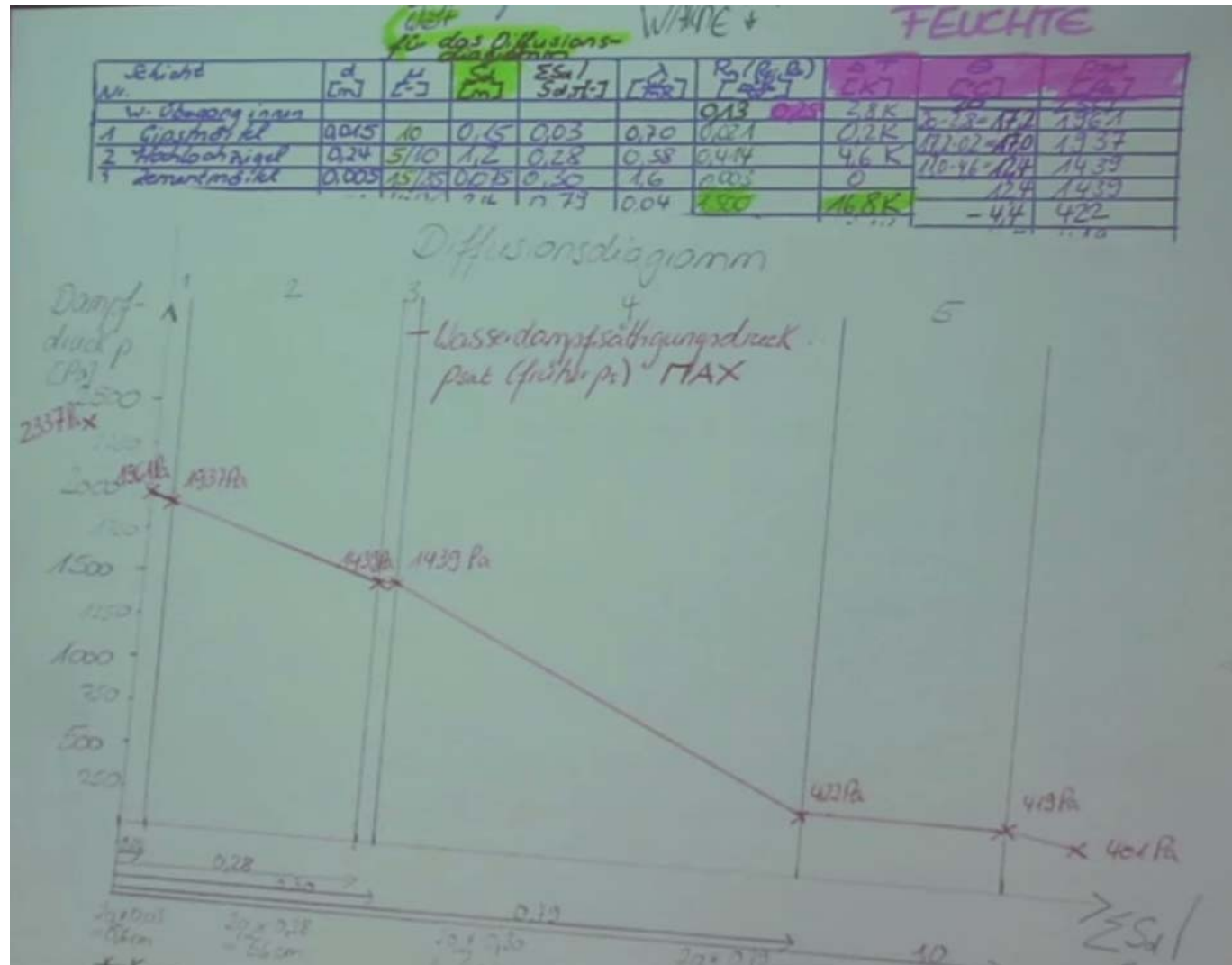
Zu Erläuterungen des Diffusionsdiagramms (Film FG 08)



Schritt 3:
Zeichnen des Diffusionsdiagramms (vgl.
Film FG09)

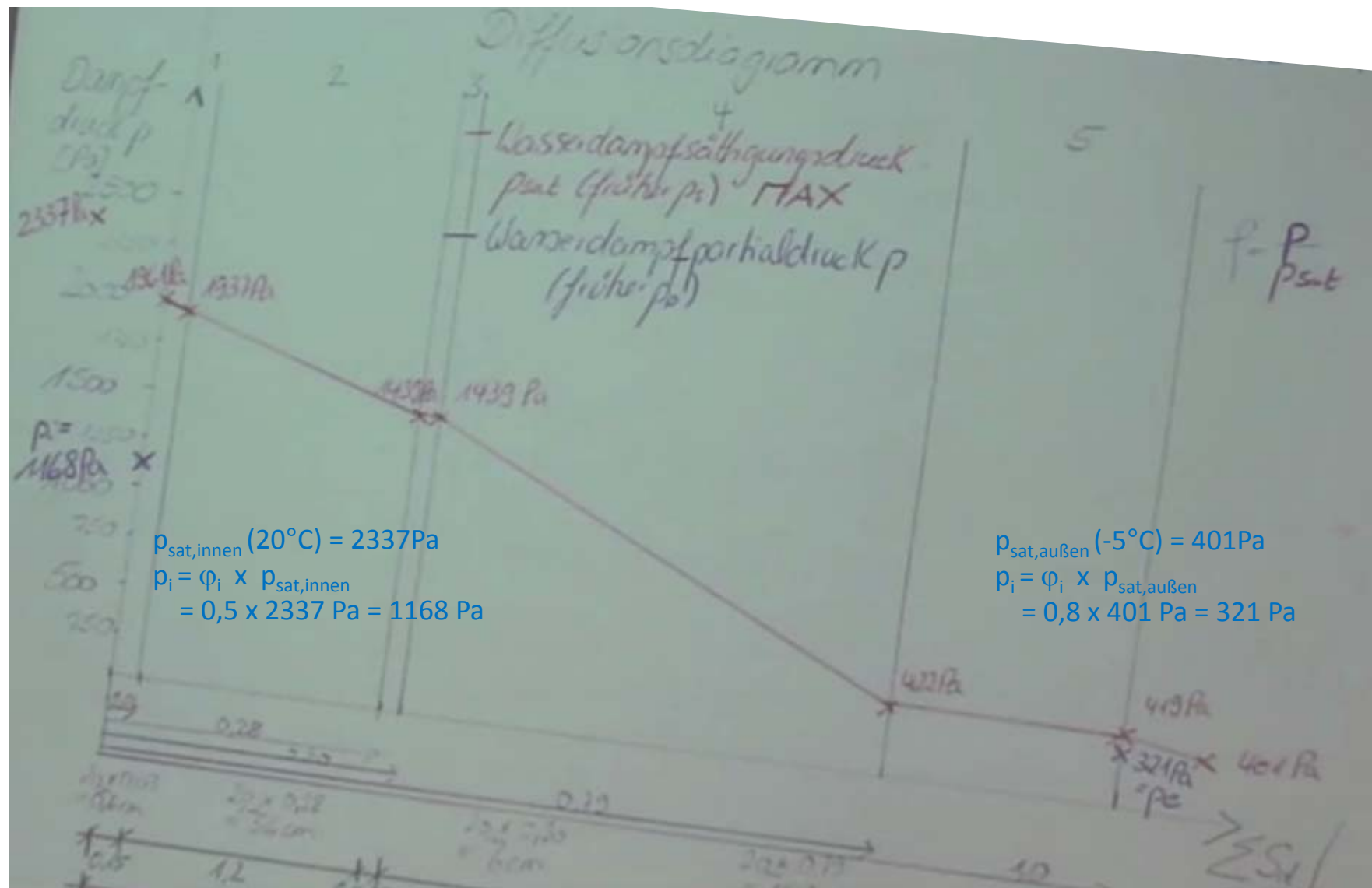


Schritt 4:
Einzeichnen der
Wasserdampfsättigungsdrücke (vgl.
Film FG10)



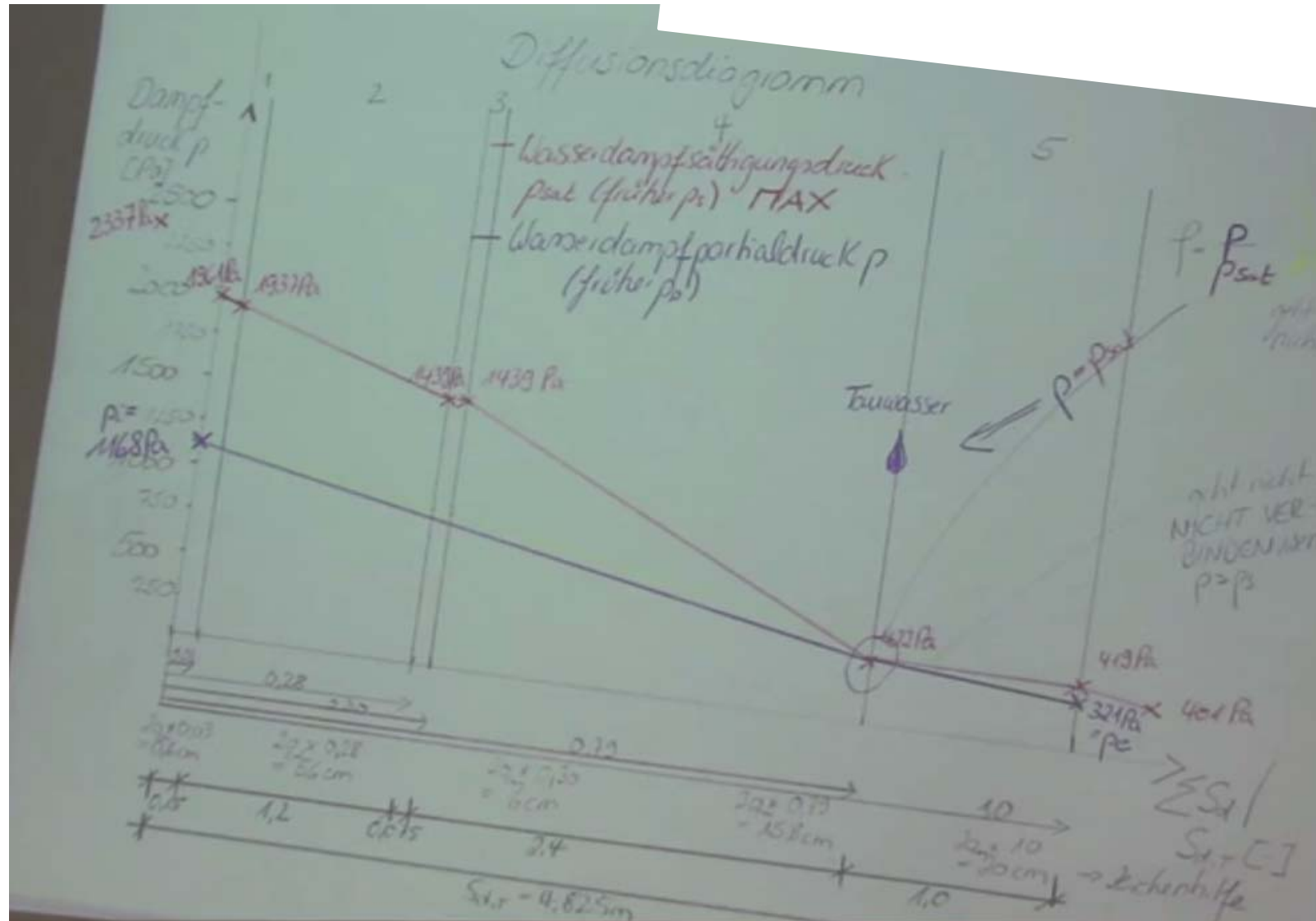
Schritt 5:

Einzeichnen der Wasserdampfdrücke p an den Bauteiloberflächen
(vgl. Film FG10)



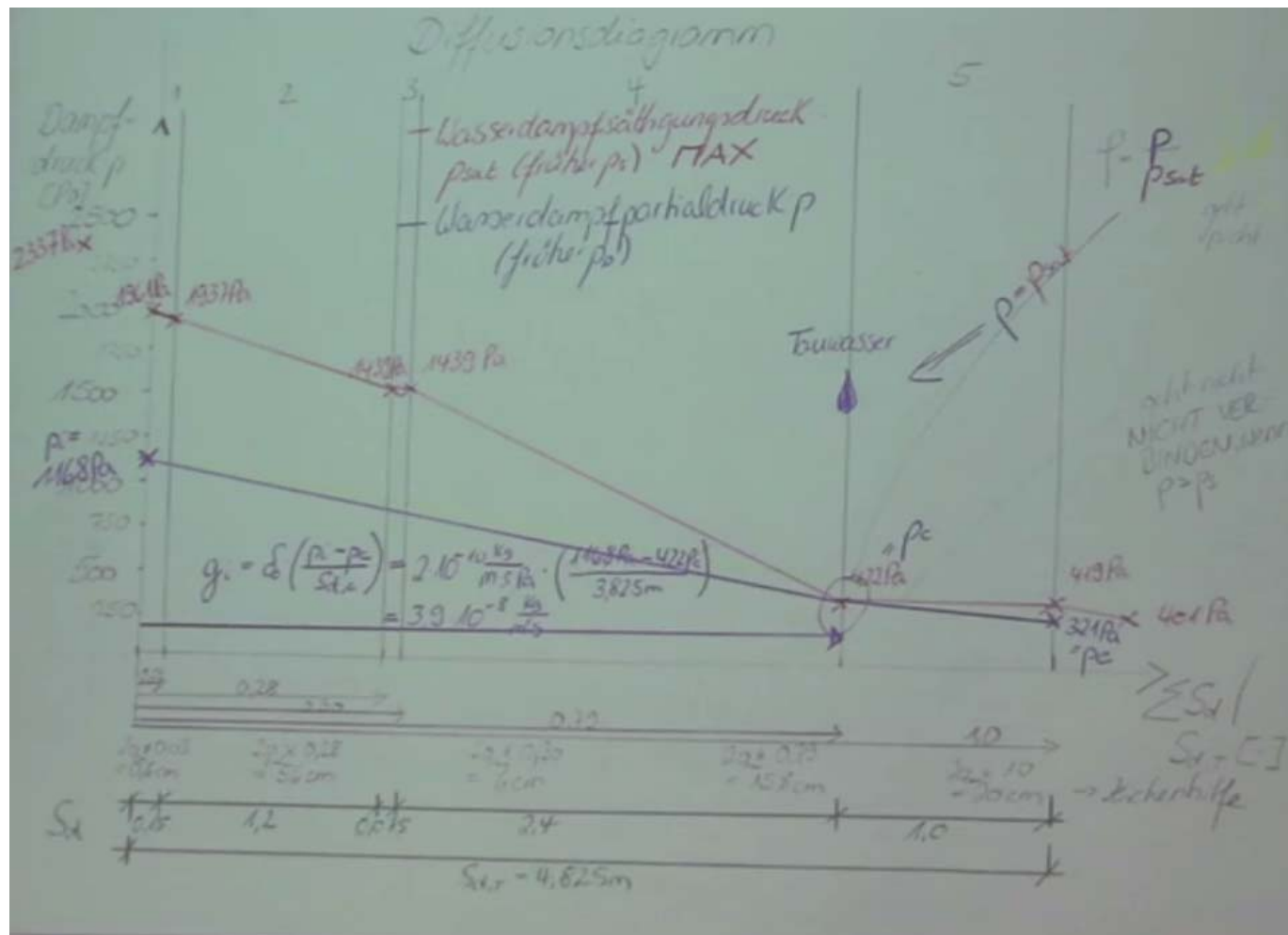
Schritt 6:

Überprüfung, ob mit Tauwasserausfall im Bauteilinneren zu rechnen ist –
Methode des gespannten Seils (vgl. Film FG10)



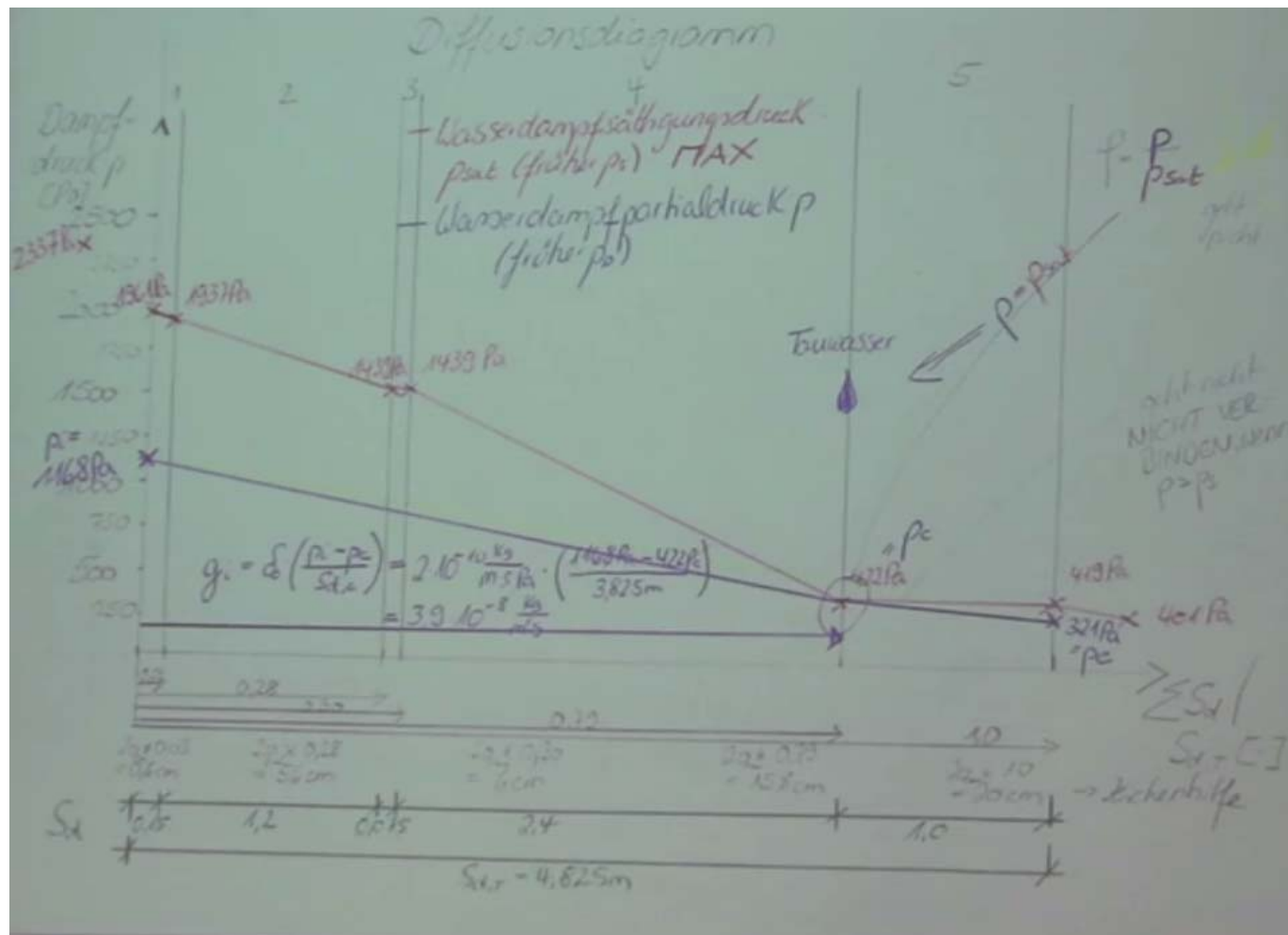
Schritt 7:

Berechnen der Tauwassermenge – Diffusionsstrom von innen zur
Tauwasserebene (vgl. Film FG12)

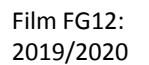


Schritt 7:

Berechnen der Tauwassermenge – Diffusionsstrom von innen zur
Tauwasserebene (vgl. Film FG12)

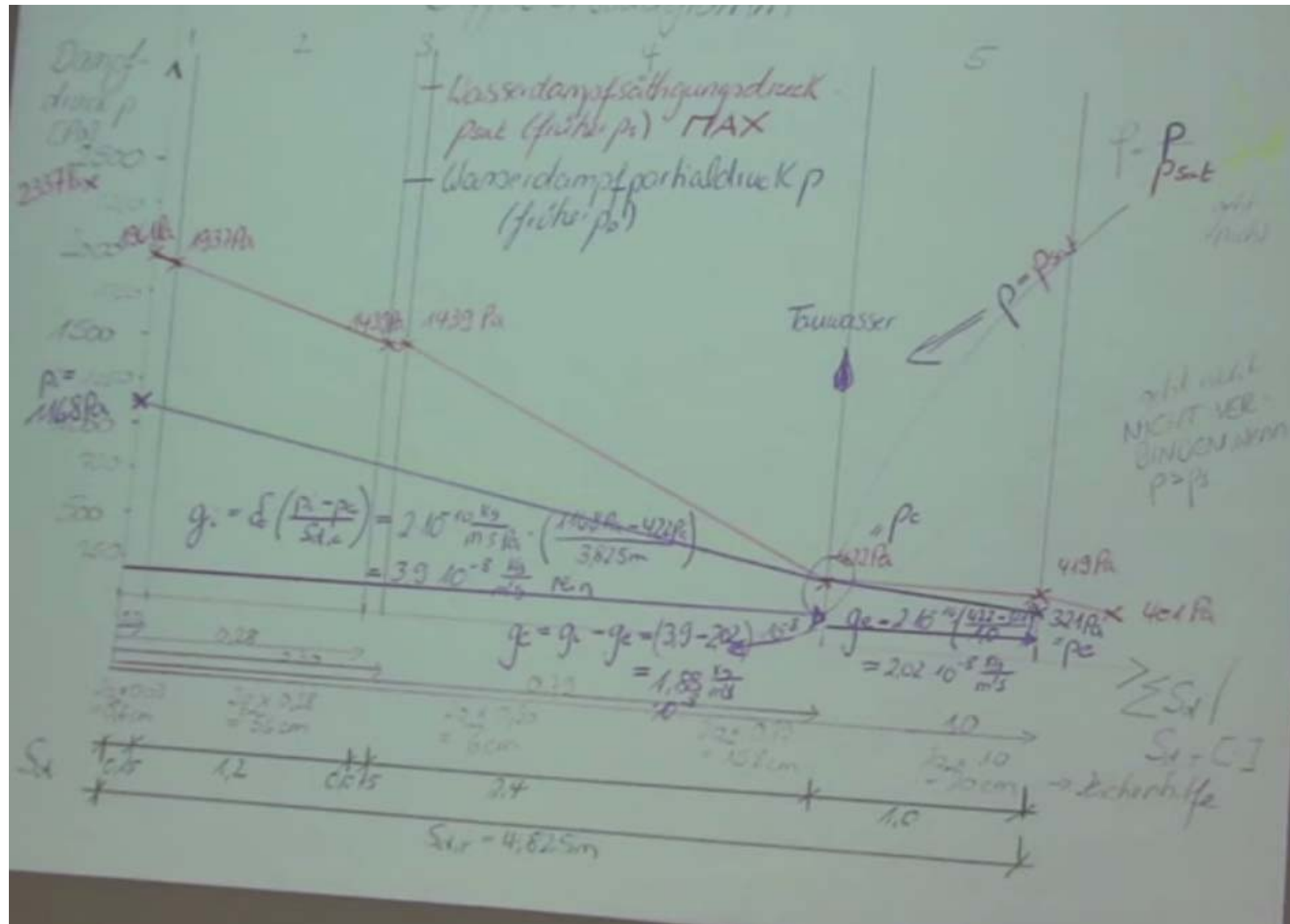


Berechnen der Tauwassermenge – Diffusionsstrom von der Tauwasserebene nach außen (vgl. Film FG12)

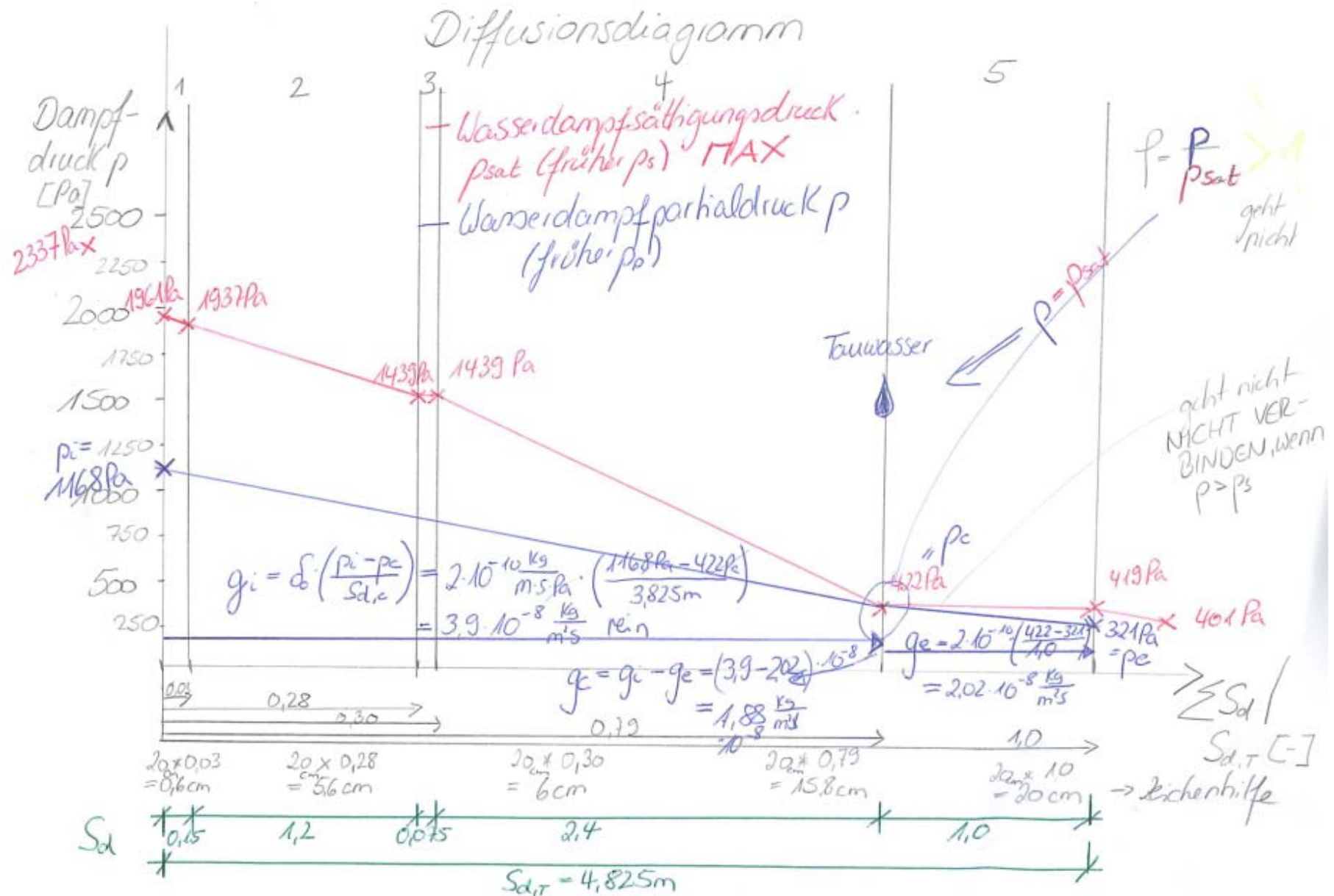


Schritt 9:

Berechnen der Tauwassermenge – Diffusionsstrom, der in der Tauwasserebene „verbleibt“ (vgl. Film FG12)



Schritt 2-9: Diffusionsdiagramm



Schritt 7-9:

Berechnung der Tauwassermenge

$$g_c = \oint \left(\underbrace{\frac{p_i - p_c}{S_{d,c}}}_{g_i} - \underbrace{\frac{p_c - p_e}{(S_{d,t} - S_{d,c})}}_{g_e} \right)$$

Tauwassermenge nach Winte

$$M_c = g_c \cdot t_c$$

$$= 1,88 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \quad (\text{s. Rechnungen auf Diffusionsdiagramm})$$

$$\cdot 7776 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$= 0,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \dots \text{ fällt als Tauwasser zwischen Schicht 4 und 5 in der Tauperiode aus}$$

$$\begin{aligned} \text{Soll} &< 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \dots \\ &< 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \text{ bei nicht kapillardt. Materialien an d. Tauwassersebene} \end{aligned}$$

Schritt 10:

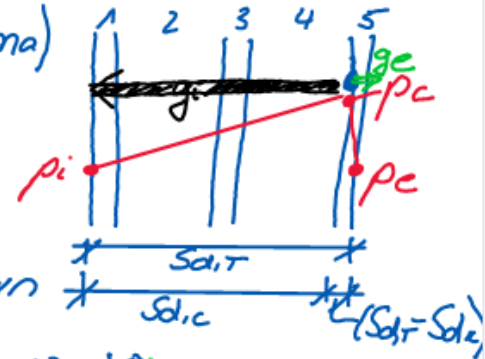
Berechnung der Verdunstungswassermenge

Berechnung der Verdunstungswassermenge im Sommer
(= Verdunstungsperiode)

$$p_i = 1200 \text{ Pa}, p_e = 1200 \text{ Pa}, p_c = 1700 \text{ Pa (vgl. Normklima)}$$

$$S_{d,c} = 3,825 \text{ m}; (S_{d,T} - S_{d,c}) = 1 \text{ m}$$

$$g_{ev} = \delta_0 \cdot \left(\underbrace{\frac{p_c - p_i}{S_{d,c}}}_{g_i} + \underbrace{\frac{p_c - p_e}{(S_{d,T} - S_{d,c})}}_{g_e} \right) \quad \begin{array}{l} \text{von d. Tau-} \\ \text{wärmeebene} \\ \text{Austrocknung} \\ \text{in beide Richtungen} \end{array}$$



$$= 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}} \cdot \left(\frac{1700 - 1200 \text{ Pa}}{3,825 \text{ m}} + \frac{1700 - 1200 \text{ Pa}}{1,0 \text{ m}} \right)$$

$$= 1,26 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$M_{ev} = g_{ev} \cdot t_{ev} = 1,26 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \cdot 7776 \cdot 10^3 \text{ s} = 0,98 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

→ trocknet im Sommer aus

$$M_c < M_{ev}$$

$$\left(0,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) \quad \left(0,98 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$



Ende Lösung aus Videoaufzeichnung.
Nachstehend ist die Lösung mit den
aktuell gültigen Normenwerten
dargestellt.

für das Diffusions-
diagramm

Schicht Nl.	d [m]	μ [-]	S_d [m]	$\Sigma S_d /$ S_d, Tl [-]	λ [$\frac{W}{mK}$]	$R_n (R_{si}, R_{se})$ [$\frac{m^2K}{W}$]	ΔT [K]	Θ [°C]	p_{sat} [Pa]
W-Übergang innen									
1 Gipsmörtel	0,015								
2 Hochlochziegel	0,24								
3 Zementmörtel	0,005								
4 PUR-Dämmung	0,06								
5 Kunstharzputz	0,005								
W-Übergang außen									
$R = \Sigma R_n$									
R_T									
U									

Vorbereitung: Tabelle zeichnen, Materialkennwerte zusammentragen (d, μ, λ)
 λ, μ aus DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456

Achtung:

Ab hier die Lösung der Berechnungsaufgabe mit allen
gültigen Kennwerten.

Diffusionsdichtung						WÄRME →	FEUCHTE			
Nr.	Schicht	d [m]	μ	S _d [m]	ΣS _d /S _{d,T} [m]	λ [W/mK]	R _n (R _{si} , R _{se}) [m²K/W]	ΔT [K]	Θ [°C]	p _{sat} [Pa]
	W-Übergang innen						0,13 0,25	2,5	23,3	2337
1	Gipsmörtel	0,015	10	0,15	0,03	0,70	0,021	0,2	17,5	1999
2	Hochlochziegel	0,24	5/10	1,2	0,28	0,58	0,414	4,1	17,3	1974
3	Zementmörtel	0,005	15/20	0,075	0,30	1,6	0,003	0,0	13,2	1517
4	PUR-Dämmung	0,06	40/20	2,4	0,79	0,034	1,765	17,7	13,2	1517
5	Kunstharzputz	0,005	5/20	1,0	1,0	0,70	0,007	0,1	-4,5	419
	W-Übergang außen						0,04 0,04	0,4	-5,8	415

$$S_d \cdot \mu \cdot d$$

$$\Sigma S_d = S_{d,T} = 4,825 \text{ m}$$

$$R = \Sigma R_n$$

$$R_T = 2,710$$

$$U = 0,42$$

$$R = R_{si} + \Sigma R_n + R_{se}$$

$$= 2,380 + 0,42 = 2,800$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vorbereitung:

Tabelle zeichnen. Materialkennwerte zusammentragen (d, μ, λ) - λ aus DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456

Nennwert nach neuer Norm 4108-4 (2017): $\lambda_B = \lambda_D \cdot X$

hier $X = 1,03$

$\Rightarrow \lambda_B = 0,033 \cdot 1,03 = 0,034 \text{ W/mK}$

mind 1 mW/(mK)

NEU!!!

X variiert von Dämmstoff zu Dämmstoff, vgl. Fußboden

WÄRME

- A) Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 erfüllt? $R_{soll} \leq R_{ist} = \Sigma R_n$; $R = \frac{d}{\lambda}$
- schweres oder leichtes Bauteil? $m = \rho \cdot d = \dots + 1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,24 \text{ m} = \dots = 336 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
 - $\Rightarrow$ Tabelle 3, 5.2.1 aus DIN 4108-2 gilt:
 - $R_{soll} = 1,2 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$, da Temp $> 19^\circ\text{C} \Rightarrow R_{soll} < R_{ist} \Rightarrow \text{schweres Bauteil}$

FEUCHTE

Temperaturverteilung, ACHTUNG andere Werte für R_{si} als bei Wärmeschutz-technischer Betrachtung:

WÄRME

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2 K}{W}$$

oder 0,10 je nach Wärmestromrichtung

→ Kenngrößen Wärmeschutz (U-Wert (EnEV-Nachweis))

FEUCHTE

$$R_{si} = 0,25 \frac{m^2 K}{W}$$

egal in welche Richtung der Wärmestrom geht

→ Hilfsgröße zur Temperaturberechnung beim Feuchteschutz-Nachweis

$$R_{se} = 0,04$$

1. Temperaturgradienten innerhalb der einzelnen Bauteilschichten

$$\Delta T_n = q \cdot R_n$$

$$q = \frac{1}{R_T} \cdot \Delta T_{ges} = \frac{1}{2,500 \frac{m^2 K}{W}} \cdot 25 K = 10 \frac{W}{m^2}$$

ΔT_{si}	$= 10 \frac{W}{m^2} \cdot 0,25 \frac{m^2 K}{W}$	$= 2,5 K$
ΔT_1	$= 10 \frac{W}{m^2} \cdot 0,021 \frac{m^2 K}{W}$	$= 0,2 K$
ΔT_2	$= 10 \cdot 0,414$	$= 4,1 K$
ΔT_3	$= 10 \cdot 0,003$	$= 0,0 K$
ΔT_4	$= 10 \cdot 1,765$	$= 17,7 K$
ΔT_5	$= 10 \cdot 0,007$	$= 0,1 K$
ΔT_{se}	$= 10 \cdot 0,04$	$= 0,4 K$
Kontrolle		$\leq 25 K$ (✓)



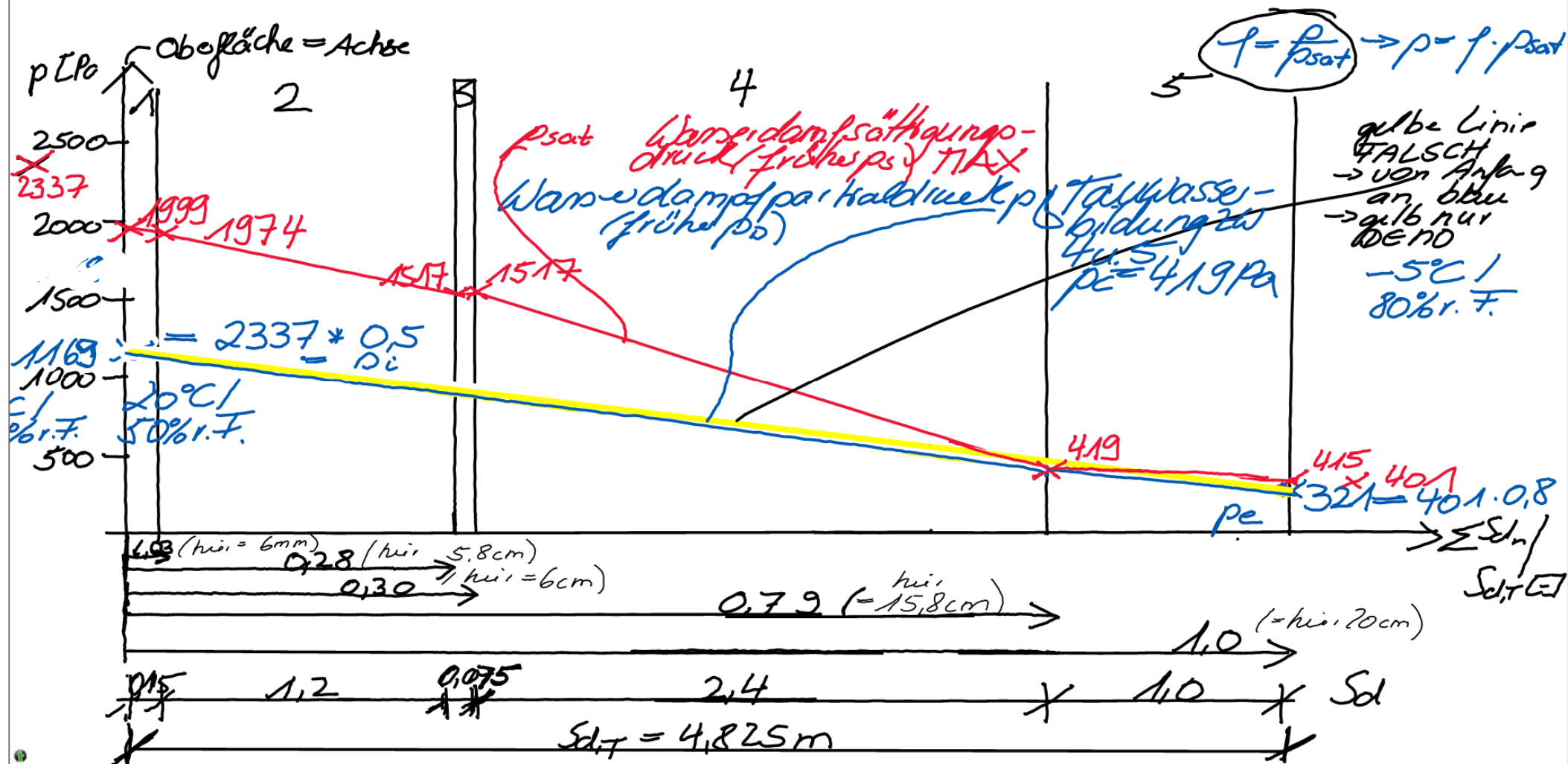
$$q = U \cdot (\Theta_i - \Theta_e)$$

$$q = \frac{1}{R_T} (\Theta_i - \Theta_e)$$

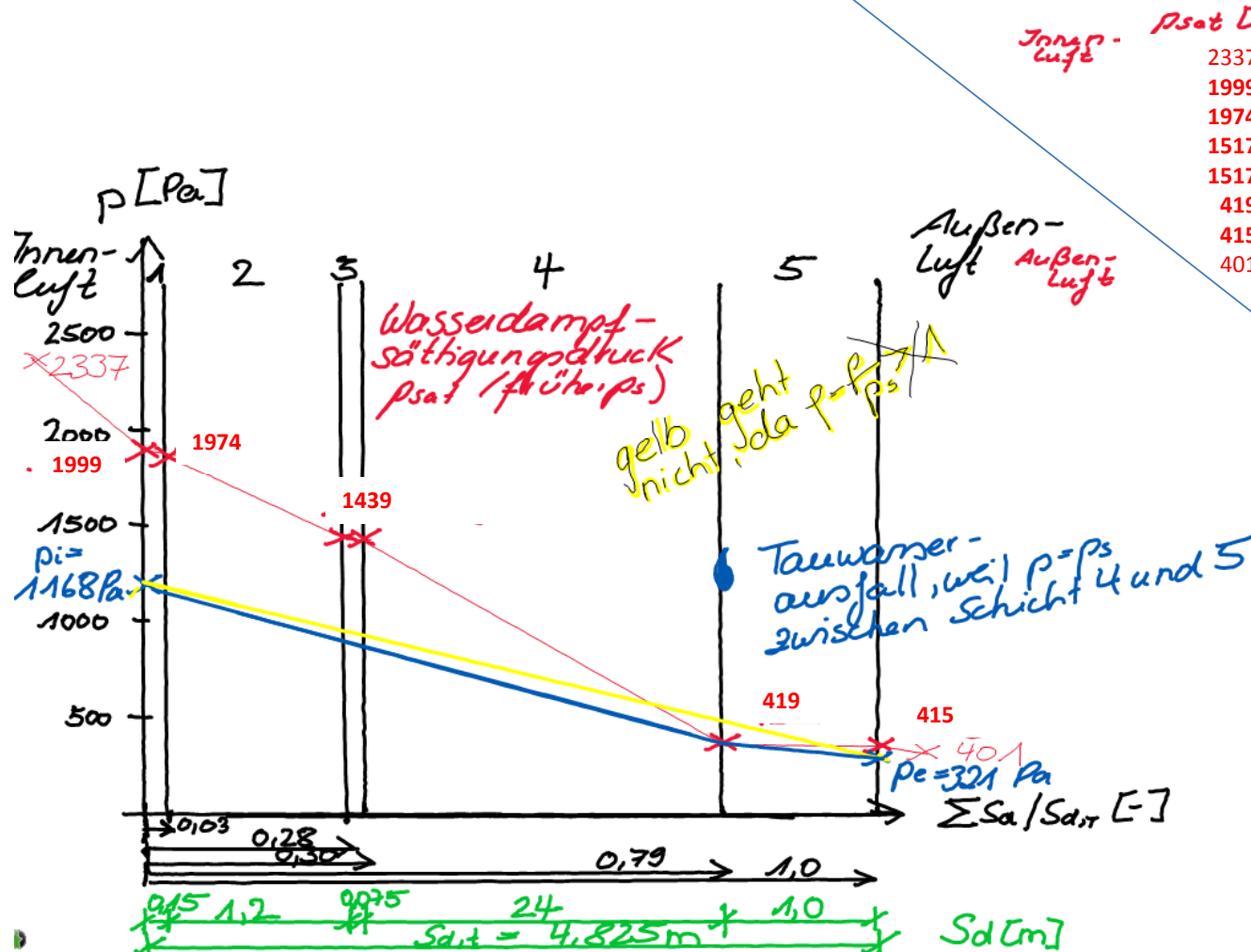
$$q_n = \frac{1}{R_n} \cdot \Delta T_n$$

→ weil stationäre Bedingungen vorliegen

$$\Delta T_2 = 10 \cdot (R_{si} + R_1 + R_2) = 10 \cdot (0,685) = 6,8 K$$



Hier Berechnung der Werte für die x-Ache



Schicht	d	μ	$S_{d,m}$	$\frac{\sum S_d}{S_{d,t}}$
1	0,015	10	0,15	0,03
2	0,24	5	1,2	0,28
3	0,005	15	0,075	0,30
4	0,06	40	2,4	0,79
5	0,005	50	1,0	1,0

$$S_{d,t} = \sum S_{d,m} = 4,825 \text{ m}$$

$$S_d = \mu \cdot d$$

↳ ungünstigste Werte!

$$\frac{\sum S_d}{S_{d,t}}$$

$$1: \frac{0,15 \text{ m}}{4,825 \text{ m}} = 0,03$$

$$2: \frac{0,15 + 1,2}{4,825} = 0,28$$

$$3: \frac{0,15 + 1,2 + 0,075}{4,825} = 0,30$$

$$4: \frac{0,15 + 1,2 + 0,075 + 2,4}{4,825} = 0,79$$

$$5: \frac{4,825}{4,825} = 1,0$$

Berechnung der Tauwarneimenge im Winter (= Tauperiode)

Diffusionsstromdichte $g_c = \delta_0 \cdot \left(\underbrace{-\frac{p_i - p_c}{S_{d,c}}}_{g_i} - \underbrace{-\frac{p_c - p_e}{(S_{d,t} - S_{d,c})}}_{g_e} \right)$

mit:

$$\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}$$

$$p_i = p_{si} \cdot f = 2337 \cdot 0,5 = 1169 \text{ Pa}$$

$$p_e = p_{se} \cdot f = 401 \cdot 0,8 = 321 \text{ Pa}$$

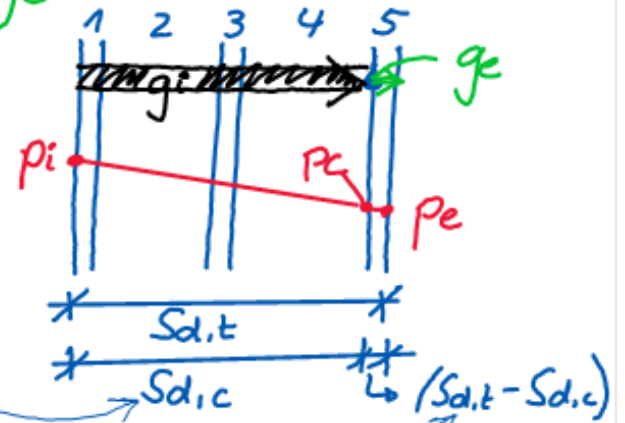
$$p_c = 419 \text{ Pa (aus Diagramm)}$$

$$S_{d,t} = 4,825 \text{ m (aus Diagramm)}$$

$$S_{d,c} = S_{d,1} + S_{d,2} + S_{d,3} + S_{d,4} = 3,825 \text{ m}$$

$$(S_{d,t} - S_{d,c}) = 1,0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow g_c &= 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}} \cdot \left(\frac{1169 \text{ Pa} - 419 \text{ Pa}}{3,825 \text{ m}} - \frac{419 \text{ Pa} - 321 \text{ Pa}}{(4,825 - 3,825) \text{ m}} \right) \\ &= 1,96 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_c &= g_c \cdot t_c \\ &= 1,96 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \cdot 7776 \cdot 10^3 \text{ s} \\ &= 0,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{--- fällt in die Tauperiode} \\ &< 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \Rightarrow \text{Anforderung 2. bzw. 3. nach Norm erfüllt} \end{aligned}$$

Berechnung der Verdunstungswarmemenge im Sommer
(= Verdunstungsperiode)

$p_i = 1200 \text{ Pa}$, $p_e = 1200 \text{ Pa}$, $p_c = 1700 \text{ Pa}$ (vgl. Normklima)
 $S_{d,c} = 3,825 \text{ m}$; $(S_{d,T} - S_{d,c}) = 1 \text{ m}$

$g_{ev} = \delta_0 \cdot \left(\underbrace{\frac{p_c - p_i}{S_{d,c}}}_{g_i} + \underbrace{\frac{p_c - p_e}{(S_{d,T} - S_{d,c})}}_{g_e} \right)$ von d. Tau-
 wanebene
 Austrocknung
 in beide Richtungen

$$= 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}} \cdot \left(\frac{(1700 - 1200) \text{ Pa}}{3,825 \text{ m}} + \frac{(1700 - 1200) \text{ Pa}}{1,0 \text{ m}} \right)$$

$$= 1,26 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$M_{ev} = g_{ev} \cdot t_{ev} = 1,26 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \cdot 7776 \cdot 10^3 \text{ s} = 0,98 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

→ trocknet im Sommer aus

$$M_c < M_{ev}$$

$(0,15 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2})$ $(0,98 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2})$

