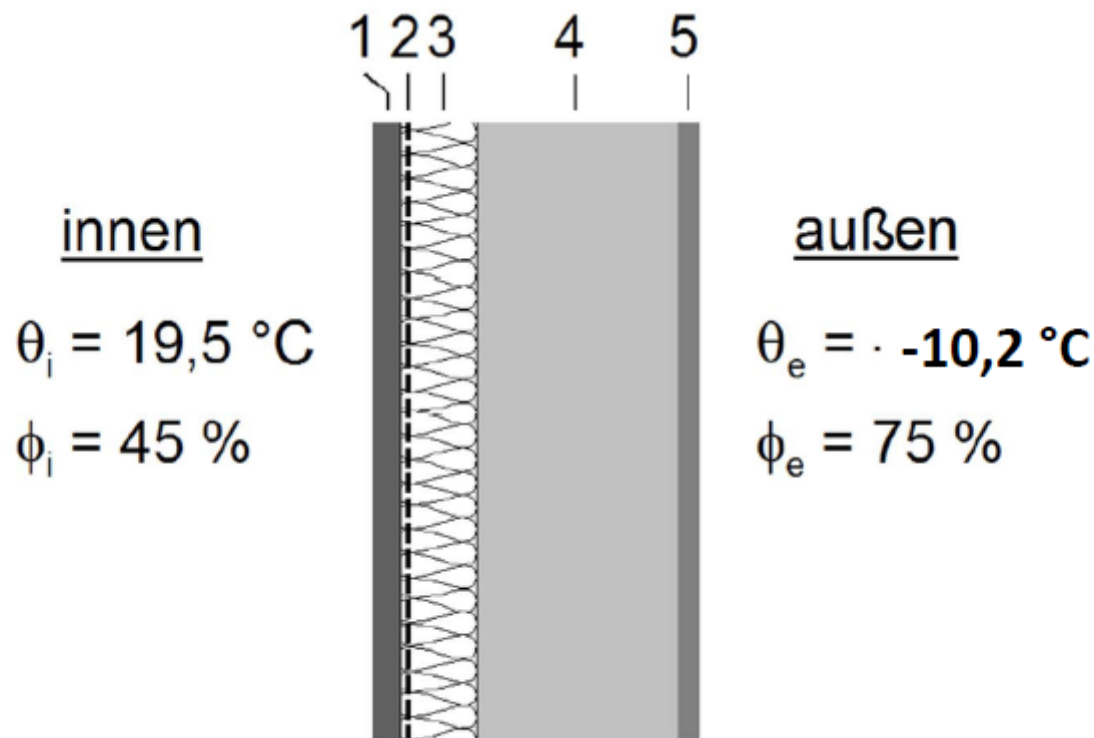


Berechnungsbeispiel II - Aufgabenstellung

Nachstehende innengedämmte Außenwand soll feuchtetechnisch untersucht werden.

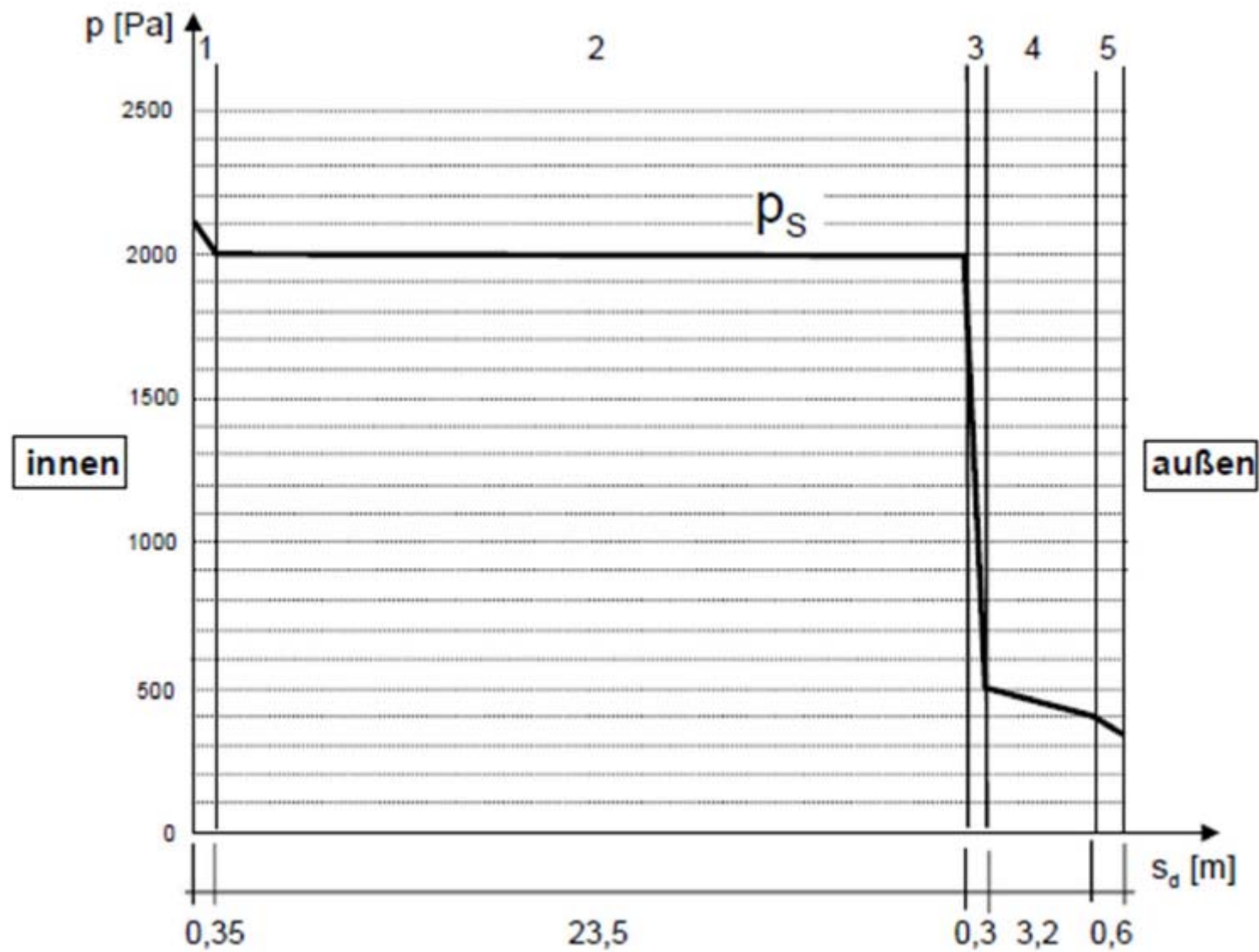
A) Überprüfen Sie unter Verwendung des zur Verfügung gestellten Diffusionsdiagramms (s. nächste Folie), ob mit Tauwasserbildung zu rechnen ist.

B) Geben Sie an, bei welcher relativen Luftfeuchte im Innenraum gerade so NICHT mit Tauwasserbildung zu rechnen ist.



Vorlesungsunterlagen nur für studentische Zwecke. Eine Weitergabe oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur nach schriftlicher Genehmigung durch die Verfasserin erlaubt.

Berechnungsbeispiel II - Aufgabenstellung



Berechnungsbeispiel II - Lösung

Ermittlung der Dampfdrücke p_i und p_e

The image shows a handwritten calculation for the vapor pressure distribution across a wall with five layers. The wall is represented by a vertical bar with layers numbered 1 to 5 at the top. The left side is labeled 'innen' (inside) and the right side is labeled 'außen' (outside).

innen
 $\theta_i = 19,5\text{ °C}$
 $\phi_i = 45\%$

außen
 $\theta_e = -10,2\text{ °C}$
 $\phi_e = 75\%$

Handwritten calculations:

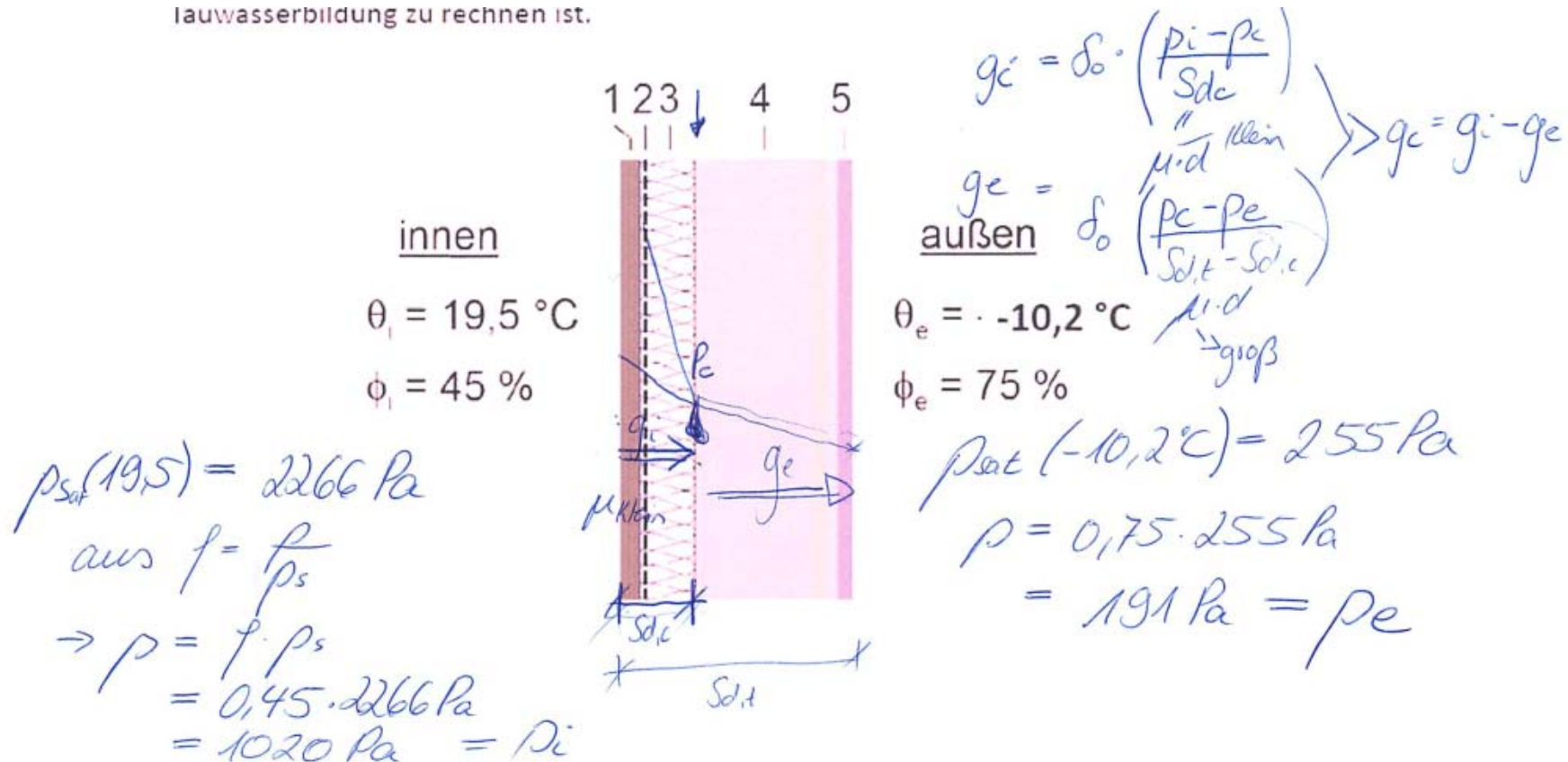
For the inside side (innen):
 $p_{s,i}(19,5) = 2266\text{ Pa}$
aus $f = \frac{p}{p_s}$
 $\rightarrow p = f \cdot p_s$
 $= 0,45 \cdot 2266\text{ Pa}$
 $= 1020\text{ Pa} = p_i$

For the outside side (außen):
 $p_{s,e}(-10,2\text{ °C}) = 255\text{ Pa}$
 $p = 0,75 \cdot 255\text{ Pa}$
 $= 191\text{ Pa} = p_e$

Berechnungsbeispiel II - Lösung

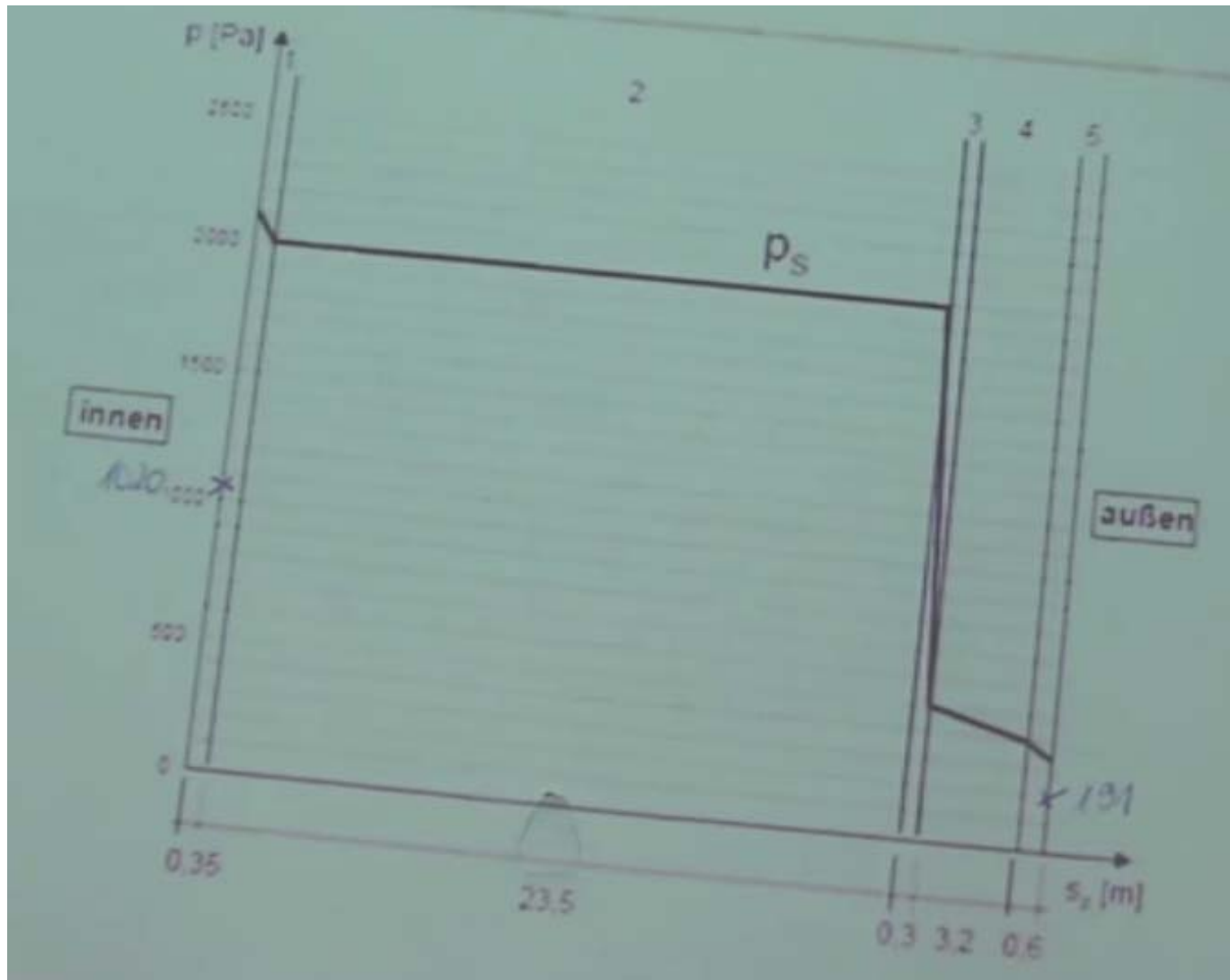
Wiederholung Hintergründe μ klein oder groß?

Iauwasserbildung zu rechnen ist.



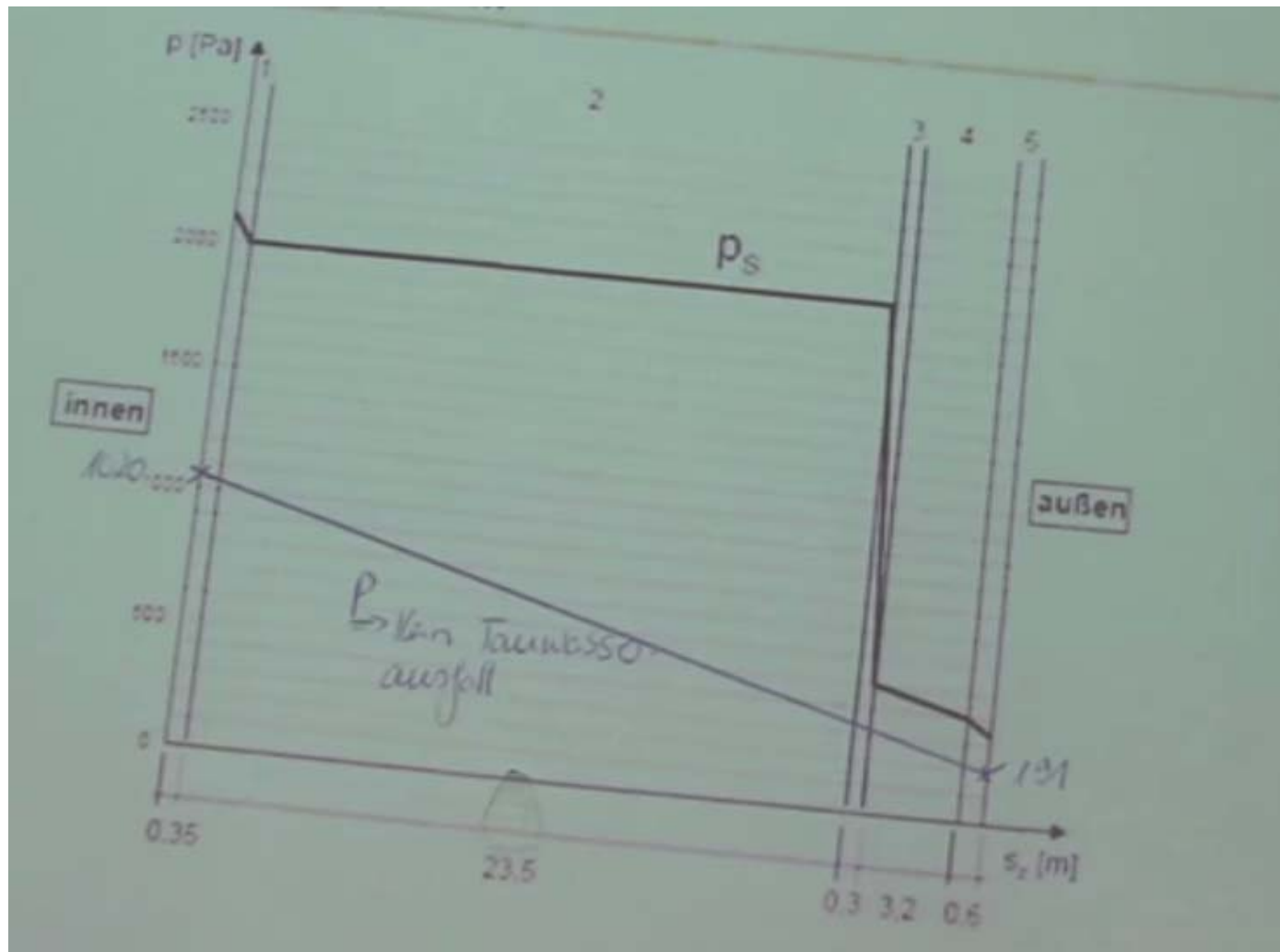
Berechnungsbeispiel II - Lösung

Einzeichnung der Dampfdrücke p_i und p_e



Berechnungsbeispiel II - Lösung

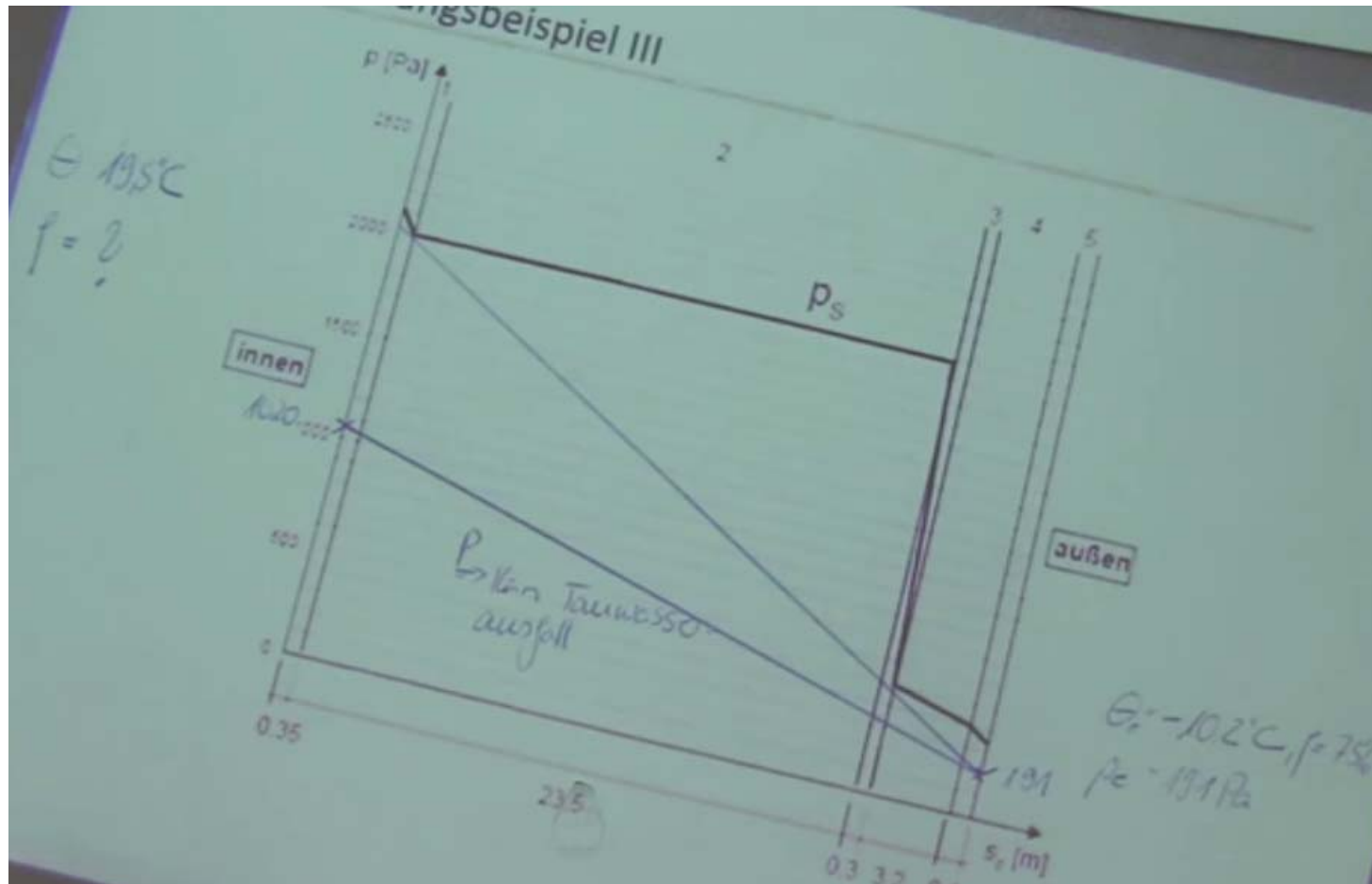
Überprüfung, ob mit Tauwasserausfall zu rechnen ist



Berechnungsbeispiel II - Lösung

Anwendung der Methode des gespannten Seils

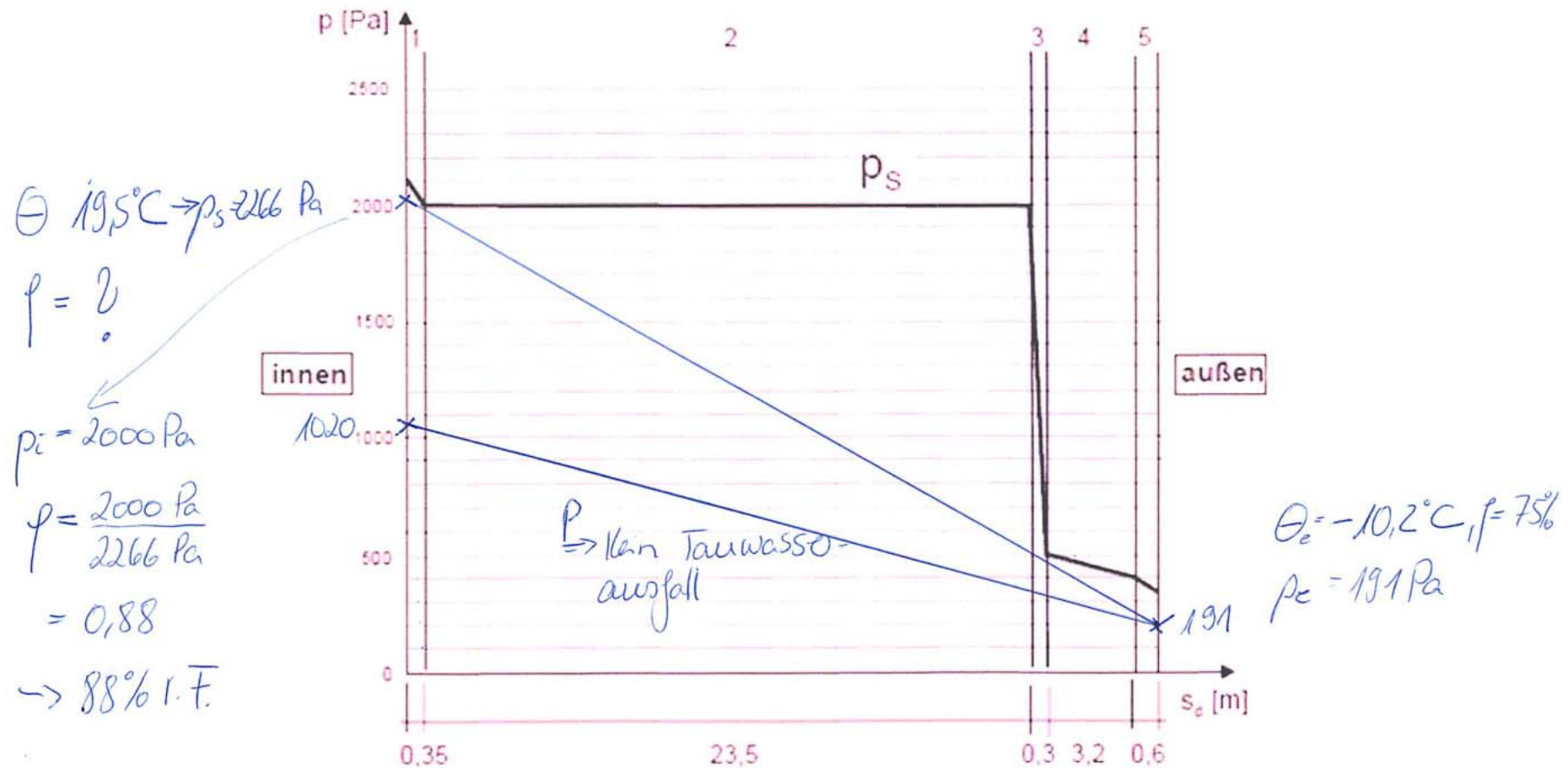
→ keine Berührung von $p_s (=p_{\text{sat}})$



Berechnungsbeispiel II - Lösung

Ablesung von p_i (MAX)

→ Berechnung der maximalen Raumluftheuchte φ



Berechnungsbeispiel III - Aufgabenstellung



Bild 1: Skizze des Schichtenaufbaus der Außenwand

Tabelle 1: Datenbasis für den Wärme- und Feuchteschutznachweis

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	s_d [m]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen					20	2340
						18,2	2091
1	Leichtputz	0,025	1000	15/20		17,5	2001
2	Beton (1% Stahl)	0,24	2300	80/130		16,3	1854
3	EPS	0,12	30	20/100		-9,0	284
4	Kunstharzputz	0,015	1100	50/200		-9,4	274
	außen					-10,0	260

Berechnungsbeispiel III - Aufgabenstellung

- A) An welcher Stelle rechnen Sie in diesem Bauteil mit Tauwasserausfall?
- B) Zeichnen Sie das Diffusionsdiagramm
- C) Überprüfen Sie ob und an welcher Stelle mit Tauwasserausfall zu rechnen ist?
(relative Luftfeuchten: innen 68%r.F. und außen entsprechend Normvorgaben)
- D) Bei welcher relativen Feuchte im Raum könnte Tauwasserbildung gerade so verhindert werden? Leiten Sie dies mit Hilfe des Diffusionsdiagramms ab.
- E) Berechnen Sie für die Bedingungen nach C) die Tauwasser- und Verdunstungswassermenge
- F) Kann der Feuchteschutznachweis geführt werden?

Berechnungsbeispiel III - Lösung

μ klein oder groß?

Tabelle 1: Datenbasis für den Wärme- und Feuchteschutznachweis

	Schicht []	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	μ []	s_e [m]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen					20	2340
1	Leichtputz	0,025	1000	15/30		18,2	2091
2	Beton (1% Stahl)	0,24	2300	80/130		17,5	2001
3	IPS	0,12	10	20/100		16,3	1854
4	Kunstharzputz	0,015	1100	50/200		9,0	254
	außen					9,4	274
						-10,0	260

Berechnungsbeispiel III - Lösung

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

Bild 1: Skizze des Schichtenaufbaus der Außenwand

Tabelle 1: Datenbasis für den Wärme- und Feuchteschutznachweis

$$S_d = \mu \cdot d$$

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

	Schicht []	Dicke d [m]	ρ [kg/m³]	μ []	s_e [m]	θ [°C]	p_x [Pa]
	innen					20	2340
1	Leichtputz	0,025	1000	15/100 0,375		18,2	2091
2	Beton (1% Stahl)	0,24	2300	80/100 19,2		17,5	2001
3	IPS	0,12	10	20/100 2,4		16,3	1854
4	Kunstharzputz	0,015	1100	50/100 3		9,0	284
	außen					9,4	274
						10,0	260

$$\sum S_d = S_{d,T} = 24,975$$

Berechnungsbeispiel III - Lösung

Ermittlung der „Zeichenhilfe“: $\sum S_{d,n} / S_{d,T}$

Tabelle 1: Datenbasis für den Wärme- und Feuchteschutznachweis

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m³]	μ [-]	$s_{d,n}$ [m]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen					20	2340
1	Leichtputz	0,025	1000	15/20	0,375	18,2	2091
2	Beton (1% Stahl)	0,24	2300	80/110	19,2	17,5	2001
3	EPS	0,12	30	20/100	2,4	16,3	1854
4	Kunstharzputz	0,015	1100	50/200	3	-9,0	284
	außen				1	-9,4	274
						-10,0	260

$$S_d = \mu \cdot d$$

Zeichenhilfe

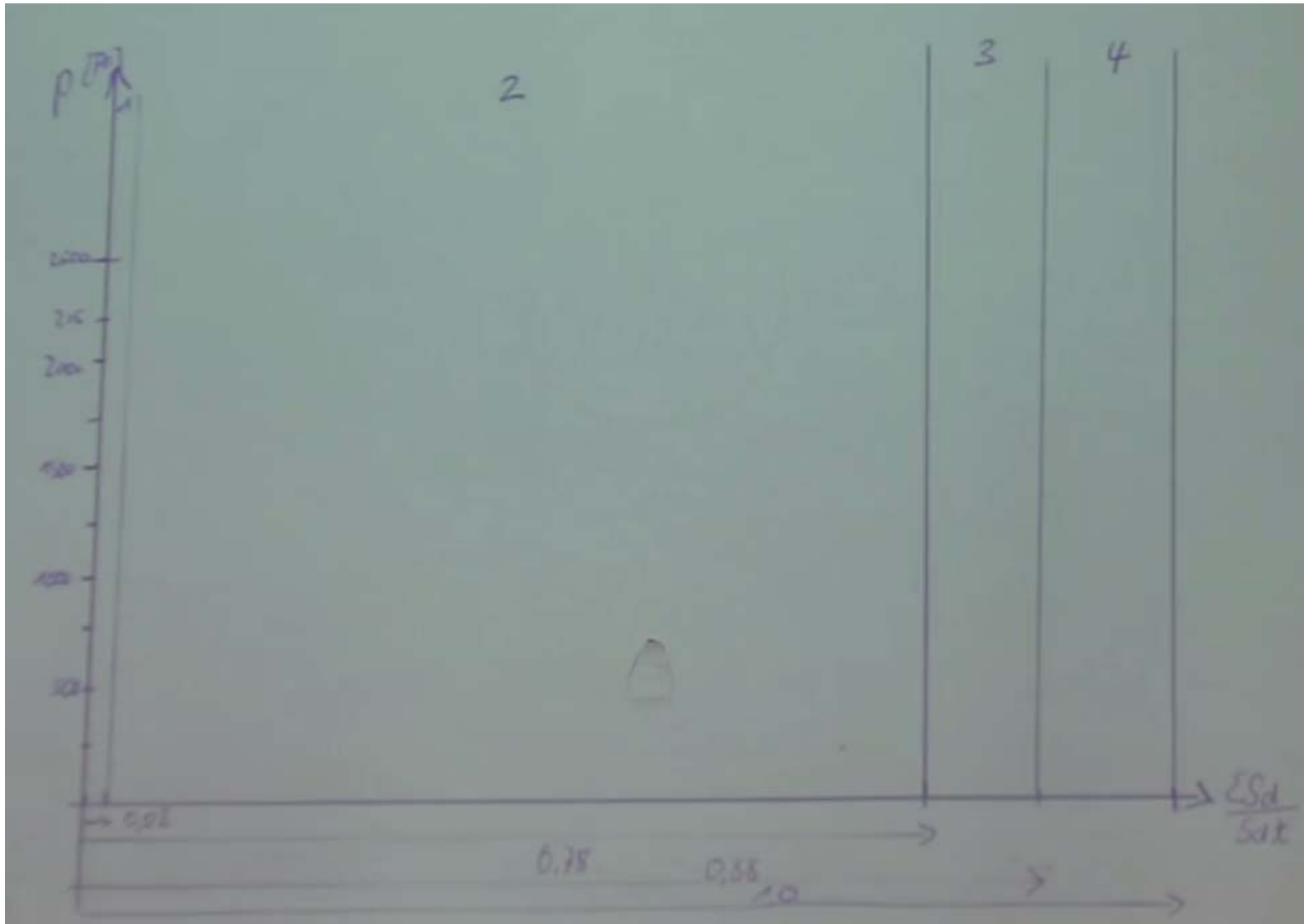
$$\frac{\sum S_{d,n}}{S_{d,T}}$$

$$\begin{aligned} 0,02 &= 0,375 / 24,975 \\ 0,78 &= (0,375 + 19,2) / 24,975 \\ 0,88 &= (0,375 + 19,2 + 2,4) / 24,975 \\ 1,0 &= (0,375 + 19,2 + 2,4 + 3) / 24,975 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\sum 24,975 \text{ m} \\ &= S_{d,T} \end{aligned}$$

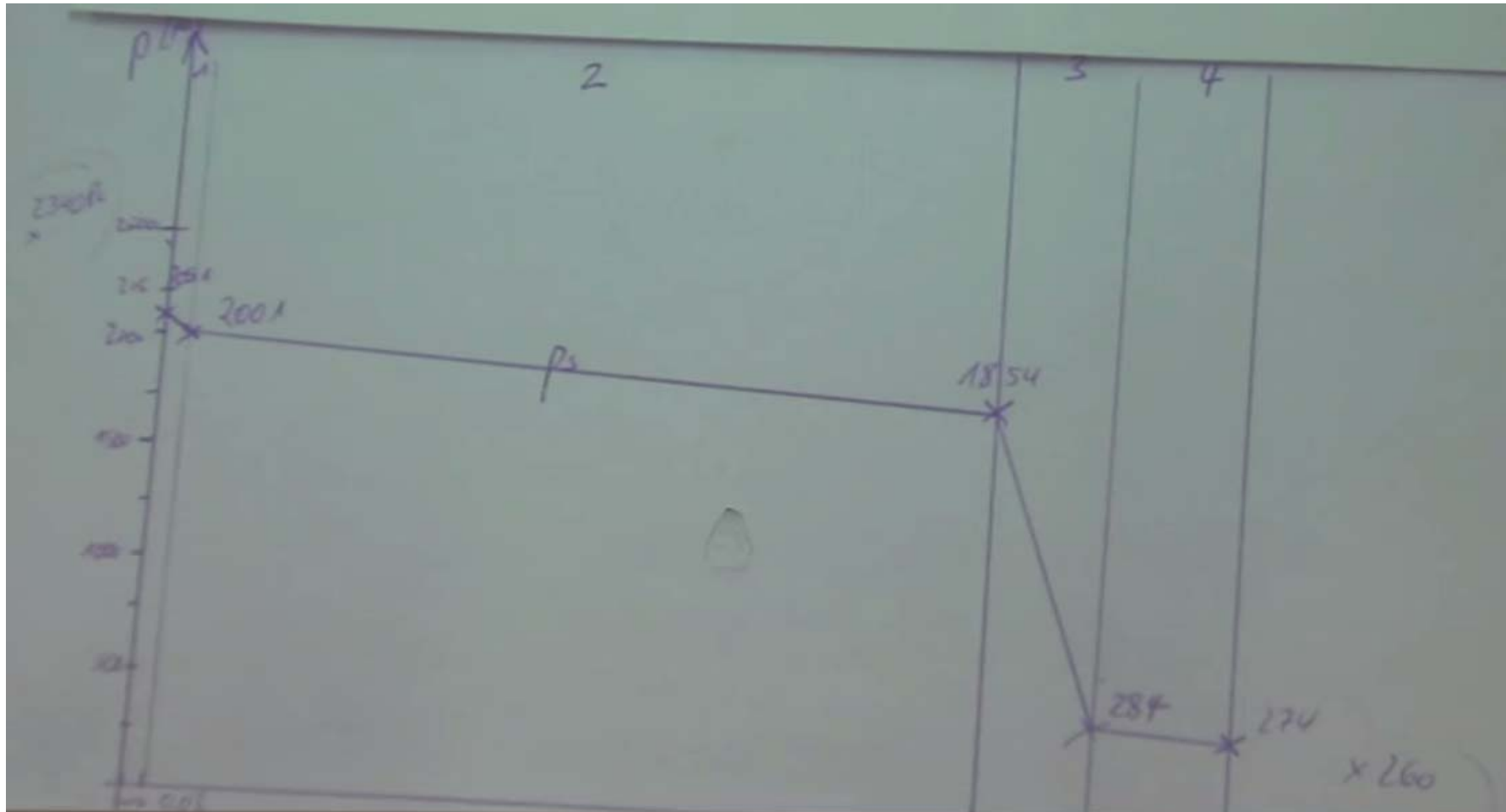
Berechnungsbeispiel III - Lösung

Zeichnen des Diffusionsdiagramms



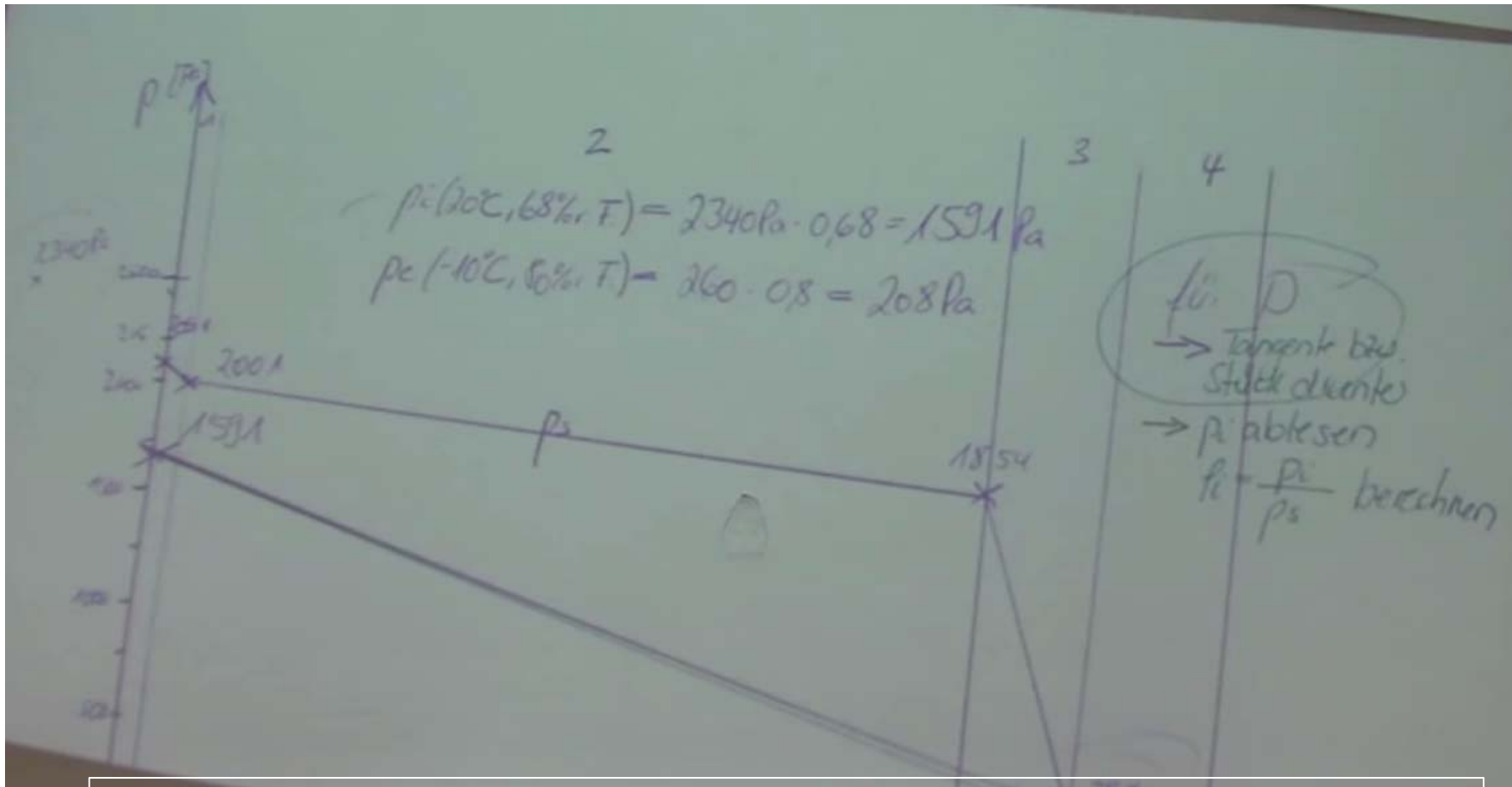
Berechnungsbeispiel III - Lösung

Einzeichnen des Wasserdampfsättigungsdrucks p_{sat} (früher p_s)



Berechnungsbeispiel III - Lösung

Überprüfung, ob mit Tauwasserausfall zu rechnen ist



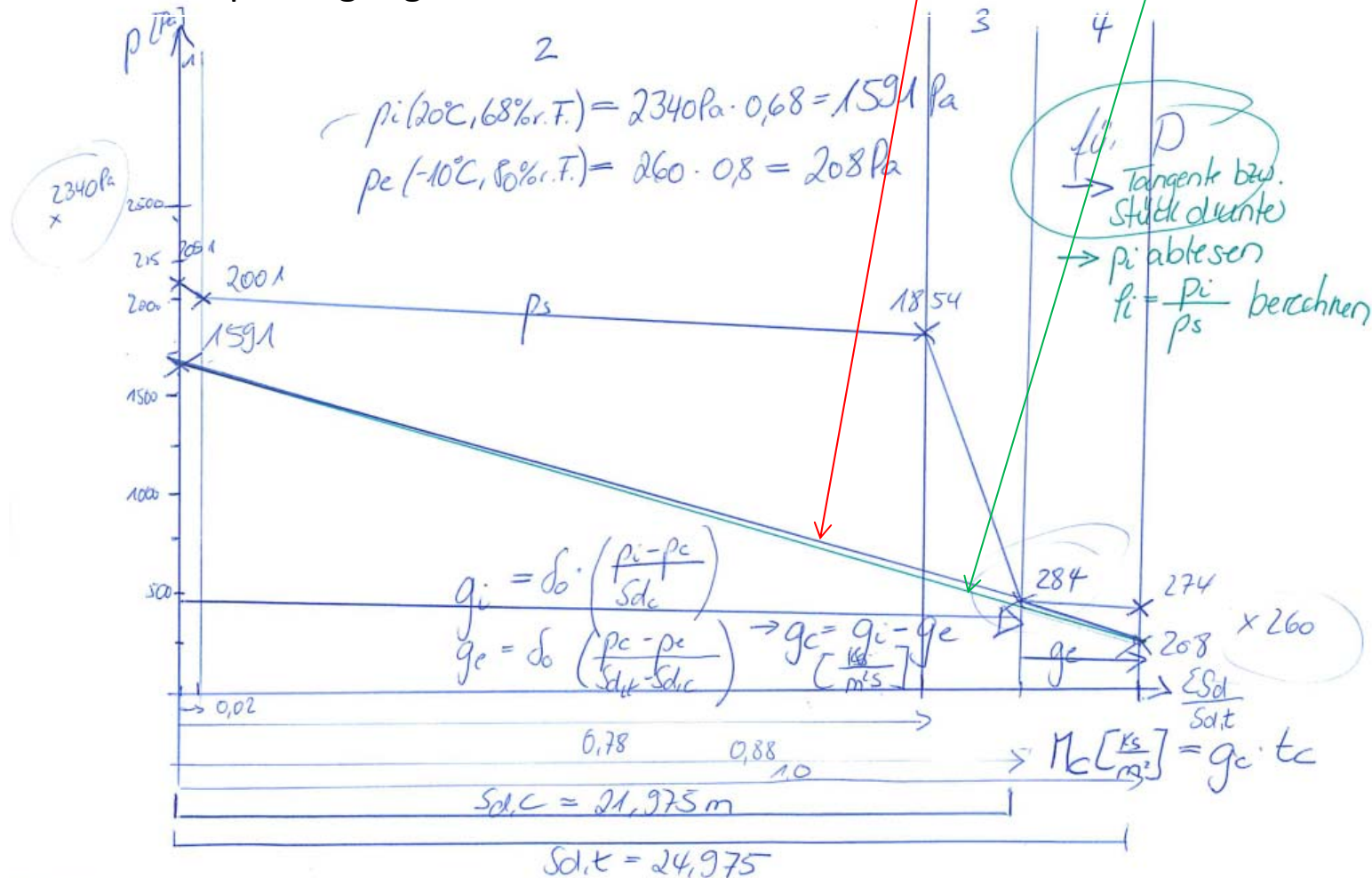
Achtung: im Film wird deutlich gemacht, dass der Dampfdruckverlauf bei Tauwasserausfall keine „Dachform“ haben kann! ~~✗~~

→ In einem solchen Fall wäre tatsächlich zeichnerisch kein Tauwasserausfall ermittelt worden, richtig wäre hier eine Gerade zwischen p_i und p_e , die die Wasserdampfsättigungskurve nicht schneidet bzw. berührt! ~~✓~~

Berechnungsbeispiel III - Lösung

Achtung: im Film wird deutlich gemacht, dass der Dampfdruckverlauf bei Tauwasserausfall keine „Dachform“ haben kann!

→ In einem solchen Fall wäre tatsächlich zeichnerisch kein Tauwasserausfall ermittelt worden, richtig wäre hier eine Gerade zwischen p_i und p_e , die die Wasserdampf-sättigungskurve nicht schneidet bzw. berührt!

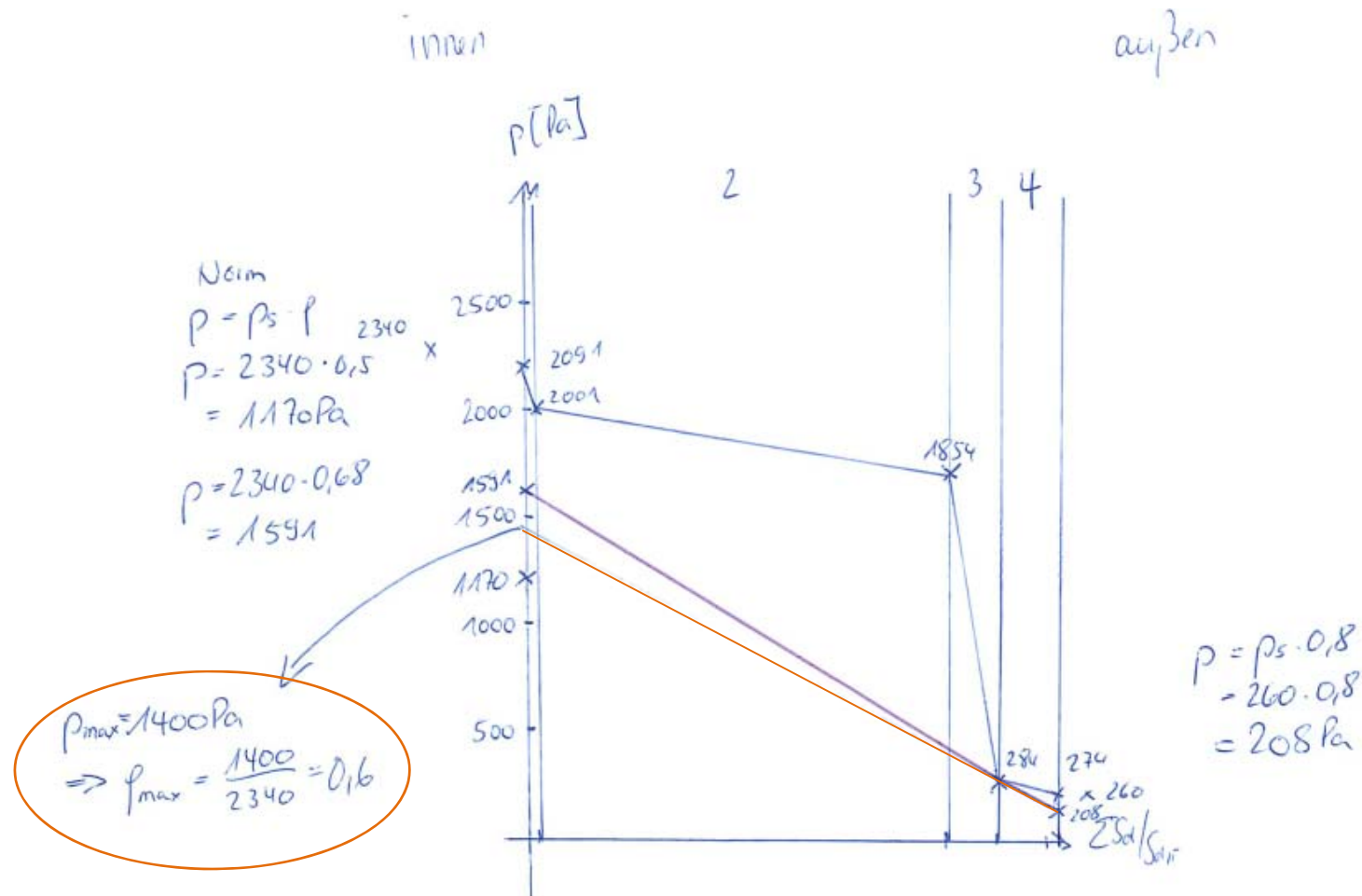


Berechnungsbeispiel III - Lösung

Hier wurde präziser gezeichnet und die Tangente an p_{sat} (früher. p_s) gezeichnet

! Hier  ✓!

Zeichnung der Dampfdruckkurve, die die Wasserdampf-sättigungskurve gerade so unterschreitet, ablesen von p_i und Berechnen von $\phi_{i, \text{max}}$



Berechnungsbeispiel III - Lösung

Berechnung der Tauwassermenge, Kriterium erfüllt?

Tauwassermenge

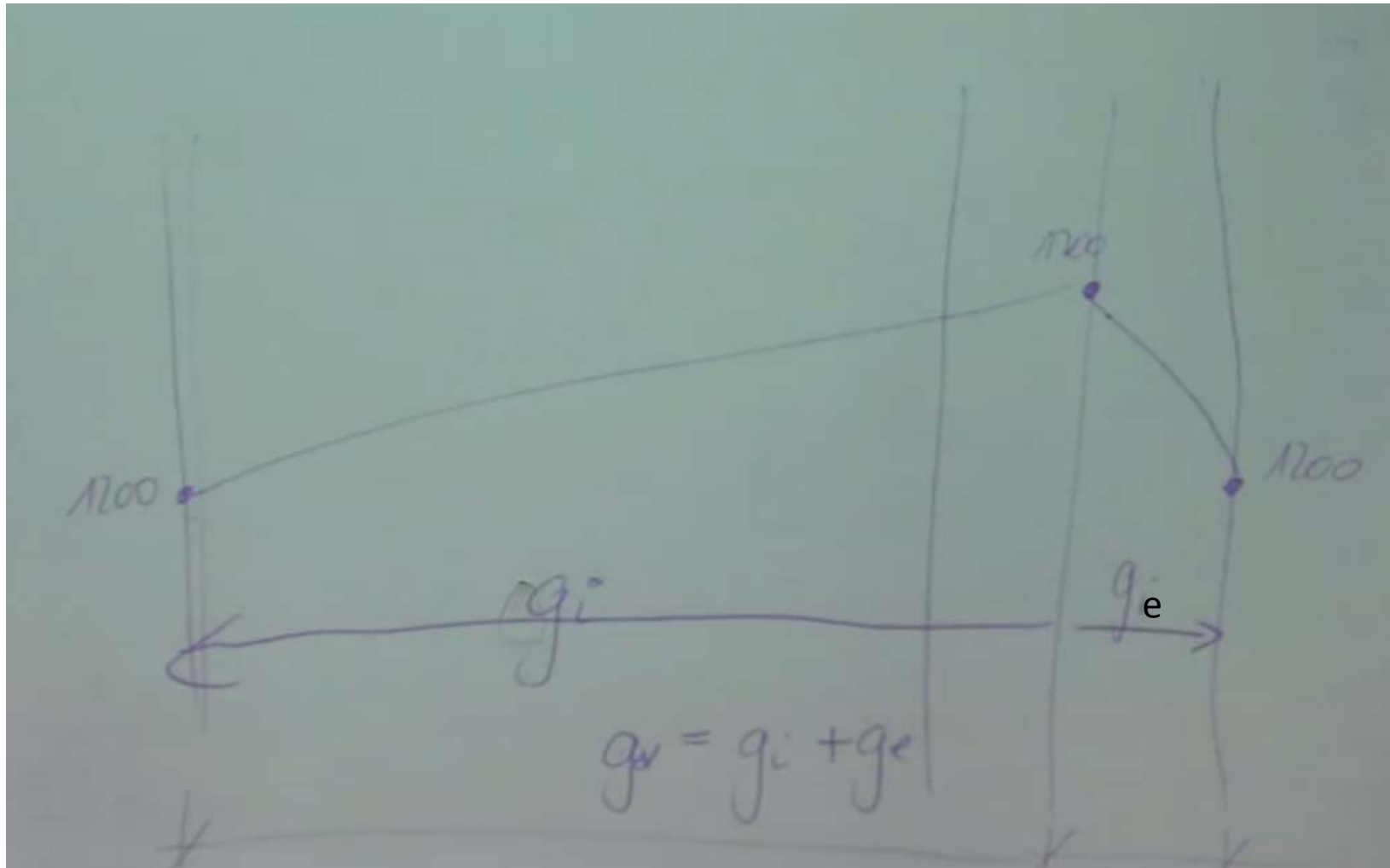
$$g_c = \delta_0 \cdot \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c}} \right)$$
$$= 2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{1591 - 284}{\underbrace{21,975}_{(0,375 + 19,2 + 2,4)}} - \frac{284 - 208}{\underbrace{3}_{(24,975 - 21,975)}} \right)$$
$$= 6,829 \cdot 10^{-9} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$M_c = g_c \cdot t_c = 6,829 \cdot 10^{-9} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \cdot 7776 \cdot 10^3 \text{s}$$
$$= 0,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$< 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{Bed. TP erfüllt}$$
$$< 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Berechnungsbeispiel III - Lösung

Berechnung der Verdunstungswassermenge



$$M_{ev} = g_{ev} \times t_{ev}$$

Berechnungsbeispiel III - Lösung

Berechnung der Verdunstungswassermenge, Kriterium erfüllt?

Verdunstungswassermenge

$$g_{ev} = \delta_0 \left(\frac{p_c - p_i}{S_{d,c}} + \frac{p_c - p_e}{(S_{d,T} - S_{d,c})} \right)$$

$$p_i = 1200$$

$$p_e = 1700$$

$$g_{ev} = 2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{1700 - 1200}{21,975} + \frac{1700 - 1200}{3} \right)$$
$$= 3,788 \cdot 10^{-8}$$

$$M_{ev} = 0,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \Rightarrow M_{ev} > M_c$$
$$\Rightarrow \text{Bed. erfüllt}$$