



BAUPHYSIK

Aufgabensammlung

Prof. Dr.-Ing. Petra Rucker-Gramm
Frankfurt University of Applied Sciences

Nur zum persönlichen, internen Gebrauch, d.h. nur zu Lehrzwecken.

Datum 5. November 2020

Dieser Teil umfasst 90 Seiten.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	5
1 Wärmeschutz	5
1.1 Verständnisfragen Wärme	5
1.2 Wärmeschutztechnische Nachweise	10
1.2.1 Außenwand.....	10
1.2.1.1 Beispiel 1: Außenwand aus Mauerwerk	10
1.2.1.2 Beispiel 2: Außenwand aus Mauerwerk	11
1.2.1.3 Beispiel 3: Außenwand aus Beton	12
1.2.1.4 Beispiel 4: Außenwand mit vorgehängter Fassade	14
1.2.1.5 Beispiel 5: Niedrig beheizte Außenwand aus Beton.....	16
1.2.1.6 Beispiel 6: Außenwand aus Mauerwerk	18
1.2.1.7 Beispiel 7: Außenwand aus Beton	19
1.2.1.8 Beispiel 8: Außenwand mit vorgehängter Fassade	20
1.2.1.9 Beispiel 9: Außenwand aus Mauerwerk	22
1.2.1.10 Beispiel 10: Außenwand aus Beton	24
1.2.1.11 Beispiel 11: Außenwände aus Beton (innen- und außengedämmt)	26
1.2.2 Geschossdecke.....	28
1.2.2.1 Beispiel 1: Geschossdecke unter unbeheizten Dachraum.....	28
1.2.2.2 Beispiel 2: Geschossdecke an Außenluft über Durchfahrt.....	29
1.2.2.3 Beispiel 3: Geschossdecke an Außenluft über Eingangsbereich	31
1.2.3 Dachkonstruktion	33
1.2.3.1 Beispiel 1: Flachdach	33
1.2.3.2 Beispiel 2: Satteldach	35
1.2.4 Bodenplatte	36
1.2.4.1 Beispiel 1	36
1.2.4.2 Beispiel 2	37
1.2.4.3 Beispiel 3	38

2	Feuchteschutz.....	39
2.1	Verständnisfragen Feuchte	39
2.2	Feuchteschutztechnische Nachweise	48
2.2.1	Außenwand.....	48
2.2.1.1	Beispiel 1: Außenwand aus Mauerwerk	48
2.2.1.2	Beispiel 2: Außenwand aus Mauerwerk	50
2.2.1.3	Beispiel 3: Außenwand aus Beton	52
2.2.1.4	Beispiel 4: Außenwand aus Holzfaserplatten mit vorgehängter Fassade ..	54
2.2.1.5	Beispiel 5: Niedrig beheizte Außenwand aus Beton	56
2.2.1.6	Beispiel 6: Außenwand aus Mauerwerk	57
2.2.1.7	Beispiel 7: Außenwand aus Beton	59
2.2.1.8	Beispiel 8: Außenwand mit vorgehängter Fassade	61
2.2.1.9	Beispiel 9: Außenwand mit Innendämmung.....	63
2.2.2	Geschossdecke.....	65
2.2.2.1	Beispiel 1: Geschossdecke unter unbeheizten Dachraum.....	65
2.2.2.2	Beispiel 2: Geschossdecke an Außenluft über Durchfahrt.....	67
2.2.2.3	Beispiel 3: Geschossdecke an Außenluft über Eingangsbereich	69
2.2.3	Dachkonstruktion	71
2.2.3.1	Beispiel1: Flachdach	71
2.2.4	Bodenplatte	73
2.2.4.1	Beispiel 1	73
2.2.4.2	Beispiel 2	75
2.2.5	Raumklima	77
2.2.5.1	Beispiel 1	77
2.2.5.2	Beispiel 2	79
2.2.5.3	Beispiel 3	81
2.2.5.4	Beispiel 4	83
2.2.5.5	Beispiel 5	84
2.2.5.6	Beispiel 6	85
2.2.5.7	Beispiel 7	86

2.2.5.8	Beispiel 8	87
3	Schallschutz.....	88
4	Brandschutz.....	90

Vorwort

Für die spätere Berufspraxis ist es nicht nur wichtig, die rechnerischen Nachweise führen zu können, sondern auch ein grundlegendes Verständnis für die bauphysikalischen Zusammenhänge zu haben, d.h. auch Verständnis für die Theorie zu haben.

1 Wärmeschutz

1.1 Verständnisfragen Wärme

Physikalische Kenngrößen

1. Aus welchem Grund ist es wichtig im Planen und Bauen auf den Wärmeschutz zu achten?
2. Wie unterscheiden sich Wärmemenge Q , der Wärmestrom Φ ($\dot{Q}$) und die Wärmestromdichte q ? Beschreiben Sie jeweils mit Ihren Worten, wie sich die bauphysikalischen Größen definieren.
3. Welche Maßeinheit hat die Wärmeenergie Q , der Wärmestrom Φ und die Wärmestromdichte q ?
4. Wodurch entstehen Wärmeströme in einem Bauteil?
5. Wie unterscheiden sich die Temperatur in °C und die Temperatur in K.
6. Mit welcher Einheit wird in der Baupraxis die Temperatur angegeben?
7. Mit welcher Einheit werden Temperaturdifferenzen angegeben?

Transportmechanismen

8. Welche drei Wärmetransportmechanismen gibt es?
9. Wie wirkt sich die Erwärmung eines Körpers auf die Moleküle dieses Körpers aus?
10. Beschreiben Sie wie die Wärmeleitung abläuft.
11. Wovon hängt die Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffs ab?
12. Wie beeinflusst die Rohdichte die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen?
13. Wie beeinflusst die Feuchte die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen?
14. Bautechnische Nachweise werden mit dem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit durchgeführt? Wie unterscheidet sich dieser vom tatsächlich gemessenen Wert unter Normklimabedingungen?
15. Suchen Sie für folgende Hochbaustoffe aus der Norm DIN 4108-4 bzw. DIN EN ISO 10456 die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit heraus:
 - Kalkzementputz
 - Kunstharzputz
 - Anhydrit-Estrich
 - Dampfgehärteter Porenbeton nach DIN 4223-1 mit $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$

- Stahl
- Gusseisen
- PVC
- Hartgummi
- Gipskartonplatte mit $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$
- Erdreich mit $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$
- Marmor
- Kunststein
- OSB-Platte

16. Welche Stoffe sind gute Wärmeleiter?
17. Ist Luft ein guter oder ein schlechter Wärmeleiter?
18. Beschreiben Sie den Mechanismus der Konvektion (frei bzw. erzwungen).
19. Erläutern Sie den Begriff „Konvektion“ beispielhaft für die Wärmeübertragung in einem Wohnraum.
20. Welche Gebäudeseite hat unter hiesigen Klimabedingungen in der Regel die größten Konvektionswärmeverluste zu verzeichnen?
21. Durch welche Randbedingungen in Räumen bzw. Gebäudehülle oder Gebäudeaußenseite wird Konvektion ausgelöst? Nennen Sie Beispiele.
22. Beschreiben Sie den Mechanismus der Strahlung.
23. Wie unterscheidet sich die Strahlung von der Konvektion?
24. Wie unterscheiden sich Sonnen- und Wärmestrahlung?
25. Wovon hängt die Absorptionsfähigkeit für Wärmestrahlung bzw. solare Strahlung ab?
26. Welcher Wärmetransportmechanismus findet auch im Vakuum statt?
27. Was verstehen Sie unter dem Begriff stationäre Temperaturbedingungen?
28. Was versteht man unter „spezifischer Wärmespeicherkapazität“?
29. Welche Bedeutung hat die Wärmespeicherung für die Baupraxis und das Klima in Gebäuden?

Wärmeschutz in der Norm und Wärmedurchlasswiderstand R

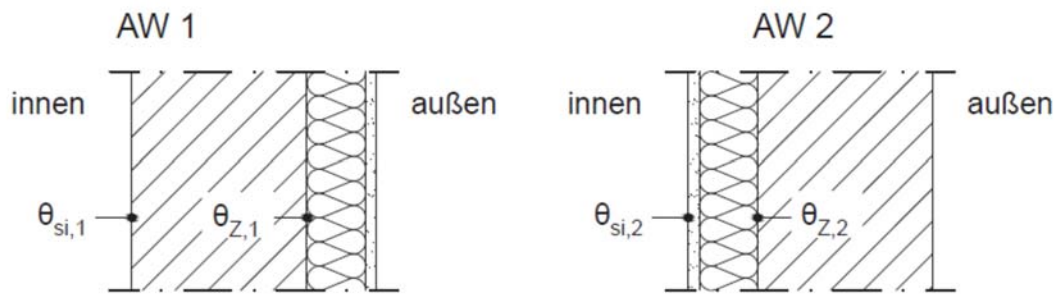
30. Warum beeinflusst die Orientierung eines Gebäudes den Wärmeschutz?
31. Wie kann Bepflanzung oder Bebauung den Wärmeschutz beeinflussen?
32. Wie kann die Energieeffizienz durch die Gebäudeform gesteigert werden?
33. Wie kann ein Pufferraum (z.B. Wintergarten) den Wärmehaushalt beeinflussen? Beschreiben Sie die Wirkung anhand von Mechanismen.
34. Hat die Gestaltung des Eingangsbereichs von hoch frequentierten Nicht-Wohngebäuden (z.B. Kaufhäuser, Hotels, Krankenhäuser) einen Einfluss auf den

Wärmehaushalt im Gebäude? Wie würden Sie einen solchen Eingangsbereich gestalten und warum?

35. Warum sollten zur Optimierung des Wärmeschutzes im Winter die Richtung Norden gerichteten Fenster möglichst klein dimensioniert sein?
36. In welcher Himmelsrichtung kann man die größten solaren Wärmegewinne erzielen?
37. Warum können heruntergelassene Rolläden den Wärmeverlust ggf. reduzieren. Beschreiben Sie dies anhand der Mechanismen.
38. Wie beeinflusst in Bauteile eingedrungene Feuchte den Wärmeschutz dieser? Begründen Sie ihre Antwort!
39. Durch welche Maßnahmen kann eine Überhitzung der Gebäude im Sommer reduziert werden? Beschreiben Sie die Maßnahmen und begründen Sie anhand von Mechanismen und Kenngrößen deren Wirkung.
40. Kann eine Außendämmung auch den sommerlichen Wärmeschutz verbessern? Ist eine Innendämmung für den sommerlichen Wärmeschutz gleichermaßen effektiv?
41. Wie wird der Wärmedurchlasswiderstand berechnet?

R_T, U, Temperaturverteilung

42. Was beschreiben die Begriffe „Wärmedurchlasswiderstand“ und „Wärmedurchgangswiderstand“? Wie unterscheiden sich diese im Wesentlichen?
43. Warum werden für den inneren und den äußeren Wärmeübergangswiderstand unterschiedliche Werte angesetzt?
44. Überlegen Sie, warum die Wärmeübergangswiderstände R_{si} abhängig von der Bauteilorientierung sein könnten? (abwärts: 0,17 m²K/W, horizontal 0,13 m²K/W, aufwärts: 0,10 m²K/W)
45. Wie ist der Wärmedurchgangskoeffizient U definiert?
46. Welchem Zweck dienen die Kenngrößen R, R_T, U, q jeweils?
47. Was bedeuten die Begriffe stationär/instationär?
48. Gegeben sind zwei Außenwandkonstruktionen (AW1 und AW2), die sich nur in der Reihenfolge der Bauteilschichten unterscheiden. Jeweils die äußeren und inneren Lufttemperaturen seien bei beiden Konstruktionen gleich und stationär.



Welche Zusammenhänge sind richtig?

- | | | |
|--|--|--|
| ☐ $\theta_{si,1} < \theta_{si,2}$ | ☐ $\theta_{si,1} = \theta_{si,2}$ | ☐ $\theta_{si,1} > \theta_{si,2}$ |
| ☐ $\theta_{z,1} < \theta_{z,2}$ | ☐ $\theta_{z,1} = \theta_{z,2}$ | ☐ $\theta_{z,1} > \theta_{z,2}$ |
| ☐ $U_1 < U_2$ | ☐ $U_1 = U_2$ | ☐ $U_1 > U_2$ |

Es sei $p_{s,z}$ der Sättigungsdampfdruck zwischen Dämmung und Mauerwerk:

- | | | |
|--|--|--|
| ☐ $p_{s,z,1} < p_{s,z,2}$ | ☐ $p_{s,z,1} = p_{s,z,2}$ | ☐ $p_{s,z,1} > p_{s,z,2}$ |
|--|--|--|

(Achtung: beantwortbar erst nach Lehreinheit Feuchte!)

49. Warum lässt sich der Wärmedurchlasswiderstand einer innenliegenden Luftschicht in einer Konstruktion nicht gleichermaßen berechnen, wie jener eines Feststoffs? Wo kann man für den Wärmeschutznachweis die entsprechenden Werte für eine Luftschicht entnehmen?
50. Was versteht man unter den Begriffen flächenbezogene Masse, schweres Bauteil, leichtes Bauteil. Welche Rolle spielen diese für den Wärmeschutznachweis?
51. Beschreiben Sie stichpunktartig, wie ein Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 durchzuführen ist.
52. Welchen Normen entnehmen Sie die Baustoffkenngrößen ρ und λ ?
53. Welchen Normen entnehmen Sie Informationen zur Berechnung von R , zur Größe von R_{si} und R_{se} sowie zum Umgang mit Luftschichten?
54. Wie berechnen Sie Temperaturgradienten ΔT in einzelnen Bauteilschichten? Beschreiben Sie das Vorgehen.

Wärmebrücken

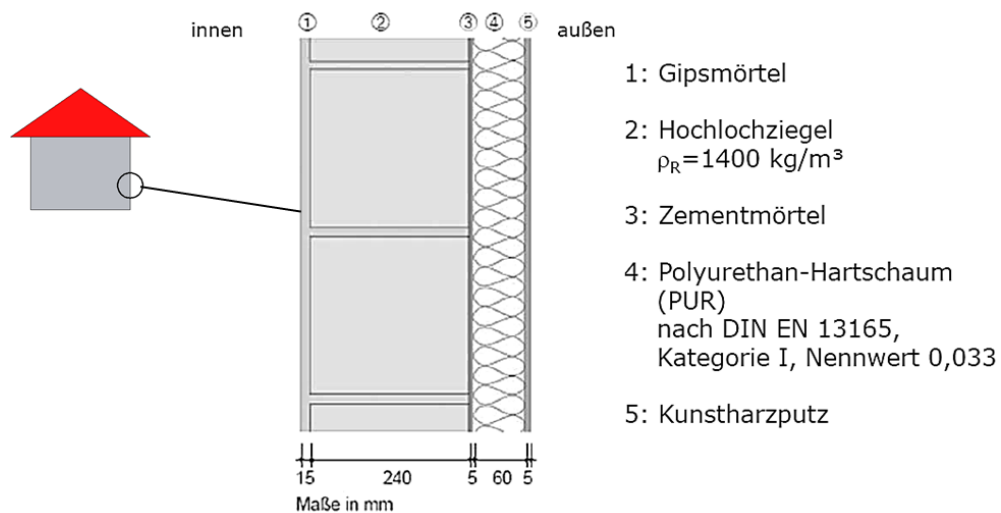
1. Was versteht man unter einer Wärmebrücke? Erklären Sie mit Hilfe einer eigenen Zeichnung die Wirkung einer Wärmebrücke.
2. Wie unterscheiden sich materialbedingte und geometrische Wärmebrücken?
3. Welche Folgen haben Wärmebrücken für die Energieeffizienz?

4. Haben Wärmebrücken auch Auswirkungen auf die Nutzbarkeit von Räumen?
Begründen Sie Ihre Antwort.

1.2 Wärmeschutztechnische Nachweise

1.2.1 Außenwand

1.2.1.1 Beispiel 1: Außenwand aus Mauerwerk



- 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?

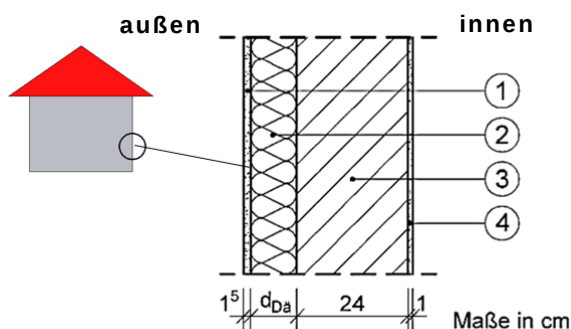
	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(mK)]	R [(m²K)/W]
	innen				
1	Gipsmörtel	0,015			
2	Hochlochziegel	0,24			
3	Zementmörtel	0,005			
4	PUR (Nennwert $\lambda_D = 0,033$)	0,06			
5	Kunstharzputz	0,005			
	außen				

1.2.1.2 Beispiel 2: Außenwand aus Mauerwerk

- A) Welche Dicke d_{Ba} muss die Wärmedämmung der Außenwand gemäß u.a. Detail-Darstellung mindestens aufweisen, damit der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2013 erfüllt wird?

Hinweis:

Bei den angegebenen Wärmeleitfähigkeiten handelt es sich um Bemessungswerte.



Baustoffe	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)
① Kalkzementputz	-	1,00
② Wärmedämmung, EPS	-	0,04
③ Vollziegel (vorh. MW)	2200	1,20
④ Gipsputz ohne Zuschlag	-	0,51

- B) Welche Wärmestromdichte q weist der Wärmestrom durch das oben dargestellte Bauteil bei den Temperaturbedingungen nach DIN 4108-3 (Winter) auf? Nehmen Sie zur Lösung dieser Aufgabe an, dass das Bauteil einen Wärmedurchlasswiderstand entsprechend den Mindestanforderungen nach DIN 4108-2 (vgl. A) aufweist.
- C) Nehmen Sie nun unabhängig von den zuvor ermittelten Ergebnis einen Wärmedurchgangswiderstand des Bauteils von $RT = 1,4 \text{ m}^2\text{K/W}$ für das zuvor dargestellte Bauteil an. Welche Temperatur herrscht an der Außenoberfläche unter der Annahme, dass die Außenlufttemperatur -10°C (konstant) beträgt und die Raumluft innen auf konstant 20°C gehalten wird?
- D) Nehmen Sie nun unabhängig von den zuvor angegebenen Zahlenwerten für das oben dargestellte Bauteil eine Innenoberflächentemperatur von 18°C an. Ist bei Klimabedingungen von 22°C und 65% r.F. mit Tauwasserbildung an der Innenoberfläche zu rechnen?

1.2.1.3 Beispiel 3: Außenwand aus Beton

Für die im nachstehenden Bild skizzierte Außenwand soll ein Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 durchgeführt werden.

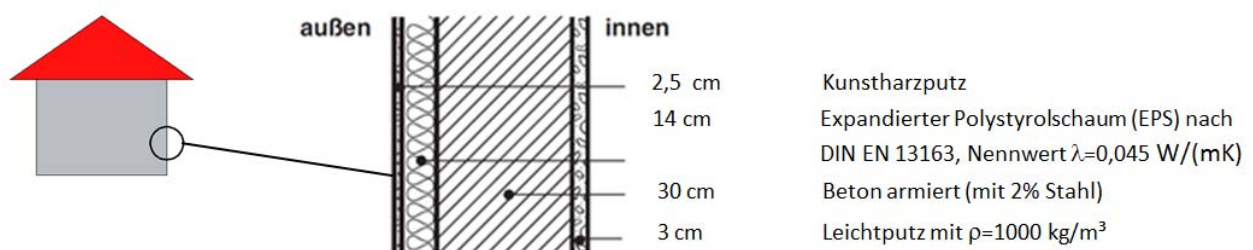


Bild 1: Skizze des Schichtenaufbaus der Außenwand

Tabelle 1: Datenbasis für den Wärmeschutznachweis

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/ (mK)]	R [(m ² K) /W]
	innen				
1	Leichtputz	0,030	1000	0,38	0,079
2	Beton (1% Stahl)	0,30	2300	2,3	0,130
3	EPS	0,14	30	0,053	2,642
4	Kunstharz- putz	0,025	1100	0,7	0,036
	außen				0,04

A) Wie sind die Anforderungen für den Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2:Juli 2013? Begründen Sie Ihre Angabe.

B) Führen Sie den Wärmeschutznachweis!

- C) Der Bauherr fordert entgegen der Anforderungen in der Norm einen Wärmedurchlasswiderstand von $3,6 \text{ (m}^2\text{K)/W}$. Welchen Nennwert der Wärmeleitfähigkeit müsste das Dämmmaterial bei gleicher Dämmschichtdicke haben, damit die Anforderungen des Bauherrn erfüllt werden können?
- D) Berechnen Sie den U-Wert der Außenwand (Tabellenwerte verwenden).

1.2.1.4 Beispiel 4: Außenwand mit vorgehängter Fassade

Für die im nachstehenden Bild skizzierte Außenwand soll ein Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 durchgeführt werden.

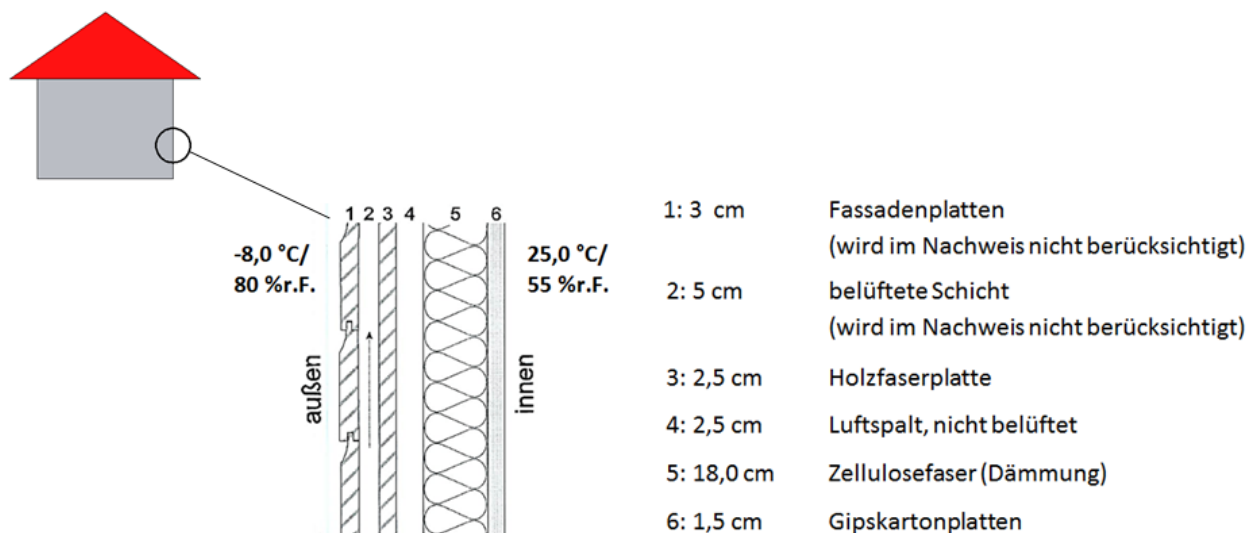


Tabelle 1: Datenbasis für den Wärmeschutznachweis

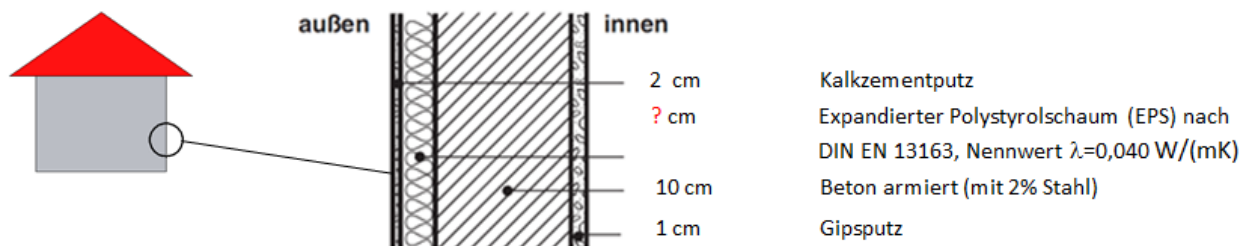
	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/(mK)]	R [(m ² K)/W]
	innen				
6	Gipskarton-platten	0,015	700	0,21	0,07
5	Dämmung/ Zellulosefaser	0,18	80	0,045	4,00
4	Luftspalt-nicht belüftet	0,025	1,2	-	0,18
3	Holzfaser-platte	0,025	800	0,18	0,14
	außen				
ΣR					
R_T					
U					

A) Wie sind die Anforderungen für den Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2:Juli 2013? Begründen Sie Ihre Angabe.

- B) Führen Sie den Wärmeschutznachweis!
- C) Der Bauherr fordert entgegen der Anforderungen in der Norm einen Wärmedurchlasswiderstand von $5,0 \text{ (m}^2\text{K)/W}$.
1. Welche Dämmschichtdicke müsste mindestens vorhanden sein, damit die Anforderungen des Bauherrn erfüllt werden können?
 2. Durch welche weitere Maßnahme könnte die Anforderung des Bauherren erfüllt werden, OHNE die Bauteildicke erhöhen zu müssen? (kein rechnerischer Nachweis!)
- D) Welche Wärmetransportmechanismen werden durch die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} berücksichtigt?
- E) Berechnen Sie den U-Wert der Außenwand (Tabellenwerte verwenden) und tragen Sie diesen in die Tabelle ein.

1.2.1.5 Beispiel 5: Niedrig beheizte Außenwand aus Beton

Sie planen folgenden Außenwandaufbau für ein Haus mit niedrigen Innenraumtemperaturen.

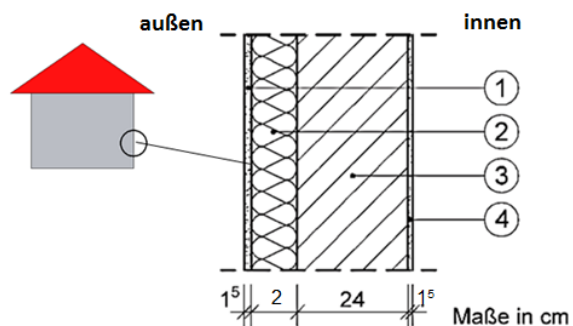


	Schicht [-]	Dicke d [m]	λ [W/ (mK)]	R [(m²K) /W]
	innen			
1	Gipsputz	0,010	0,51	
2	Beton (1% Stahl)	0,10	1,35	
3	EPS			
4	Kunstharzputz	0,020	1,0	
	außen			

- A) Nenn Sie die 3 Transportmechanismen für Wärme.
- B) Wie sind die Anforderungen für den Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2:Juli 2013 für oben abgebildete Außenwand?
- C) Welche Dämmschichtdicke ist für diesen Aufbau erforderlich, damit der Wärmeschutznachweis geführt werden kann?
- D) Berechnen Sie den U-Wert dieser Außenwand.

- E) An welcher Stelle würden Sie in dieser Konstruktion am ehesten mit Tauwasserausfall rechnen? Begründen Sie Ihre Antwort! Ein rechnerischer/grafischer Nachweis soll nicht geführt werden!

1.2.1.6 Beispiel 6: Außenwand aus Mauerwerk



Baustoffe	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)
① Kalkzementputz	-	1,00
② PUR	-	
③ Vollziegel (vorh. MW)	2400	
④ Gipsputz ohne Zuschlag	-	0,51

Für den in folgender Tabelle dargestellten Schichtenverlauf einer Außenwand soll ein Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 durchgeführt werden.

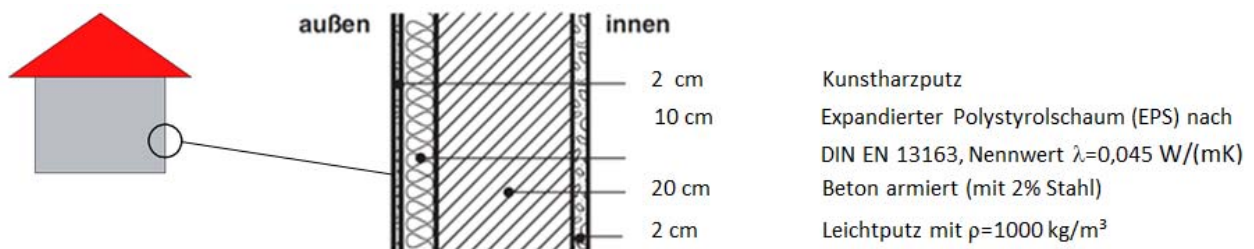
	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/ m ³]	λ [W/ (mK)]	R [(m ² K) /W]
	innen				
1	Gipsputz ohne Zuschlag	0,015	1200	0,51	0,029
2	Vollziegel	0,24	2400		
3	PUR Hartschaum nach DIN EN 13165, Nennwert $\lambda_D=0,055$	0,02	80		
4	Kalkzementputz	0,015	1800	1,0	0,015
	außen				0,04
ΣR					
R_T					
U					

W/(m²K)

- A) Weisen Sie nach, ob der Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 geführt werden kann. Die Innenraumtemperatur des betrachteten Raumes beträgt 20°C.

1.2.1.7 Beispiel 7: Außenwand aus Beton

Für die im nachstehenden Bild skizzierte Außenwand soll ein Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 durchgeführt werden.



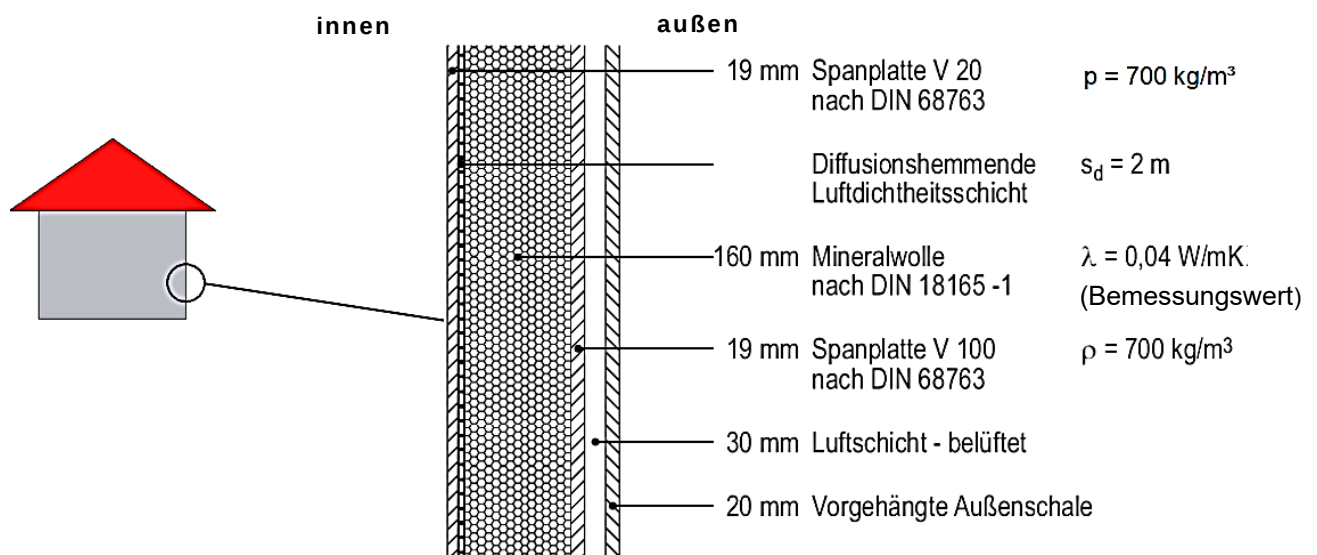
	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/(mK)]	R [(m ² K)/W]
	innen				
1	Leichtputz	0,02	1000		
2	Beton (2% Stahl)	0,20	2400		
3	EPS	0,10	30		
4	Kunstharzputz	0,02	1100	0,7	0,029
	außen				0,04
				R	
				R _T	
				U	

W/(m²K)

- A) Weisen Sie nach, ob der Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 geführt werden kann. Die Innenraumtemperatur des betrachteten Raumes beträgt 20°C.
(Hinweis: Geben Sie den für dieses Bauteil maßgebenden Mindestwert R an und begründen Sie ihre Antwort.)
- B) Welche Maßnahmen können einem Bauherrn vorgeschlagen werden, damit die Anforderungen an den Wärmeschutz erfüllt werden können, wenn dies nicht mit der geplanten Konstruktion machbar ist? (Nennen Sie 2 Möglichkeiten und begründen Sie ihre Antwort)

1.2.1.8 Beispiel 8: Außenwand mit vorgehängter Fassade

In nachstehendem Bild ist der Aufbau einer Außenwand gegeben. Die unten dargestellte Tabelle gibt die Kennwerte für das Außenbauteil an.



	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(mK)]	R [(m²K)/W]
	innen				0,13
1	Spanplatte	0,019	700	0,13	0,15
2	Luftdichtheits- schicht	-	-	-	2,00
3	Mineralwolle	0,16		0,04	4,00
4	Spanplatte	0,019	700	0,13	0,15
	außen				0,04

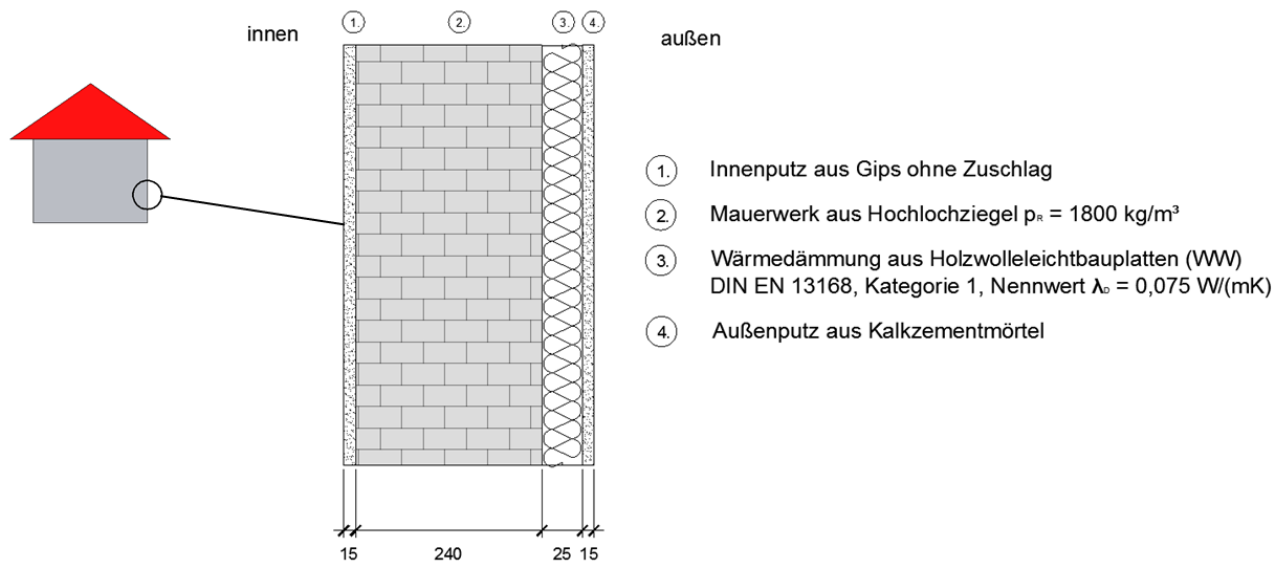
R	
R_T	
U	W/(m²K)

A) Weisen Sie nach, ob der Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 geführt werden kann.

(Hinweis: die vorgehängte Außenschale und die Luftschicht bleiben bei der Festlegung der Anforderungen unberücksichtigt)

B) Der Bauherr gibt vor, dass der Wärmedurchlasswiderstand der Außenwand einen Mindestwert von $6,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ nicht unterschreiten darf. Aus diesem Grund soll ein anderes Dämmmaterial gewählt werden. Welchen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit darf der Dämmstoff in diesem Fall maximal aufweisen, wenn ansonsten alle Randbedingungen gleich bleiben sollen?

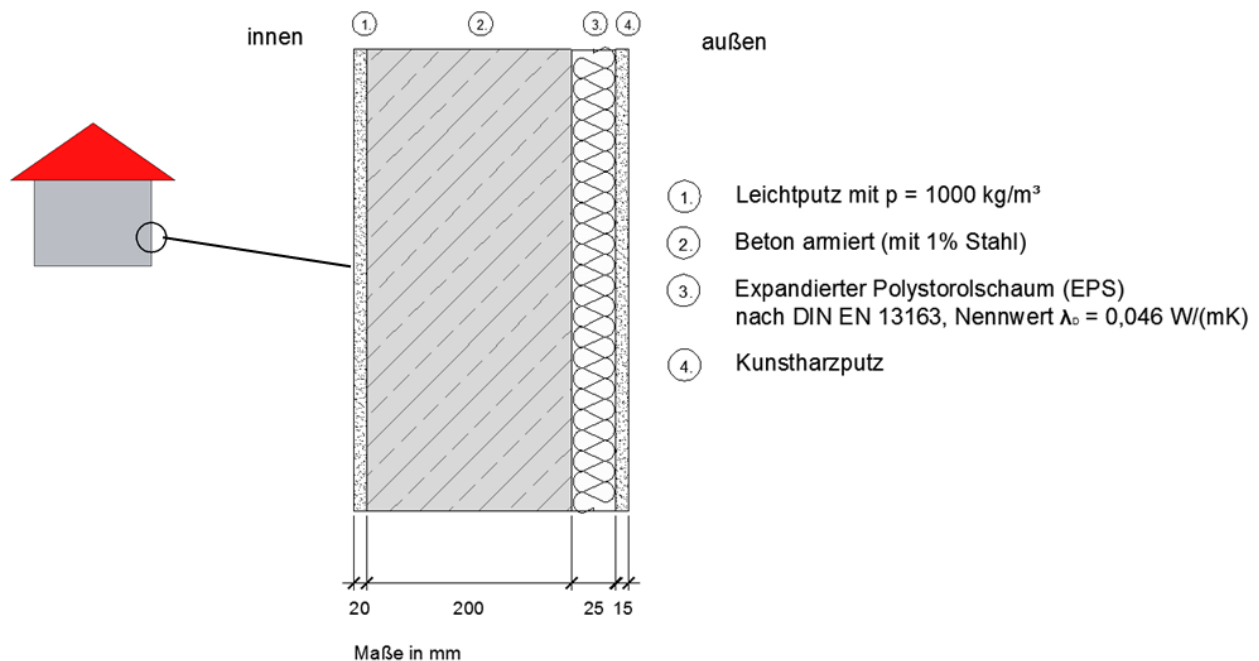
1.2.1.9 Beispiel 9: Außenwand aus Mauerwerk



- 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 Temperaturgradienten sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -10°C , Innenlufttemperatur: 20°C)?

	Schicht [-]	Dicke d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [K]	θ [°C]
	Wärmeübergang, innen					
1	Innenputz					
2	Mauerwerk					
3	Wärmedämmung					
4	Außenputz					
	Wärmeübergang, außen					
$\Sigma R_n =$					[m ² K/W]	
$R_T =$					[m ² K/W]	
$U =$					[m ² K/W]	

1.2.1.10 Beispiel 10: Außenwand aus Beton



- A) Welche Anforderungen stellt DIN 4108-2: 2013 für die abgebildete Außenwand bzgl. des Wärmeschutznachweises?
- B) Erfüllt das betrachtete Bauteil die Anforderungen an den Wärmeschutz?
- C) Berechnen Sie den U-Wert dieser Decke.
- D) Welche Temperaturen stellen sich unter stationären Bedingungen bei einer Außenlufttemperatur von -10°C und einer Innenraumtemperatur von 20°C zwischen den Schichten ein?
- E) Berechnen Sie den Nennwert der Wärmeleitfähigkeit der für die Dämmung erforderlich wäre, um einen U-Wert von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen.

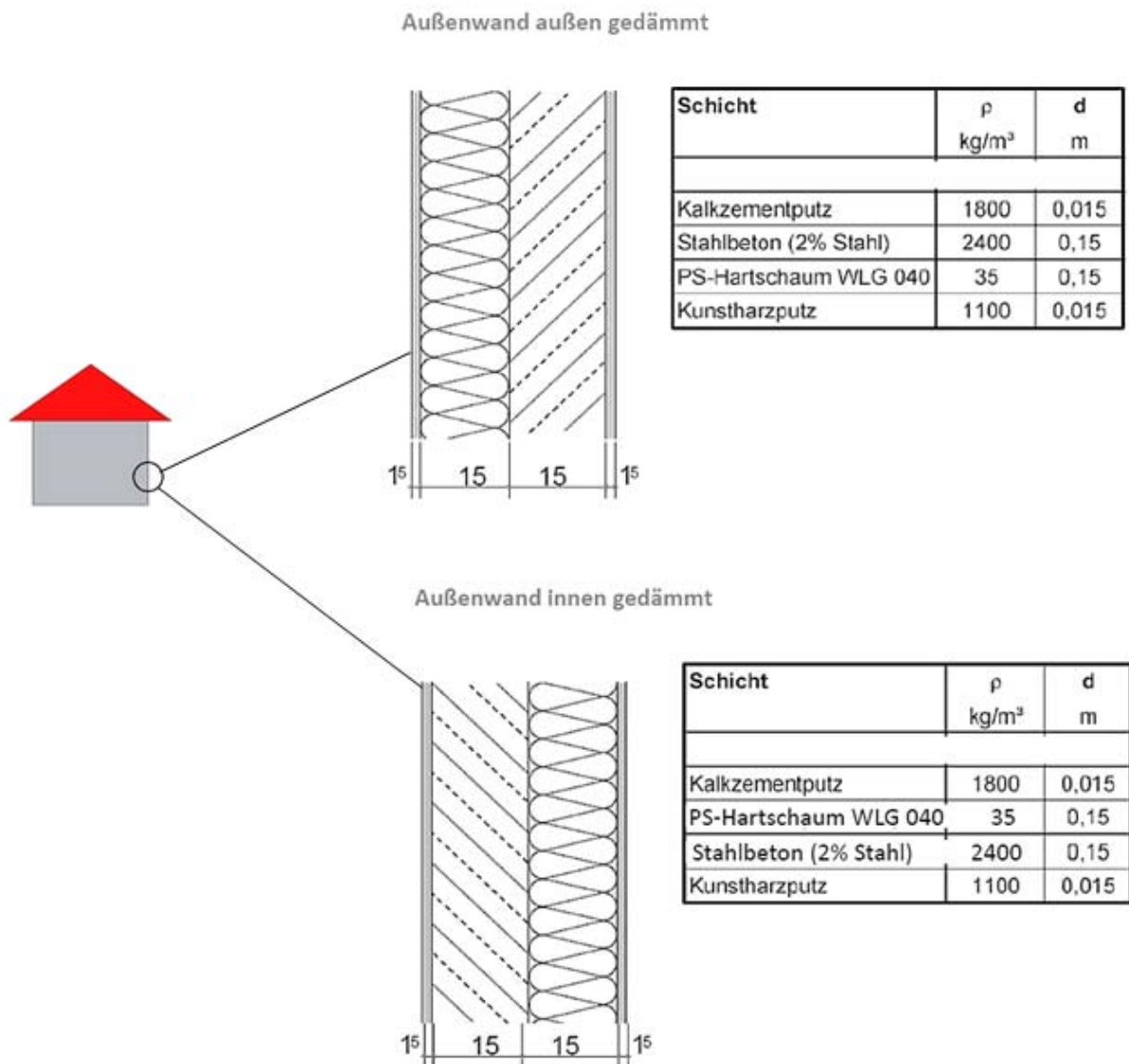
	Schicht [-]	Dicke d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [K]	θ [°C]
	Wärmeübergang, innen					
1	Leichtputz					
2	Beton (1% Stahl)					
3	EPS					
4	Kunstharzputz					
	Wärmeübergang, außen					

$$\Sigma R_n = \quad [m^2K/W]$$

$$R_T = \quad [m^2K/W]$$

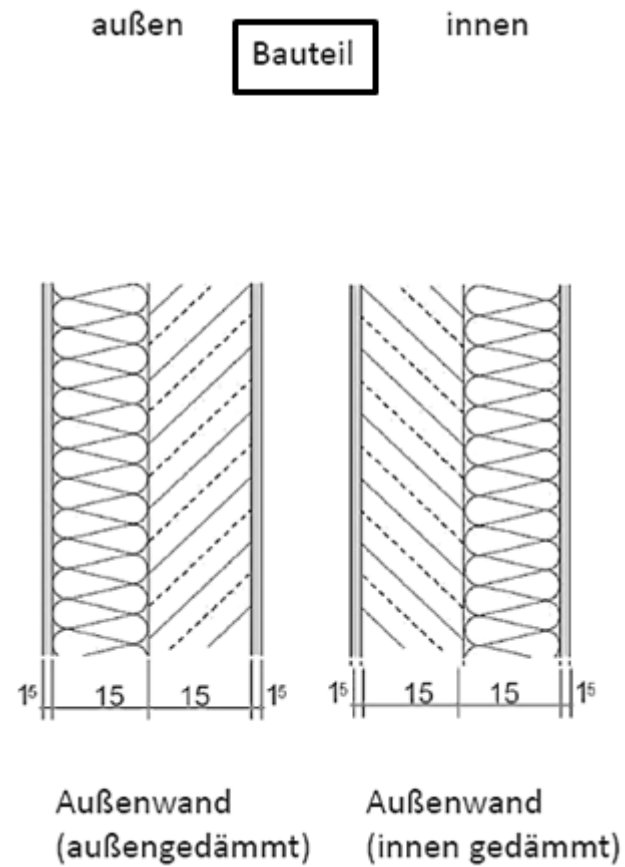
$$U = \quad [m^2K/W]$$

1.2.1.11 Beispiel 11: Außenwände aus Beton (innen- und außengedämmt)



A) Berechnen Sie für die oben dargestellten Bauteile die Wärmedurchlasswiderstände R .

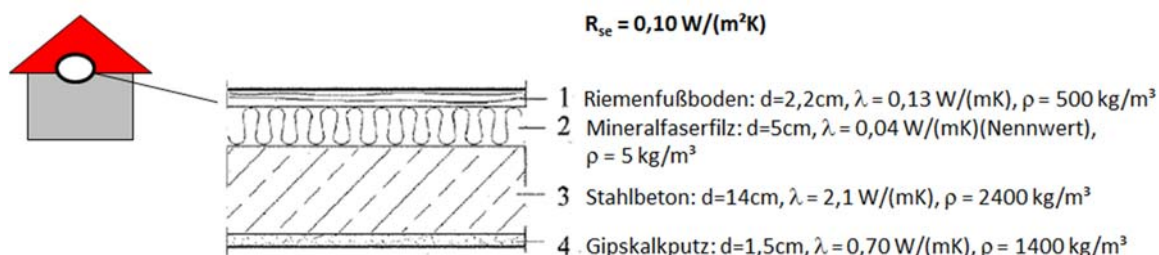
- B) Skizzieren Sie für jedes dieser Bauteile den Temperaturverlauf unter Annahme stationärer Temperaturen an den Bauteiloberflächen.



1.2.2 Geschossdecke

1.2.2.1 Beispiel 1: Geschossdecke unter unbeheizten Dachraum

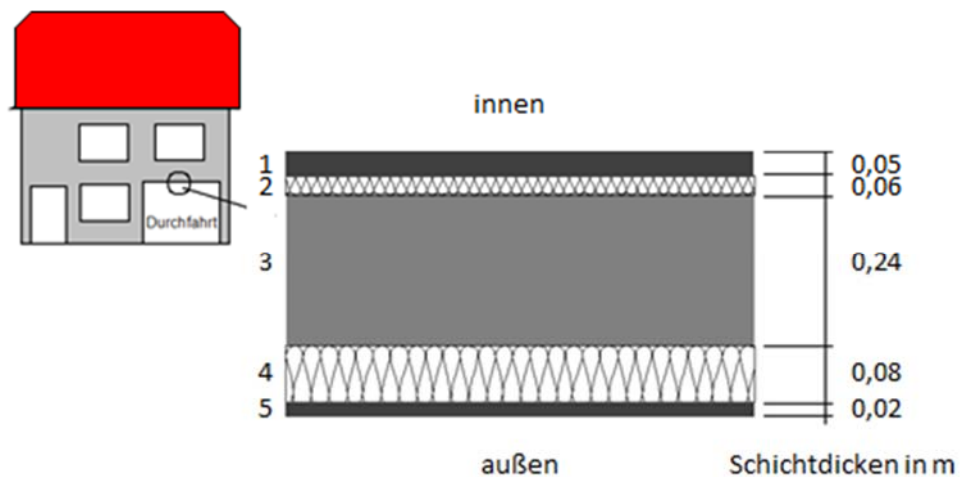
- A) Führen Sie den Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2: Februar 2013 für nachstehend dargestellte Geschossdecke unter einem nicht ausgebauten/nicht beheizten Dachraum. Die Angabe des Anforderungswertes aus der Norm ist erforderlich.



- B) Nehmen Sie nun unabhängig von den zuvor ermittelten Ergebnis einen Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils von $R = 1,30 \text{ m}^2\text{K/W}$ für das zuvor dargestellte Bauteil an. Welche Temperatur herrscht an der Oberseite des Mineralfaserfilzes unter der Annahme, dass die Temperatur im nicht beheizten Dachraum -2°C (konstant) beträgt und die Raumluft innen auf konstant 20°C gehalten wird? Der Wärmeübergangswiderstand R_{se} beträgt $0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$
- C) Die Innenoberflächentemperatur der Geschossdecke beträgt $18,5^\circ\text{C}$ an. Bei welcher Wasserdampfkonzentration in g/m^3 im Innenraum ist an der Innenoberfläche mit Schimmelpilzbildung zu rechnen, wenn sich Temperaturbedingungen entsprechend Aufgabe 1 B) einstellen?

1.2.2.2 Beispiel 2: Geschossdecke an Außenluft über Durchfahrt

A) Führen Sie den Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2: Februar 2013 für nachstehendes Bauteil. Die Angabe des Anforderungswertes aus der Norm ist erforderlich.



	Schicht [-]	λ W/(mK)
1	Zementestrich	1,4
2	Trittschalldämmung	0,035
3	Stahlbeton	2,40
4	Wärmedämmung, Nennwert $\lambda_0 = 0,044$	
5	Außenputz	1,3

B) Nehmen Sie nun unabhängig von den zuvor ermittelten Ergebnis einen Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils von $R = 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$ für das zuvor dargestellte Bauteil an. Welche Temperatur herrscht an der Innenoberfläche unter der Annahme, dass die Außenlufttemperatur -15°C (konstant) beträgt und die Raumluft innen auf konstant 20°C gehalten wird?

- C) Nehmen Sie nun unabhängig von dem zuvor ermittelten Ergebnis für das oben dargestellte Bauteil eine Innenoberflächentemperatur von $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ an. Bei welcher Raumluftheuchte im Innenraum ist an der Innenoberfläche mit Schimmelpilzbildung zu rechnen, wenn sich Temperaturbedingungen entsprechend Aufgabe 1 B) einstellen?

1.2.2.3 Beispiel 3: Geschossdecke an Außenluft über Eingangsbereich

Für die im nachstehenden Bild gekennzeichnete Geschossdecke (Bereich der Decke, der über den Eingangsbereich ragt), soll ein Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 durchgeführt werden.

Einige der für die Nachweise erforderlichen Angaben sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die fehlenden Angaben in der Tabelle, die für die Nachweise erforderlich sind, sind durch Sie zu ergänzen.

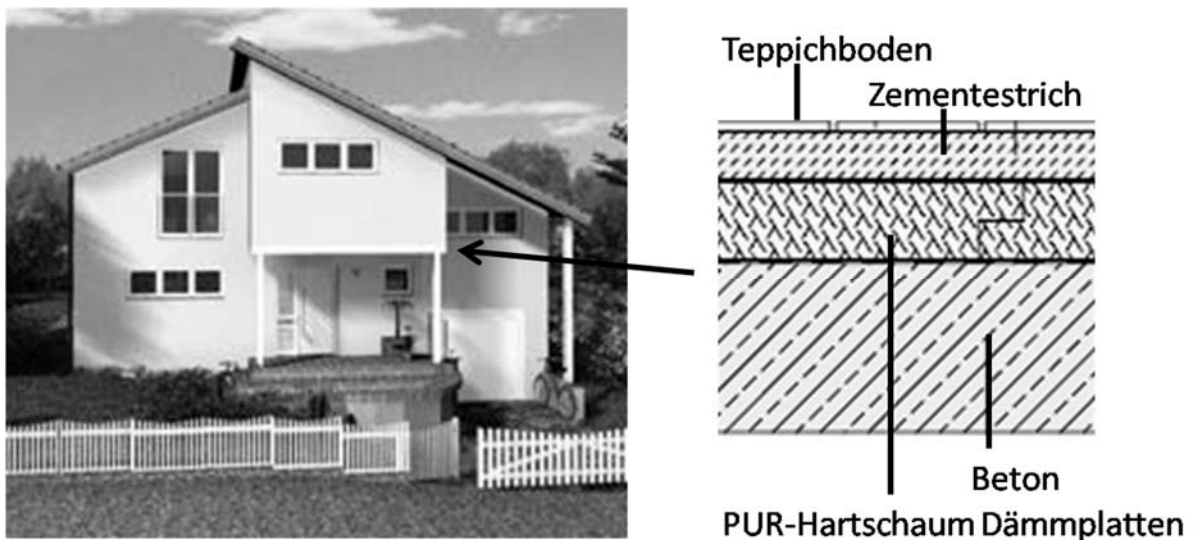


Bild 1: Lage (links) und Schichtenaufbau des Bauteils

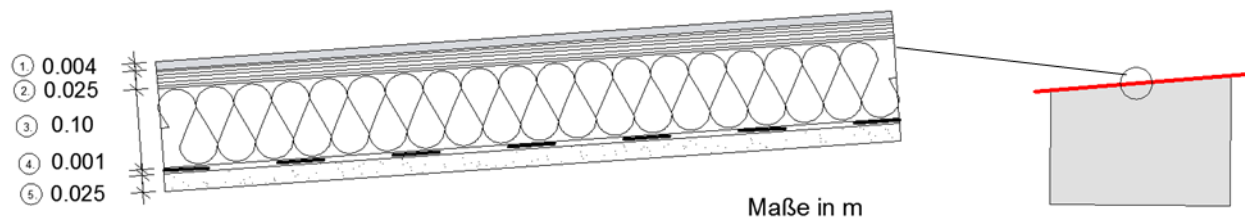
	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/(mK)]	R [(m ² K)/W]
	innen				
1	Teppichboden	0,02	200		
2	Zementestrich	0,05	2000		
3	PUR-Hartschaum, Fußboden-dämmplatte	0,08	30	0,029	2,759
4	Beton	0,18	2300	2,3	0,078
	außen				0,04
ΣR					
R_T					
U					

W/(m²K)

- A) Weisen Sie nach, ob der Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 geführt werden kann.

1.2.3 Dachkonstruktion

1.2.3.1 Beispiel 1: Flachdach



Für das Gefach eines FLACHDACHES mit einem Bauteilaufbau nach Tabelle 1 soll ein Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 durchgeführt werden.

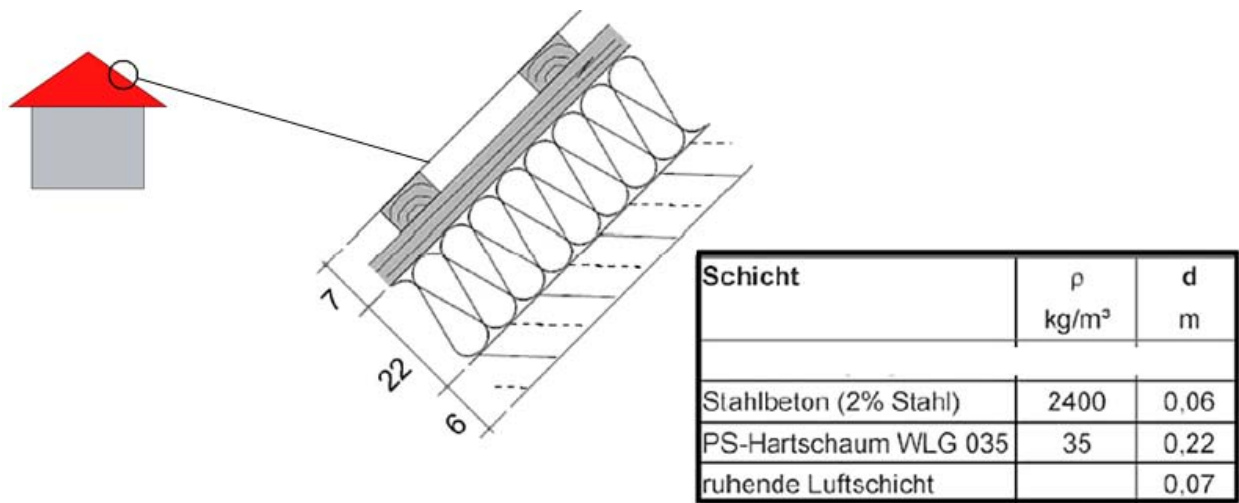
Tabelle 1: Datenbasis für den Wärmeschutznachweis

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/(mK)]	R [(m ² K)/W]
	außen				0,04
1	Dachabdeckung	0,004	1100	0,16	0,025
2	Holzschalung	0,025	700	0,15	0,167
3	Mineralwolle	0,10	25	0,05	
4	Polyamid-Dampfbremse	0,001	65	2,9	0,000
5	Gipskartonplatte	0,025	900	0,21	0,119
	innen				

A) Führen Sie den Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2: Februar 2013. Gehen Sie dabei davon aus, dass es sich bei dem Flachdach um ein leichtes Bauteil handelt.

- B) Der Bauherr überlegt die Dämmschichtdicke zu erhöhen. Berechnen Sie die zusätzliche Dämmschichtdicke Δd , die erforderlich wäre, um einen U-Wert von $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen.

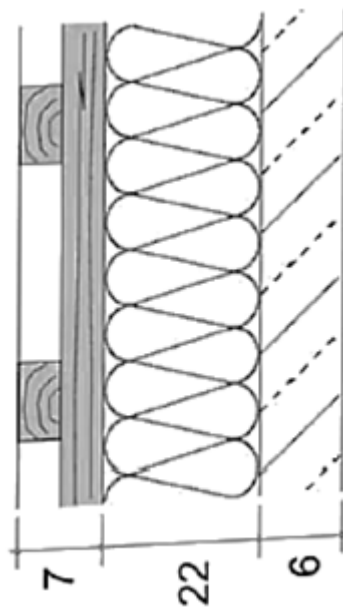
1.2.3.2 Beispiel 2: Satteldach



- A) Berechnen Sie für die oben dargestellten Bauteile die Wärmedurchlasswiderstände R .
- B) Skizzieren Sie für jedes dieser Bauteile den Temperaturverlauf unter Annahme stationärer Temperaturen an den Bauteiloberflächen.

außen

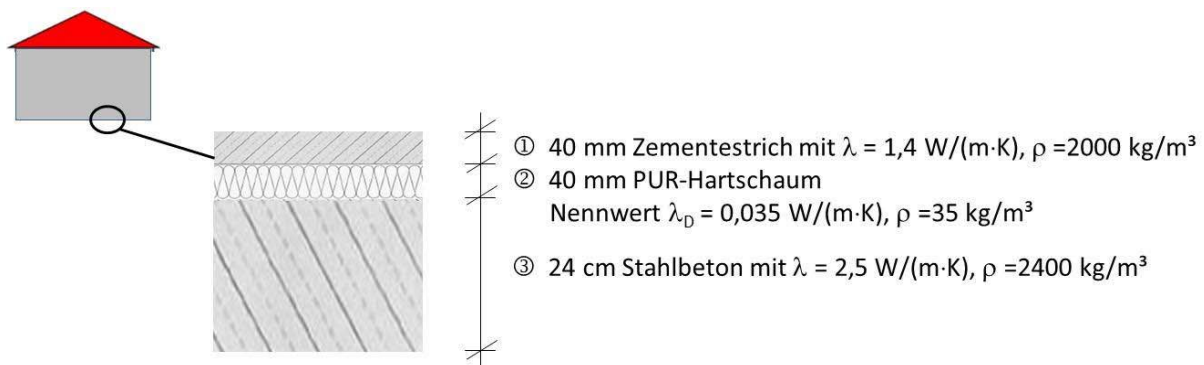
innen



1.2.4 Bodenplatte

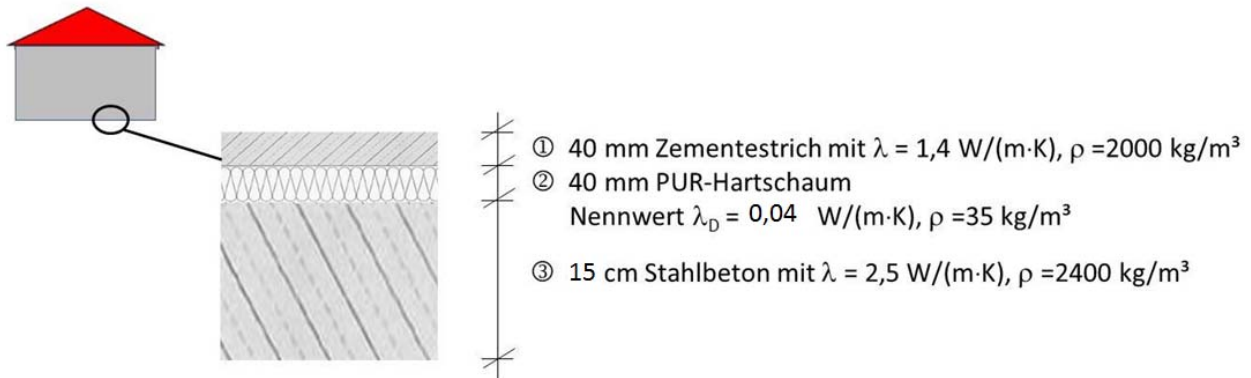
1.2.4.1 Beispiel 1

- A) Führen Sie den Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2: Februar 2013 für nachstehend dargestellte Bodenplatte. Die Angabe des Anforderungswertes aus der Norm ist erforderlich.



- B) Nehmen Sie nun unabhängig von den zuvor ermittelten Ergebnis einen Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils von $R = 1,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ für das zuvor dargestellte Bauteil an. Welche Temperatur herrscht an der Innenoberfläche unter der Annahme, dass die Außenlufttemperatur -5°C (konstant) beträgt und die Raumluft innen auf konstant 21°C gehalten wird? Der Wärmeübergangswiderstand R_{se} beträgt $0 \text{ m}^2\text{K/W}$
- C) Nehmen Sie nun unabhängig von den zuvor ermittelten Ergebnis einen Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils von $R = 1,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ für das zuvor dargestellte Bauteil an. Welche Temperatur herrscht an der Innenoberfläche unter der Annahme, dass die Außenlufttemperatur -5°C (konstant) beträgt und die Raumluft innen auf konstant 21°C gehalten wird? Der Wärmeübergangswiderstand R_{se} beträgt $0 \text{ m}^2\text{K/W}$

1.2.4.2 Beispiel 2



Für eine Bodenplatte mit einem Bauteilaufbau nach Tabelle 1 soll ein Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 durchgeführt werden.

Tabelle 1: Datenbasis für den Wärmeschutznachweis

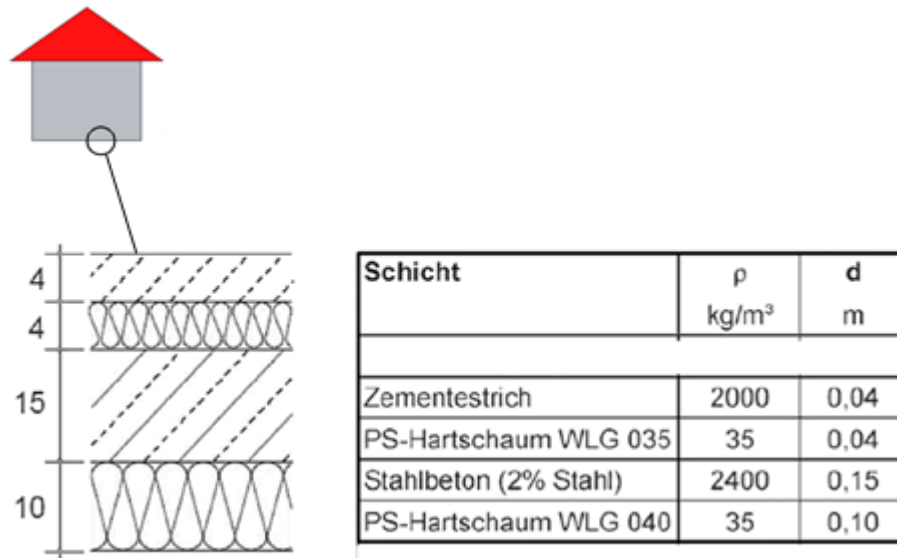
	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/ (mK)]	R [(m ² K) /W]
	innen				
1	Zement- estrich	0,04	2000	1,40	0,029
2	PS- Hartschaum	0,04	35	0,048	0,833
3	Stahlbeton (2% Stahl)	0,15	2400	2,50	0,060
	außen				0,00

A) Wie sind die Anforderungen für den Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2: Februar 2013? Begründen Sie Ihre Angabe.

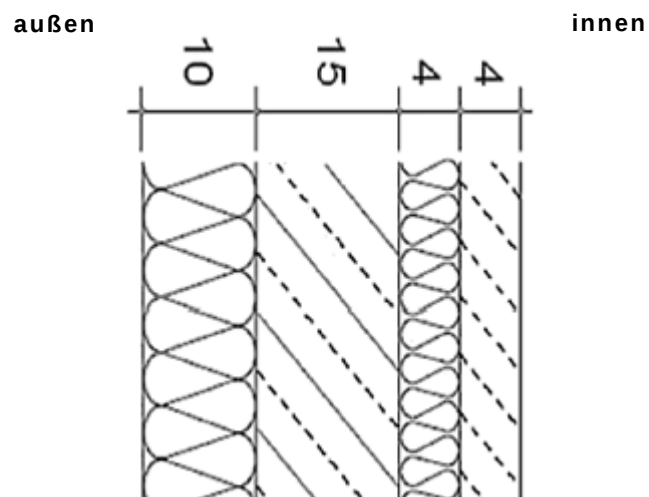
B) Führen Sie den Wärmeschutznachweis!

C) Der Bauherr überlegt eine zusätzliche Außendämmung von 15 cm unterhalb der Bodenplatte anzuordnen. Berechnen Sie den Nennwert der Wärmeleitfähigkeit der Dämmung, der erforderlich wäre, um einen U-Wert von $0,26 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ zu erreichen.

1.2.4.3 Beispiel 3



- A) Berechnen Sie für die oben dargestellten Bauteile die Wärmedurchlasswiderstände R .
- B) Skizzieren Sie für jedes dieser Bauteile den Temperaturverlauf unter Annahme stationärer Temperaturen an den Bauteiloberflächen.



2 Feuchteschutz

2.1 Verständnisfragen Feuchte

Einführung

1. Welches sind die Hauptaufgaben/Ziele des Feuchteschutzes?
2. Welche Bauschäden können durch Feuchte am Bauteil entstehen?
(Achtung: zum Ende des Themas Feuchte sollten Sie auf Basis der erlernten Zusammenhänge die Entstehung der Schäden beschreiben und interpretieren können)
3. Durch welche Feuchtequellen gelangt Feuchte in unsere Innenräume/Bauteile?

Grundlagen, Taupunkttemperatur, Raumklima, Lüftung

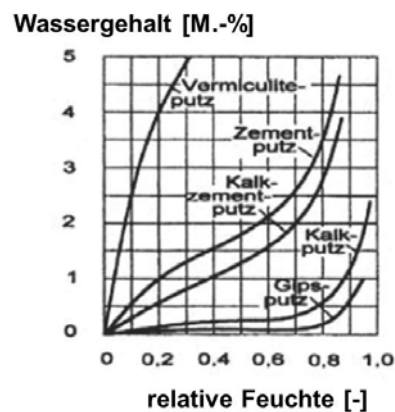
4. Wie unterscheidet sich Wasser in seinen Aggregatzuständen?
5. Was versteht man in der Bauphysik unter dem Begriff „Feuchte“?
6. Wieso sagt man, dass Wasser eine polare Flüssigkeit ist?
7. Wie groß ist ein Wassermolekül?
8. Durch welche Prozesse wird in einem Raum Wasserdampf erzeugt?
9. Wie ist die Wasserdampfkonzentration (=absolute Feuchte) definiert?
10. Wissen Sie, wie man ausgehend von der Nutzung, die Wasserdampfkonzentration in einem Raum bekannter Maße ermittelt?
11. Wie ist der Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Wasserdampfsättigungskonzentration der Luft? Was passiert, wenn die Wasserdampfsättigungskonzentration der Luft erreicht/überschritten wird?
12. Was ist der Unterschied zwischen dem Wasserdampfpartialdruck p_D und dem Wasserdampfsättigungsdruck p_s (neu: p_{sat})?
13. Wie ist die relative Feuchte definiert?
14. Kann in der Praxis eine relative Feuchte von 102% auftreten?
15. Wie ist der Zusammenhang zwischen dem Wasserdampfpartialdruck p_D und der Wasserdampfkonzentration c_s in Luft?
16. Wie ist der Zusammenhang zwischen dem Wasserdampfsättigungsdruck p_s (neu: p_{sat}) und der Wasserdampfsättigungskonzentration c_D in Luft?
17. Beschreiben Sie, wie es zu Tauwasserausfall kommen kann?
18. Was versteht man unter dem Taupunkt bzw. der Taupunkttemperatur?
19. Wie unterscheiden sich die Sättigungswasserdampfgehalte c_s im Vergleich Sommer vs. Winter?
20. Wie unterscheiden sich die Sättigungswasserdampfgehalte c_s im Vergleich Tag vs. Nacht?
21. Wie unterscheiden sich die Wasserdampfgehalte c_D im Vergleich Sommer vs. Winter?

-
22. Wie unterscheiden sich die Wasserdampfgehalte c_D im Vergleich Tag vs. Nacht?
 23. Bei welcher relativen Luftfeuchte ist mit Schimmelpilzbildung zu rechnen?
 24. Reicht eine relative Feuchte von 80% r.F. aus, damit Schimmelpilze wachsen oder muss teilweise auch flüssiges Wasser vorhanden sein?
 25. Nach DIN 4108-2 ist die kritische Oberflächenfeuchte von 80% r.F. bei einer Oberflächentemperatur von 12,6 °C erreicht. Dies gilt für Raumklimabedingungen von 20°C/50% r.F. Welche Auswirkungen hat es auf die kritische Oberflächenfeuchte und die kritische Oberflächentemperatur, wenn das Raumklima abweichend von der Norm a) z.B. 20°C/60% r.F. oder b) 20°C/40%r.F. beträgt?
 26. Wie würden Sie vorgehen, wenn in einem Innenraum Schimmel an der Wand zu sehen ist und sie feststellen möchten, ob der Grund dafür eine Feuchtebeaufschlagung von außen ist, auf geringe Oberflächentemperaturen infolge schlechter Dämmung oder auf Lüftungsmängel zurückzuführen ist?
 27. Zu welcher Jahreszeit sollte ein unbeheizter Kellerraum gelüftet werden, um ihn zu trocknen? Begründen Sie ihre Antwort!
 28. Was sagt die Luftwechselzahl n aus?
 29. Wie ermitteln Sie anhand einer gegebenen Raumnutzung sowie eines gemessenen Außenklimas die erforderliche Luftwechselzahl (durchschnittliche Größenordnung), um bestimmte Anforderungen an das Innenraumklima zu erfüllen?
 30. Erfolgt auch bei geschlossenem Fenster ein Luftaustausch zwischen Außenklima und Innenraum?
 31. Beschreiben Sie die unterschiedlichen Effekte auf Lüftung und Wärmeverluste von a) gekipptem Fenster, b) geöffnetem Fenster und c) geöffnetem Fenster und Erzeugung eines „Durchzugs“ durch weitere geöffnete Fenster/Türen.
 32. Ermitteln Sie die Sättigungsdampfdrücke p_s (neu: p_{sat}) bei 25,3°C, 17,2 °C und -5,2 °C nach DIN 4108-3:2018.
 33. Ermitteln Sie daraus rechnerisch die zugehörigen Wasserdampf-sättigungskonzentrationen c_s .
 34. Welche Folgen kann das Wachstum von Schimmelpilzen a) für Bauteile, b) für Menschen haben?
 35. Welche Randbedingungen beeinflussen neben der Feuchte den Schimmelpilzwachstum?
 36. Kennen Sie neben Schimmelpilzwachstum noch weitere für den Menschen „relevante“ nicht erwünschte Folgen in Abhängigkeit von Raumklimabedingungen?
 37. Welches Raumklima haben wir in Deutschland in der Regel (Sommer/Winter/Mittel)? Welche Bedingungen für das Raumklima werden in der Norm angesetzt?

38. Wie kann das Raumklima messtechnisch erfasst werden? Was sind hierbei die Messgrößen, die in der Regel erfasst werden?
39. Welches Problem bringt die Erfassung der Messgröße „relative Feuchte“ vor allem für Fachfremde mit sich?
40. Welche Empfehlungen würden Sie Fachfremden geben, damit sie möglichst effektiv lüften und Schimmelpilzwachstum vermeiden können? Worauf muss geachtet werden?
41. Womit ist zu rechnen, wenn Sie im Winter mit einer Brille aus der Kälte in einen warmen Raum kommen? Wie kommt es zu dieser Reaktion?
42. Warum sollen Schränke nicht zu dicht an Außenwänden positioniert werden?
43. Vergleichen Sie unter feuchteschutztechnischen Gesichtspunkten innen- und außengedämmte Außenwandkonstruktionen. Welche sind zu bevorzugen?

Feuchtetransportmechanismen

44. Haben wir hinsichtlich der Folgen für unsere Bauteile einen Unterschied zwischen Schlagregen und Spritzwasser zu machen?
45. In welchem Porengrößenspektrum liegen die Porendurchmesser der Poren der bauüblichen Werkstoffe? Wie werden diese benannt? Wie groß ist vergleichsweise ein Wassermolekül? In welchen Poren wird das Wasser mit der größten Geschwindigkeit transportiert?
46. Wie unterscheiden sich Kapillarporen und Gelporen im Hinblick auf den Feuchtetransport?
47. Wie unterscheiden sich Kapillarporen und Luftporen im Hinblick auf den Feuchtetransport?
48. Was versteht man unter dem Begriff Hygroskopizität?
49. Was versteht man unter dem Begriff Adsorption?
50. Welchen Zusammenhang beschreiben die Sorptionsisothermen? Aus welchem Grund kann die Kenntnis dieses Zusammenhangs relevant sein?
51. Nachstehende Abbildung zeigt die Sorptionsisothermen verschiedener Putze. Welcher der Putze wird einen größeren Anteil an Poren kleineren Durchmessers haben: a) der Zementputz oder b) der Kalkzementputz? Begründen Sie ihre Einschätzung.



52. In einem Innenraum (Sollfeuchte 50%r.F.) treten Feuchtigkeitsprobleme auf. Um der Ursache auf den Grund zu gehen, wird an einer Materialprobe der Wassergehalt des Putzes bestimmt. Es wird ein Wert des Feuchtegehalts im Putz von 1,0 M.-% ermittelt. Wie beurteilen Sie dies, wenn es sich bei dem Putz a) um einen Kalkzementputz bzw. b) um einen Kalkputz handelt? Verwenden Sie für Ihre Beurteilung das voranstehende Sorptionsdiagramm.
53. Welche Feuchtetransportmechanismen gibt es in porösen Baustoffen?
54. Erläutern Sie den Mechanismus der Wasserdampfdiffusion.
55. Durch welche Umgebungsbedingungen wird der Wasserdampftransport maßgeblich „angetrieben“ (=treibendes Potential)?
56. Mit welcher Formel wird die Wasserdampfdiffusionsstromdichte durch Baustoffe beschrieben?
57. Zeichnen Sie die Wärme- und Dampfströme zwischen den beiden unten dargestellten Räumen ein!

13° C
80 % rel. F.
$p_s = 1498 \text{ Pa}$
$p = 1198 \text{ Pa}$

18° C
60 % rel. F.
$p_s = 2065 \text{ Pa}$
$p = 1239 \text{ Pa}$

58. Zeichnen Sie die Wärme- und Dampfströme zwischen den beiden unten dargestellten Räumen ein!

24° C
50 % rel. F.
$p_s = 2985 \text{ Pa}$
$p = 1493 \text{ Pa}$

18° C
80 % rel. F.
$p_s = 2065 \text{ Pa}$
$p = 1652 \text{ Pa}$

59. Was gibt die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ an? Welche Einflussgrößen vereinigt diese Materialkenngröße?
60. Was verstehen Sie unter dem Begriff Dampfsperre? Aus welchem Grund wenden wir in der Baupraxis Dampfsperren an? Benennen Sie ein Beispiel.
61. Wie wird die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ ermittelt?
62. Aus welchem Grund nimmt die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ mit zunehmendem Ausgleichsfeuchtegehalt bzw. Feuchtegehalt der Umgebung ab? Wie wird dies in den Materialkenngrößen, die in der Norm (DIN 4108-4 oder DIN EN ISO 10456) angegeben werden berücksichtigt?
63. Ordnen Sie folgende Stoffe den genannten μ -Werten (Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen) zu:
- | | |
|-------------------------|--------------|
| i. Luft | ∞ |
| ii. Glas | 5/10 |
| iii. Porenbeton | 50/200 |
| iv. Kunstharzputz | 1 |
| v. Mineralfaser-Dämmung | 110000/80000 |
| vi. Bitumendachbahnen | 1 |
64. Was verstehen Sie unter dem Begriff Oberflächendiffusion? Wird dieser Feuchtetransportmechanismus bei der Materialkenngröße μ berücksichtigt?
65. Wie ist die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d definiert? Was beschreibt sie?
66. Eine Beschichtung weist einen s_d -Wert von 0,3m auf. Ist diese Beschichtung als diffusionsoffen oder diffusionsdicht einzustufen?
67. Welchen Nachteil haben diffusionsdichte Beschichtungen in der Baupraxis?
68. Was versteht man unter einem Diffusionsdiagramm?
69. Beschreiben Sie den Mechanismus „Kapillartransport“.
70. In welchen Porengrößen wird das Wasser schneller transportiert a) Kapillarporen oder b) Gelporen? Begründen Sie Ihre Aussage.
71. In welchen Poren wird das Wasser weiter in die Tiefe transportiert a) Kapillarporen oder b) Gelporen? Begründen Sie Ihre Aussage.
72. Warum wird das Wasser in Luftporen nicht kapillar transportiert?

73. Wodurch kommt es zum Tauwasserausfall?
74. Was versteht man unter dem Taupunkt bzw. der Taupunkttemperatur?
75. Welche Feuchtetransportmechanismen gibt es in porösen Baustoffen?
76. Erläutern Sie den Mechanismus der Wasserdampfdiffusion.
77. Was sind die Anforderungen zur Vermeidung von Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen gemäß DIN 4108, Teil 3?
78. Was gibt die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ an?
79. Wie wird die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ ermittelt?
80. In der DIN V 4108-4 sind u.a. die feuchtetechnischen Bemessungswerte festgelegt.
81. Bei dem Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl sind häufig zwei Werte angegeben. Welcher Wert ist für Berechnungen nach dem Glaser-Verfahren anzusetzen? Was ist der Grund dafür, dass es zwei unterschiedliche Werte für ein Material gibt?
82. Was ist die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke S_d ?
83. Womit ist zu rechnen, wenn Sie im Winter mit einer Brille aus der Kälte in einen warmen Raum kommen? Wie kommt es zu dieser Reaktion?
84. Warum sollen Schränke nicht zu dicht an Außenwänden positioniert werden?
85. Vergleichen Sie unter feuchteschutztechnischen Gesichtspunkten innen- und außengedämmte Außenwandkonstruktionen. Welche sind zu bevorzugen?
86. Zeichnen Sie die Wärme- und Dampfströme zwischen den beiden unten dargestellten Räumen ein!

13° C
80 % rel. F.
$p_s = 1498 \text{ Pa}$
$p = 1198 \text{ Pa}$

18° C
60 % rel. F.
$p_s = 2065 \text{ Pa}$
$p = 1239 \text{ Pa}$

87. Zeichnen Sie die Wärme- und Dampfströme zwischen den beiden unten dargestellten Räumen ein!

24° C
50 % rel. F.
$p_s = 2985 \text{ Pa}$
$p = 1493 \text{ Pa}$

18° C
80 % rel. F.
$p_s = 2065 \text{ Pa}$
$p = 1652 \text{ Pa}$

88. Ordnen Sie folgende Stoffe den genannten μ -Werten (Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen) zu:

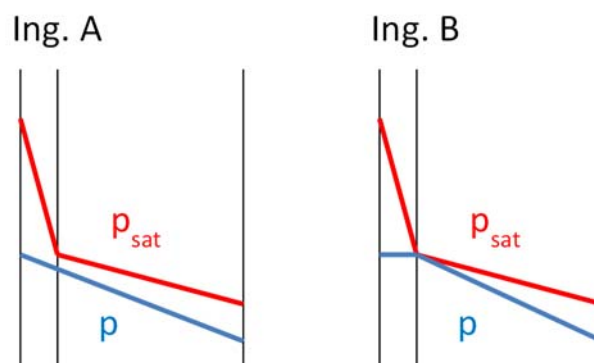
vii. Luft	∞
viii. Glas	5/10
ix. Porenbeton	50/200
x. Kunstharzputz	1
xi. Mineralfaser-Dämmung	110000/80000
xii. Bitumendachbahnen	1

89. Zu welcher Jahreszeit sollte ein unbeheizter Kellerraum gelüftet werden, um ihn zu trocknen? Begründen Sie ihre Antwort!

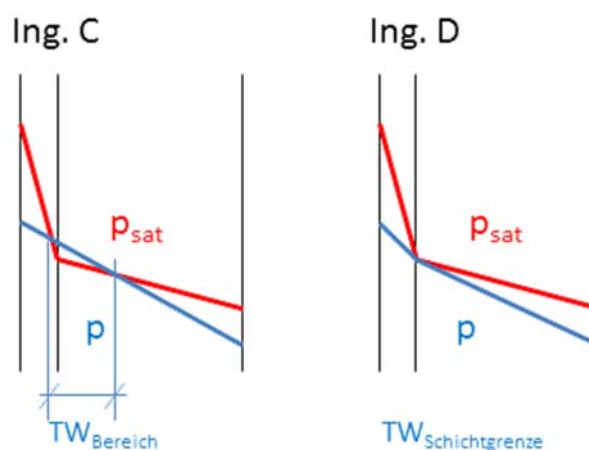
Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3

90. Was sind die Anforderungen zur Vermeidung von Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen gemäß DIN 4108, Teil 3?
91. In der DIN 4108-4 sind u.a. die feuchtetechnischen Bemessungswerte festgelegt. Bei dem Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl sind häufig zwei Werte angegeben. Welcher Wert ist für Berechnungen nach dem Glaser-Verfahren anzusetzen? Was ist der Grund dafür, dass es zwei unterschiedliche Werte für ein Material gibt?
92. Wie ist der ungünstigste μ -Wert der einzelnen Bauteilschichten im Hinblick auf die Durchführung des Feuchteschutznachweises nach DIN 4108-3 zu wählen? Begründen Sie ihre Aussage.
93. Beschreiben Sie die einzelnen Schritte, die zur Erstellung des Diffusionsdiagramms erforderlich sind.
94. Beschreiben Sie die „Methode des gespannten Seiles“.
95. Aus welchen Daten errechnen Sie die Wasserdampfsättigungskurve p_{sat} ?
96. Aus welchen Daten ermitteln Sie die Wasserdampfpartialdrücke an der Innen- und an der Außenoberfläche (p_i , p_e) der Konstruktion? Schreiben Sie den Rechenweg auf.
97. Begründen Sie, warum die Wasserdampfpartialdruckkurve p die Wasserdampfsättigungskurve p_{sat} niemals schneiden kann.

98. Zwei Ingenieur*innen A und B haben anhand nachstehend dargestellten Diffusionsdiagramms überprüft, ob mit Tauwasserausfall zu rechnen ist. Ing. A stellt fest, dass es keinen Tauwasserausfall gibt. Ing. B stellt Tauwasserausfall zwischen den beiden Bauteilschichten fest. Wer hat recht: Ing. A oder Ing. B? Welcher Fehler wurde gemacht? Begründen Sie ihre Aussage!



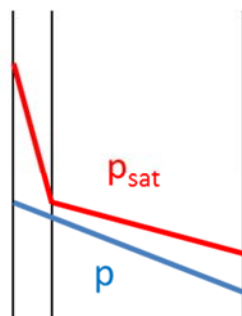
99. Welche der beiden Schichten aus vorangegangener Aufgabenstellung ist wahrscheinlich die Dämmschicht? Begründen Sie ihre Aussage!
100. Zwei Ingenieur*innen C und D haben anhand nachstehend dargestellten Diffusionsdiagramms überprüft, ob mit Tauwasserausfall zu rechnen ist. Ing. C stellt fest, dass es einen schichtübergreifenden Bereich gibt, in dem mit Tauwasserausfall zu rechnen ist. Ing. D stellt Tauwasserausfall zwischen den beiden Bauteilschichten fest. Wer hat recht: Ing. C oder Ing. D? Welcher Fehler wurde gemacht? Begründen Sie ihre Aussage!



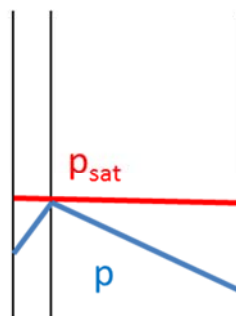
101. Welche Kriterien müssen erfüllt sein, damit der Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3 erfüllt wird?
102. Nachstehende Skizze enthält drei Diffusionsdiagramme. Zeichnen Sie in alle Bilder ein, wie der Wasserdampfdiffusionsstrom verläuft. Schreiben Sie für alle Fälle

die Formeln für die Diffusionsströme auf. Ergänzen Sie die Skizze zu diesem Zweck durch fehlende Angaben. Wie lautet für Fall B die Formel zur Ermittlung der Verdunstungswassermenge? Wie lautet für Fall C die Formel zur Ermittlung der Tauwassermenge?

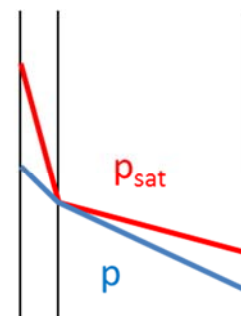
Fall A



Fall B



Fall C



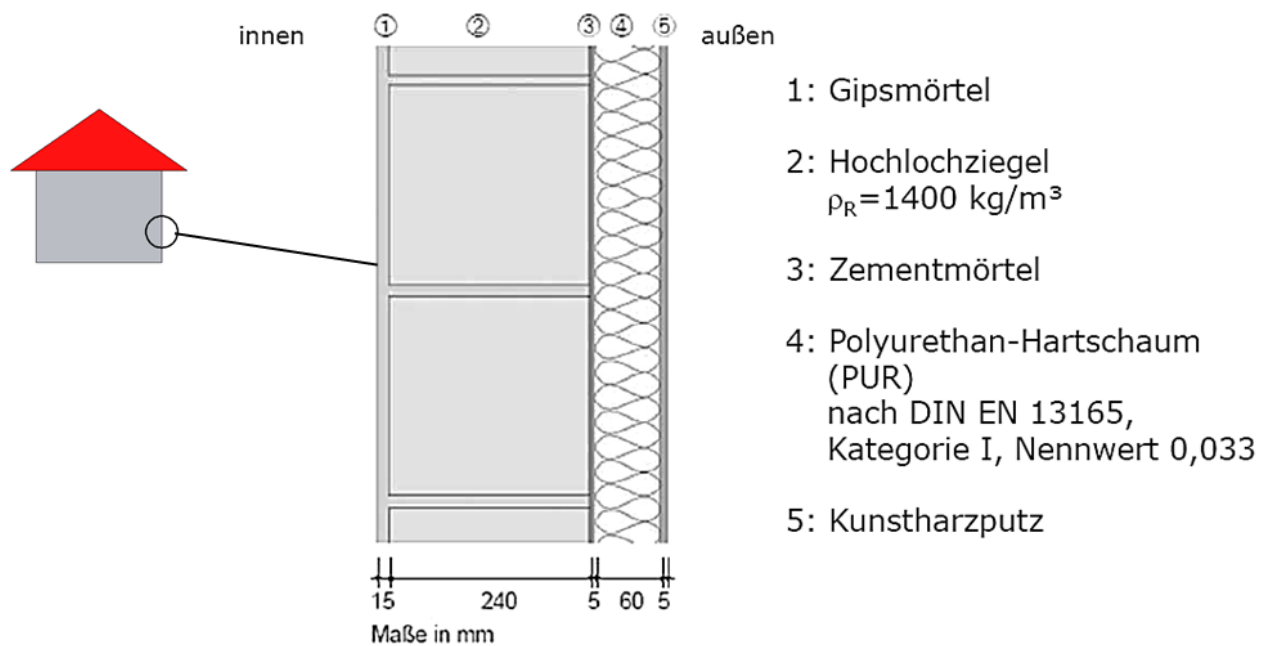
$TW_{\text{Schichtgrenze}}$

103. Beschreiben Sie, welche Feuchtetransportmechanismen im äquivalenten Perioden-Bilanzverfahren (früher/vereinfachend: Glaser) berücksichtigt werden. Welche Konsequenzen hat dies?
104. Recherchieren Sie, wie der Einfluss von Schlagregen (Kapillartransport) in der Norm DIN 4108-3 berücksichtigt wird.
105. Vergleichen Sie unter feuchteschutztechnischen Gesichtspunkten innen- und außengedämmte Außenwandkonstruktionen. Welche sind zu bevorzugen?

2.2 Feuchteschutztechnische Nachweise

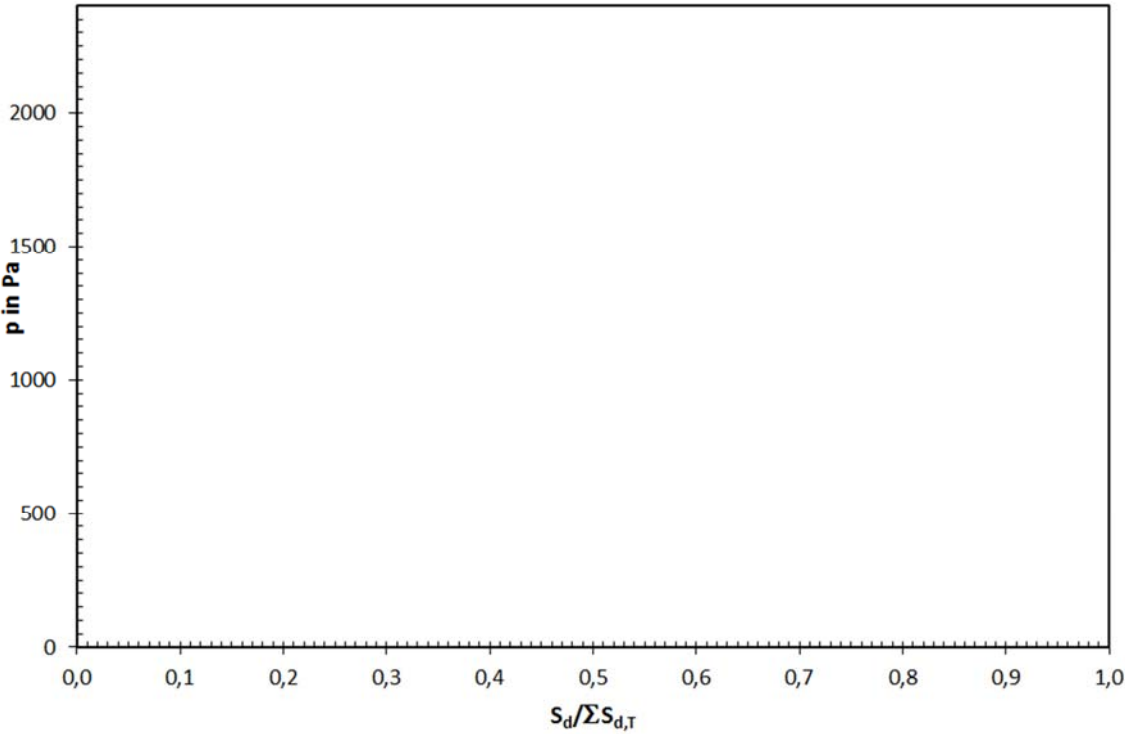
2.2.1 Außenwand

2.2.1.1 Beispiel 1: Außenwand aus Mauerwerk

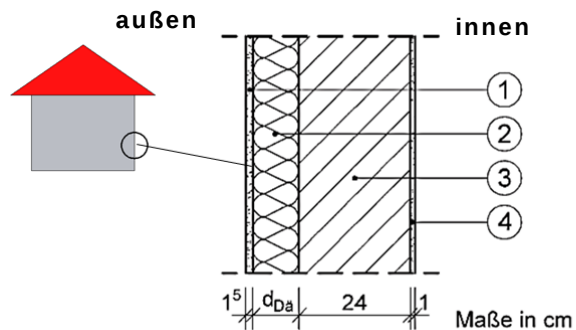


- A) Welche Temperatur sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -5°C , Innenlufttemperatur: 20°C)?
- B) Welcher Sättigungsdampfdruck ist an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten?
- C) Führen Sie den Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3.

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/ m³]	μ [-]	s_d [m]	$\Sigma s_d /$ $s_{d,T}$ [-]	λ [W/ (mK)]	R [(m²K) /W]	ΔT [K]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen									20	2337
1	Gipsmörtel	0,015									
2	Hochlochziegel	0,24									
3	Zementmörtel	0,005									
4	PUR Hartschaum nach DIN EN 13165, Nennwert $\lambda_D=0,033$	0,06									
5	Kunsthartzputz	0,005									
	außen									-5	401
					Σs_d		ΣR		$W/(m^2K)$		
							R_T				
							U				



2.2.1.2 Beispiel 2: Außenwand aus Mauerwerk



Baustoffe	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)
① Kalkzementputz	-	1,00
② Wärmedämmung, EPS	-	0,04
③ Vollziegel (vorh. MW)	2200	1,20
④ Gipsputz ohne Zuschlag	-	0,51

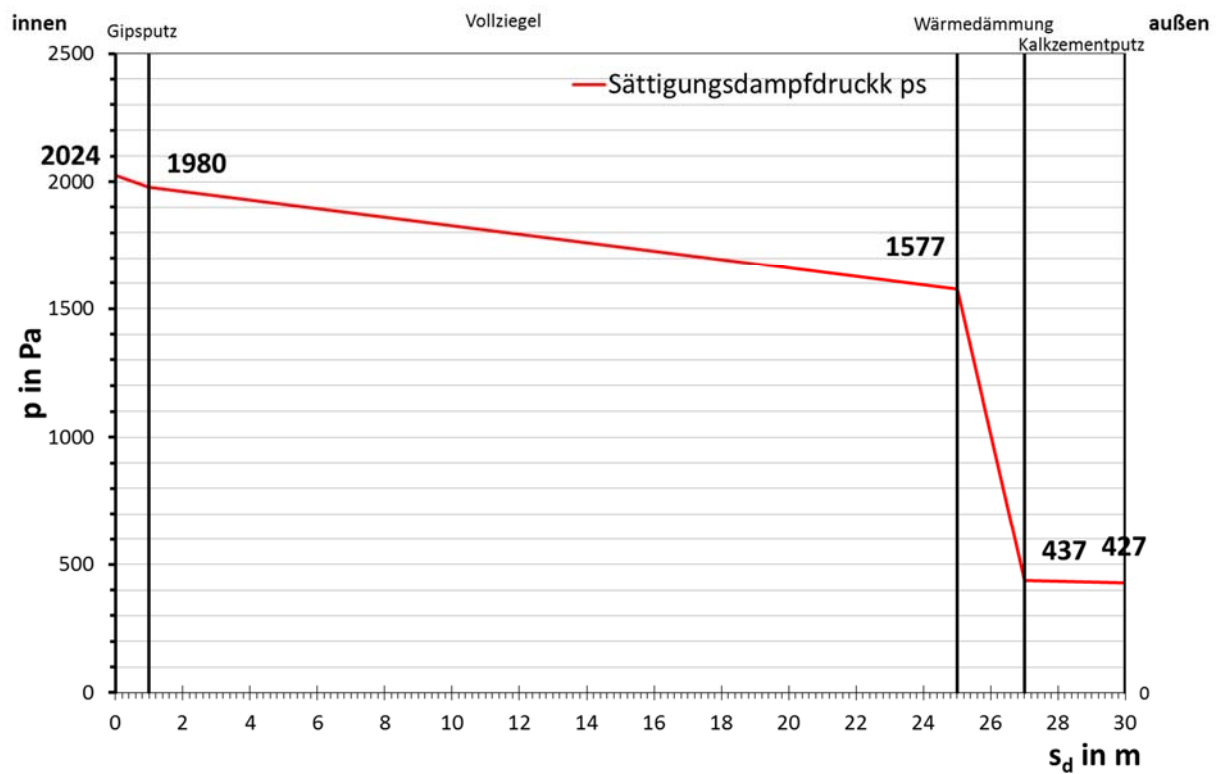
A) Vervollständigen Sie das unten dargestellte Diffusionsdiagramm für das oben dargestellte Bauteil und geben Sie die Tauwassermenge M_c an. Zeichnen Sie dazu auch im Diagramm die für die Berechnung notwendigen Größen ein. Die einzelnen Bauteilschichten sowie der p_s -Verlauf im Wandquerschnitt sind im nachstehenden Diagramm angegeben.

→ Hinweis: Das untenstehende Diagramm wurde nach alter DIN 4108-3 erstellt, weshalb einige Werte aus der Aufgabenstellung von Ihnen etwas abweichen können.

Folgende Klimabedingungen sind zugrunde zu legen:

Innenraum: 20 °C / 77%r.F.

Außenluft: -5 °C / 85 % r.F.



B) Ermitteln Sie den μ -Wert des Vollziegels.

C) Ermitteln Sie mit Hilfe des Diffusionsdiagramms bei welcher relativen Luftfeuchte im Innenraum Tauwasserbildung vermieden werden könnte?

2.2.1.3 Beispiel 3: Außenwand aus Beton

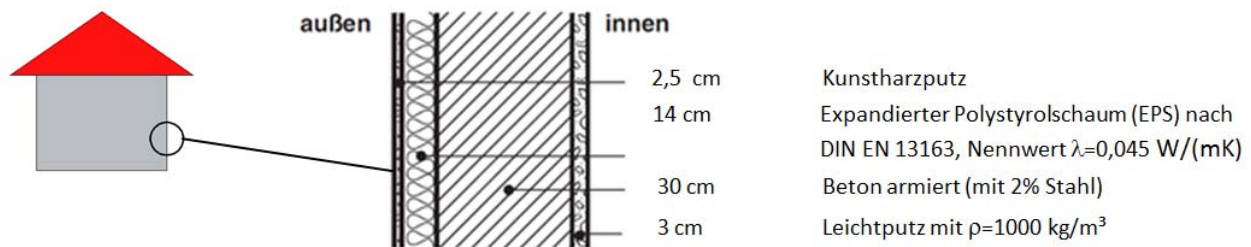


Bild 1: Skizze des Schichtenaufbaus der Außenwand

Für die in Bild 1 skizzierte Außenwand soll ein Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3 durchgeführt werden.

Der Großteil der für die Nachweise erforderlichen Angaben sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

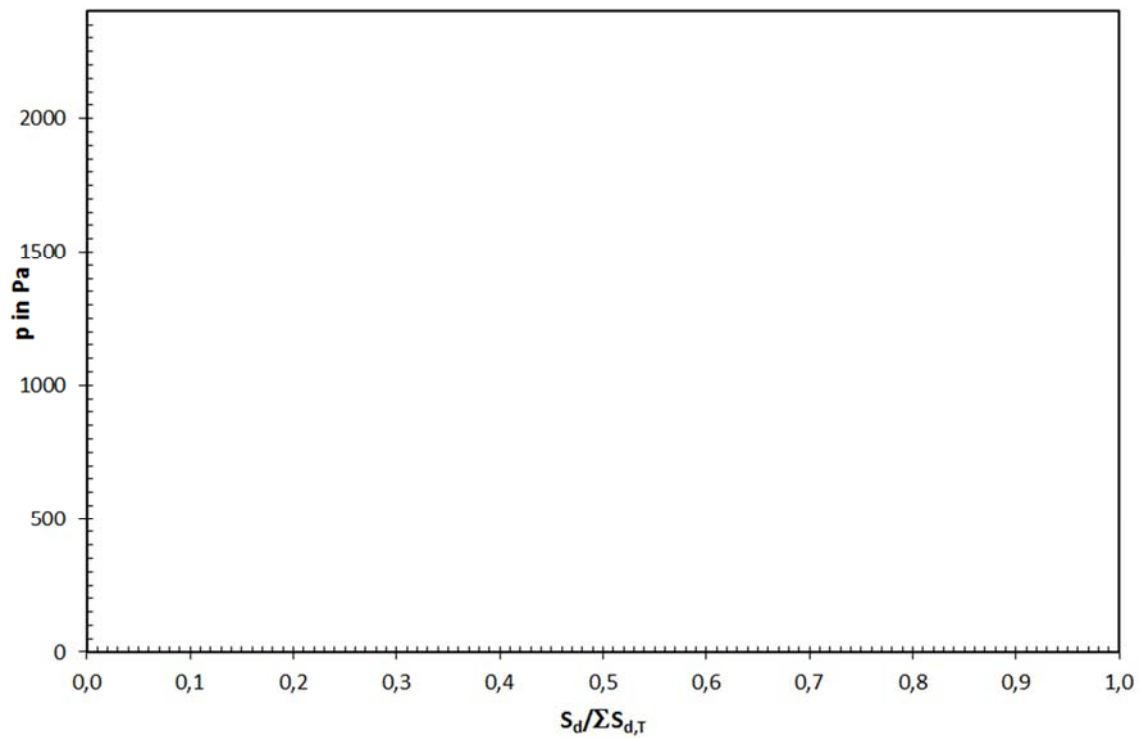
Tabelle 1: Datenbasis für den Wärme- und Feuchteschutznachweis

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	s_d [m]	$\Sigma s_d /$ $s_{d,T}$ [-]	λ [W/ (mK)]	R [(m ² K) /W]	ΔT [K]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen									20	2337
1	Leichtputz	0,030	1000	15/ 20			0,38	0,079	0,8		
2	Beton (1% Stahl)	0,30	2300	80/ 130			2,3	0,130	1,3		
3	EPS	0,14	30	20/ 100			0,053	2,642	25,9		
4	Kunstharz- putz	0,025	1100	50/ 200			0,7	0,036	0,4		
	außen							0,04	0,4	-5	401

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

1. Überprüfen Sie, ob mit Tauwasserausfall zu rechnen ist.
2. Berechnen Sie die Tauwassermenge im Winter,
3. die Verdunstungswassermenge im Sommer und
4. überprüfen Sie die Ergebnisse mit den Anforderungen in der Norm.

Achtung: Entgegen den Vorgaben der Norm soll hier im **Winter** mit einer **rel. Feuchte innen von 60 %** gerechnet, für **außen ist eine rel. Feuchte von 80 %** anzunehmen! Für den **Sommer** sind die Angaben aus der Norm zu verwenden.



- B) Welche absolute Feuchte c in g/m^3 herrscht unter vorgenannten Bedingungen im Winter innen und außen?
- C) Welche rel. Luftfeuchte ϕ herrscht im Innenraum, wenn der Raum unter vorgenannten Bedingungen im Winter gelüftet wird?

2.2.1.4 Beispiel 4: Außenwand aus Holzfaserplatten mit vorgehängter Fassade

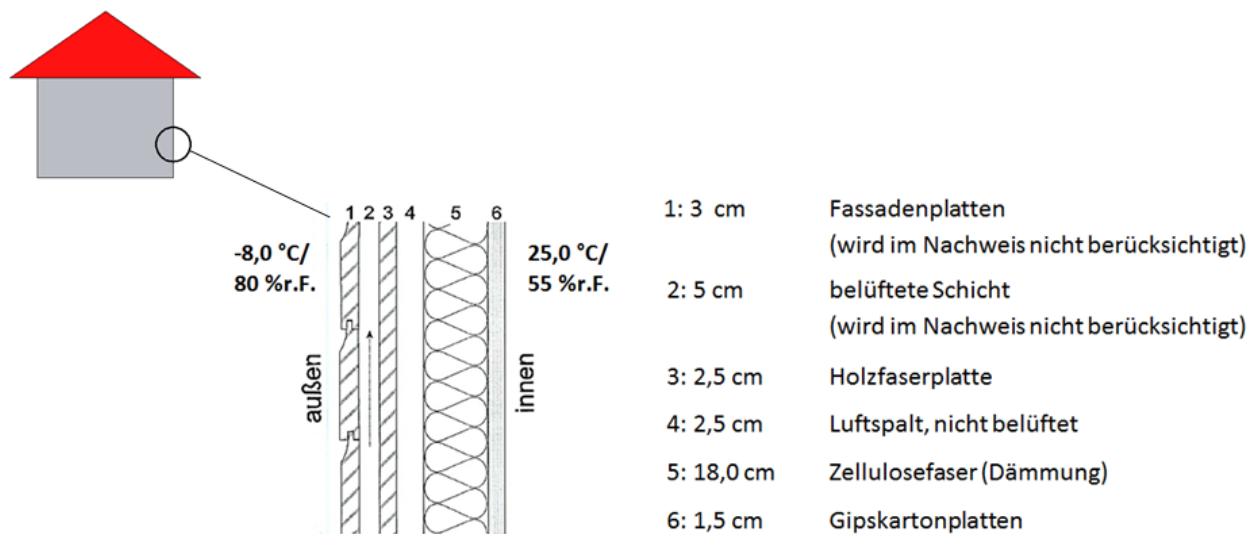


Bild 1: Skizze des Schichtenaufbaus der Außenwand

Für die in Bild 1 skizzierte Außenwand soll ein Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3 durchgeführt werden.

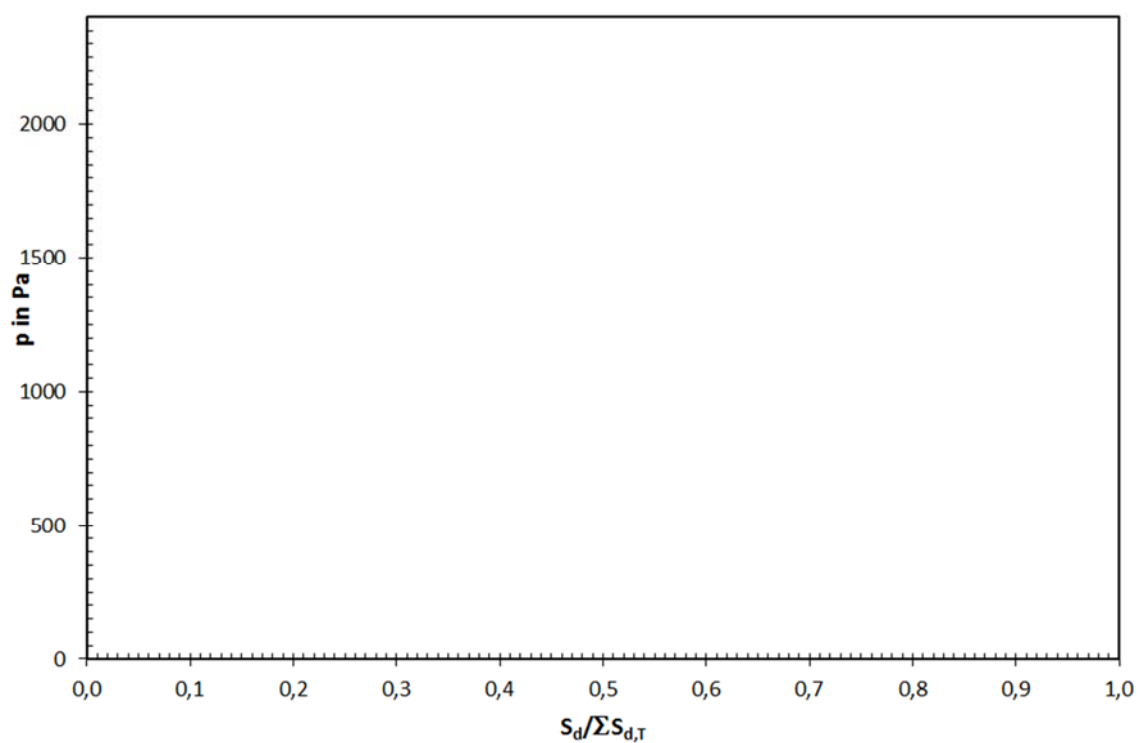
Der Großteil der für die Nachweise erforderlichen Angaben sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	s_d [m]	$\Sigma s_d / s_{d,T}$ [-]	λ [W/(mK)]	R [(m ² K)/W]	ΔT [K]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen									25,0	3166
6	Gipskartonplatten	0,015	700	4/10			0,21	0,07	0,5		
5	Dämmung/ Zellulosefaser	0,18	80	1/2			0,045	4,00	28,4		
4	Luftspalt-nicht belüftet	0,025	1,2	-	0,01		-	0,18	1,3		
3	Holzfaserplatte	0,025	800	20/30			0,18	0,14	1,0		
	außen									-8,0	309
Σs_d							ΣR	4,390	$W/(m^2K)$		
							R_T				
							U				

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

Achtung: Entgegen den Vorgaben der Norm soll hier im Winter mit einer rel. Feuchte innen von 55% gerechnet, für außen ist eine rel. Feuchte von 80% anzunehmen! Die Temperaturen sind der Tabelle bzw. dem Bild zur Aufgabenstellung zu entnehmen.

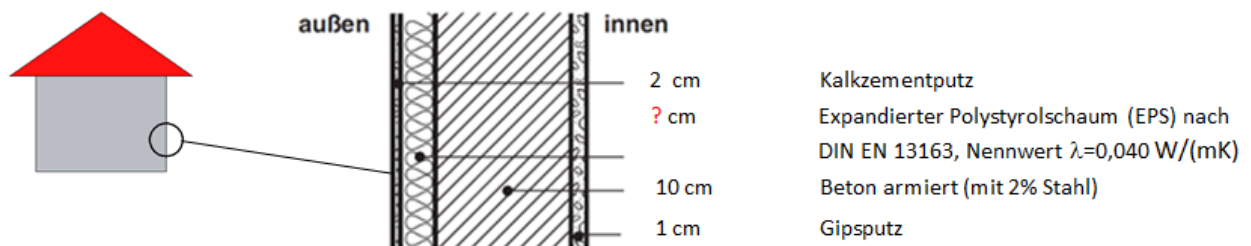
1. Überprüfen Sie, ob mit Tauwasserausfall zu rechnen ist.
2. Berechnen Sie die Tauwassermenge im Winter.
3. überprüfen Sie Ihr Ergebnis für die Tauwassermenge im Winter anhand der Anforderungen in der Norm.



- B) Welche absolute Feuchte c in g/m^3 herrscht unter vorgenannten Bedingungen innen und außen?
- C) Welche rel. Luftfeuchte ϕ herrscht im Innenraum, wenn der Raum unter vor genannten Bedingungen gelüftet wird?

2.2.1.5 Beispiel 5: Niedrig beheizte Außenwand aus Beton

Sie planen folgenden Außenwandaufbau für ein Haus mit niedrigen Innenraumtemperaturen.



	Schicht [-]	Dicke d [m]	μ [-]	λ [W/ (mK)]	R [(m²K) /W]
	innen				
1	Gipsputz	0,010	10	0,51	
2	Beton (1% Stahl)	0,10	60/ 100	1,35	
3	EPS		20/ 50		
4	Kunstharzputz	0,020	15/ 35	1,0	
	außen				

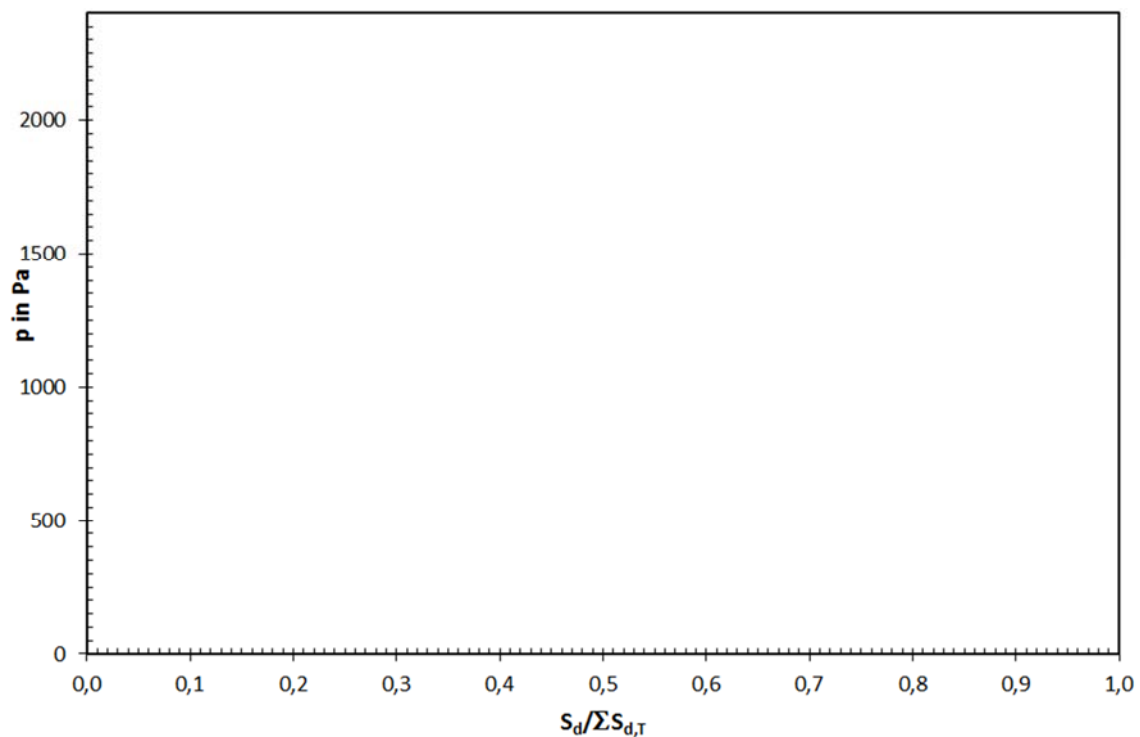
A) In oben stehender Abbildung sind Werte für die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ der geplanten Materialien angegeben.

1. Was verstehen Sie unter dem Begriff Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl?
2. Geben Sie für jede Bauteilschicht den μ -Wert an, den Sie für den Nachweis des Feuchteschutzes (Perioden-Bilanzverfahren) in Ansatz bringen würden. Begründen Sie Ihre Auswahl!

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/ m³]	μ [-]	s_d [m]	$\Sigma s_d /$ $s_{d,T}$ [-]	λ [W/ (mK)]	R [(m²K) /W]	ΔT [K]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen									20	2337
1	Gipsputz ohne Zuschlag	0,015	1200	10			0,51	0,029	1,2		
2	Vollziegel	0,24	2400								
3	PUR Hartschaum nach DIN EN 13165, Nennwert $\lambda_D=0,055$	0,02	80	40/ 200							
4	Kalkzementputz	0,015	1800	15/ 35			1,0	0,015	0,7		
	außen							0,04	1,7	-8,3	
										-5	401
					Σs_d		ΣR				
							R_T				
							U				
									W/(m²K)		

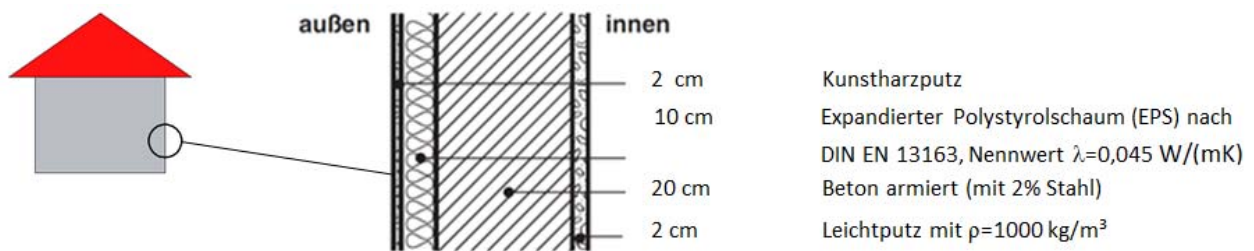
A) Für das Bauteil soll nun der Nachweis des Feuchteschutzes nach DIN 4108-3 geführt werden.

Ist mit Tauwasseranfall während der Tauperiode im Winter zu rechnen? Wenn ja, an welcher Stelle im Bauwerk? Vervollständigen Sie zu diesem Zwecke die Tabelle sowie das Diffusionsdiagramm und nennen Sie sämtliche Zahlenwerte, die Sie für die weitere Berechnung des Tauwasseranfalls aus dem Diagramm benötigen. Eine Berechnung der Tauwassermenge ist nicht erforderlich. (Hinweis: Für den Innen- und für den Außenraum gilt das in der Norm vorgegebene Klima)



2.2.1.7 Beispiel 7: Außenwand aus Beton

Für die im nachstehenden Bild skizzierte Außenwand soll ein Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3 durchgeführt werden.

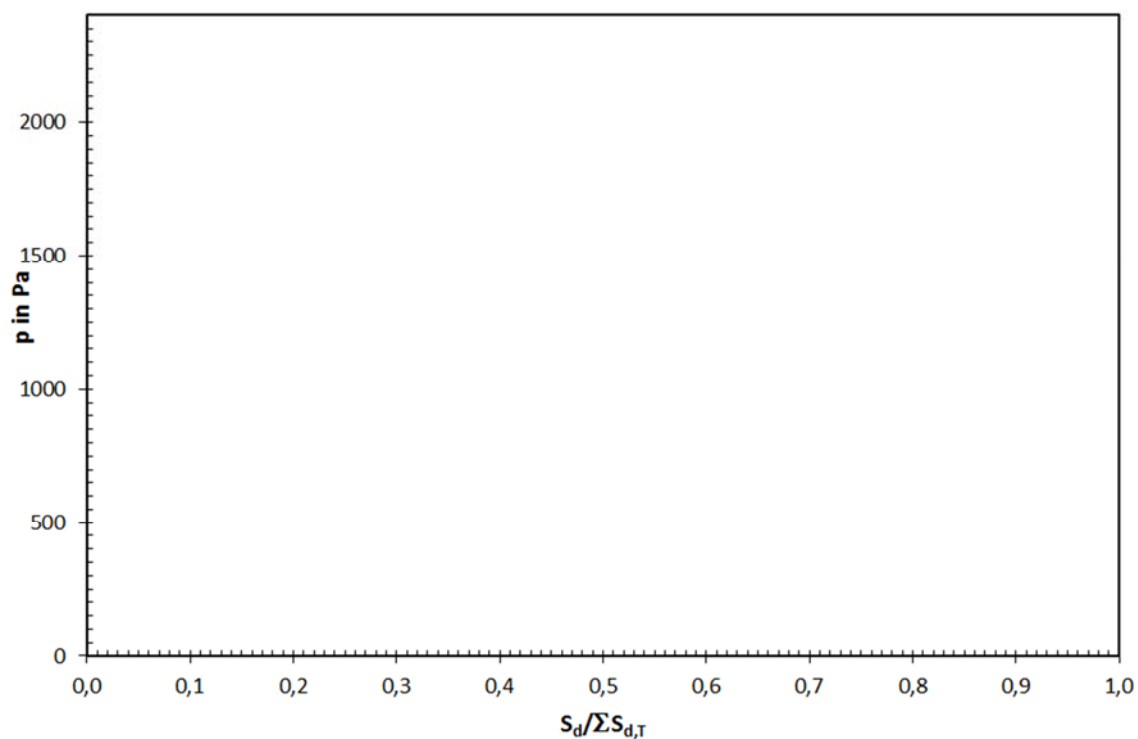


	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m³]	μ [-]	s_d [m]	$\Sigma s_d /$ $s_{d,T}$ [-]	λ [W/ (mK)]	R [(m²K) /W]	ΔT [K]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen										
1	Leichtputz	0,02	1000								
2	Beton (2% Stahl)	0,20	2400						1,1	17,5	
3	EPS	0,10	30						25,4	16,4	
4	Kunstharzputz	0,02	1100	50/ 200			0,7	0,029	0,4	-9,1	
	außen							0,04	0,5	-9,5	
Σs_d							R		W/(m²K)		
							R _T				
							U				

A) Für das Bauteil soll nun der Nachweis des Feuchteschutzes nach DIN 4108-3 geführt werden.

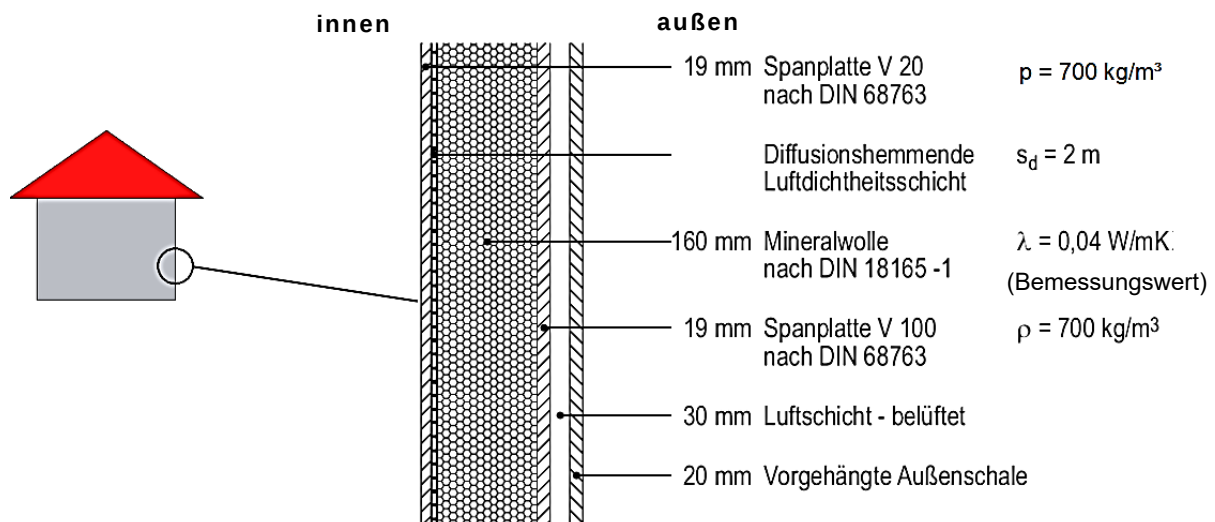
Ist mit Tauwasseranfall während der Tauperiode im Winter zu rechnen? Wenn ja, an welcher Stelle im Bauwerk? Vervollständigen Sie zu diesem Zwecke die Tabelle sowie das Diffusionsdiagramm (Bild 3) und nennen Sie sämtliche Zahlenwerte, die Sie für die weitere Berechnung des Tauwasseranfalls aus dem Diagramm benötigen. Eine Berechnung der Tauwassermenge ist nicht erforderlich.

(Hinweis: Für den Innen- und für den Außenraum gilt das in der Norm vorgegebene Klima)



2.2.1.8 Beispiel 8: Außenwand mit vorgehängter Fassade

In nachstehendem Bild ist der Aufbau einer Außenwand gegeben. Die unten dargestellte Tabelle gibt die Kennwerte für das Außenbauteil an.



	Schicht [-]	Dicke d [m]	μ [-]	s_d [m]	λ [W/(mK)]	R [(m²K)/W]	ΔT [K]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen					0,13		20	2337
1	Spanplatte	0,019	50	0,95	0,13	0,15			
2	Luftdichtheits- schicht	-	-	2,00	-	-			
3	Mineralwolle	0,16	1	0,16	0,04	4,00			
4	Spanplatte	0,019	100	1,90	0,13	0,15			
	außen					0,04		-5	259

A) Für die dargestellte Außenwand wird der Nachweis des Feuchteschutzes nach DIN 4108-3 geführt.

1. Ist mit Tauwasseranfall während der Tauperiode im Winter zu rechnen? Wenn ja an welcher Stelle im Bauwerk? Vervollständigen Sie zu diesem Zwecke das Diffusionsdiagramm (Bild 1).

Folgende Klimabedingungen sind zugrunde zu legen:

Innenraum: 20 °C / 60%r.F.

Außenluft: -10 °C / 80 % r.F.

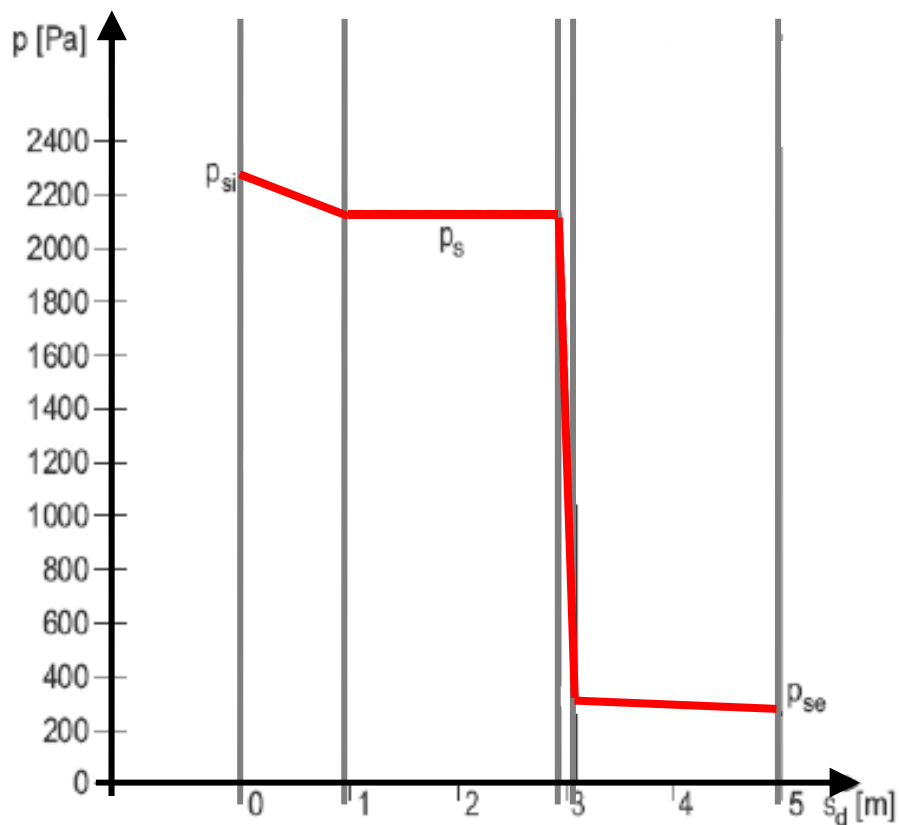


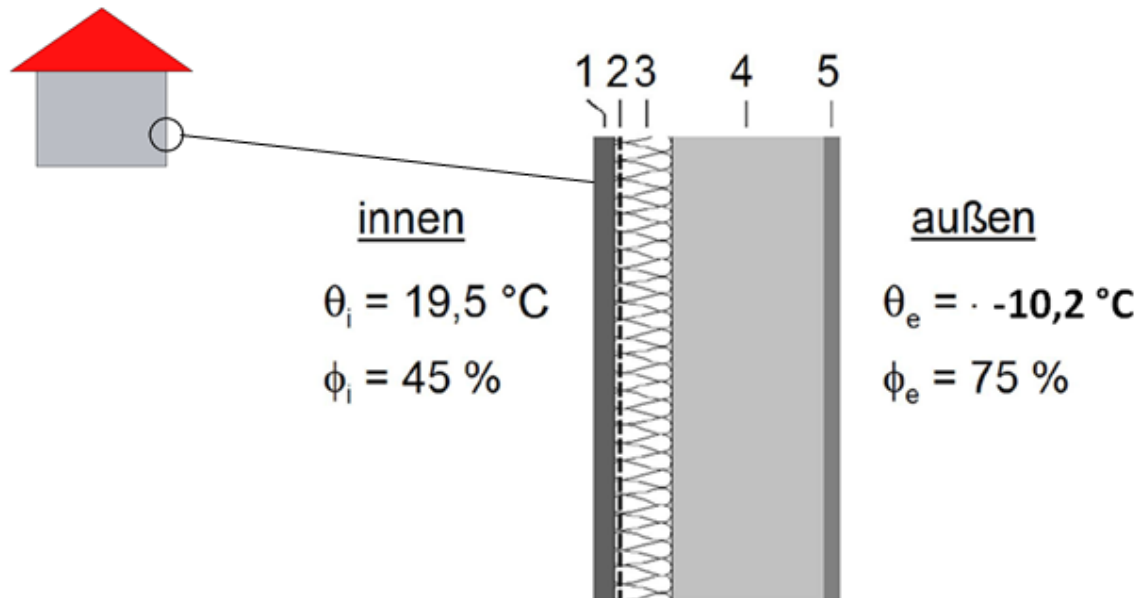
Bild 1: Diffusionsdiagramm zur Ermittlung des Tauwasseranfalls nach DIN 4108-3.

→ Hinweis: Dieses Diagramm wurde nach alter DIN 4108-3 erstellt, weshalb einige Werte aus der Aufgabenstellung von Ihren etwas abweichen können.

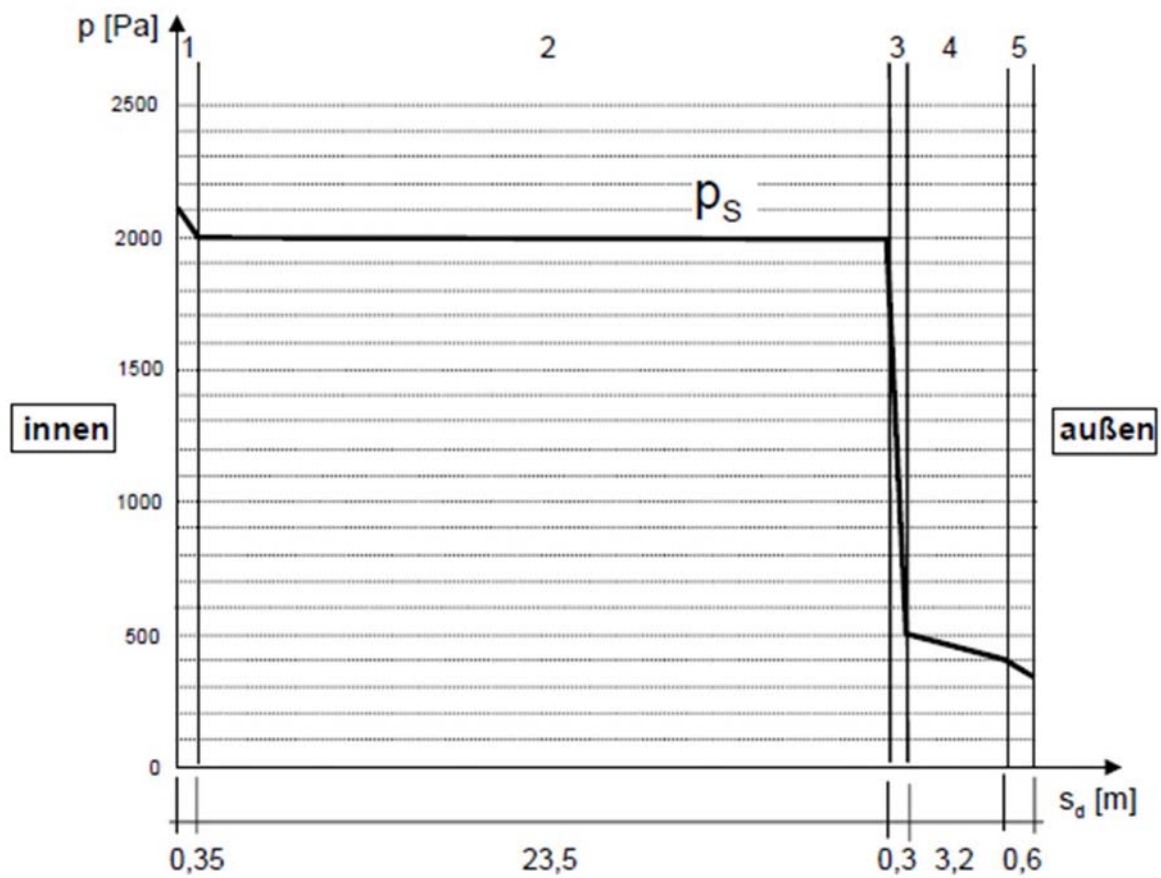
2. Geben Sie die erforderlichen Kennwerte (mit Zahlenwerten) an, die für die Berechnung des Tauwasseranfalls benötigt werden. Berechnen Sie damit die Menge an Tauwasser, die während der Tauperiode anfällt.
3. Welche Anforderungen müssen für den Nachweis des Feuchteschutzes erfüllt werden? Nennen Sie sämtliche Anforderungen aus der Norm, die es zu erfüllen gilt. Weitere Berechnungen zur Überprüfung der Anforderungen sind NICHT erforderlich.

2.2.1.9 Beispiel 9: Außenwand mit Innendämmung

Nachstehende innengedämmte Außenwand soll feuchtetechnisch untersucht werden.



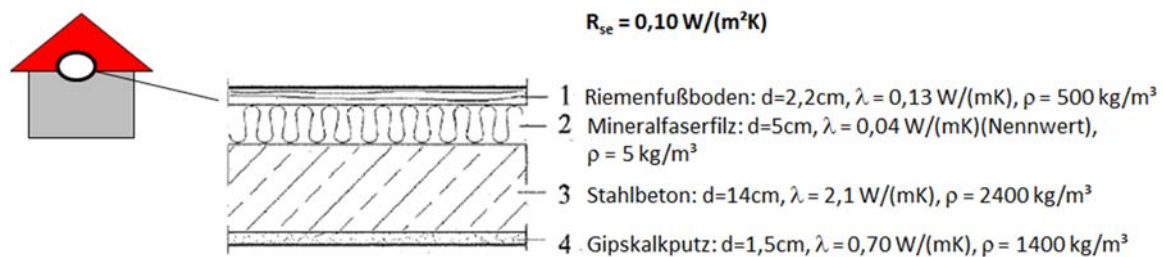
- A) Überprüfen Sie unter Verwendung des zur Verfügung gestellten Diffusionsdiagramms (s. nächste Folie), ob mit Tauwasserbildung zu rechnen ist.
- B) Geben Sie an, bei welcher relativen Luftfeuchte im Innenraum gerade so NICHT mit Tauwasserbildung zu rechnen ist.



→ Hinweis: Dieses Diagramm wurde nach alter DIN 4108-3 erstellt, weshalb einige Werte aus der Aufgabenstellung von Ihnen etwas abweichen können.

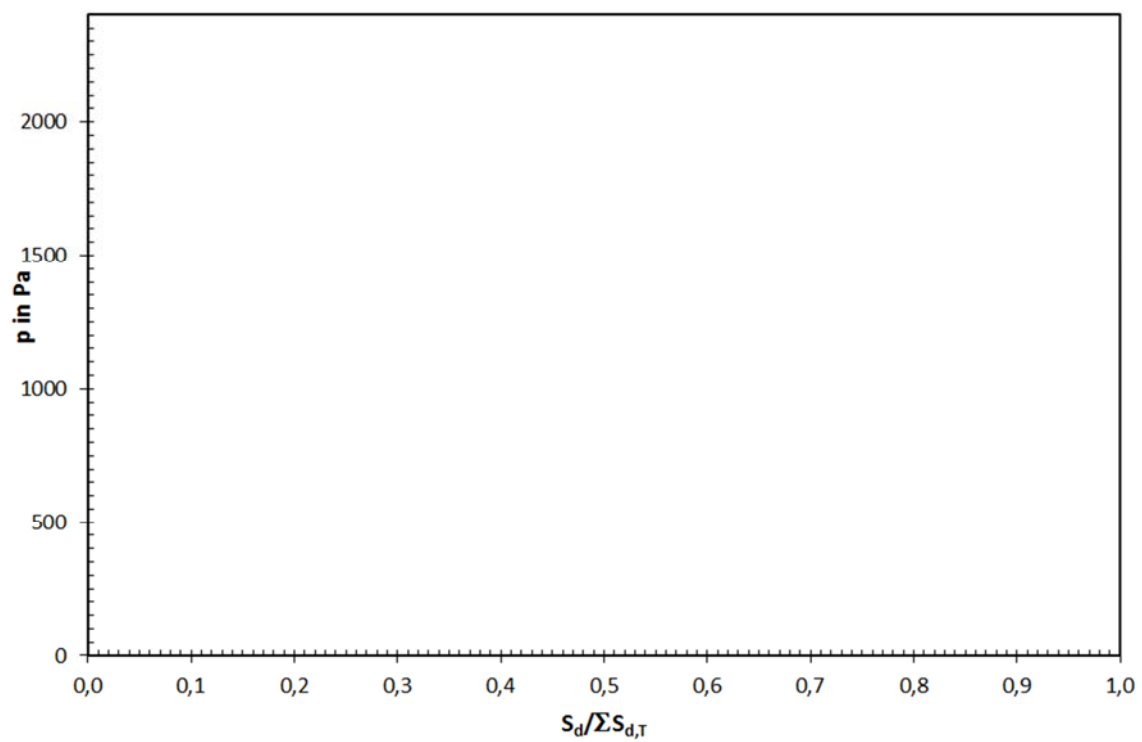
2.2.2 Geschossdecke

2.2.2.1 Beispiel 1: Geschossdecke unter unbeheizten Dachraum



A) Vervollständigen Sie das unten dargestellte Diffusionsdiagramm für das oben dargestellte Bauteil mit Hilfe der nachstehenden Tabelle, indem Sie die diffusionsäquivalenten Luftschichten ausrechnen und den Sättigungsdampfdruckverlauf in das Diagramm einzeichnen. Geben Sie an, an welcher Stelle im Bauteil Sie mit Tauwasserbildung rechnen und begründen Sie ihre Antwort.

	Schicht [-]	Dicke d [m]	μ [-]	s_d [m]	$S_d/\Sigma S_{d,T}$	p_{sat} [Pa]
	außen					517
1	Riemenfußboden	0,022	20/50			586
2	Mineralfaserfilz	0,05	15/20			707
3	Stahlbeton	0,14	80/130			1961
4	Gipskalkputz	0,015	6/10			2089
	innen					2120
						2337



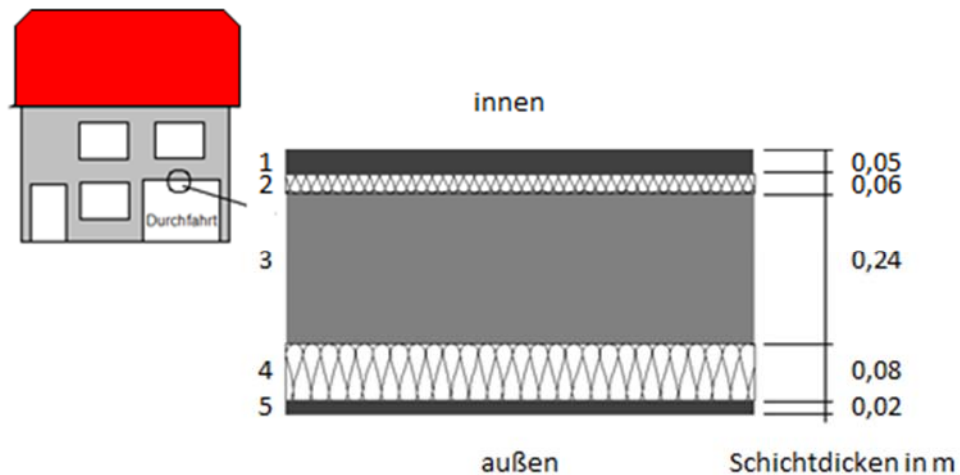
B) Folgende Klimabedingungen liegen in der Umgebung des Bauteils vor:

Innenraum: 20°C/60%r.F

Dachraum: -2°C/80%r.F

Überprüfen Sie grafisch, ob unter diesen Bedingungen mit Tauwasserbildung zu rechnen ist.

2.2.2.2 Beispiel 2: Geschossdecke an Außenluft über Durchfahrt



	Schicht [-]	λ W/(mK)
1	Zementestrich	1,4
2	Trittschalldämmung	0,035
3	Stahlbeton	2,40
4	Wärmedämmung, Nennwert $\lambda_D = 0,044$	
5	Außenputz	1,3

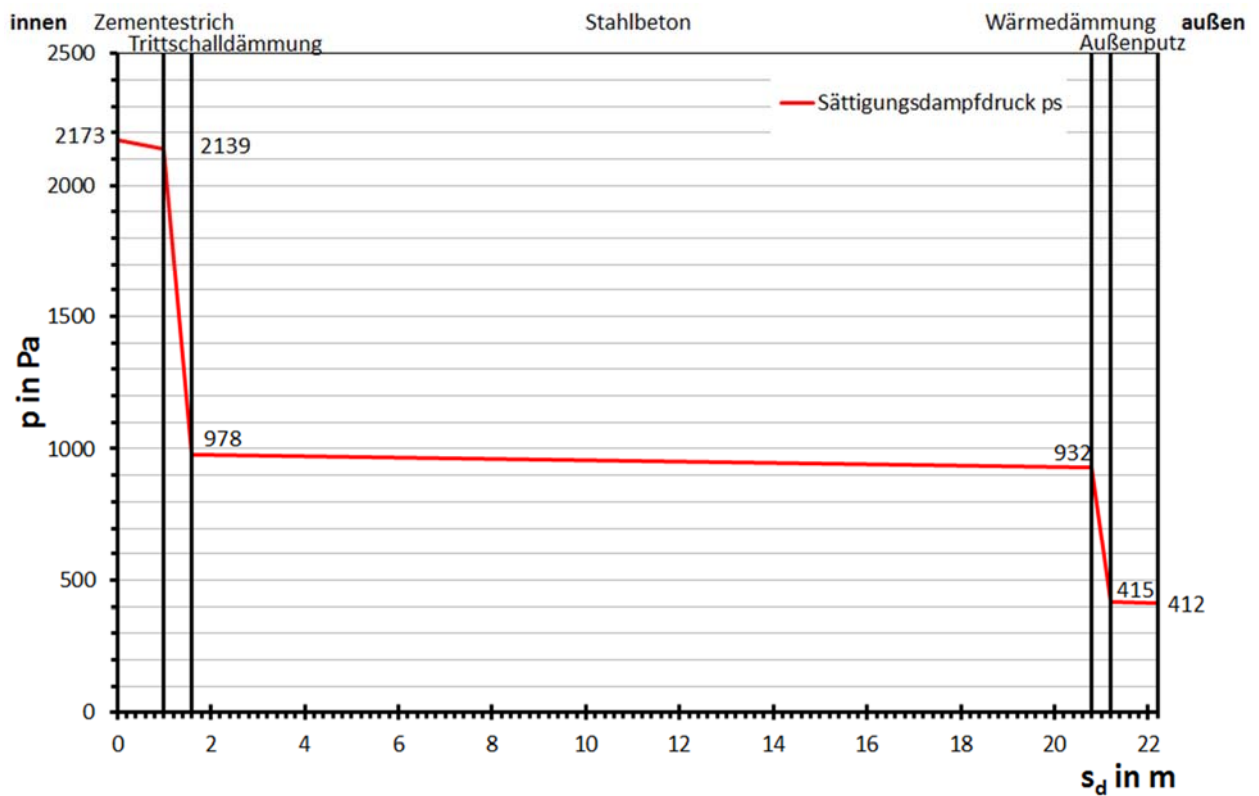
A) Vervollständigen Sie das unten dargestellte Diffusionsdiagramm für das oben dargestellte Bauteil und geben Sie die Tauwassermenge $m_{w,T}$ an. Die einzelnen Bauteilschichten sowie der ps-Verlauf im Wandquerschnitt sind im nachstehenden Diagramm angegeben.

→ Hinweis: Das untenstehende Diagramm wurde nach alter DIN 4108-3 erstellt, weshalb einige Werte aus der Aufgabenstellung von Ihnen etwas abweichen können.

Folgende Klimabedingungen sind zugrunde zu legen:

Innenraum: 20 °C / 54%r.F.

Außenluft: -5 °C / 80 % r.F.



B) Die Dicke des Stahlbetons beträgt 24 cm.

Ermitteln Sie den μ -Wert dieses Materials.

Erklären Sie mit ihren Worten, was die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ über ein Material aussagt.

C) Ermitteln Sie mit Hilfe des Diffusionsdiagramms bei welcher relativen Luftfeuchte im Innenraum Tauwasserbildung vermieden werden könnte?

2.2.2.3 Beispiel 3: Geschossdecke an Außenluft über Eingangsbereich

Für die im nachstehenden Bild gekennzeichnete Geschossdecke (Bereich der Decke, der über den Eingangsbereich ragt), soll ein Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3 durchgeführt werden.

Einige der für die Nachweise erforderlichen Angaben sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die fehlenden Angaben in der Tabelle, die für die Nachweise erforderlich sind, sind durch Sie zu ergänzen.

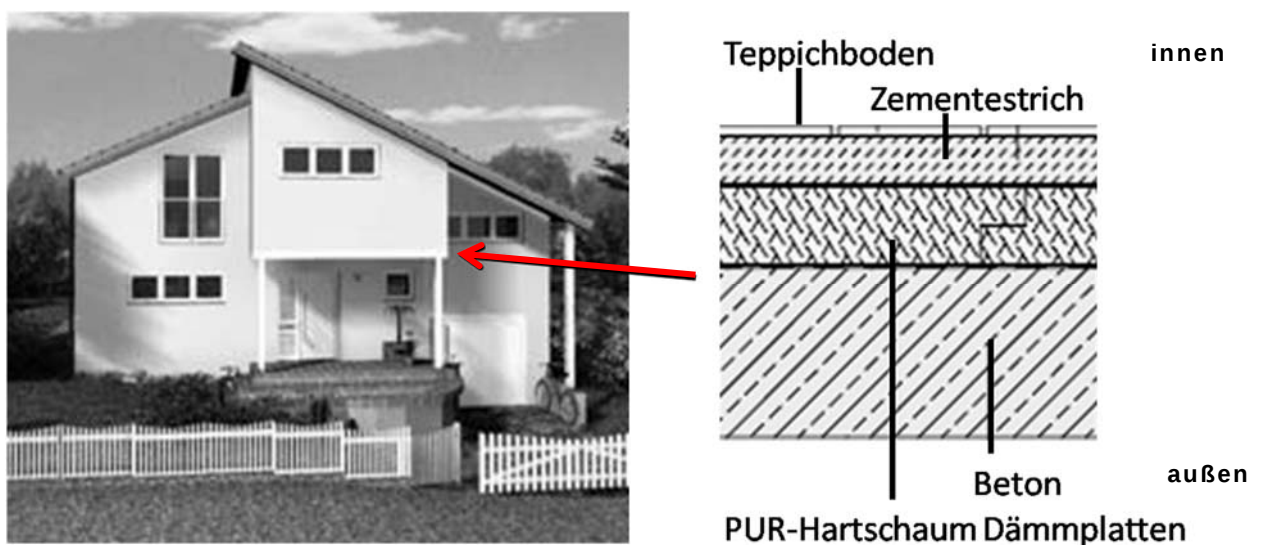


Bild 1: Lage (links) und Schichtenaufbau des Bauteils

- A) Für das Bauteil soll nun der Nachweis des Feuchteschutzes nach DIN 4108-3 geführt werden.

Ist mit Tauwasseranfall während der Tauperiode im Winter zu rechnen? Wenn ja, an welcher Stelle im Bauwerk? Vervollständigen Sie zu diesem Zwecke die Tabelle sowie das Diffusionsdiagramm (Bild 2) und nennen Sie sämtliche Zahlenwerte, die Sie für die weitere Berechnung des Tauwasseranfalls aus dem Diagramm benötigen. Eine Berechnung der Tauwassermenge ist nicht erforderlich. (Hinweis: Für den Innen- und für den Außenraum gilt das in der Norm vorgegebene Klima)

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	s_d [m]	$\Sigma s_d /$ $s_{d,T}$ [-]	λ [W/ (mK)]	R [(m ² K) /W]	ΔT [K]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen									20	2337
1	Teppichboden	0,02	200								
2	Zementestrich	0,05	2000								
3	PUR- Hartschaum, Fußboden- dämmplatte	0,08	30	40/ 200			0,029	2,759	24,2	15,2	
4	Beton	0,18	2300	80/ 130			2,3	0,078	0,7	-9,0	
	außen							0,04	0,4	-9,6	
Σs_d							ΣR			W/(m ² K)	
							R_T				
							U				

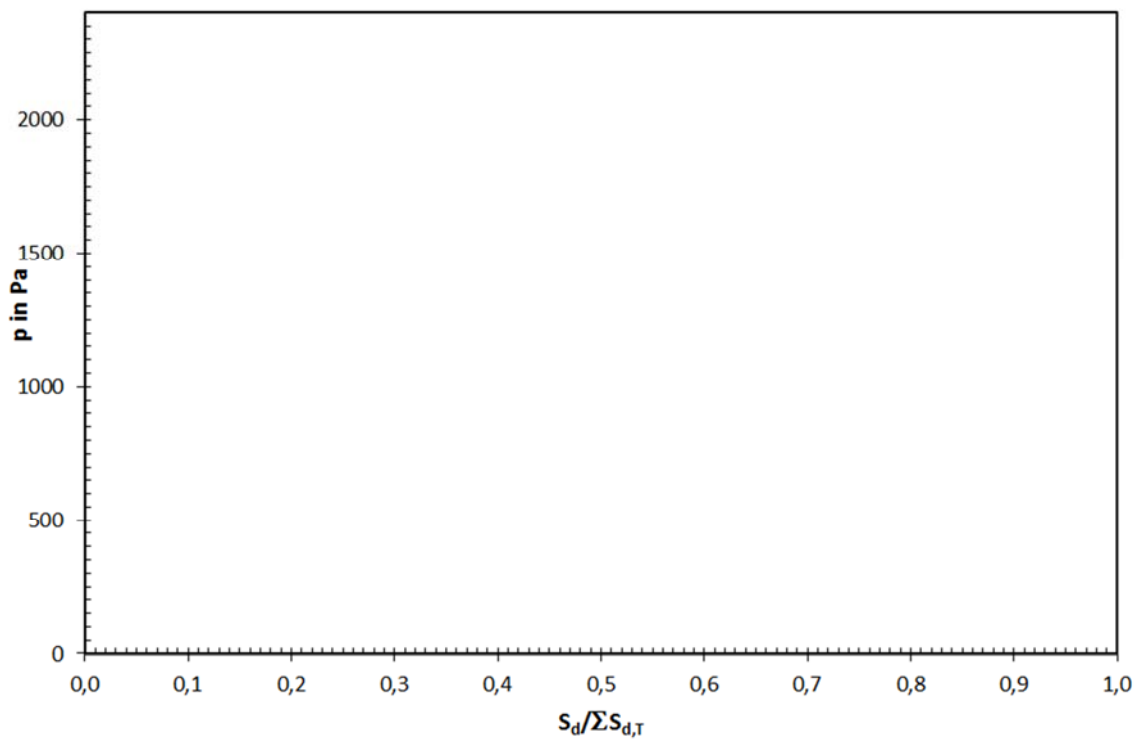
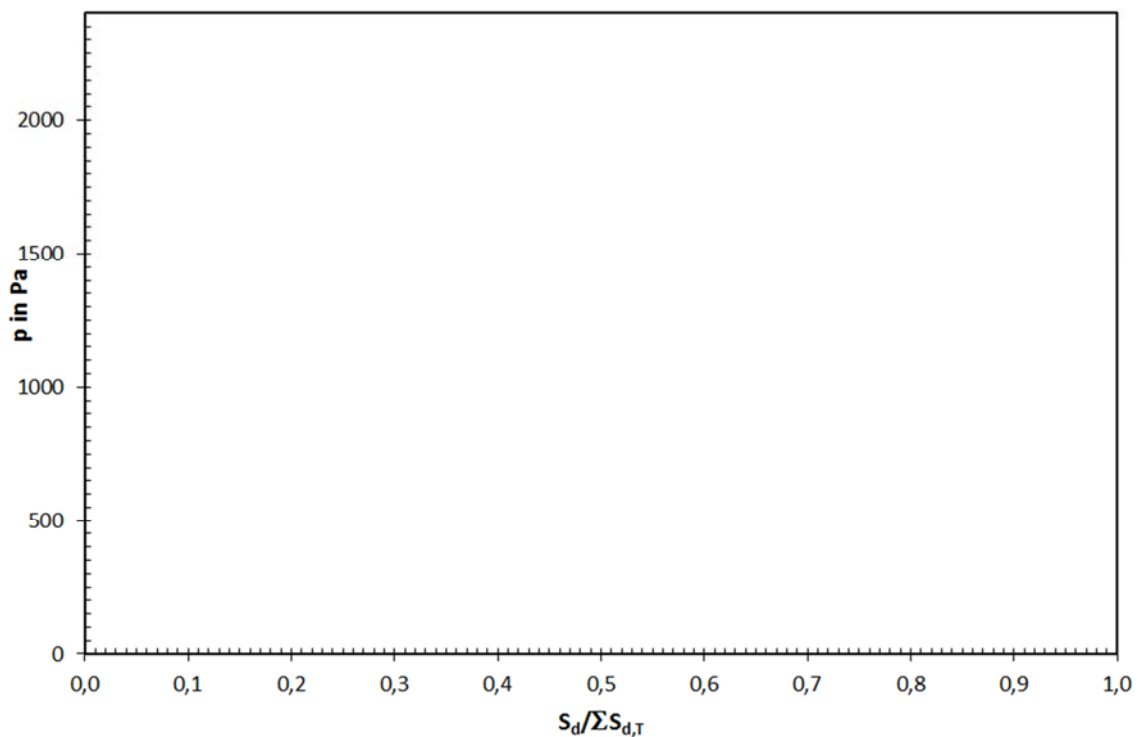


Bild 2: Diffusionsdiagramm

[illegible]

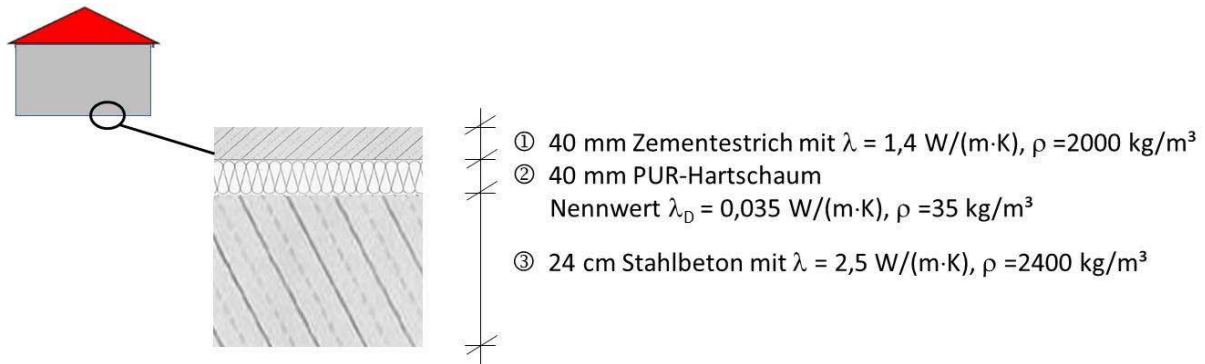
1. Wo rechnen Sie mit Tauwasserausfall? Begründen Sie ihre Antwort!
2. Überprüfen Sie mit Hilfe des Perioden-Bilanzverfahrens, ob mit Tauwasserausfall zu rechnen ist.
3. Nennen Sie sämtliche Zahlenwerte, die Sie für die weitere Berechnung des Tauwasseranfalls aus dem Diagramm benötigen. Eine Berechnung der Tauwassermenge ist nicht erforderlich.



- B) Welche rel. Luftfeuchte ϕ herrscht im Innenraum, wenn der Raum durch öffnen der Dachfenster gelüftet wird und das Außenklima $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $93\text{ \% r.F.}$ aufweist?

2.2.4 Bodenplatte

2.2.4.1 Beispiel 1



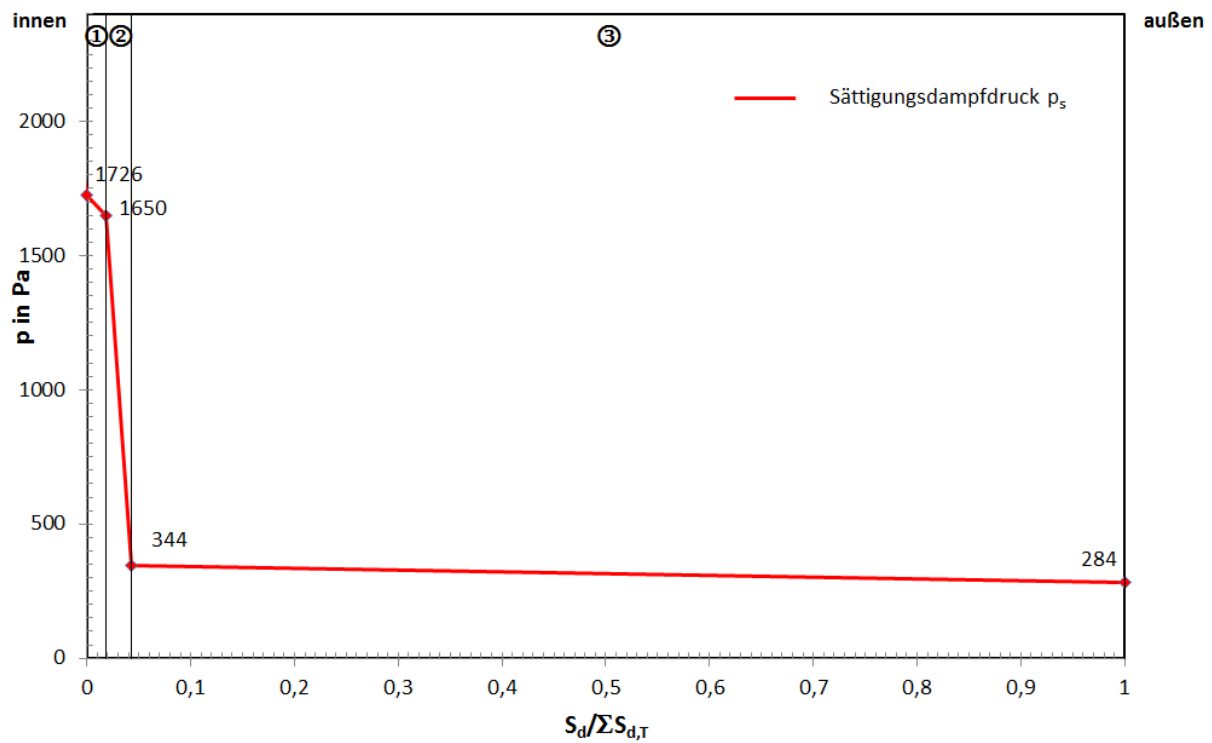
A) Vervollständigen Sie das unten dargestellte Diffusionsdiagramm für das oben dargestellte Bauteil und geben Sie die Tauwassermenge $m_{w,T}$ an. Die einzelnen Bauteilschichten sowie der ps-Verlauf im Wandquerschnitt sind im nachstehenden Diagramm angegeben.

Folgende Klimabedingungen sind zugrunde zu legen:

Innenraum: 19 °C / 60%r.F.

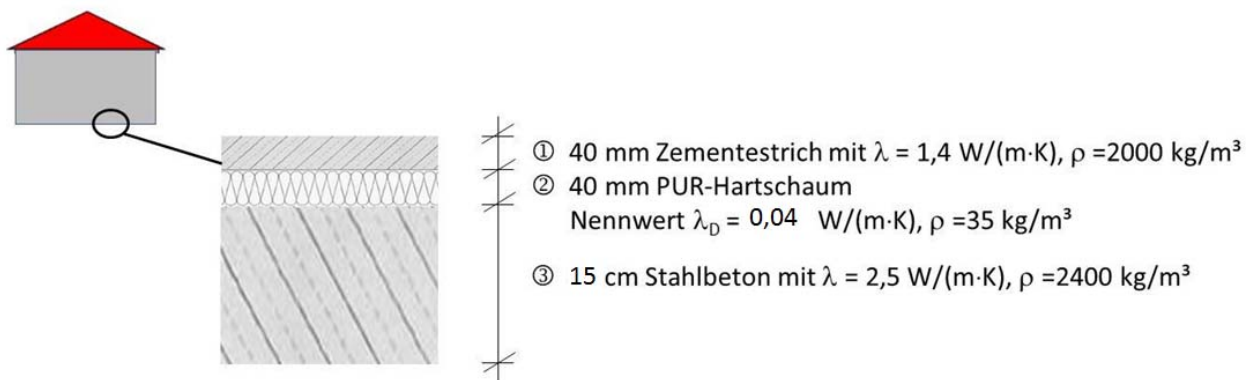
Außenluft: -9 °C / 75 % r.F.

Die gesamte diffusionsäquivalente Luftschichtdicke des Bauteils beträgt:
 $\Sigma S_{d,T} = 32,6 \text{ m}$



- B) Die Dicke des Stahlbetons beträgt 24 cm.
Ermitteln Sie den μ -Wert dieses Materials.
- C) Ermitteln Sie mit Hilfe des Diffusionsdiagramms bei welcher relativen Luftfeuchte im Innenraum Tauwasserbildung vermieden werden könnte? Ist dies eine rel. Feuchte, die üblicherweise in Wohnräumen vorzufinden ist? In welcher Größenordnung liegt die relative Feuchte in Innenräumen?

2.2.4.2 Beispiel 2



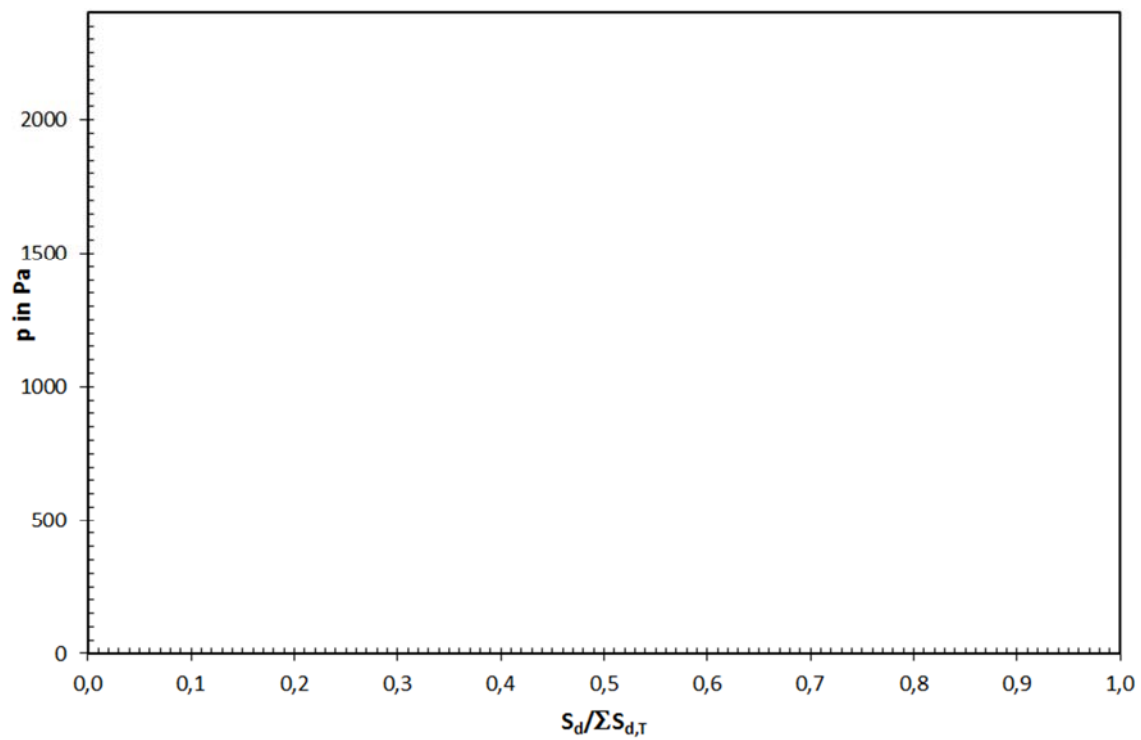
A) Führen Sie den Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3 für das oben dargestellte Bauteil durch. Der Bauteilaufbau ist aus Tabelle 1 zu entnehmen.

Achtung: Entgegen den Vorgaben der Norm soll hier im Winter mit einer rel. Feuchte innen von 63 % r.F. gerechnet, für außen ist eine rel. Feuchte des Erdreichs von 92 % r.F. anzunehmen! Die Temperaturen sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Datenbasis für den Feuchteschutznachweis

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	s_d [m]	$\Sigma s_d / s_{d,T}$ [-]	λ [W/(mK)]	R [(m ² K)/W]	ΔT [K]	θ [°C]	p_s [Pa]
	innen									18,0	2063
1	Zement- estrich	0,04	2000	15/ 35			1,40	0,029	0,7		
2	PS- Hartschaum	0,04	35	20/ 50			0,048	0,833	19,8		
3	Stahlbeton (2% Stahl)	0,15	2400	80/ 130			2,50	0,060	1,4		
	außen							0,00	0,0	-8	309

1. In welcher Schicht rechnen Sie mit Tauwasserausfall?
Begründen Sie ihre Antwort!
2. Überprüfen Sie, ob mit Tauwasserausfall zu rechnen ist.
3. Berechnen Sie die Tauwassermenge im Winter.
4. Überprüfen Sie Ihr Ergebnis für die Tauwassermenge im Winter anhand der Anforderung in der Norm.



- B) Welche absolute Feuchte c in g/m^3 herrscht unter vorgeannten Bedingungen innen?
- C) Welche rel. Luftfeuchte ϕ herrscht im Innenraum, wenn der Raum durch öffnen der Fenster gelüftet wird und das Außenklima $-5\text{ }^\circ\text{C}$ und $86\text{ \% r.F.}$ aufweist?

2.2.5 Raumklima

2.2.5.1 Beispiel 1

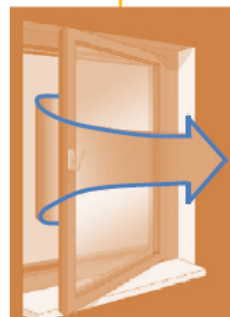
A) In einem Wohnraum sind folgende Klimabedingungen vorhanden:
Temperatur $\theta = 20^\circ\text{C}$

1. Um die Luftfeuchte zu reduzieren, öffnet der Bewohner das Fenster. Das Außenklima beträgt 10°C , 100 %r.F.. Welche relative Feuchte ϕ [% r.F.] herrscht nach Austausch der Luft mit der Außenluft im Raum?

gegeben

Außenlufttemperatur: 10°C

Rel. Luftfeuchte außen: 100% r.F.



gegeben:

Innenlufttemperatur: 20°C

gesucht:

rel. Luftfeuchte innen nach ausgiebigem Lüften

B) In einer Kellerwohnung sind folgende Klimabedingungen vorhanden:
Raumtemperatur $\theta = 20\text{ °C}$; Wandtemperatur $\theta = 15\text{ °C}$

1. Um die Luftfeuchte zu reduzieren, öffnet der Bewohner das Fenster. Das Außenklima beträgt 25 °C , $60\text{ \%r.F.}$. Welche relative Feuchte ϕ [% r.F.] herrscht nach Austausch der Luft mit der Außenluft im Raum?
2. Welche Menge an Tauwasser fällt an der Wandoberfläche aus, wenn diese eine Temperatur von 15 °C hat?
3. Auf welche Temperatur müsste die Wand erhöht werden, damit kein Tauwasser ausfällt?

gegeben
Außenlufttemperatur: 25 °C
Rel. Luftfeuchte außen: $60\text{ \% r.F.}$



gegeben:
Raumtemperatur Keller: 20 °C
Wandtemperatur Keller: 15 °C

Keller

gesucht:
- rel. Luftfeuchte innen nach ausgiebigem Lüften
- anfallende Tauwassermenge
- erforderliche Wandtemperatur

2.2.5.2 Beispiel 2

In einem Raum ist folgende Nutzung vorhanden:

- 1 Mensch, leichte Aktivität (8 Stunden pro Tag)
- 1 kleine Zimmerpflanze 7 g/h

Volumen des Zimmers $V = 30 \text{ m}^3$

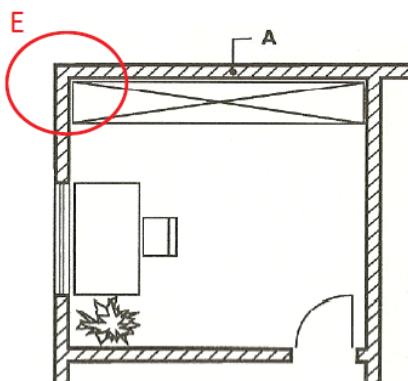
- A) Ermitteln Sie die täglich zu erwartende Feuchtelast des Raumes infolge Nutzung in g/m^3
- B) Ermitteln Sie die relative Luftfeuchte im Raum im Sommer wie im Winter unter der Annahme, dass die Raumtemperatur konstant bei 20°C gehalten werden kann.
Der anzunehmende absolute Feuchtegehalt im Raum ergibt sich aus der Feuchtelast infolge Nutzung innerhalb von 6 h Stunden (hier wird alle 6 h, d.h. 4 mal am Tag gelüftet) und dem „Grund“feuchtegehalt infolge des Außenklimas (Sommer: $c = 10 \text{ g/m}^3$, Winter: $c = 3,8 \text{ g/m}^3$)
- C) Ermitteln Sie die relative und die absolute Feuchte im Raum nach Austausch der Raumluft mit der Außenluft durch Lüften im Sommer wie im Winter. Nehmen Sie dabei folgende Außenklimabedingungen zum Zeitpunkt des Lüftens an:
Sommer: $\theta = 27^\circ\text{C}$, $\phi = 65\% \text{ r.F.}$ Winter: $\theta = 6^\circ\text{C}$, $\phi = 87\% \text{ r.F.}$
Gehen Sie hierbei davon aus, dass die Raumtemperatur nach dem Lüften konstant bei 20°C gehalten wird.
- D) Welche Menge an Feuchte (in g/m^3) konnte durch Lüften abtransportiert werden bzw. wurde dem Raum zusätzlich zugeführt?
- E) Welche Menge an Tauwasser fällt vor dem Lüften im Winter aus, wenn die Raumtemperatur infolge eines Defekts an der Heizungsanlage um 10°C gesenkt wird?

	Art	Feuchteabgabe [g/h]
Mensch	leichte Aktivität	30 - 60
	mittelschwere Arbeit	120 - 200
	schwere Arbeit	200 - 300
Bad	Wannenbad	ca. 700
	Duschen	ca. 2600
Küche	Koch- und Arbeitsvorgänge	600 - 1200
Pflanzen	Zimmerblumen	5 - 10
	Topfpflanzen	7 - 15
	Mittelgroßer Gummibaum	10 - 20
	Wasserpflanzen	6 - 8
Wäsche	4,5 kg geschleudert	50 - 200
	4,5 kg topfnass	100 - 500
Freie Wasseroberfläche	pro m ²	ca. 40

[Daten aus: DBV-Merkblatt]

2.2.5.3 Beispiel 3

Im Eckbereich E der Außenwand des im nachstehenden Bild abgebildeten Raumes tritt Tauwasser auf, welches bereits zu einer Schimmelpilzbildung geführt hat.



Welche der folgenden Aussagen sind im Bezug zu diesem Schadenfall richtig bzw. falsch? (Alle Aussagen werden bei Betrachtung von Wintertemperaturen gemacht.)

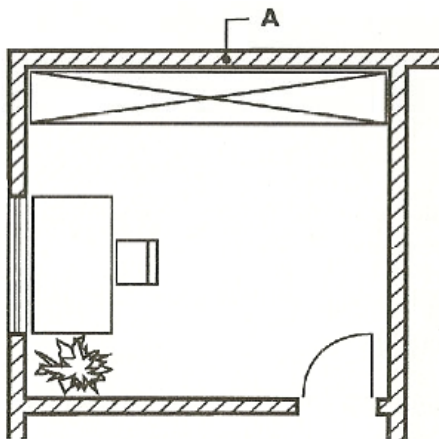
- A.) Durch den Schrank wird die Oberflächentemperatur der Innenseite der Außenwand herab gesetzt. Dies führt zu einer Reduzierung des Sättigungsdampfdrucks p_s an der Innenoberfläche und somit zur Erhöhung der relativen Feuchte.
- B.) Durch den Schrank wird die Oberflächentemperatur der Außenwand Innenseite erhöht. Dies führt zu einer Erhöhung des Partialdampfdrucks p_D an der Innenoberfläche und somit zur Erhöhung der relativen Feuchte.
- C.) Die dargestellte Ecke ist von allen dargestellten Wandbereichen im Hinblick auf Tauwasseranfall am kritischsten zu betrachten, da hier eine geometrische Wärmebrücke vorhanden ist, die in einer niedrigeren Innenoberflächentemperatur resultiert.
- D.) Durch das Aufbringen einer Innendämmung kann zwar die Oberflächentemperatur an der Innenseite erhöht, die Temperatur an der Grenzschicht zwischen „alter“ Wand und Dämmung wird jedoch reduziert, so dass hier weiterhin mit Schimmelpilz zu rechnen ist.
- E.) Durch Öffnen des Fensters kann der Partialdampfdrucks p_D im Raum reduziert werden, was wiederum die relative Feuchte und somit die Gefahr der Schimmelpilzbildung reduziert.

F.) Die Feuchteproduktion durch Menschen, Pflanzen und Lebensgewohnheiten hat keinen Einfluss auf die Gefahr der Schimmelpilzbildung im Eckbereich dieses Raumes.

Im dargestellten Raum sind folgende Klimabedingungen vorhanden:

Temperatur $\theta = 20^\circ\text{C}$, absolute Feuchte $c = 12 \text{ g/m}^3$.

A) Welche relative Luftfeuchte herrscht im Innenraum?



Um die Luftfeuchte zu reduzieren, öffnet der Bewohner das Fenster.

B) Welche relative Luftfeuchte wird im Raum nach öffnen des Fensters erreicht werden, wenn das Außenklima:

1. $22,5^\circ\text{C}$, 75% r.F. beträgt (Sommertag) bzw.
2. 5°C , 90 % r.F. (Wintertag) beträgt?

C) Welche Menge an Feuchte (c in g/m^3) konnte durch Lüften abtransportiert werden bzw. wurde dem Raum zusätzlich zugeführt?
(eine zusätzliche Feuchteproduktion im Innenraum wird nicht berücksichtigt)

D) Um welche Temperatur kann der Raum im Sommer abgekühlt werden, bevor mit Tauwasserausfall zu rechnen ist?

E) Ein Büroraum mit einer Grundrissfläche von 20 m^2 und einer Höhe von $2,5 \text{ m}$ wird von einer Person täglich 8 Stunden für Schreibtischarbeit genutzt (Feuchteabgabe rd. 45 g/h). Zusätzlich stehen 5 kleine Zimmerpflanzen im Raum (Feuchteabgabe rd. 10 g/h). Welche Feuchtemenge c in g/m^3 resultiert täglich allein aus dieser Nutzung?

2.2.5.4 Beispiel 4

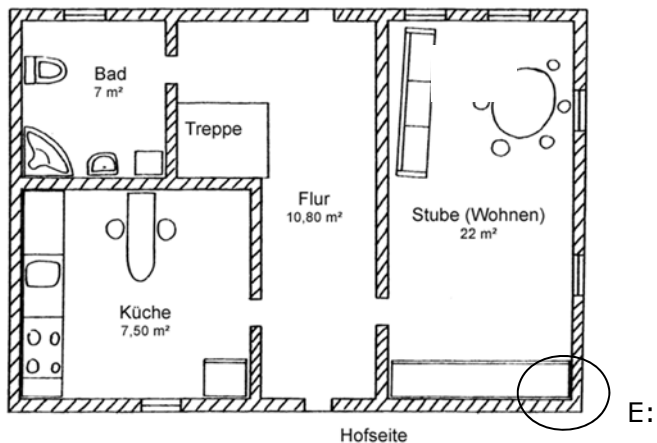
In einem Wohnraum sind im Winter folgende Klimabedingungen vorhanden:
Temperatur $\theta = 17,7\text{ °C}$, relative Feuchte $\phi = 92\text{ \% r.F.}$.

- A) Beantworten Sie die im folgenden aufgeführten Fragestellungen, begründen Sie jeweils ihre Antwort:
1. Mit welchen Schäden hat der Bewohner dieses Wohnraums zu rechnen, wenn diese Klimaverhältnisse über einen längeren Zeitraum vorherrschen?
 2. Welche Maßnahmen empfehlen Sie dem Bewohner, um den vorgenannten Schadensbild vorzubeugen? Nennen Sie mindestens 2 Maßnahmen.
- B) Welchen Wert der absoluten Feuchte c [g/m^3] hat der Innenraum?
- C) Um die Luftfeuchte zu reduzieren, öffnet der Bewohner das Fenster. Das Außenklima beträgt $13,9\text{ °C}$, $82\text{ \% r.F.}$. Welche relative Feuchte ϕ [% r.F.] herrscht nach Austausch der Luft mit der Außenluft im Raum?
- D) Welche Menge an Feuchte (c in g/m^3) konnte durch Lüften abtransportiert werden bzw. wurde dem Raum zusätzlich zugeführt? (eine zusätzliche Feuchteproduktion im Innenraum wird nicht berücksichtigt)
- E) Welche Menge an Tauwasser fällt vor dem Lüften aus, wenn die Raumtemperatur um 3 °C gesenkt wird?

2.2.5.5 Beispiel 5

- A) In einem Wohnraum sind folgende Klimabedingungen vorhanden:
Temperatur $\theta = 21,4^\circ\text{C}$, relative Feuchte $c = 13,9 \text{ g/m}^3$.
4. Welche relative Feuchte ϕ [% r.F.] herrscht im Innenraum?
 5. Um die Luftfeuchte zu reduzieren, öffnet der Bewohner das Fenster. Das Außenklima beträgt $26,4^\circ\text{C}$, 71 %r.F.. Welche relative Feuchte ϕ [% r.F.] herrscht nach Austausch der Luft mit der Außenluft im Raum?
- B) Welche Menge an Feuchte (c in g/m^3) konnte durch Lüften abtransportiert werden bzw. wurde dem Raum zusätzlich zugeführt? (eine zusätzliche Feuchteproduktion im Innenraum wird nicht berücksichtigt)

2.2.5.6 Beispiel 6



In oben dargestellter Wohnstube sind folgende Klimabedingungen vorhanden:
Temperatur $\theta = 21^\circ\text{C}$, absolute Feuchte $c = 14 \text{ g/m}^3$.

- Welche relative Luftfeuchte herrscht im Innenraum?
- Um die Luftfeuchte zu reduzieren, öffnet der Bewohner das Fenster. Welche relative Luftfeuchte wird im Raum nach öffnen des Fensters erreicht, wenn das Außenklima -7°C , 95 % r.F. beträgt?
- Welche Menge an Feuchte (c in g/m^3) konnte durch Lüften abtransportiert werden bzw. wurde dem Raum zusätzlich zugeführt? (eine zusätzliche Feuchteproduktion im Innenraum wird nicht berücksichtigt)
- Durch welche Maßnahme könnte die Gefahr der Schimmelpilzbildung in der Ecke E des Wohnraums reduziert werden? Begründen Sie ihre Antwort!

2.2.5.7 Beispiel 7

A) In einem Wohnraum eines Einfamilienhauses sind folgende Klimabedingungen vorhanden:

Temperatur $\theta = 22,5^\circ\text{C}$, absolute Feuchte $c = 15,2 \text{ g/m}^3$.

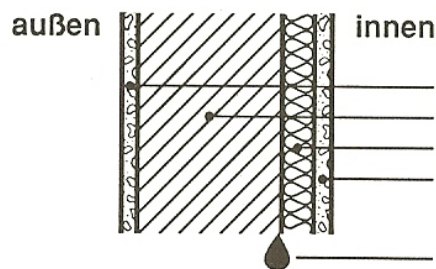
1. Welche relative Luftfeuchte herrscht im Innenraum?
2. Um die Luftfeuchte zu reduzieren, öffnet der Bewohner das Fenster. Welche relative Luftfeuchte wird im Raum nach öffnen des Fensters erreicht werden, wenn das Außenklima A) $24,2^\circ\text{C}$, 73 % r.F (Sommertag) bzw. B) $-8,4^\circ\text{C}$, 94 % r.F. (Wintertag) beträgt?

B) Welche Menge an Feuchte (c in g/m^3) konnte durch Lüften abtransportiert werden bzw. wurde dem Raum zusätzlich zugeführt? (eine zusätzliche Feuchteproduktion im Innenraum wird nicht berücksichtigt)

C) Welche Menge an Tauwasser fällt im Sommer aus, wenn die Raumtemperatur um $4,5^\circ\text{C}$ gesenkt wird?

2.2.5.8 Beispiel 8

Im Querschnitt der unten schematisch abgebildeten Außenwandkonstruktion tritt Tauwasser auf:



Kunstharzput

Mauerwerk aus Kalksandstein nach DIN V 106 ($\rho=1200$

Wärmedämmung Polyurethan-Hartschaum

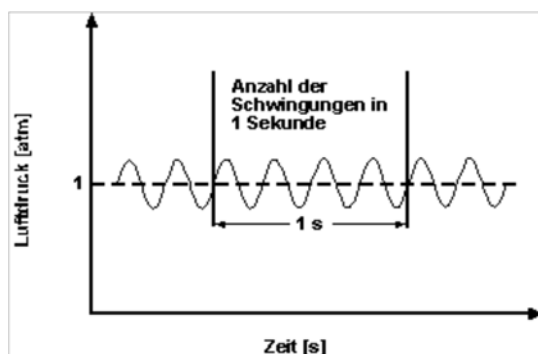
Leichtputz ($\rho=850 \text{ kg/m}^3$)

Tauwasser

Welche Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen sind für diese Konstruktion für den feuchtetechnischen Nachweis nach DIN 4108-3 zu wählen? Geben Sie die entsprechenden Zahlenwerte an und begründen Sie ihre Wahl.

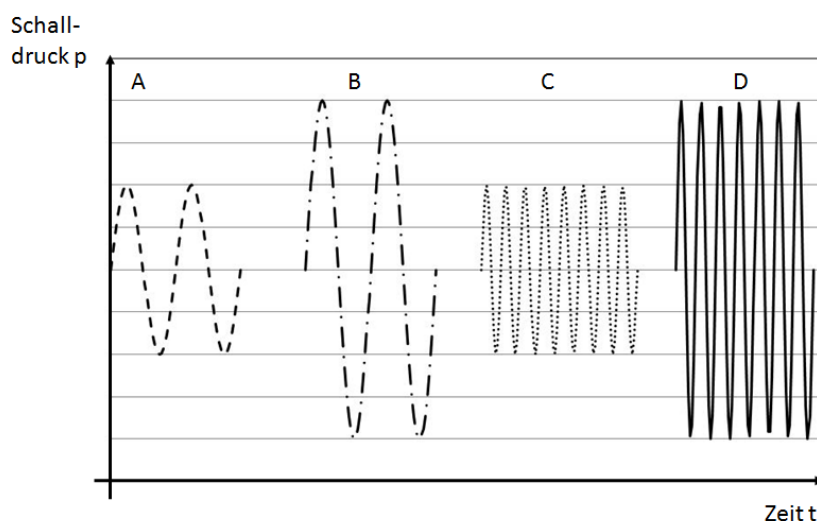
3 Schallschutz

1. Vor welchen Schallquellen muss der Mensch in Gebäuden geschützt werden?
2. Beschreiben Sie wie Schall transportiert wird.
3. Was versteht man unter Luftschall? Nennen Sie Schallquellen für Luftschall.
4. Erläutern Sie die Begriffe Körperschall und Trittschall. Nennen Sie entsprechende Quellen.
5. Welche Schallübertragungswege in Gebäuden gibt es?
6. Erläutern Sie die Begriffe Frequenz, Wellenlänge, Amplitude
7. Welche Frequenz hat nachfolgend dargestellter Ton:

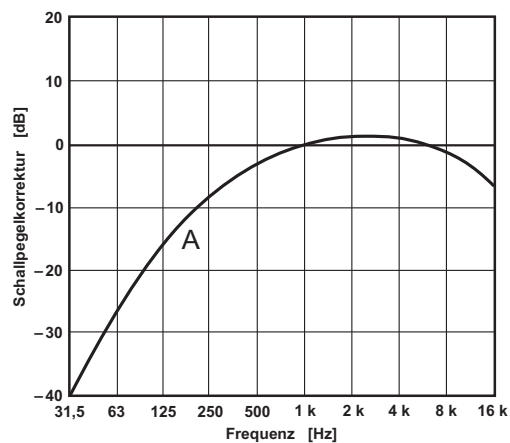


8. Erläutern Sie die Begriffe Schall, Ultraschall und Infraschall?
9. Welcher Frequenzbereich ist für die Bauakustik relevant?
10. Welcher Zusammenhang besteht zwischen Geschwindigkeit, Frequenz und Wellenlänge? Welche Wellenlänge weist eine Schallwelle auf, die sich in Luft ausbreitet und mit einer Frequenz von $f=200$ Hz schwingt?
11. Wovon hängt die Schallgeschwindigkeit ab? Ist die Schallgeschwindigkeit in Luft geringer als in Mauerwerk?
12. Was versteht man unter dem Schalldruck p ?
13. In welchem Bereich des Schalldrucks p kann der Mensch Geräusche wahrnehmen?
14. Wie ist der Schalldruckpegel L definiert?
15. Das Lautstärkeempfinden des Menschen ist subjektiv geprägt. Töne welcher Frequenzen werden bei konstantem Schalldruckpegel lauter empfunden?
16. Wie hört man bei gleichem Schalldruckpegel einen Ton mit 125 Hz im Vergleich zu einem Ton mit 1250 Hz? Erklären Sie. a) leiser, b) gleich laut, c) lauter

17. Wie unterscheiden sich die nachstehend dargestellten Töne im subjektiven Empfinden des Menschen?



18. Warum werden gemessene Schalldruckpegel in der Regel anschließend „bewertet“ (z.B. nach der A-Bewertung)?
19. In einem Messraum wurde ein Ton mit einer Frequenz von 63 Hz erzeugt und der Schallpegel in dB gemessen. Es ergab sich ein Wert von $L=65$ dB. Ermitteln Sie mit Hilfe nachstehender Abbildung den Schallpegel in dB(A).



20. Welcher Zusammenhang wird mit der Schallpegelangabe in dB(A) berücksichtigt?
21. Was ist der Unterschied zwischen Schalldämpfung und Schalldämmung?
22. Was versteht man unter Nachhallzeit? Wie wirkt sich die Nachhallzeit auf die optimale Raumnutzung aus? Wie wird die Nachhallzeit bestimmt?
23. Was beschreibt das bewertete Schalldämm-Maß R_w

4 Brandschutz

1. Was bedeuten nach DIN 4102-1 die folgenden Baustoffklassen?
A, B1, B2, B3
2. Wie muss ein Bauwerk aus brandschutztechnischer Sicht entworfen und ausgeführt sein?
3. Wodurch wird der Verlauf eines Brandes im Wesentlichen bestimmt?
4. Aus welchen Vorschriften ergeben sich die baulichen Brandschutzanforderungen?
5. Welche Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit es zu einem Brand kommt?
6. Was geben die Feuerwiderstandsklassen an?
7. Was wird nach DIN 4102 mit der Bezeichnung F90-A von einem Bauteil gefordert?
Nennen Sie Beispiele.
8. Was wird nach DIN 4102 von einem Bauteil mit der Bezeichnung F60-AB gefordert?
Nennen Sie Beispiele.
9. Was wird nach DIN 4102 von einem Bauteil mit der Bezeichnung F30-B gefordert?
Nennen Sie Beispiele.
10. Welche Feuerwiderstandsklasse weist eine Brandwand auf? Verhindert eine Brandwand einen Feuerübertritt von einem auf das andere Gebäude in jedem Fall?
11. Beurteilen Sie das Brandverhalten einer Konstruktion aus Stahl im Vergleich zu dem einer Holzkonstruktion.
12. Beschreiben Sie das Brandverhalten von Beton.