

- 3.1 **Bauphysikalische Beurteilung der isorast-Wand (Berechnung des U-Wertes, Feuchtanfall, Glaser-Diagramm usw.)**
- 3.2 Dreidimensionale Wärmestromanalyse des isorast-Brandwandsteines
- 3.3 Zweidimensionale Wärmestromanalyse des isorast-Rollladenkasten - System 2000 -
- 3.4 Nachweis des Wärme- und Feuchtigkeitsschutzes von Dächern, die mit isorast 2000-Dachdämmplatten gedämmt sind
- 3.5 Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten einer Wand mit isorast-Schalungssteinen in Neopor-Ausführung

Wärme- und feuchtetechnische Beurteilung des Systems 2000

1. Auftraggeber

isorast-Niedrigenergiehaus-Produkte GmbH
Postfach 11 64
65219 Taunusstein

2. Aufgabenstellung

Im Rahmen der Untersuchung soll der k_m -Wert des isorast-Außenwandsteins mit Hartschaumstegen und des isorast-Brandwandsteins mit Drahtstegen bestimmt werden. Die k_m -Werte werden jeweils für die Wandstärken von 25 cm, 31,25 cm, 37,5 cm und 43,25 cm bestimmt.

Desweiteren wird das feuchtetechnische Verhalten dieser Außenwandkonstruktionen nach DIN 4108 Teil 5 (Glaserverfahren) untersucht.

3. Beschreibung der isorast-Schalungssteine

Die Bilder 1 und 2 zeigen jeweils anhand eines Aufbaus mit 31 cm Wandstärke (unverputzt) eine Skizze der zugrunde gelegten Wandaufbauten. Innenseitig ist bei allen Konstruktionen eine 55 mm starke Wärmedämmschicht aus Polystyrol-Hartschaum mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,35 \text{ W/(mK)}$ angeordnet, an die sich als lastabtragende Schicht ein 140 mm starker Kern aus Normalbeton anschließt. Die Stärke der äußeren Dämmschicht bestimmt die Dicke des Gesamtbauteils; sie beträgt beim 25er-Stein 55 mm, 117 mm beim 31er-Stein, 180 mm beim 37er und 243 mm beim 43er-Stein. Bei den Berechnungen wurde bezüglich des Innenputzes von einer 15 mm starken Gipsputzschicht ($\text{WLF: } 0,35 \text{ W/(mK)}$), außenseitig von 10 mm Kunstharzputz mit Wärmeleitfähigkeit $0,7 \text{ W/(mK)}$ ausgegangen. Hiervon abweichende Schichtdicken bzw. Materialien der Putzschichten werden bei üblicher Ausführung die Berechnungsergebnisse nur geringfügig verändern. Außenwandstein und Brandwandstein sind, was die Dämm- und Putzschichten anbelangt, prinzipiell gleich aufgebaut. Unterschiede ergeben sich durch die Art der

Verbindungen zwischen innerer und äußerer Dämmschicht. Während beim Außenwandstein diese Verbindung durch Stege aus Polystyrol-Hartschaum (WLG 035) realisiert ist, kommen beim Brandwandstein 5mm starke Drahtstege aus ST37 zum Einsatz. Tabelle 1 enthält einen Überblick über die den Berechnungen zugrunde liegenden Schichtdicken und Stoffwerte.

4. Berechnung des mittleren k-Wertes k_m

Die Berechnung des mittleren k-Wertes k_m von Bauteilen mit nebeneinanderliegenden Bereichen ist in DIN 4108, Teil 5 geregelt. Unterscheiden sich die Wärmedurchlaßwiderstände der Bereiche um nicht mehr als den Faktor 5 kann der mittlere k-Wert durch flächenanteilige Mittelung der k-Werte der Einzelbereiche bestimmt werden. Tabelle 2 enthält die Berechnungsergebnisse für den k_m -Wert, wie er sich aus den Schichtdicken (gem. Bild1) ergibt.

Soll auch der Einfluß der Stege, die eine komplexe zweidimensionale Struktur des Bauteils darstellen (s. Bild2 und 3), in die Berechnung des k_m -Wertes einfließen, können zur Berechnung nur noch aufwendige Wärmebrückenprogramme zur Berechnung des dreidimensionalen Temperatur- und Wärmestromfeldes Verwendung finden. Tabelle 3 enthält die Berechnungsergebnisse für den k-Wert, wie er sich aus den Bauteil-Nennmaßen (gem. Tabelle1) ergibt, sowie den anhand einer zweidimensionalen Wärmebrückenberechnung ermittelten Wärmebrückenverlustkoeffizienten ψ , welcher die zusätzlichen Wärmeverluste infolge der nicht ebenen Oberfläche und Schichtgrenzen beschreibt. Die Größe ψ hat die Einheit $W/(mK)$. Um den Vergleich (und die spätere Addition) mit dem k-Wert zu ermöglichen, muß der Wert von ψ formal mit einer Länge l von 1m Bauteilbreite multipliziert und durch eine Fläche A von $1m^2$ Bauteilfläche dividiert werden. Man erhält so den zusätzlich auftretenden Wärmeverlust pro m^2 Bauteilfläche. Da der Aufbau von Außenwandstein und Brandwandstein bis auf den Bereich der Stege identisch ist, unterscheiden sich die Werte von k und ψ bei den beiden Ausführungen nicht. Die Größenordnung des zweidimensionalen Wärmebrückenverlustes ist, wie die Berechnungsergebnisse zeigen, nicht unerheblich und beträgt im Falle des 25er-Steins, bezogen auf den k-Wert, annähernd 10%. Die beiden rechten Spalten von Tabelle 2 geben, getrennt für Außenwand- und Brandwandstein, den Einfluß der Stege auf den k-Wert anhand des sog. χ -Wertes an, wie er sich aus einer dreidimensionalen Wärmebrückenberechnung ergibt. χ hat die Einheit W/K - hier muß, analog zum zweidimensionalen Wärmeverlust, ein Bezug auf die Bauteilfläche A erfolgen. Die Werte von χ sind für den Außenwandstein generell negativ. Dies bedeutet, daß im Bereich der Polystyrolstege ein wesentlich höherer Wärmedurchlaßwiderstand vorliegt als im übrigen Bereich. Die rein zweidimensionale Berechnung würde hier für den k-Wert zu hohe Werte ergeben. Im Falle des Brandwandsteins treten im Gegensatz dazu infolge der hohen Wärmeleitfähigkeit der Drahtstege noch zusätzliche Wärmeverluste auf, die von annähernd derselben Größenordnung sind wie die Wärmeverluste ψ aufgrund der Profilierung der Oberflächen, vgl. Tabelle 3. Den k_m -Wert erhält man, indem man die Werte von k , ψ und χ für den jeweiligen Fall addiert. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Ergebnisse.

5. Feuchtetechnische Untersuchung nach DIN 4108, Teil 5

5.1 Randbedingungen

Gemäß DIN 4108, Teil 5 wird für die zu untersuchenden Bauteile die Tauwasserbilanz zwischen Tauperiode und Verdunstungsperiode ermittelt (Glaser-Verfahren). Dabei werden die nachfolgend aufgeführten Normrandbedingungen für Wände angesetzt.

Tauperiode (1440 h):

	Warmseite	Kaltseite
Lufttemperatur [°C]:	20	-10
relative Feuchte[%]:	50	80
Wasserdampfsättigungsdruck [Pa]	2338	260
Wasserdampfpartialdruck [Pa]	1169	208

Verdunstungsperiode (2160 h):

	Warmseite	Kaltseite
Lufttemperatur [°C]:	12	12
relative Feuchte[%]:	70	70
Wasserdampfsättigungsdruck [Pa]	1404	1404
Wasserdampfpartialdruck [Pa]	983	983

5.1 Ergebnisse

Tabelle 4 enthält die Berechnungsergebnisse für die während der Tauperiode anfallende Tauwassermenge W_T und die während der Verdunstungsperiode mögliche Verdunstungsmenge W_V jeweils für die Bauteilstärken von 25, 31, 37 und 43 cm. Es muß dabei im Falle des Außenwandsteins der Bereich des Regelquerschnittes (mit Normalbeton als Schicht 3, vgl. Tab.1) und der Bereich der Hartschaumstege (Schichten 2-4 durchgehend Polystyrol-Hartschaum) getrennt berechnet werden, da im voraus nicht bestimmbar ist, welcher der Bereiche den ungünstigeren Fall darstellt. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse jeweils für beide Bereiche getrennt aufgeführt. Für den Brandwandstein kann die Berechnung der Tauwasserbilanz für den Bereich der Drahtstege entfallen, da einerseits die Durchdringungen nur punktuell sind und andererseits ein Wasserdampftransport im annähernd dampfdichten Metall erst gar nicht stattfindet. Für den Stein mit Drahtstegen gelten -wegen des im Regelquerschnitt gleichen Aufbaus- die jeweiligen Werte des Regelquerschnittes vom Außenwandstein.

Generell sind die anfallenden Tauwassermengen geringer als der nach DIN 4108 zulässige Grenzwert von $0,5 \text{ kg/m}^2$, für den 43er-Stein ist im Regelquerschnitt kein Tauwasserausfall mehr zu verzeichnen. Im ungünstigsten Fall des 25er-Regelquerschnittes beträgt die anfallende Tauwassermenge etwas mehr als 20% dieses Grenzwertes, alle anderen Querschnitte weisen deut

lich geringere Werte auf. Die Tauwasserbilanz, entsprechend der Differenz $W_V - W_T$, ist, sofern Tauwasser in der Tauperiode ausfällt, in allen Fällen positiv, d.h. die mögliche Verdunstungsmenge ist größer als die während der Tauperiode anfallende Tauwassermenge.

Die Anforderungen der DIN 4108 hinsichtlich Wasserdampfdiffusion sind für alle Steinstärken gleich ob mit Hartschaum- oder Drahtstegen, bei weitem erfüllt. In diffusionstechnischer Hinsicht sind die Steine des Isorast-Systems 2000 als unbedenklich einzustufen.

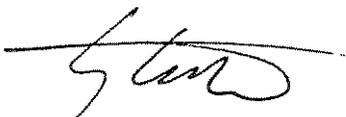
Tabelle 5 enthält die Berechnungsergebnisse für den Temperaturverlauf und den Verlauf des Wasserdampf-Sättigungsdruckes im Regelquerschnitt, Tabelle 6 die entsprechenden Ergebnisse für den Bereich der Hartschaumstege wieder für die 4 Steinstärken 25, 31, 37 und 43 cm. In den Bildern 2 und 3 sind diese Verläufe exemplarisch für den 31er-Außenwandstein grafisch dargestellt, die genauen Berechnungsergebnisse können für alle Steinstärken den Tabellen 5 und 6 entnommen werden.

Die Verläufe des Partial- und Sättigungsdampfdruckes sind in den Bildern 5 bis 20 für alle Wandstärken sowohl im Regelquerschnitt als auch im Bereich der Stege jeweils für die Tauperiode und die Verdunstungsperiode dargestellt. Generell liegt im Bereich der Stege der DIN-Fall D, Tauwasserausfall in einem Bereich der Konstruktion, vor. Der vom Tauwasserausfall betroffene Bereich erstreckt sich hierbei von einem Punkt im Inneren der außenliegenden Wärmedämmschicht bis hin zur Schichtgrenze mit dem Außenputz, entsprechend dem schraffierten Bereich in den Bildern 7, 11, 15 und 19. Im Regelquerschnitt fällt, was den 25er-, 31er- und 37er-Stein betrifft, das Tauwasser jeweils nur in einer Ebene aus, hier liegt der DIN-Fall B vor. Für den 43er-Stein liegt DIN-Fall A -kein Tauwasserausfall- vor. Für die Steinstärken 31 und 37 liegt die Ebene des Tauwasserausfalls in der Schichtgrenze äußere Wärmedämmung/Außenputz (Bilder 9 und 13), im Falle des 25er-Steines jedoch an der Schichtgrenze innere Wärmedämmung/Beton (Bild 5). Wie aus Tabelle 5 ersichtlich, ergibt sich beim 25er-Stein aufgrund der im Vergleich zu den übrigen Konstruktionen relativ geringen Stärke der äußeren Wärmedämmung an dieser Schichtgrenze eine Temperatur von lediglich $4,8\text{ °C}$, was zu einem Erreichen der Taupunkttemperatur an dieser Stelle führt. Im Vergleich dazu beträgt die Temperatur an dieser Stelle $10,0\text{ °C}$ für den 31er- und $12,5\text{ °C}$ für den 37er-Stein, der Taupunkt wird erst durch den Temperaturabfall in der äußeren Wärmedämmung erreicht.

6. Literatur

- [1] Hauser, G. und Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau. Bauverlag Wiesbaden, 1990, 2. durchgesehene Auflage 1993.
- [2] EN ISO 10211-1: Wärmebrücken im Hochbau; Wärmeströme und Oberflächentemperaturen; Allgemeine Berechnungen (November 1995).
- [3] DIN 4108-3: Wärmeschutz im Hochbau; Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung (August 1981).
- [4] DIN 4108-4: Wärmeschutz im Hochbau; Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte (August 1981).
- [5] DIN 4108 Teil 5, "Wärmeschutz im Hochbau - Berechnungsverfahren". (Aug. 1981)

Baunatal, den 15. Dezember 1997



(Dipl.-Ing. Horst Stiegel)

Tabelle 1: Schichtaufbau zur feuchtetechnischen Untersuchung nach DIN 4108, Teil 5
Zugrunde gelegt sind die Nennmaße gemäß Konstruktionskizze

	1	2	3	5	6
Nr.	Schicht	s	μ	λ_R	$1/\alpha, 1/\Lambda$
-	-	m	-	W/(mK)	m ² K/W
-	Wärmeübergang innen	-	-	-	0,130
1	Gipsputz o. Zuschlag	0,015	10	0,350	0,043
2	Polystyrol-Hartschaum	0,055	40/100	0,035	1,571
3	Beton (PS-Hartschaum)	0,140	70/150 (40/100)	2,100 (0,035)	0,067 (4,000)
4	Polystyrol-Hartschaum	$s_{D,a}$ ¹⁾	40/100	0,035	-
5	Kunstharzputz	0,010	50/200	0,700	0,014
-	Wärmeübergang außen	-	-	-	0,040

1) Schichtdicken $s_{D,a}$ der äußeren Wärmedämmung:

Bauteil-Nennmaß	$s_{D,a}$ [m]
25	0,055
31	0,117
37	0,180
43	0,243

Tabelle 2: Zusammenstellung der berechneten mittleren k-Werte
gemäß DIN 4108 k_m [W/(m²K)]

Bauteil-Nennmaß	Außenwandstein	Brandwandstein
25	0,29	0,29
31	0,19	0,19
37	0,14	0,14
43	0,11	0,11

Tabelle 3: Zusätzliche Wärmeverluste durch zwei- bzw. dreidimensionale Einflüsse

Bauteil-Nennmaß	$k_{\text{Nennmaß}}$	$(\psi \cdot l)/A$	Außenwandstein χ/A	Brandwandstein χ/A
	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]
25	0,2909	0,0271	-0,0055	0,0162
31	0,1914	0,0091	-0,0025	0,0085
37	0,1426	0,0056	-0,0014	0,0047
43	0,1137	0,0035	-0,0009	0,0030

Tabelle 4: Zusammenstellung der berechneten mittleren k-Werte
nach Wärmebrückenberechnung [W/(m²K)]

Bauteil-Nennmaß	Außenwandstein	Brandwandstein
25	0,31	0,33
31	0,20	0,21
37	0,15	0,15
43	0,12	0,12

Tabelle 4: Tauwasserbilanz der untersuchten Konstruktionen

Bauteil	anfallende Tauwassermenge W_T [kg/m ²]	verdunstende Tauwassermenge W_V [kg/m ²]	Differenz $W_V - W_T$ [kg/m ²]
25, Regelquerschnitt	0,105	0,279	0,174
25, Stegbereich	0,059	0,299	0,240
31, Regelquerschnitt	0,023	0,339	0,316
31, Stegbereich	0,043	0,274	0,231
37, Regelquerschnitt	0,017	0,335	0,318
37, Stegbereich	0,032	0,249	0,217
43, Regelquerschnitt	0	-	-
43, Stegbereich	0,023	0,225	0,202

nach DIN 4108 maximal zulässige Tauwassermenge: $W_{T,zul} = 0,5 \text{ kg/m}^2$

In allen Fällen gilt: $W_T < W_V$ und $W_T < W_{T,zul}$ bzw. $W_T = 0$, die Konstruktionen sind gemäß DIN 4108, Teil 3 und 5 hinsichtlich Tauwasserausfall zulässig.

Tabelle 5: Verlauf von Temperatur und Wasserdampf-sättigungsdruck im Regelquerschnitt der untersuchten Bauteile, Nennweiten 25, 31, 37 und 43 cm

25		31		37		43	
ϑ	p_s	ϑ	p_s	ϑ	p_s	ϑ	p_s
°C	Pa	°C	Pa	°C	Pa	°C	Pa
20,0	2338	20,0	2338	20,0	2338	20,0	2338
18,9	2179	19,3	2232	19,4	2259	19,6	2275
18,5	2129	19,0	2198	19,3	2233	19,4	2255
4,8	860	10,0	1225	12,5	1454	14,1	1606
4,2	825	9,6	1194	12,2	1427	13,8	1582
-9,5	271	-9,7	267	-9,8	265	-9,8	264
-9,7	268	-9,8	265	-9,8	264	-9,9	263
-10,0	260	-10,0	260	-10,0	260	-10,0	260

Tabelle 6: Verlauf von Temperatur und Wasserdampf-sättigungsdruck im Stegbereich der untersuchten Bauteile (Außenwandstein), Nennweiten 25, 31, 37 und 43 cm

25		31		37		43	
ϑ	p_s	ϑ	p_s	ϑ	p_s	ϑ	p_s
°C	Pa	°C	Pa	°C	Pa	°C	Pa
20,0	2338	20,0	2338	20,0	2338	20,0	2338
19,5	2263	19,6	2277	19,6	2287	19,7	2294
19,3	2238	19,4	2256	19,5	2271	19,6	2280
12,9	1489	14,3	1629	15,2	1730	15,9	1807
-3,4	461	1,1	664	4,2	829	6,5	967
-9,8	265	-9,8	264	-9,9	263	-9,9	263
-9,8	264	-9,9	263	-9,9	262	-9,9	262
-10,0	260	-10,0	260	-10,0	260	-10,0	260

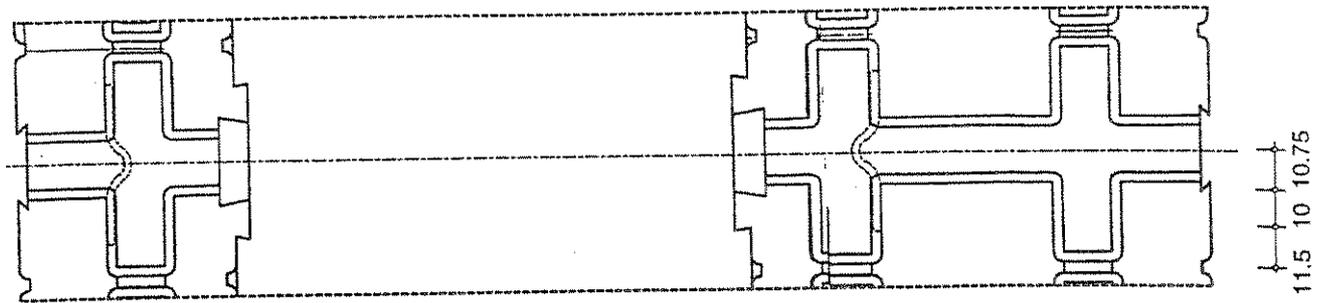


Bild 1: Regelquerschnitt des 31er Außenwandsteines

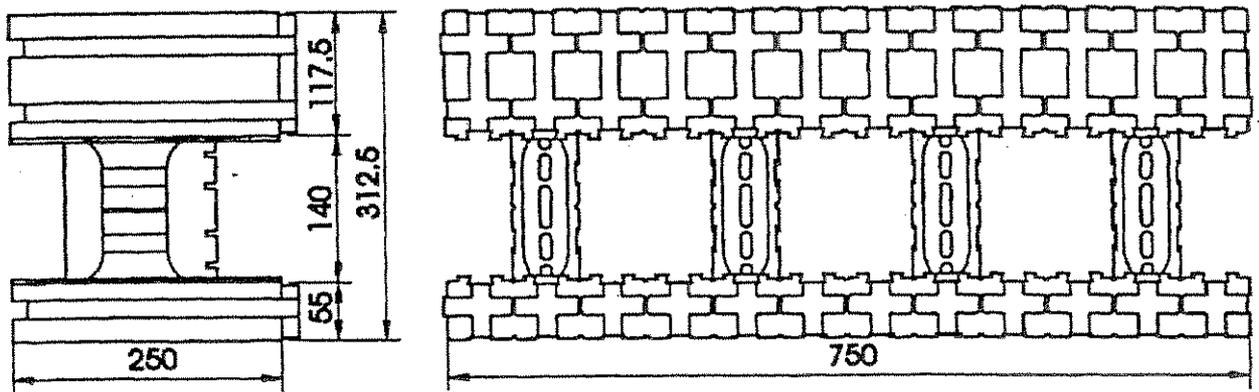


Bild 2: Schnitte durch den untersuchten Isorast-Außenwandstein (hier mit Nennmaß 31)

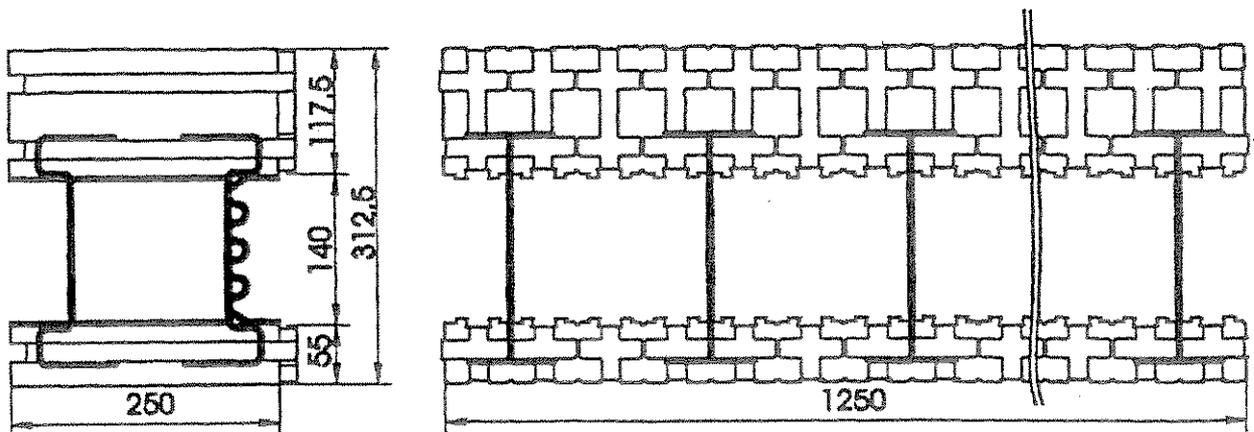


Bild 3: Schnitte durch den untersuchten Isorast-Brandwandstein (hier mit Nennmaß 31)

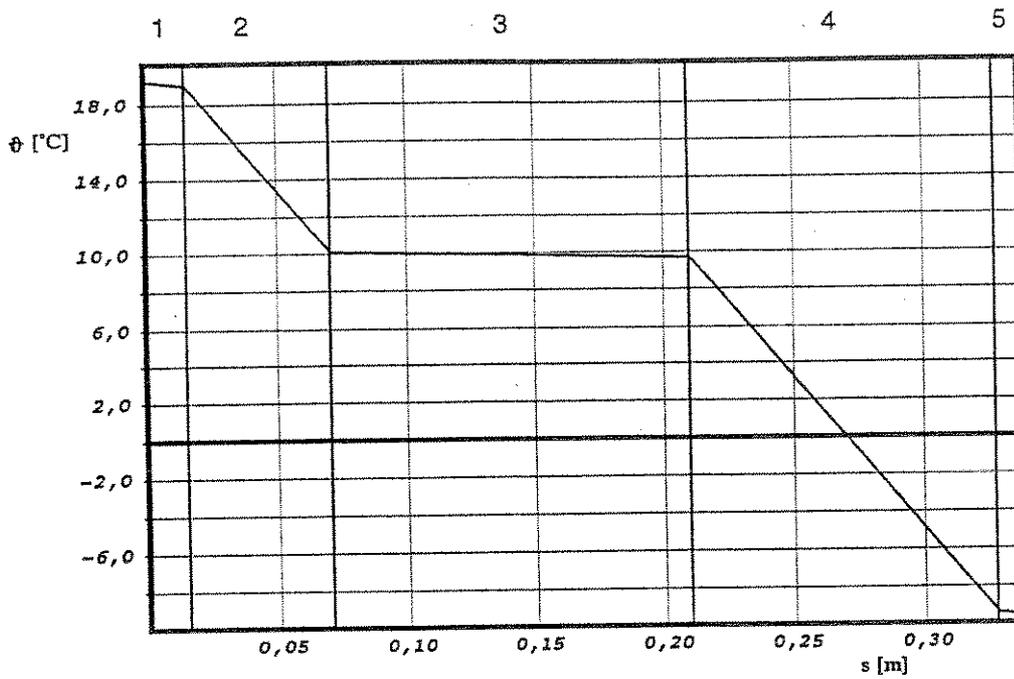


Bild 3: Temperaturverlauf im Regelquerschnitt des 31er-Außenwandsteins während der Tauperiode

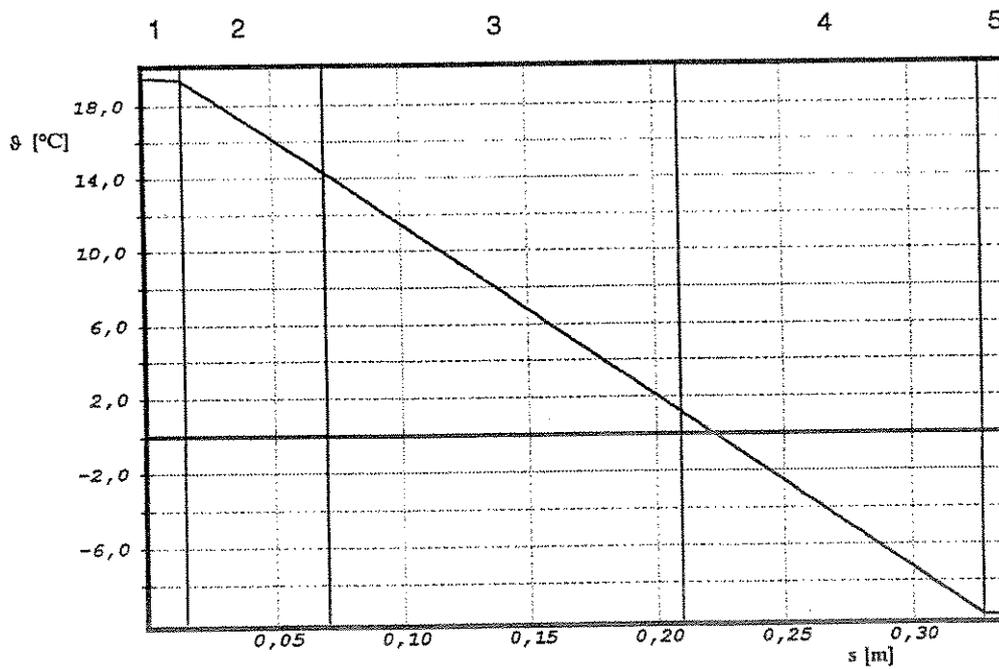


Bild 4: Temperaturverlauf im Stegbereich des 31er-Außenwandsteins während der Tauperiode

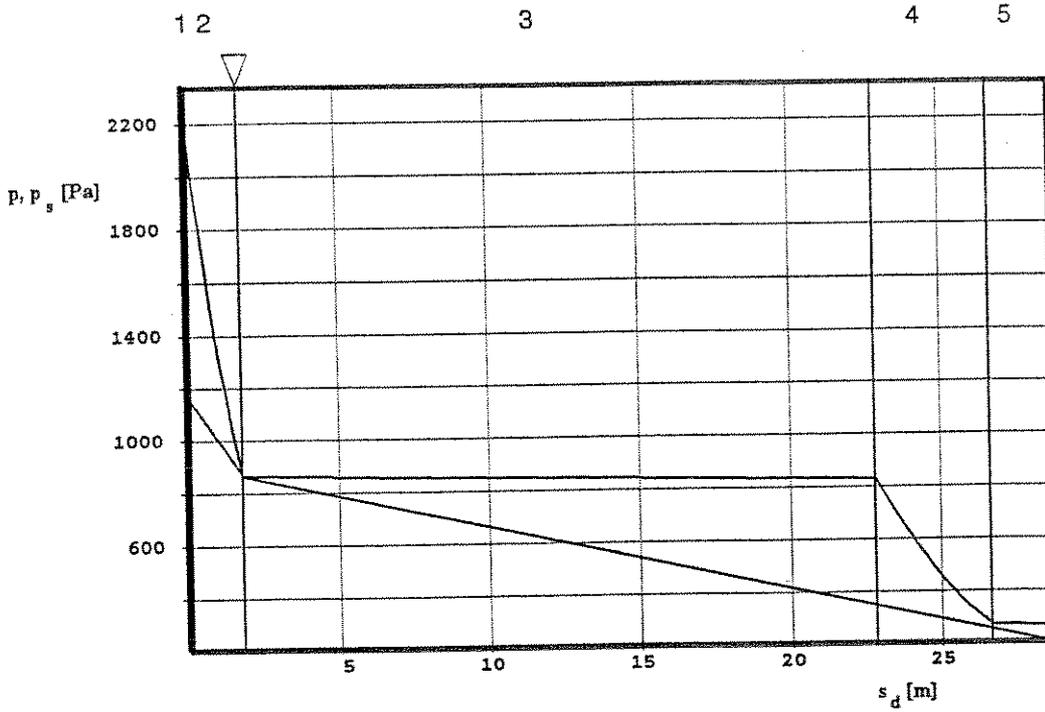


Bild 5: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Regelquer-schnitt des 25er-Außenwandsteins während der Tauperiode

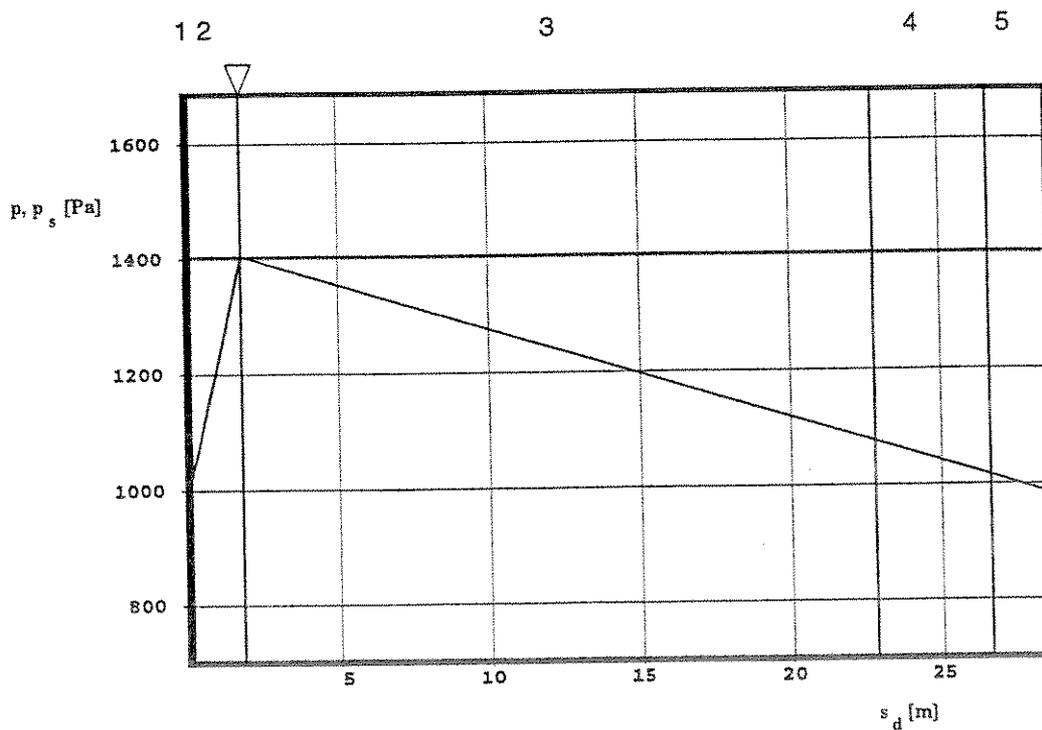


Bild 6: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Regelquer-schnitt des 25er-Außenwandsteins während der Verdunstungsperiode

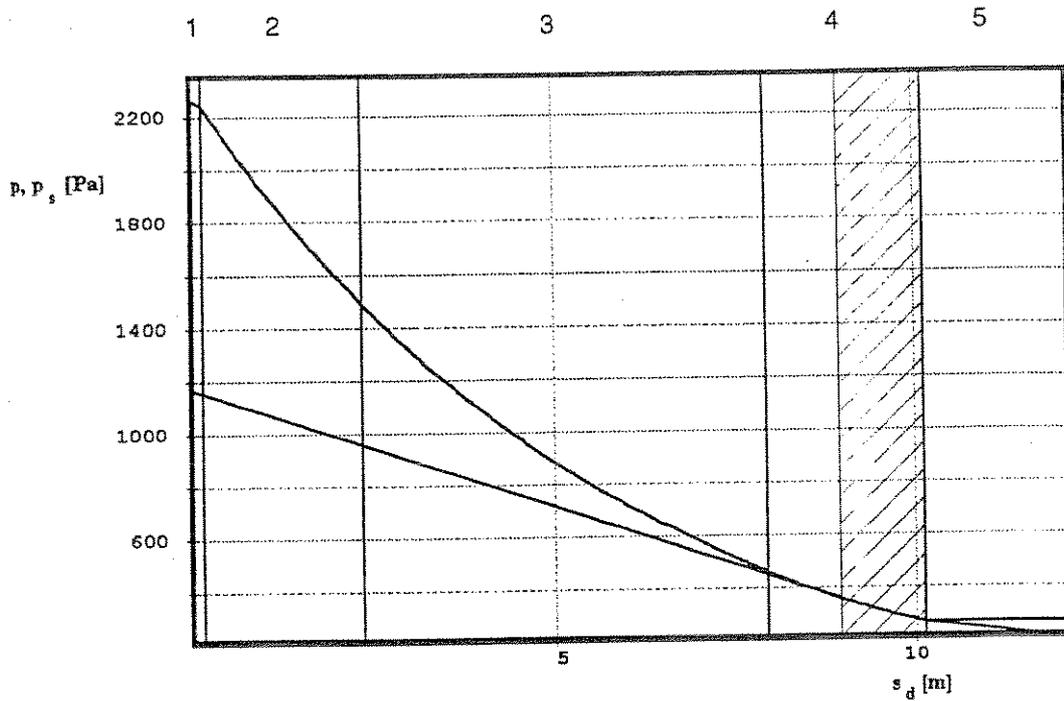


Bild 7: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Stegbereich des 25er-Außenwandsteins während der Tauperiode

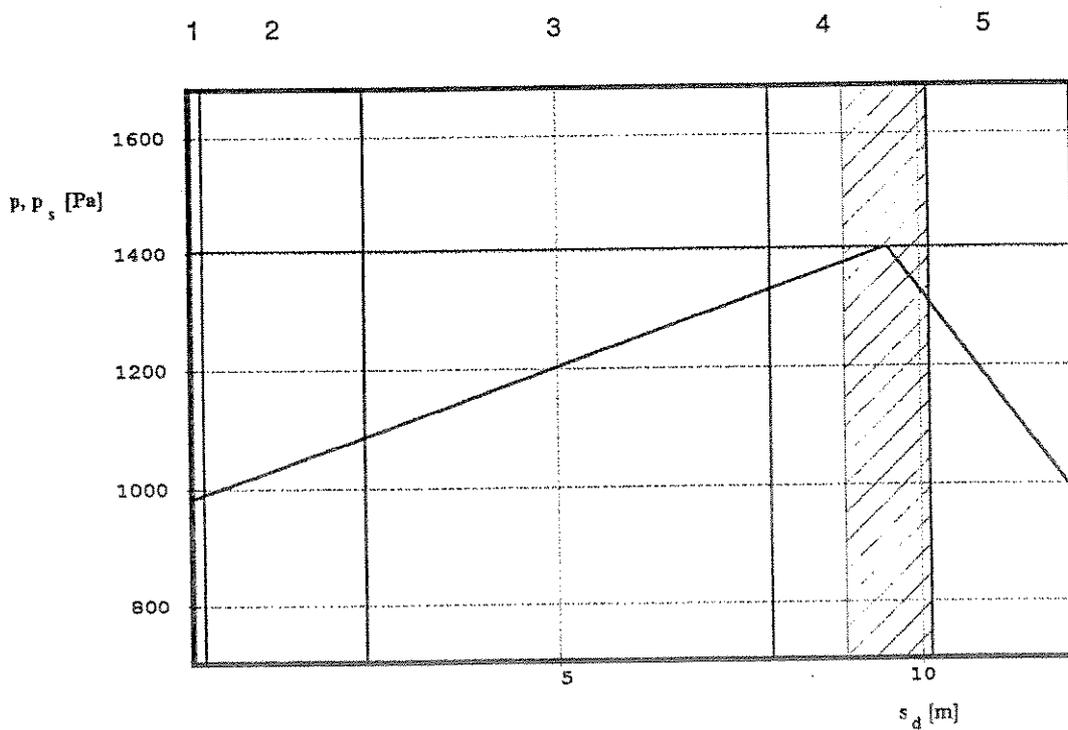


Bild 8: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Stegbereich des 25er-Außenwandsteins während der Verdunstungsperiode

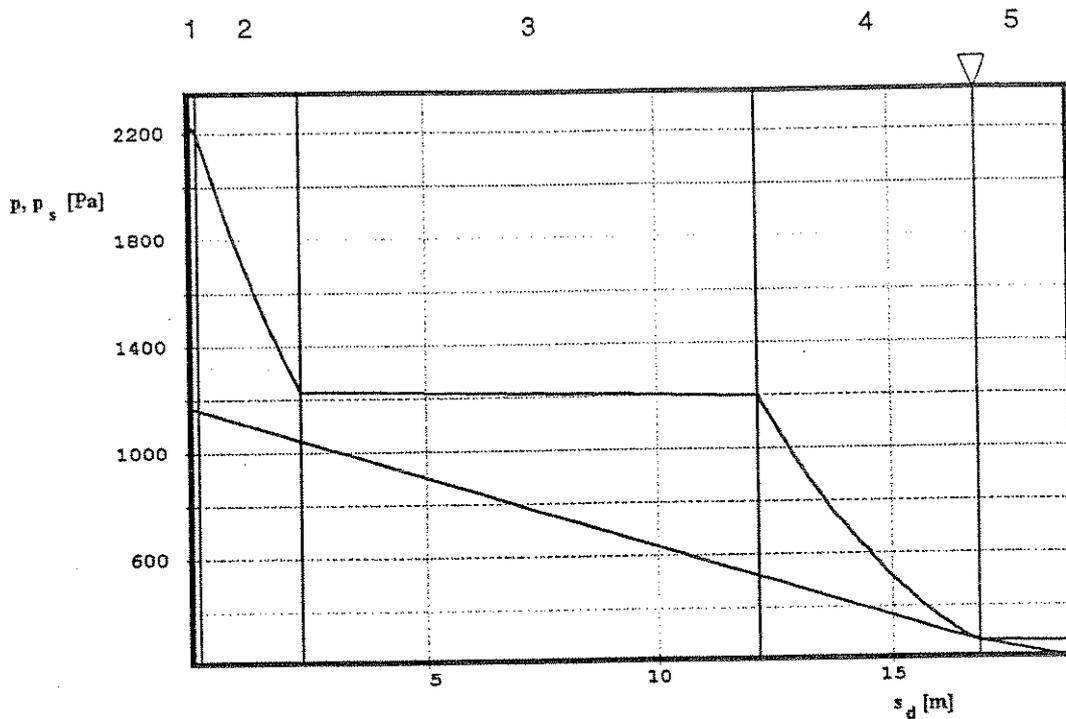


Bild 9: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Regelquerschnitt des 31er-Außenwandsteins während der Tauperiode

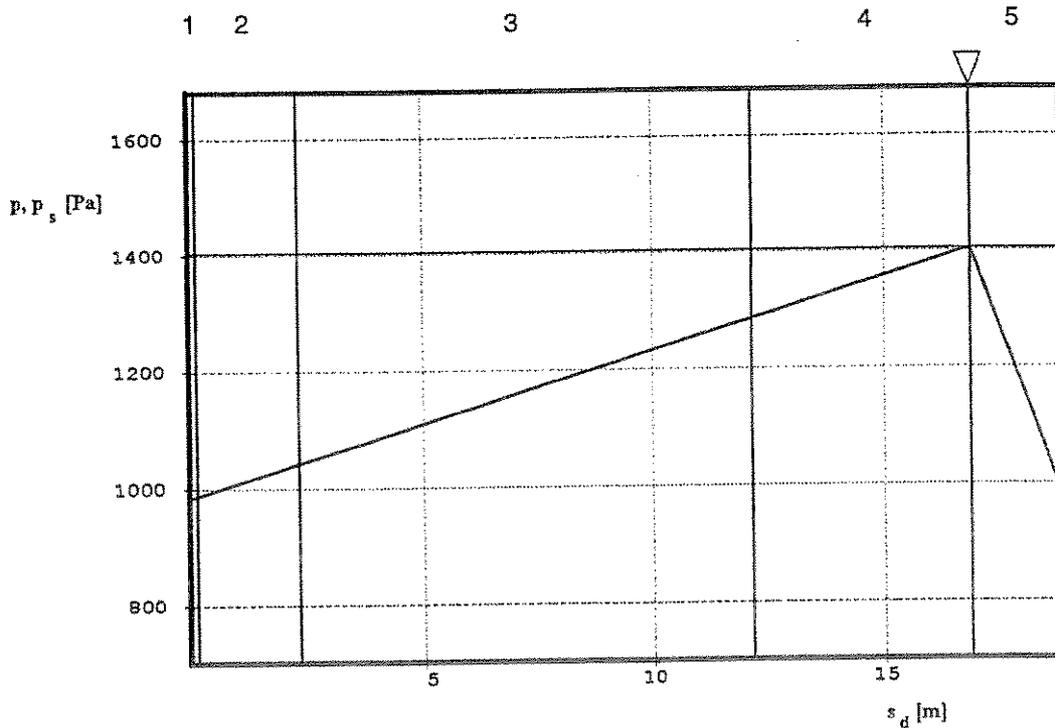


Bild 10: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Regelquerschnitt des 31er-Außenwandsteins während der Verdunstungsperiode

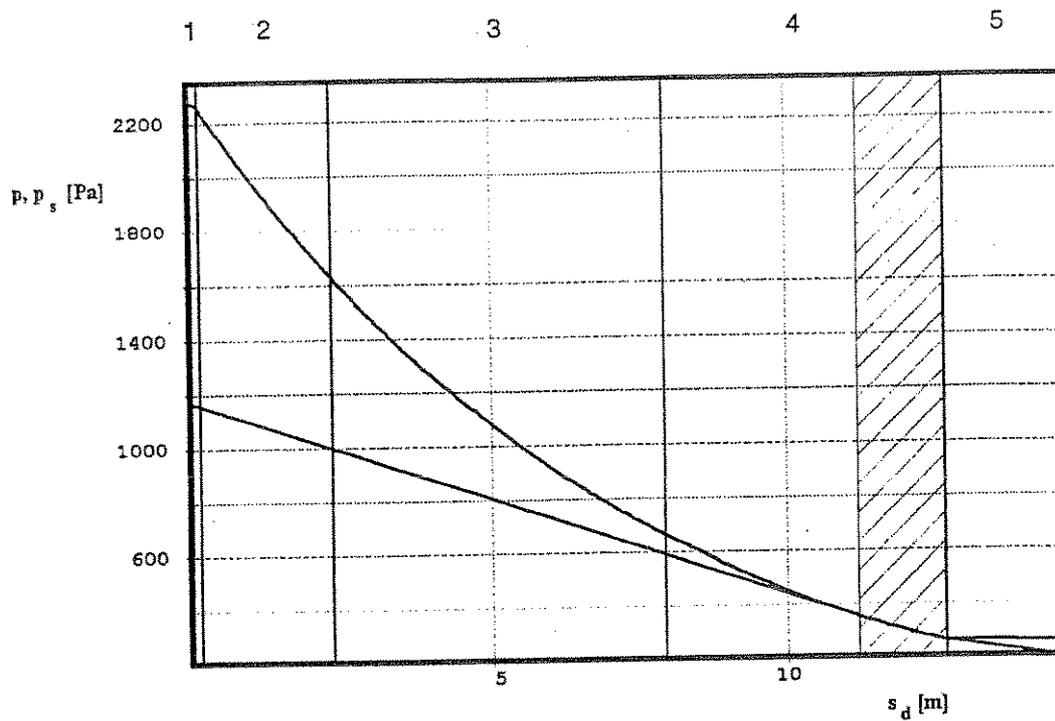


Bild 11: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Stegbereich des 31er-Außenwandsteins während der Tauperiode

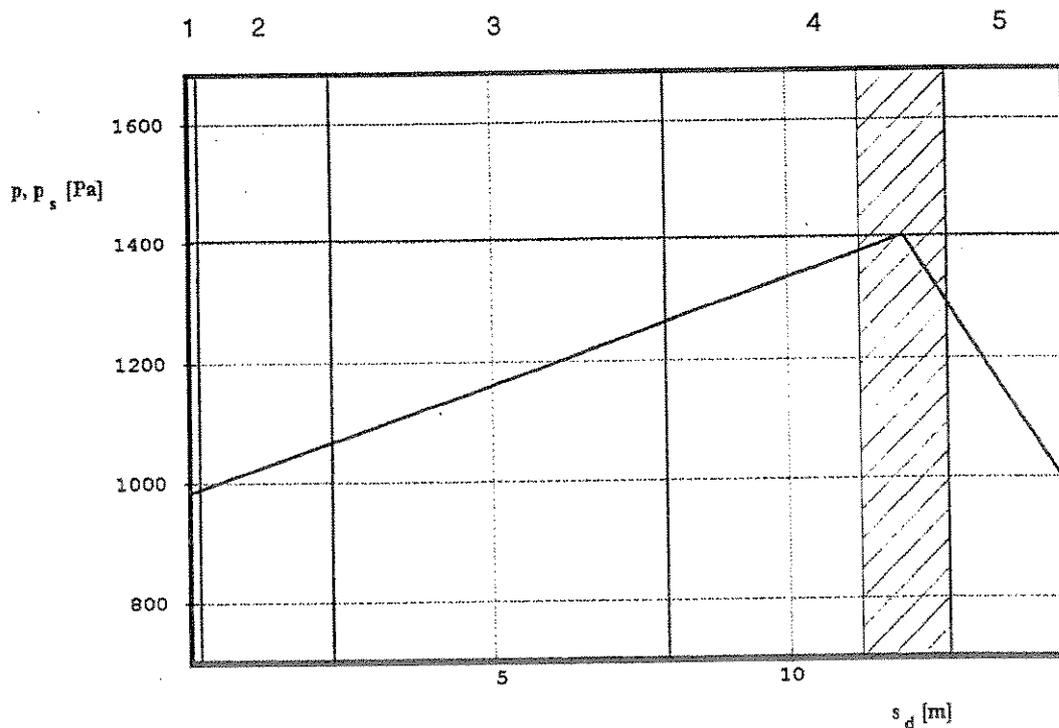


Bild 12: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Stegbereich des 31er-Außenwandsteins während der Verdunstungsperiode

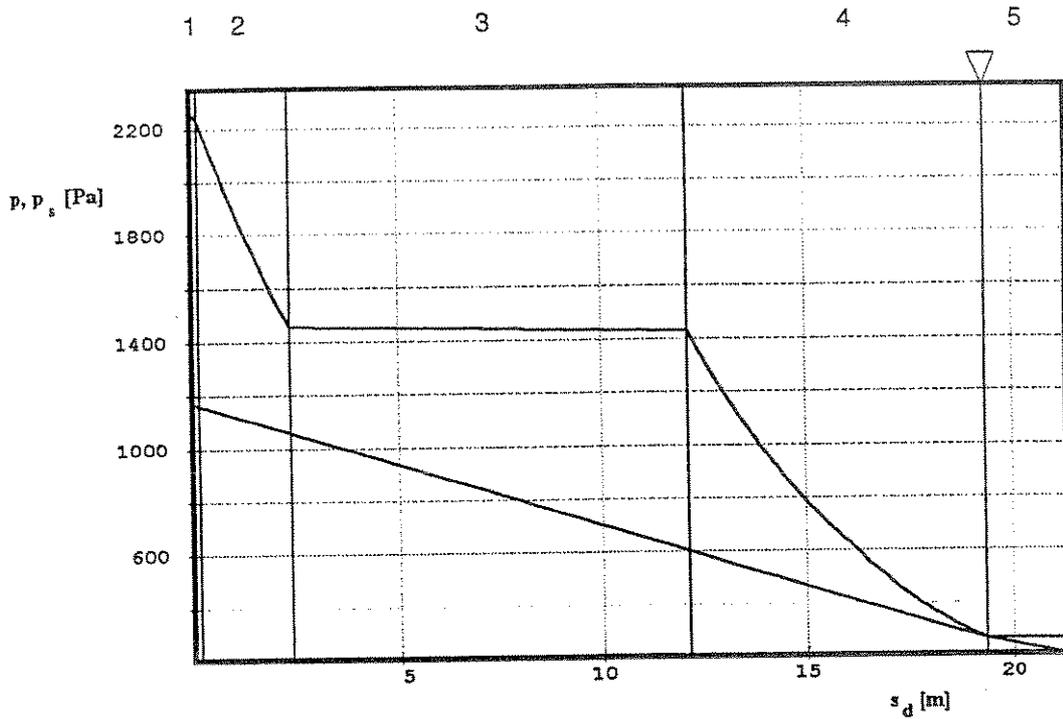


Bild 13: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Regelquer-schnitt des 37er-Außenwandsteins während der Tauperiode

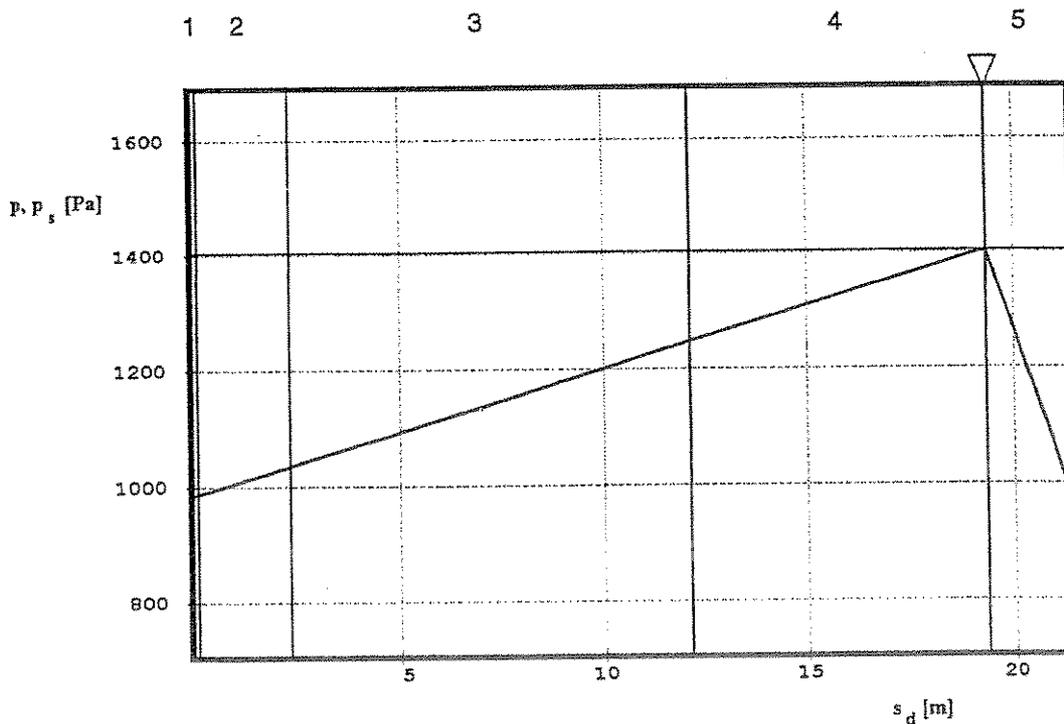


Bild 14: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Regelquer-schnitt des 37er-Außenwandsteins während der Verdunstungsperiode

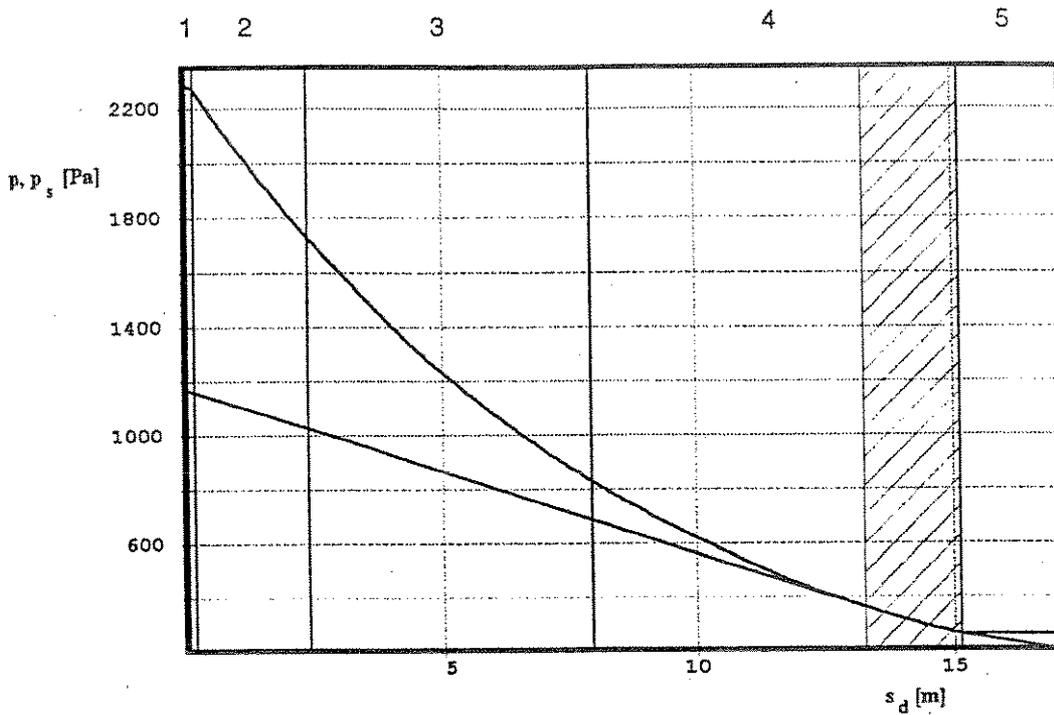


Bild 15: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Stegbereich des 37er-Außenwandsteins während der Tauperiode

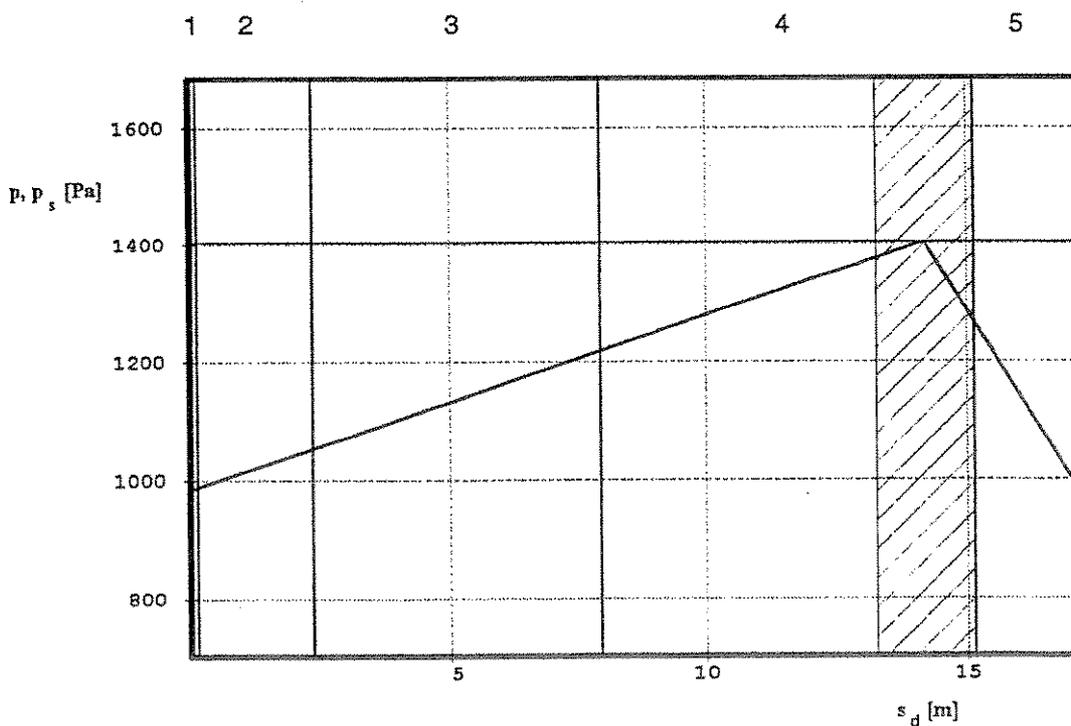


Bild 16: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Stegbereich des 37er-Außenwandsteins während der Verdunstungsperiode

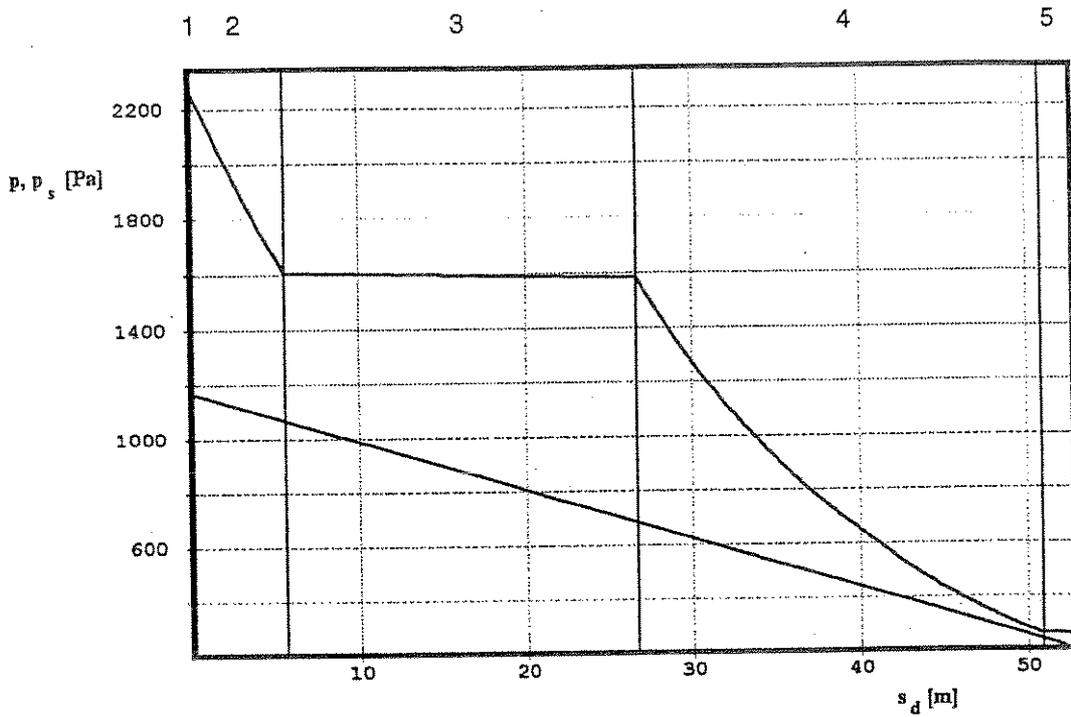


Bild 17: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Regelquer-schnitt des 43er-Außenwandsteins während der Tauperiode

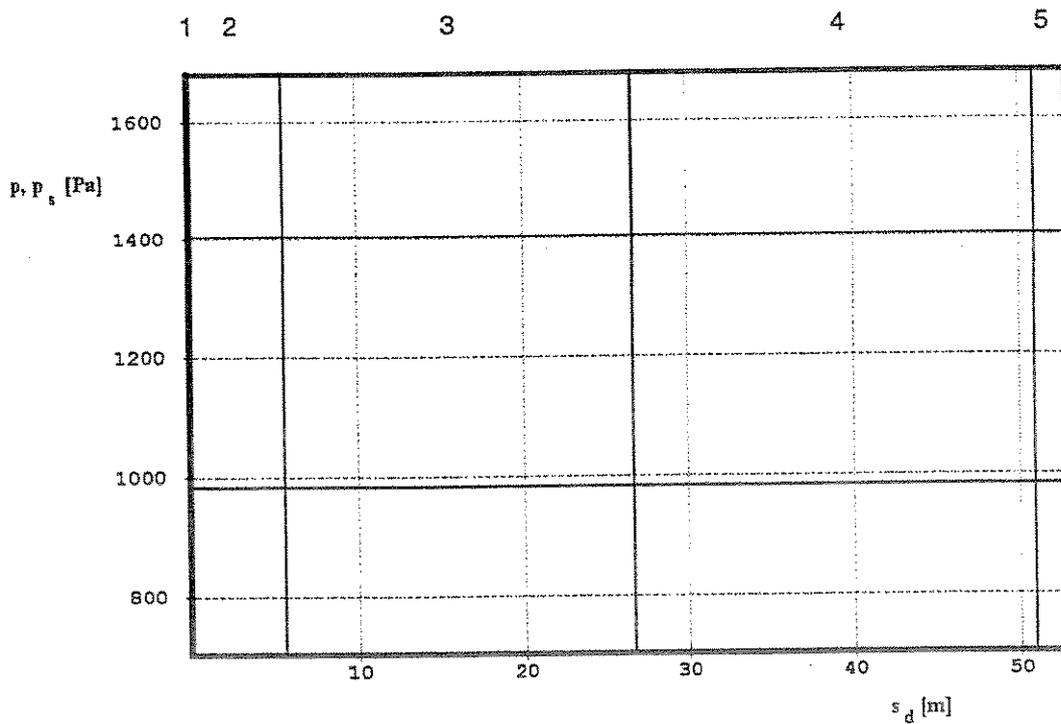


Bild 18: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Regelquer-schnitt des 43er-Außenwandsteins während der Verdunstungsperiode

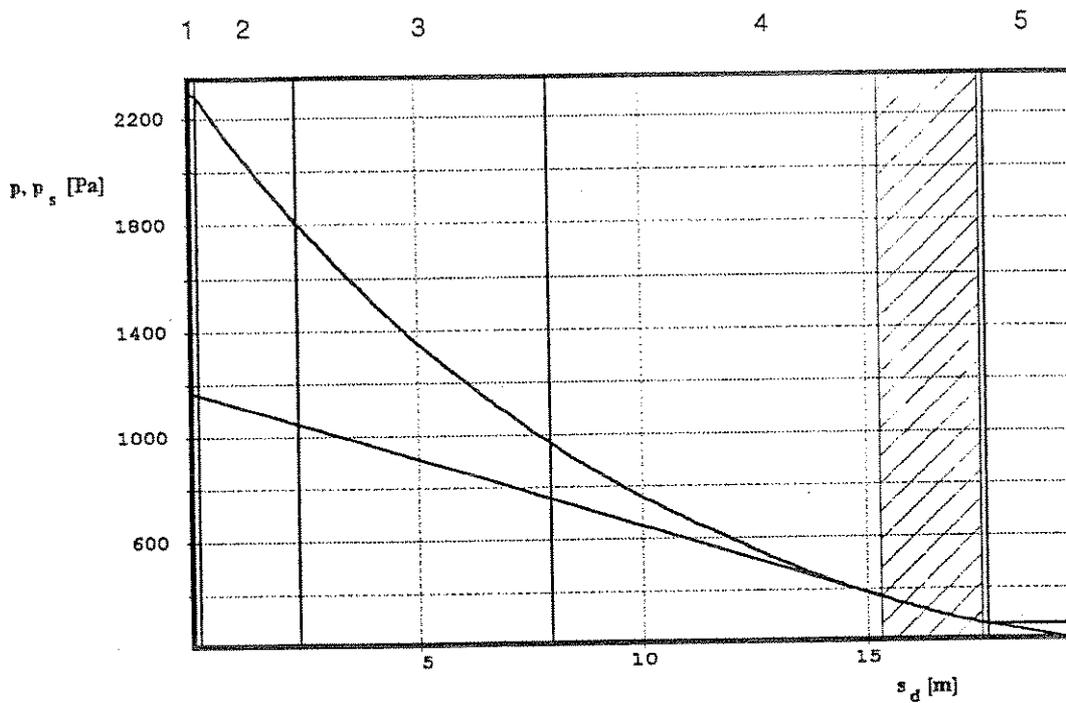


Bild 19: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Stegbereich des 43er-Außenwandsteins während der Tauperiode

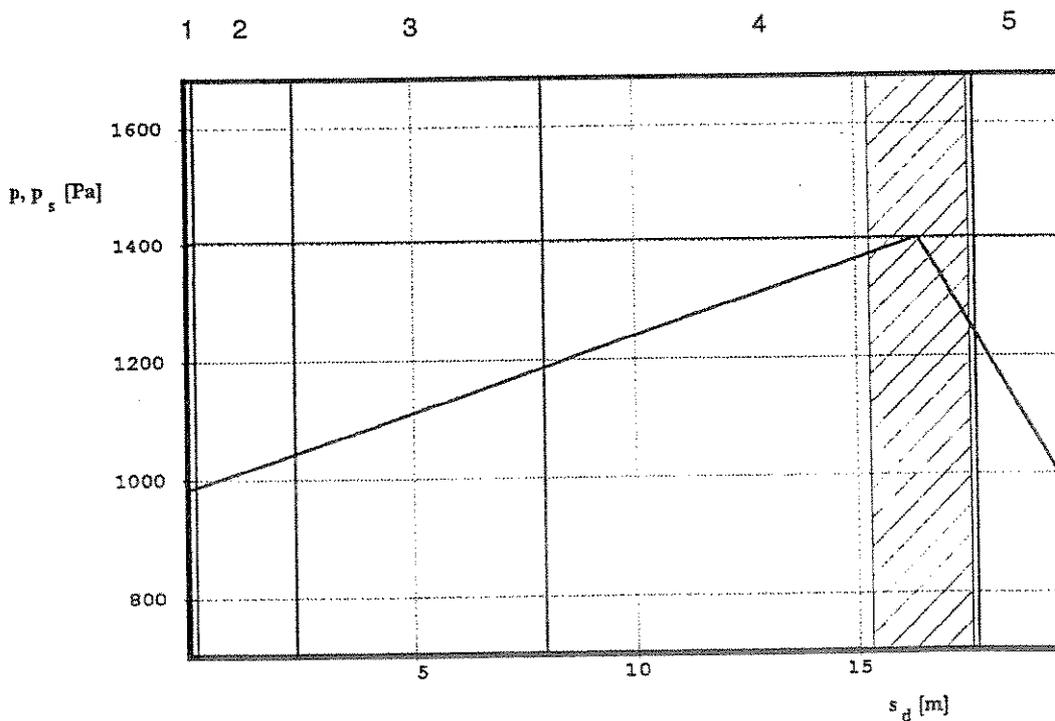


Bild 20: Verlauf von Wasserdampfsättigungs- und Wasserdampfpartialdruck im Stegbereich des 43er-Außenwandsteins während der Verdunstungsperiode

1. Berechnung des mittleren k-Wertes k_m des 25er Außenwandsteins nach DIN 4108

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 1:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0150	0,350	0,04
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0560	0,035	1,60
3	Beton	0,1380	2,100	0,07
4	Polystyrol-Hartschaum	0,0560	0,035	1,60
5	Kunstharzputz	0,0100	0,700	0,01
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,27500	$1/k_1 =$	3,493
			$k_1 =$	0,2863

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 2:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0150	0,350	0,04
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0600	0,035	1,71
3	Beton	0,1300	2,100	0,06
4	Polystyrol-Hartschaum	0,0600	0,035	1,71
5	Kunstharzputz	0,0100	0,700	0,01
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,27500	$1/k_2 =$	3,718
			$k_2 =$	0,2690

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 3:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0175	0,350	0,05
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0495	0,035	1,41
3	Beton	0,1460	2,100	0,07
4	Polystyrol-Hartschaum	0,0500	0,035	1,43
5	Kunstharzputz	0,0120	0,700	0,02
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,27500	$1/k_3 =$	3,150
			$k_3 =$	0,3175

mittlerer k-Wert:

Anteil Bereich 1:	11,50
Anteil Bereich 2:	10,00
Anteil Bereich 3:	10,75

$k_m = 0,29 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

2. Berechnung des mittleren k-Wertes k_m des 31er Außenwandsteins nach DIN 4108

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 1:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0150	0,350	0,04
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0560	0,035	1,60
3	Beton	0,1380	2,100	0,07
4	Polystyrol-Hartschaum	0,1185	0,035	3,39
5	Kunstharzputz	0,0100	0,700	0,01
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,33750		$1/k_1 = 5,279$
				$k_1 = 0,1894$

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 2:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0150	0,350	0,04
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0600	0,035	1,71
3	Beton	0,1300	2,100	0,06
4	Polystyrol-Hartschaum	0,1225	0,035	3,50
5	Kunstharzputz	0,0100	0,700	0,01
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,33750		$1/k_2 = 5,503$
				$k_2 = 0,1817$

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 3:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0175	0,350	0,05
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0495	0,035	1,41
3	Beton	0,1460	2,100	0,07
4	Polystyrol-Hartschaum	0,1125	0,035	3,21
5	Kunstharzputz	0,0120	0,700	0,02
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,33750		$1/k_3 = 4,935$
				$k_3 = 0,2026$

mittlerer k-Wert:

Anteil Bereich 1:	11,50
Anteil Bereich 2:	10,00
Anteil Bereich 3:	10,75

$$k_m = 0,19 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

3. Berechnung des mittleren k-Wertes k_m des 37er Außenwandsteins nach DIN 4108

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 1:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0150	0,350	0,04
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0560	0,035	1,60
3	Beton	0,1380	2,100	0,07
4	Polystyrol-Hartschaum	0,1810	0,035	5,17
5	Kunstharzputz	0,0100	0,700	0,01
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,40000	$1/k_1 =$	7,064
			$k_1 =$	0,1416

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 2:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0150	0,350	0,04
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0600	0,035	1,71
3	Beton	0,1300	2,100	0,06
4	Polystyrol-Hartschaum	0,1850	0,035	5,29
5	Kunstharzputz	0,0100	0,700	0,01
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,40000	$1/k_2 =$	7,289
			$k_2 =$	0,1372

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 3:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0175	0,350	0,05
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0495	0,035	1,41
3	Beton	0,1460	2,100	0,07
4	Polystyrol-Hartschaum	0,1750	0,035	5,00
5	Kunstharzputz	0,0120	0,700	0,02
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,40000	$1/k_3 =$	6,721
			$k_3 =$	0,1488

mittlerer k-Wert:

Anteil Bereich 1: 11,50

Anteil Bereich 2: 10,00

Anteil Bereich 3: 10,75

$k_m = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

4. Berechnung des mittleren k-Wertes k_m des 43er Außenwandsteins nach DIN 4108

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 1:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0150	0,350	0,04
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0560	0,035	1,60
3	Beton	0,1380	2,100	0,07
4	Polystyrol-Hartschaum	0,2435	0,035	6,96
5	Kunstharzputz	0,0100	0,700	0,01
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,46250	$1/k_1 =$	8,850
			$k_1 =$	0,1130

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 2:

Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0150	0,350	0,04
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0600	0,035	1,71
3	Beton	0,1300	2,100	0,06
4	Polystyrol-Hartschaum	0,2475	0,035	7,07
5	Kunstharzputz	0,0100	0,700	0,01
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,46250	$1/k_2 =$	9,075
			$k_2 =$	0,1102

Schichtaufbau (von innen nach außen) im Bereich 3:

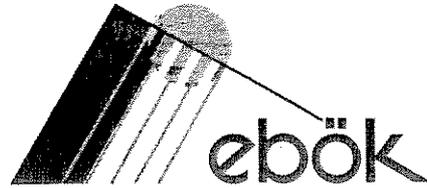
Schicht	Material	Schichtdicke [m]	λ [W/(m·K)]	$s/\lambda, 1/\alpha$ [(m ² ·K)/W]
	Wärmeübergang Raumlufte			0,13
1	Gipsputz	0,0175	0,350	0,05
2	Polystyrol-Hartschaum	0,0495	0,035	1,41
3	Beton	0,1460	2,100	0,07
4	Polystyrol-Hartschaum	0,2375	0,035	6,79
5	Kunstharzputz	0,0120	0,700	0,02
	Wärmeübergang Außenluft			0,04
		0,46250	$1/k_3 =$	8,507
			$k_3 =$	0,1176

mittlerer k-Wert:

Anteil Bereich 1:	11,50
Anteil Bereich 2:	10,00
Anteil Bereich 3:	10,75

$$k_m = 0,11 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

- 3.1 Bauphysikalische Beurteilung der isorast-Wand (Berechnung des U-Wertes, Feuchtanfall, Glaser-Diagramm usw.)
- 3.2 **Dreidimensionale Wärmestromanalyse des isorast-Brandwand-steines**
- 3.3 Zweidimensionale Wärmestromanalyse des isorast-Rollladenkasten - System 2000 -
- 3.4 Nachweis des Wärme- und Feuchtigkeitsschutzes von Dächern, die mit isorast 2000-Dachdämmplatten gedämmt sind
- 3.5 Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten einer Wand mit isorast-Schalungssteinen in Neopor-Ausführung



Ingenieurbüro für Energieberatung,
Haustechnik und ökologische Konzepte
GbR mit beschränkter Haftung

Reutlinger Straße 16 • D-72072 Tübingen
Tel. 07071 - 93 940 • Fax 93 94 99

Dreidimensionale Wärmestromanalyse isorast Brandwandstein

Erstellt im:	Dezember 1996
im Auftrag von:	isorast Taunusstein
Projektleitung:	Dipl.Phys. Johannes Werner
Inhaltliche Bearbeitung:	Dipl.Phys. Gerhard Lude

1 AUFGABENSTELLUNG	1
2 BERECHNUNGSGRUNDLAGEN	1
3 BERECHNUNGSVERFAHREN	2
4 ERGEBNISSE	3
5 BEWERTUNG	3
6 LITERATURHINWEISE	4

Anhang: Technischer Anhang zur dreidimensionalen Wärmestromanalyse isorast Brandwandstein

1 Aufgabenstellung

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der folgenden isorast Schalungselemente Brandwandstein (mit Drahtstegen) sollten berechnet werden:

- 18er Brandwandstein
- 25er Brandwandstein
- 32er Brandwandstein
- 37er Brandwandstein
- 43er Brandwandstein

2 Berechnungsgrundlagen

Grundlage der Berechnung waren die vorliegenden technischen Unterlagen vom 18.10.96 sowie das Muster eines 25er Brandwandsteins.

Die Berechnungen wurden mittels dreidimensionaler Wärmestromanalyse nach [DIN10211] durchgeführt. Eindimensionale Wärmedurchgangswiderstände wurden nach [DIN4108] berechnet.

Die Wärmeleitfähigkeiten der verwendeten Materialien sind Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1 Materialwerte des Rechenmodells

Kürzel	Material	lambda	Quelle
		[W/(mK)]	
ps	Polystyrol035	0.035	isorast
st	Stahl	60.00	DIN 4108-4 2.1
bet	Beton	2.1	DIN 4108-4 2.1

3 Berechnungsverfahren

Das Schalungselement, dessen Innen- und Außenschale durch Drahtbügel verbunden sind, wurde wegen der punktförmig auftretenden Wärmebrücken (Drahtbügel) als dreidimensionales Modell berechnet.

Die Berechnungen wurden mit dem Finite-Elemente-Programm TRISCO der Firma Physibel, Belgien durchgeführt.

Das Modell des isorast Brandwandstein besteht aus zwei verschiedenen rechnerischen Teilmodellen, denen die Symmetrie des Steins zugrunde liegt. Jedes Teilmodell beinhaltet dabei einen Drahtbügel. Der Gesamtstein mit 14 Drahtbügeln setzt sich damit aus 14 Teilmodellen zusammen.

Die wärmetechnisch unwirksamen Noppen auf Innen- und Außenoberfläche wurden nicht berücksichtigt. Die genauen Maße sind Tab. 2 zu entnehmen.

Alle Brandwandsteine wurden auf innen- und Außenoberfläche unverputzt gerechnet.

Die Luftschlitze wurden gemäß [EN12412] (zweidimensionale Berechnung) berücksichtigt.

4 Ergebnisse

Tab. 2 Ergebnisse der Wärmebrückenberechnung (k-Wert 3dim) im Vergleich zur Berechnung nach DIN4108

Name	Version Name	Dicke ohne Noppen	k-Wert 3dim	Wirksame Dämmstoffdicke	Betonkern	k-Wert nach DIN4108	Differenz 3dim-DIN
		[m]	[W/(m ² K)]	[m]	[m]	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]
18er BWSt.	ib18a ib18b	0,1815	0,408	0,1065	0,0750	0,308	0,100
25er BWSt.	ib25a ib25b	0,2440	0,403	0,1060	0,1380	0,306	0,097
31er BWSt.	ib31a ib31b	0,3065	0,234	0,1685	0,1380	0,198	0,036
37er BWSt.	ib37a ib37b	0,3665	0,167	0,2285	0,1380	0,148	0,019
43er BWSt.	ib43a ib43b	0,4315	0,127	0,2935	0,1380	0,116	0,011

5 Bewertung

Durch den Drahtbügel war insgesamt eine geringe Wärmebrückenwirkung zu erwarten.

Tab. 2 zeigt einen Überblick über die mittels dreidimensionaler Wärmestromanalyse berechneten flächigen k-Werte. Ein Vergleich mit den nach DIN 4108 berechneten eindimensionalen k-Werte (ebenfalls Tab. 2) zeigt, daß insbesondere bei den „dünnen“ Brandwandsteinen nicht auf eine mehrdimensionale Rechnung verzichtet werden kann

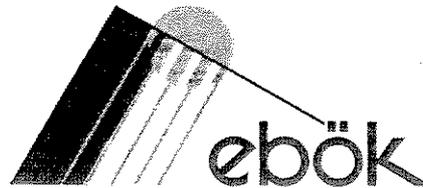
Mit zunehmender Wandungsdicke der Außenschale wird die Wärmebrückenwirkung der Drahtbügel geringer.

Das Bezugsmaß für die Berechnungen nach DIN ist eine Betonkerndicke von 75mm (18er Brandwandstein) bzw. 138 mm (bei allen Anderen). Durch die Komplexe Struktur der Schalungselemente auf der betonseitigen Schalungswand unterschätzt dieser Wert die Betonkerndicke, wodurch der 1-dimensional berechnete k-Wert tendenziell etwas zu optimistisch angegeben wurde.

Da diese Struktur bei der Modellierung der 3-dimensionalen Berechnung berücksichtigt wurde, gibt der k-Wert (3dim) die tatsächlichen Verhältnisse richtig wieder.

Die Isothermenbilder (Technischer Anhang zur Dreidimensionalen Wärmestromanalyse isorast Brandwandstein) zeigen auf der Innenoberfläche der Steine, bedingt durch den Drahtbügel, eine leichte Störung des Wärmestroms. Unter den gegebenen stationären Randbedingungen treten aber bei allen Wandungsdicken Temperaturunterschiede von weniger als 1K auf. Durch den (nicht modellierten) Innenputz wird dieser Temperaturunterschied weiter verschmiert, so daß hier keine nachweisbaren Unterschiede mehr auftreten dürften. Im Schnittbild ist die Störung durch den in die Schlitze eingesteckten Drahtbügel deutlich sichtbar.

- 3.1 Bauphysikalische Beurteilung der isorast-Wand (Berechnung des U-Wertes, Feuchtanfall, Glaser-Diagramm usw.)
- 3.2 Dreidimensionale Wärmestromanalyse des isorast-Brandwandsteines
- 3.3 Zweidimensionale Wärmestromanalyse des isorast-Rolladen-kasten - System 2000 -**
- 3.4 Nachweis des Wärme- und Feuchtigkeitsschutzes von Dächern, die mit isorast 2000-Dachdämmplatten gedämmt sind
- 3.5 Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten einer Wand mit isorast-Schalungssteinen in Neopor-Ausführung



Ingenieurbüro für Energieberatung,
Haustechnik und ökologische Konzepte
GbR mit beschränkter Haftung

Reutlinger Straße 16 • D-72072 Tübingen
Tel. 07071 - 93 940 • Fax 93 94 99

Zweidimensionale Wärmestromanalyse Rolladenkasten System isorast 2000

Erstellt im:	Dez. 1996
im Auftrag von:	isorast Taunusstein
Projektleitung:	Dipl.-Phys. Johannes Werner
Inhaltliche Bearbeitung:	Dipl.-Phys Gerhard Lude

1 AUFGABENSTELLUNG	1
2 BERECHNUNGSGRUNDLAGEN	1
3 BERECHNUNGSVERFAHREN (ZWEIDIMENSIONAL)	3
3.1 WÄRMEBRÜCKENVERLUSTKOEFFIZIENT.....	3
3.2 K-WERT	5
4 ERGEBNISSE	6
5 BEWERTUNG	9
6 LITERATURHINWEISE	11
ANHANG: TECHNISCHER ANHANG ZUR ZWEIDIMENSIONALEN WÄRMESTR OM- ANALYSE ROLLADENENKASTEN SYSTEM ISORAST 2000	

1 Aufgabenstellung

Die Wärmedurchgangskoeffizienten und Wärmebrückenverlustkoeffizienten der folgenden Rolladenkästen isorast System 2000 sollten berechnet werden:

- 31er Rolladenkasten
- 37er Rolladenkasten, Fensterposition normal und Fensterposition „Anschlag“
- 43er Rolladenkasten, Fensterposition normal und Fensterposition „Anschlag“

Es sollte der Nachweis erfolgen, daß die Rolladenkästen den Anforderungen der gültigen Wärmeschutzverordnung genügen. Beim 37er und beim 43er Rolladenkasten sollte die Tauglichkeit für den Einsatz im Passivhaus geprüft werden.

2 Berechnungsgrundlagen

Grundlage der Berechnung waren die vorliegenden technischen Unterlagen vom 23.9.96 sowie vom 2.12.96.

Tab. 1 Übersicht über die Berechneten Varianten und zugehörige technische Unterlagen

Vers.- Name	Beschreibung	Zeichnung	Zeichnung	Zeichnung	Dicke PS
		Roll./Sturz	Leibung	Brüstung	
					[mm]
ir31	isorast Rolladenkasten 31er vom 23.9.96. Ohne Anschluss Decke, oberer Anschl. 1 Regelwandstein, PH Testrahmen.	31_rol	n.v.	n.v.	307,5
ir37	37er	37_rol	Anlage 3	n.v.	370
ir37a	37er mit Einbauposition Anschlag 25,5 cm von AK Wand	37a_rol	Anlage 7	n.v.	370
ir37b	37er mit Einbauposition Anschlag 18 cm von AK Wand	n.v.	37a_seit	37a_unt	370
ir43	43er	43_rol	(Anlage 3)	n.v.	432,5
ir43a	43er mit Einbauposition Anschlag 25,5 von AK Wand	43a_rol	n.v.	n.v.	432,5

Die Berechnungen wurden mittels zweidimensionaler Wärmestromanalyse nach [DIN10211] durchgeführt. Dabei wurden das Verfahren zum Nachweis der Anforderungen der Wärmeschutzverordnung [WSchVO95], veröffentlicht im Bundesanzeiger [BAZ12646], berücksichtigt. Eindimensionale Wärmedurchgangswiderstände wurden nach [DIN4108] berechnet.

Die Wärmeleitfähigkeiten und verwendeten Materialien sind Tab. 2 zu entnehmen.

Tab. 2 Materialwerte des Rolladenmodells

Kürzel	Material	λ	Quelle
		[W/(mK)]	
ps	Polystyrol035	0,035	isorast
al	Aluminium	200	DIN 4108-4 2.1
st	Stahl	60,00	DIN 4108-4 2.1
bet	Beton	2,1	DIN 4108-4 2.1
hlz	Holz	0,13	BAZ

3 Berechnungsverfahren (zweidimensional)

Die Berechnungen wurden mit dem Finite-Elemente-Programm KOBRU86 der Firma Physibel, Belgien, durchgeführt.

Bei der Berechnungen wurden die in Tab. 2 angegebenen Materialien und Wärmeleitfähigkeiten verwendet. Die geometrischen Abmessungen wurden den in Tab. 1 genannten technischen Unterlagen entnommen. Die Dämmstoffdicke wurde ohne Berücksichtigung der wärmetechnisch unwirksamen Noppen an Innen- und Außenoberfläche ermittelt. Die hierbei verwendeten Maße sind ebenfalls Tab. 1 zu entnehmen.

Alle Rolladenkästen wurden unverputzt, also ohne Innen- und Außenputz gerechnet.

3.1 Wärmebrückenverlustkoeffizient

Der berechnete Wärmebrückenverlustkoeffizient des Rolladenkastens bezieht sich auf die konkrete Einbausituation in den Sturz eines Fensters ohne Berücksichtigung des Deckenanschlusses und mit einem passivhausgeeigneten Testrahmen. Der Wärmeverluststrom über den Testrahmen wurde dabei in einer gesonderten Berechnung ermittelt und vom berechneten Gesamtwärmestrom über Fenster, Rolladenkasten und Regelwandfläche abgezogen.

Damit ergibt sich der Wärmebrückenverlustkoeffizient des Rolladenkastens als Differenz der Wärmeströme über Rolladenkasten und Regelwandfläche zum Wärmestrom über die ungestörte Regelwandfläche ohne Rolladenkasten in den selben geometrischen Abmessungen.

Der Wärmebrückenverlustkoeffizient spiegelt also die zusätzlichen Wärmeverluste durch die Rolladenkastenkonstruktion im Vergleich zu dem idealisierten Anschluß von Rahmen und Wand ohne Rolladenkasten wieder. Er beinhaltet ebenfalls die Einflüsse einer, allerdings thermisch optimierten, Rahmenkonstruktion in der gezeigten Einbausituation.

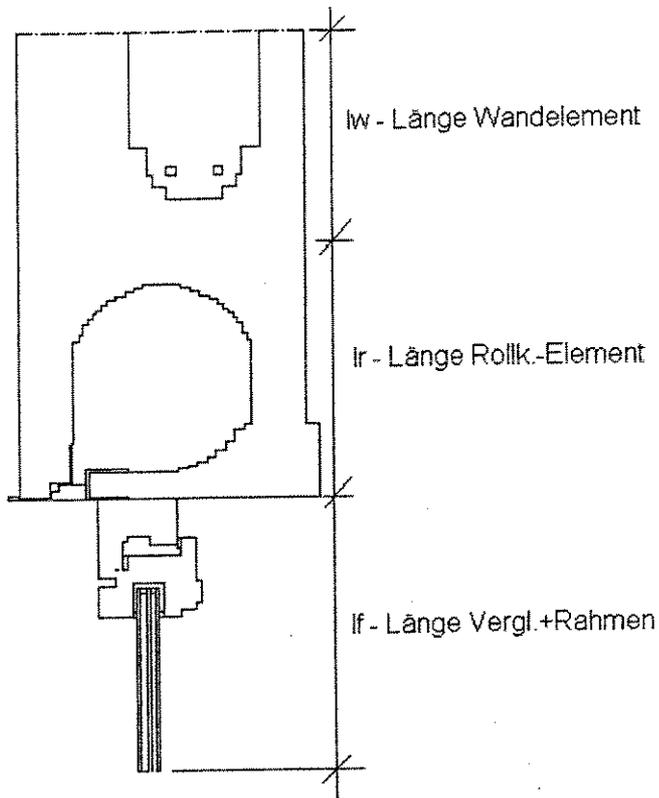


Abb. 1 Rechenmodell der Rolladenkästen (schematisch) mit Bezeichnung der Bezugsmaße.

$$WBV_a \text{ (Rolladenkasten)} = q_{ges} - q_f - k_W * (l_w + l_r) \quad [W/m]$$

- q_{ges} - Gesamtwärmestrom [W/K]
- q_f - Wärmestrom über Rahmen, Randverbund und Verglasung [W/K]
- k_W - Wärmedurchgangswiderstand d. ungestörten Wandfläche [W/(m²K)]
- l_w - Länge ungestörte Wandfläche im Modell [m]
- l_r - Länge Rolladenkasten-Element [m]

Der so definierte Wärmebrückenverlustkoeffizient eignet sich gut zur Beurteilung der Qualität der Rolladenkonstruktion und des Fensteranschlusses. Zur Verwendung in einem Energiekennwertverfahren ist er additiv zu einem Fenster-Wärmebrückenverlustkoeffizienten zu verwenden. Der rechnerische Wärmeverlust einer Fensterkonstruktion setzt sich also aus dem Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Fensters multipliziert mit den Längen der senkrechten Leibung, des Sturzes und der Brüstung sowie dem Rolladen-WBV multipliziert mit der Länge des Sturzes zusammen.

Bei dieser vereinfachten Vorgehensweise werden allerdings die Wärmeverluste systematisch überbewertet, da der Einfluß der Fensterleibung bereits teilweise im Fenster-WBV enthalten ist. Für eine genauere Analyse müsste das Gesamtsystem Fensterrahmen-Rolladenkasten mit dem zu untersuchenden Rahmen modelliert werden. Hierdurch könnte dem gegenseitigen Einfluß der Wärmebrücken von Rolladenkasten und Fensterrahmen Rechnung getragen werden. Diese Vorgehensweise würde allerdings zu einer sehr großen Zahl von Kombinationsvarianten führen.

3.2 k-Wert

Ein auf das Rolladenkastenelement bezogener k-Wert liese sich wie folgt angeben:

$$k_{r \text{ (Rolladenkastenelement)}} = (q_{\text{ges}} - q_f - k_w * l_w) / l_r$$

Bezugsfläche ist hierbei die projizierte Wandfläche des Rolladenkastenelements. Diese Definition ist konsistent mit den üblichen Energiekennwertverfahren, wobei aber die Überdeckungsfläche des Rolladenkastenelements gesondert von der Außenwandfläche aufgenommen werden muß.

Denkbar wäre auch eine Angabe mit der inneren oder der äußeren Abwicklungsfläche des Rolladenkastenelements als Bezugsfläche. Der Gesetzgeber sieht an dieser Stelle noch keine konsistente Vorgehensweise vor [IBP290]. Die dadurch vergrößerte Bezugsfläche führt zu einer starken Verkleinerung des Zahlenwerts im k-Wert - nicht aber des Wärmestroms! Da davon auszugehen ist, daß in einem konsistenten Kennwertverfahren mit der projizierten Fläche gerechnet wird, ist die Berechnung des k-Werts mit der abgewickelten Fläche als Bezugsfläche als verfälschend einzustufen. **Der k-Wert des Rolladenkastens sollte daher - wenn überhaupt - nur in Verbindung mit der Bezugsfläche angegeben werden.**

Für eine genaue Bilanzierung der Wärmeströme ist die Verwendung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten einfacher und genauer. Die k-Werte bezogen auf die projizierte, die innere und die äußere Abwicklungsfläche sind in Tab. 4 bzw. Abb. 2 angegeben.

Wegen der beschriebenden Unsicherheiten in der Bezugsfläche und der unter Zugrundelegung der projizierten Fläche signifikant schlechteren Bewertung durch das im Bundesanzeiger [BAZ12646] beschriebenen zweidimensionalen Verfahren wur-

den die Anforderungen an Rolladenkästen nach der Wärmeschutzverordnung [WSchVO95] mit dem eindimensionalen Verfahren nach [BAZ12646] nachgewiesen.

4 Ergebnisse

Alle untersuchten Rolladenelemente genügen den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung.

Tab. 3 Nachweis der Anforderungen der WäSchVo 1995 (k -Wert $< 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) an Rolladenkästen. Die Wege und die Einzelanforderungen sind in [BAZ12646] definiert.

		Weg 1	Weg 2	Weg 3	Innenwandung	Weg 4	Anforderung
Anforderung:		0,55	0,55	1,4	0,8	0,55	
		$[(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$	$[(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$	$[(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$	$[(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$	$[(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$	
ir31	isorast Rolladen 31er	2,57	9,00	3,14	1,57	0,86	erfüllt
ir37	isorast Rolladen 37er	2,57	10,71	5,00	3,43	0,86	erfüllt
ir43	isorast Rolladen 43er	2,57	12,57	6,71	5,14	0,86	erfüllt

Tab. 4 und Abb. 2 zeigen die Ergebnisse der k -Wert-Berechnung, basierend auf der zweidimensionalen Wärmestromanalyse. Durch die gegenüber der Projektionsfläche größere Abwicklungsfläche sind die Zahlenwerte des k -Werts, bezogen auf innere und äußere Abwicklungsfläche, kleiner. Der k -Wert-Bezug auf die äußere

Abwicklungsfläche gibt dabei aber die Tendenz der physikalisch sinnvollerer Kurve „Projektionsfläche“ besser wieder. Die Kurve der inneren Bezugsfläche schneidet die der äußeren Bezugsfläche sogar!

Tab. 4 Übersicht k-Wert-Berechnung für verschiedene Bezugsflächen. Der Wärmestrom durch das Rolladenelement bleibt dabei unverändert.

	k-Wert	k-Wert	k-Wert
	Bezug: Projektionsfläche	Bezug: Äußere Abwicklung	Bezug: Innere Abwicklung
	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]
isorast Rolladen 31er	0,63	0,47	0,38
isorast Rolladen 37er	0,53	0,40	0,28
isorast Rolladen 37er Anschlag	0,28	0,14	0,23
isorast Rolladen 37er Anschlag	0,33	0,19	0,21
isorast Rolladen 43er	0,50	0,37	0,23
isorast Rolladen 43er Anschlag	0,23	0,11	0,15

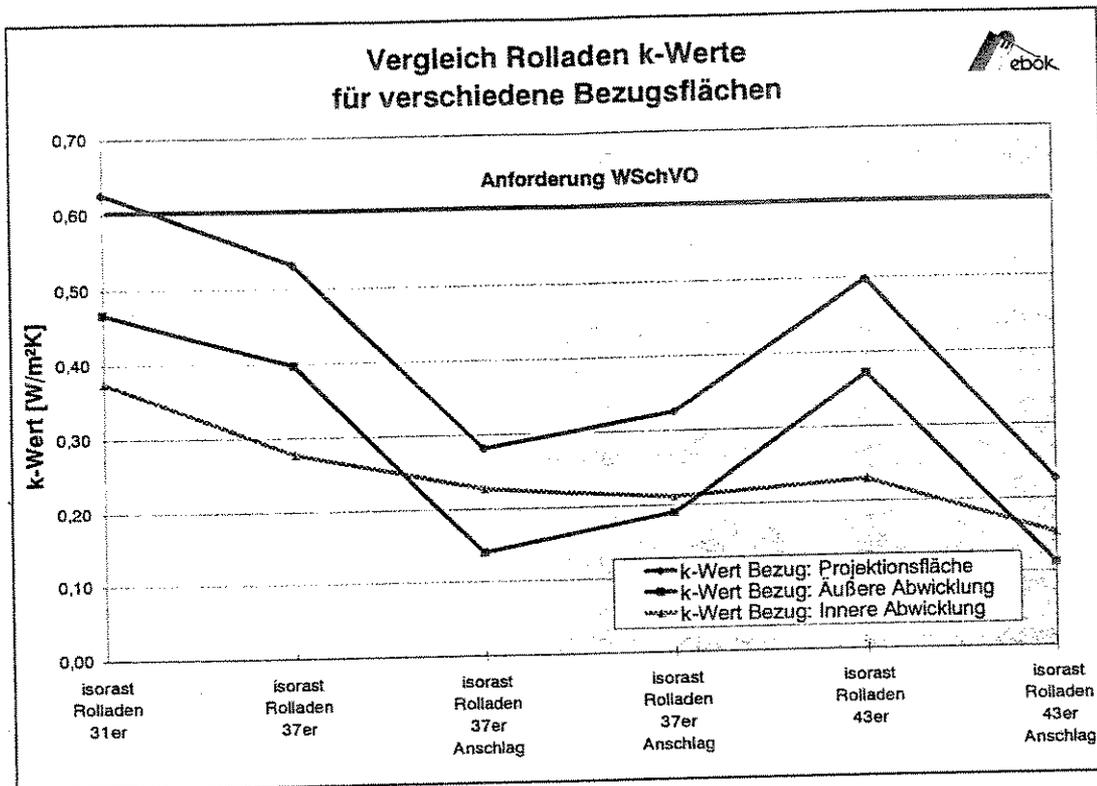


Abb. 2 k-Wert der Rolladenkästen für verschiedene Bezugsflächen aus zweidimensionaler Wärmestromanalyse. Der Wärmestrom ändert sich jeweils nicht. Alle Rolladenkästen erfüllen die Anforderungen nach WSchVO bei eindimensionalen Nachweis.

Die Ergebnisse der zweidimensionalen Wärmestromanalyse sind in Tab. 5 dargestellt.

Tab. 5 Ergebnisse der zweidimensionalen Wärmebrückenberechnung

Version	Beschreibung	WBV _a [W/(mK)]
ir31	isorast Rolladenkasten 31er. Rahmen vorne	0,107
ir37	isorast Rolladenkasten 37er. Rahmen vorne	0,096
ir37a	isorast Rolladenkasten 37er. Rahmen im Anschlag 25,5cm von AK Wand	0,034
ir37b	isorast Rolladenkasten 37er. Rahmen im Anschlag 18cm von AK Wand	0,045
ir43	isorast Rolladenkasten 43er. Rahmen vorne	0,096
ir43a	isorast Rolladenkasten 43er. Rahmen im Anschlag 25,5cm von AK Wand	0,028

5 Bewertung

Der Rolladenkasten stellt eine Schwächung der Dämmung der Außenwand dar. Dies kann bei einem in der Außenwand bündig eingelassenen Hohlraum zur Aufnahme des Rolladenwickels nicht vermieden werden. Entscheidend für die Wärmebrückenwirkung der Konstruktion ist hierbei der Verlauf der Isothermen. Anzustreben ist ein im Schnitt der Wand ungekrümmt verlaufende Isothermenschar. Ideal wären hierbei parallel verlaufende Isothermen, was eine verschwindende Wärmebrückenwirkung zur Folge hätte. Die Wärmebrückenwirkung ist stark von der Einbauposition des Rahmens abhängig. Durchgängig besser sind dabei Konstruktionen mit nach innen versetztem Rahmen (Position „Anschlag“). Hierbei liegt der Rahmen im Schwerpunkt der an dieser Stelle wirksamen Dämmstoffschicht, die Isothermen verlaufen weniger gekrümmt (technischer Anhang zur zweidimensionalen Wärmestromanalyse Rolladenkasten System isorast 2000). Tab. 5 gibt einen Überblick über die Rechenergebnisse. Danach zeigen alle Konstruktionen mit vorne eingebautem Rahmen einen Wärmebrückenverlustkoeffizienten um 0,1 W/(mK). In

der Einbauposition Anschlag verringert sich die Wärmebrückenwirkung beim 37er Rolladenkasten auf ca. ein Drittel. Die genaue Einbauposition spielt hier erst an zweiter Stelle eine Rolle. Beim 43er Rolladenkasten verringert sich die Wärmebrückenwirkungen sogar auf weniger als ein Drittel des Werts mit Einbau des Rahmens vorne.

Setzt man die Wärmeverluste über die Rolladenkästen ins Verhältnis zu den Gesamtwärmeverlusten eines typischen Passivhauses mit 110 m² Energiebezugsfläche, einem Energiekennwert von 15 kWh/(m²a) und 16 m Rolladenkästen, so liegen die zusätzlichen Wärmeverluste über die Rolladenkästen mit einem Wärmebrückenverlustkoeffizient von 0,1 W/(mK) bei ca. 1,2 kWh/(m²a) oder 8% des Heizenergiebedarfs. Für die Passivhaustauglichkeit ist ein geringerer Wärmeverlust anzustreben. Die Konstruktionen von 37er und 43er Rolladenkästen mit Einbauposition „Anschlag“ sind hier deutlich günstiger.

Die wärmetechnisch günstige Einbauposition des Fensterrahmens mit großem Abstand zur Außenkante der Wand steht hier allerdings in Konkurrenz zur Nutzbarkeit der solaren Gewinne. Je weiter innen das Fenster eingebaut ist, um so mehr wird das Fenster durch die Leibung verschattet. Anzuraten wäre damit eine optimierter Einbau der die Wärmebrückenwirkung von Rolladenkästen und die Gewinne durch solare Einstrahlung berücksichtigt.

6 Literaturhinweise

- [DIN10211] DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau. Wärmestrom und Oberflächentemperaturen. Teil 1: Allgemeine Rechenmethoden. Ausgabe Nov. 1995. Beuth-Verlag, Berlin.
- [WSchVO95] WärmeschutzV 1995: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. Ausgabe Aug. 1994. Bundesgesetzblatt I, Nr. 55, S.2021 ff.
- [DIN4108] DIN 4108:1996 (Entwurf): Wärmeschutz im Hochbau. Ausgabe November 1995. Beuth-Verlag, Berlin
- [BAZ12646] Bekanntmachungen zur Wärmeschutzverordnung vom 31.12.94. Bundesanzeiger (1994), Nr. 246, S. 12646
- [IBP290] D. Oswald et al.; Beurteilung von Rolladenkästen nach der neuen Wärmeschutzverordnung; IBP Mitteilungen 290; Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Stuttgart 1995

- 3.1 Bauphysikalische Beurteilung der isorast-Wand (Berechnung des U-Wertes, Feuchtanfall, Glaser-Diagramm usw.)
- 3.2 Dreidimensionale Wärmestromanalyse des isorast-Brandwandsteines
- 3.3 Zweidimensionale Wärmestromanalyse des isorast-Rollladenkasten - System 2000 -
- 3.4 **Nachweis des Wärme- und Feuchtigkeitsschutzes von Dächern, die mit isorast 2000-Dachdämmplatten gedämmt sind**
- 3.5 Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten einer Wand mit isorast-Schalungssteinen in Neopor-Ausführung

FORSCHUNGSINSTITUT ^{C1-8b/94} FÜR WÄRMESCHUTZ E.V. MÜNCHEN

FORSCHUNGS- UND PRÜFTÄTIGKEIT AUF DEM GEBIET DES WÄRME- UND FEUCHTESCHUTZES IM BAUWESEN UND BEI BETRIEBSTECHNISCHEN ANLAGEN
BAUAUFSICHTLICH ANERKANNTE PRÜFSTELLE FÜR DIE GÜTEÜBERWACHUNG VON DÄMMSTOFFEN
DIREKTORIUM: DR.-ING. J. ACHTZIGER UND DIPL.-ING. H. ZEHENDNER

Nachweis des Wärme- und Feuchtigkeitsschutzes von Dächern, die mit isorast-2000-Dachdämmplatten gedämmt sind, nach DIN 4108, Teil 1 - 5, Ausgabe August 1981
Auszug aus dem Gutachten C1-8/94

- Antragsteller:** isorast GmbH
65219 Taunusstein
- Untersuchtes Bauteil:** Dachkonstruktion mit Dachdämmelementen aus Polystyrol-Hartschaum nach DIN 18 164 mit einer Rohdichte größer als 20 kg/m^3 . Die Dicke beträgt im Mittel 169 mm.
Zusätzlich Zwischensparrendämmung aus 180 mm Polystyrolschaum-Partikeln.
- Unterlagen:** Untersuchungsbericht C1-8/94 des Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München vom 28.09.1994.
Den Berechnungen des Wärme- und Feuchtigkeitsschutzes wurde der jeweils ungünstigste Fall bezüglich der Hinterlüftung der Dacheindeckung zugrunde gelegt.
- Untersuchungsergebnis:** Wärmeschutz - Ausgebautes Dachgeschoß
Beim Einsatz in einer Dachkonstruktion mit Gipskarton als raumseitiger Abschluß beträgt der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient

$$k_D = 0,12 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

- Blatt 2 -

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 und nach der Wärmeschutzverordnung (Anlage 1, Tabelle 2) werden erfüllt.

Feuchtigkeitsschutz

Die Anforderungen der DIN 4108, Teil 3 und der "Regeln für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen" Abschnitt 4.3.6 werden erfüllt, da

- a) das während der Tauperiode im Innern des Bauteils anfallende Wasser während der Verdunstungsperiode wieder an die Umgebung abgeführt werden kann.
- b) die ermittelte Tauwassermenge die zulässige Höchstmenge unterschreitet.

Gräfelfing, den 28.09.1994
TBJ-hn

Das Direktorium

J. Achziger

Dr.-Ing. J. Achziger

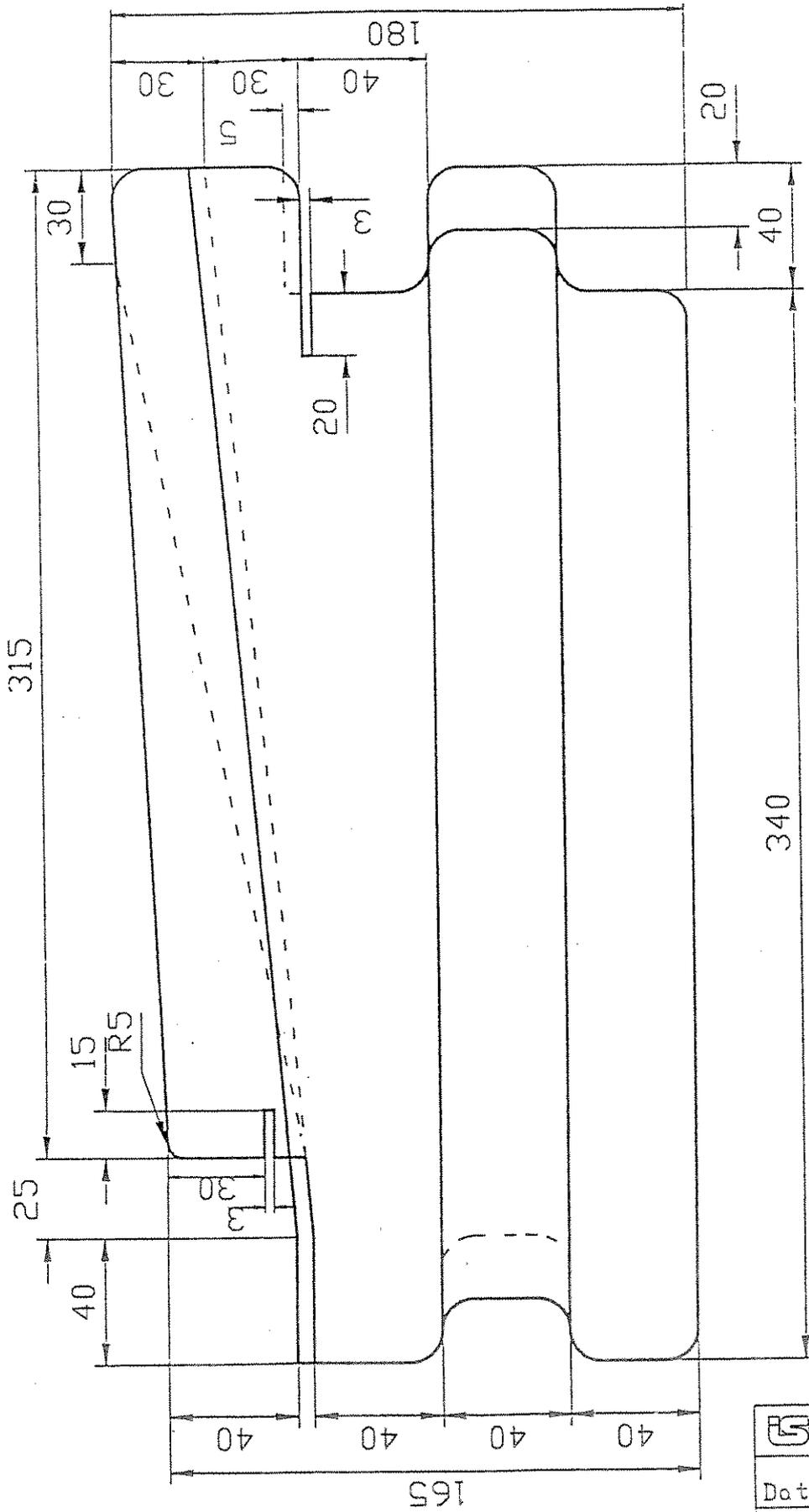


Sachbearbeiter

T. Bruus-Jensen

T. Bruus-Jensen

Abbildung 1
zum Prüfbericht C1-8/94

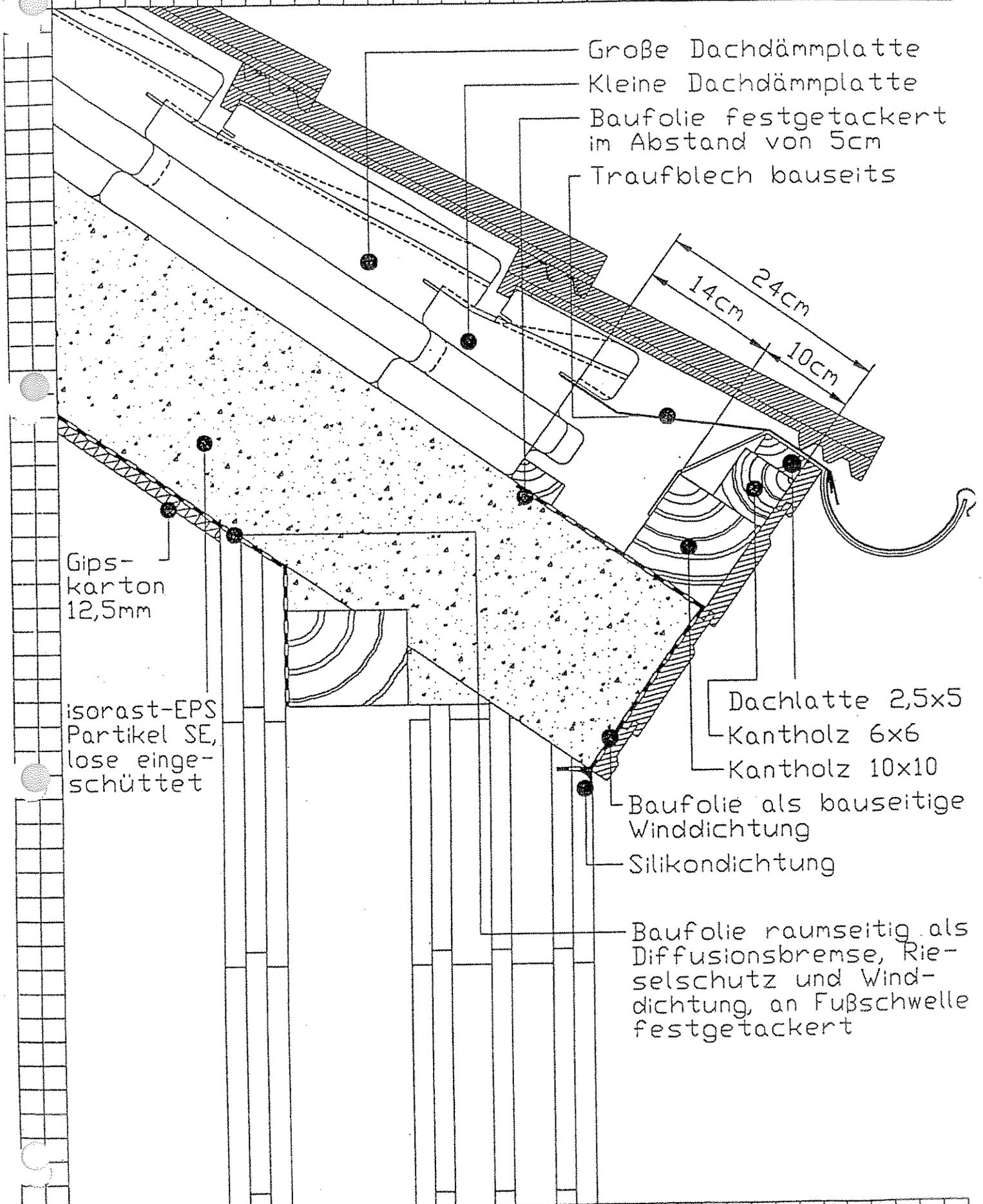


Nicht bemasste Radien R=10

ISORAST	ISORAST-
Datum: 29.04.94	Dachdämmplatte
Maßstab 1:2	SYSTEM 2000
Z.Nr.: DD2/A	

Abbildung 3
zum Prüfbericht C1-8/94

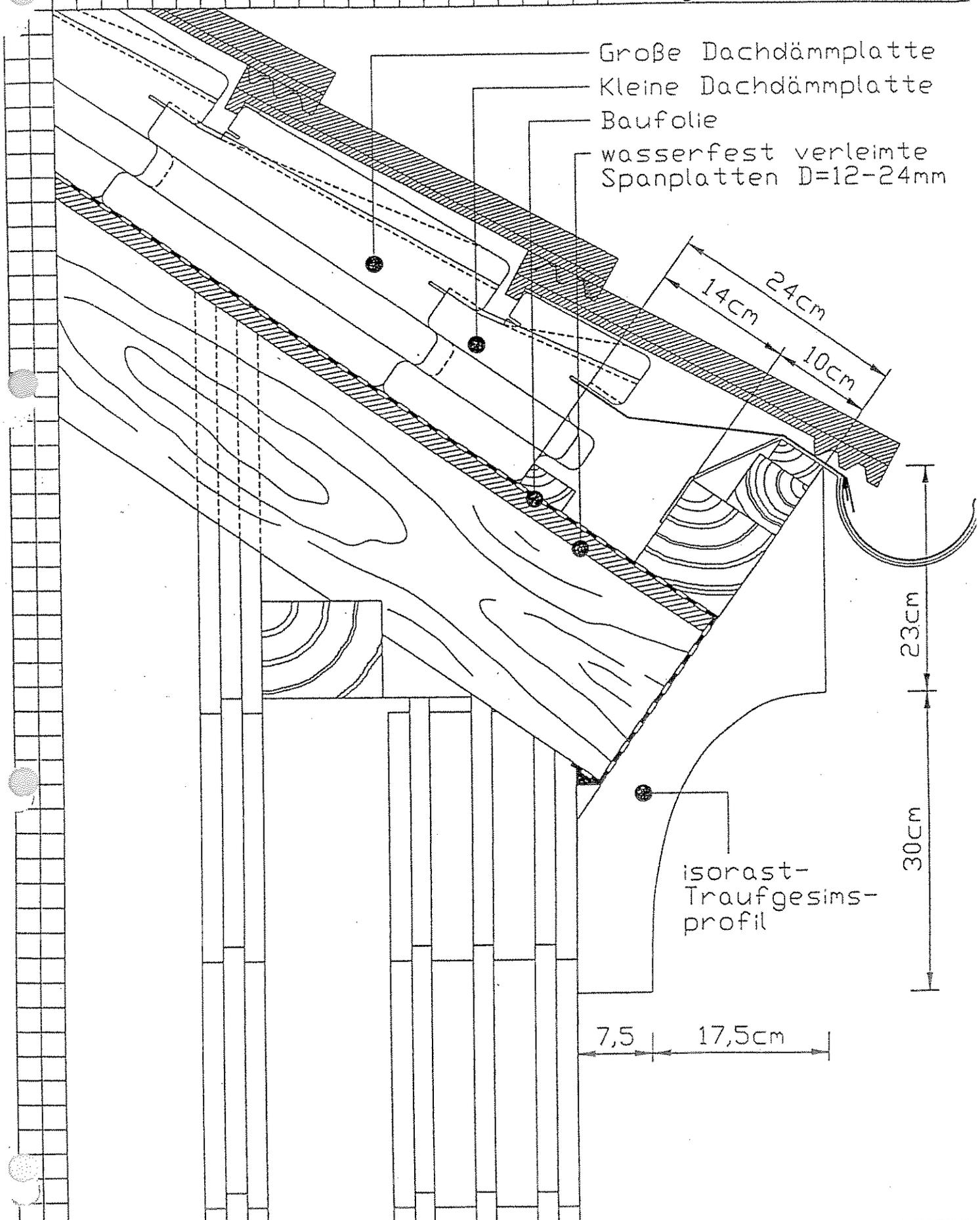
SYSTEM 2000 N4-46
Traufe mit Zwischen-
sparrendämmung M1:5



isorast

Abbildung 2
zum Prüfbericht 01-8/94

SYSTEM 2000 N4-47
Traufe mit
Traufgesims M1:5



isorast

- 3.1 Bauphysikalische Beurteilung der isorast-Wand (Berechnung des U-Wertes, Feuchtanfall, Glaser-Diagramm usw.)
- 3.2 Dreidimensionale Wärmestromanalyse des isorast-Brandwandsteines
- 3.3 Zweidimensionale Wärmestromanalyse des isorast-Rollladenkasten - System 2000 -
- 3.4 Nachweis des Wärme- und Feuchtigkeitsschutzes von Dächern, die mit isorast 2000-Dachdämmplatten gedämmt sind
- 3.5 Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten einer Wand mit isorast-Schalungssteinen in Neopor-Ausführung**

2 Neue Wärmeleitfähigkeit für isorast-Schalungselemente

Für das neue Material NEOPOR wurde bei den U-Wert-Berechnungen eine Wärmeleitfähigkeit von 0,030 W/(mK) unterstellt. Die Prüfung des FIW München wie auch der MPA Stuttgart haben nun identische Messwerte des für isorast verwendeten Materials ergeben: Eine Wärmeleitfähigkeit von 0,0306 W/(mK). Dies ergibt aufgerundet ein Rechenwert von 0,031 W/(mK).

Dies wäre eine Abweichung von 3,3 % gegenüber den bisher berechneten U-Werten.

In nachfolgender Auflistung wird daher gezeigt, wie die neuen U-Werte lauten:

Wand- dicke	Stege	U-Wert bei Wärmeleitfähigkeit 0,30	U-Wert NEU bei Wärmeleitfähigkeit 0,31	ergibt gerundet
25	Neopor	0,2582	0,2667	0,27
	Stahl	0,3112	0,3215	0,32
31	Neopor	0,1679	0,1734	0,17
	Stahl	0,1883	0,1945	0,19
37	Neopor	0,1244	0,1285	0,13
	Stahl	0,1353	0,1398	0,14
43	Neopor	0,0988	0,1020	0,10
	Stahl	0,1055	0,1089	0,11

Das heißt im Klartext:

- Die U-Werte für den 31er-Außenwandstein wie auch den 43er-Super-Dickwandstein bleiben unverändert.
- Für den 25er-Innenwandstein muss in Zukunft statt 0,26 nun 0,27 angegeben werden, beim Element mit Drahtstegelement statt 0,31 nun 0,32.
- Von dem schönen, aber knappen U-Wert des 37er-Dickwandsteines müssen wir uns leider verabschieden: Dieser ist ab sofort nur noch 0,13 statt 0,12 bzw. beim Drahtstegelement 0,14 statt 0,13.



PRÜFBERICHT

- Antragsteller:** isorast Niedrigenergiehaus-Produkte GmbH
65232 Taunusstein-Hambach
- Inhalt des Antrages:** Durchführung der Erstprüfung (Initial Type Test)
nach EN 13163 an Wärmedämmstoffen für Gebäude:
Werkmäßig hergestellte Produkte aus
expandiertem Polystyrol (EPS)
Bez. „Isorast-Schalungselemente“
in Neopor-Ausführung
- Art und Lieferform:** Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe für Gebäude
aus expandiertem Polystyrol (EPS) nach EN 13163 nach
folgendem Herstellverfahren:
Automatenware mit einer Druckspannung bei 10 % Stau-
chung von ≥ 150 kPa (CS(10)150)
Nennwert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_D = 0,031$ W/(m·K)
- Herkunft der Proben:** Die untersuchten Proben wurden vom Hersteller entnom-
men und im Februar 2003 dem FIW München übersandt.
- Bericht Nr.:** L1-18/2004
- Ausstellungsdatum:** 25. Februar 2004
- Textseiten:** 3

Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes in Druckschriften ist nur mit schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.



Durchgeführte Prüfungen:

Anlässlich eines Gesprächs im FIW München wurde das Verfahren zur Erlangung eines Nennwerts der Wärmeleitfähigkeit nach DIN EN 13163, der Rohdichtebereich und die Statistik besprochen. Im Februar 2003 wurden verschiedene Schalungselemente unterschiedlicher Dicke und mit unterschiedlichem Herstellungsdatum übersandt und nach Anhang ZA2 bzw. Abschnitt 4.2.1 der DIN EN 13163, der Wärmedurchlasswiderstand und die Wärmeleitfähigkeit nach DIN EN 12667 an Probekörpern geprüft, die aus den Schalungselementen geschnitten wurden.

Die Statistik der Wärmeleitfähigkeit mit der Ermittlung des $\lambda_{90/90}$ -Wertes sowie der vom Hersteller deklarierte Nennwert der Wärmeleitfähigkeit wurden am 10.06.2003 übersandt.

Die Firma Isorast legt für das grau gefärbte, expandierte Polystyrol, Bez. „Isorast-Schalungselemente“ für den Rohdichte-Bereich 24,6 kg/m³ bis 26,9 kg/m³ den Nennwert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_D = 0,031$ W/(m·K) fest.

Der $\lambda_{90/90}$ -Wert aus 10 Messwerten betrug 0,0306 W/(m·K).

Die Prüfung der Druckspannung nach DIN EN 826 führt die MPA Stuttgart (Kenn-Nr. 0672) durch. Das FIW München (Kenn-Nr. 0751) erstellt den zusammenfassenden Prüfbericht.

Ergebnisse:

Wärmeleitfähigkeit:

Die Ergebnisse der Prüfungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Die Wärmeleitfähigkeit nach Abschnitt 4.2.1 der EN 13163, wurde nach DIN EN 12667 bestimmt: Blockware aus grauem Rohstoff, $\lambda_D = 0,031$ W/(m·K). Expandierter Polystyrol-Hartschaum, Automatenware in Form von Schalungselementen

Herstellungsdatum	Dicke mm	Rohdichte Kg/m ³	Messwert der Wärmeleitfähigkeit bei 10°C Mittel- temperatur λ_1 W/(m·K)	vom Hersteller festgelegter Nennwert der Wärmeleitfähigkeit λ_D W/(m·K)
Juli 02	50,2	24,6	0,0297	0,031
Februar 02	128,8	25,4	0,0299	
Februar 02	129,6	26,4	0,0303	
Februar 02	130,4	26,9	0,0304	

Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes in Druckschriften ist nur mit schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.



Druckspannung:

Prüfung nach DIN EN 826

Bezeichnung	Rohdichte Kg/m ³	Druckspannung bei 10 % Stauchung kPa	Nennwert der Druckspannung kPa
31er-Wand Stein	27,0	163	150
37er-Dickwandung	28,1	167	
37er-Dickwandstein	26,2	158	
25er-Innenwandstein	27,7	159	

Beurteilung:

Die geprüften Schalungselemente aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) erfüllen die vom Hersteller angegebenen Nennwerte der Wärmeleitfähigkeit und der Druckspannung.

Das Herstellwerk Lorch/Rhein ist deshalb berechtigt, die EPS-Hartschaumplatten mit den aus der Nenndicke und dem Nennwert der Wärmeleitfähigkeit errechneten Nennwerten des Wärmedurchlasswiderstands, dem Nennwert der Wärmeleitfähigkeit von 0,031 W/(m·K) und der Druckspannung nach DIN EN 13163 zu kennzeichnen.

Hinweis:

Die Messwerte und Nennwerte beziehen sich auf den EPS-Schaum der Isorast-Schalungselemente und nicht auf die Bauart oder den Einsatz der Schalungselemente. Für den so genannten Brauchbarkeitsnachweis kann eine Europäische Technische Zulassung oder eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung notwendig sein.

Gräfelfing, 25. Februar 2004

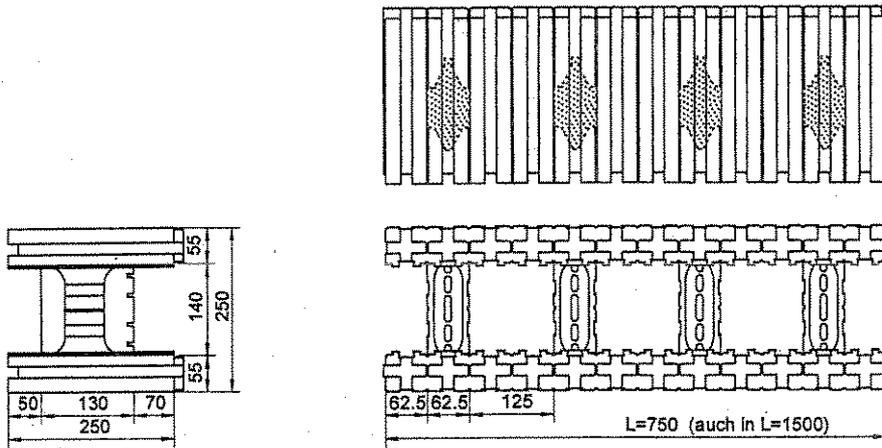
Sachgebietsleiter

Dipl.-Ing. (FH)W. Albrecht

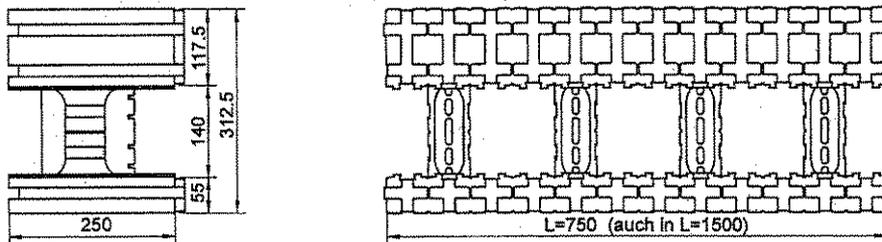


Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes in Druckschriften ist nur mit schriftlicher Genehmigung des FWW München zulässig.

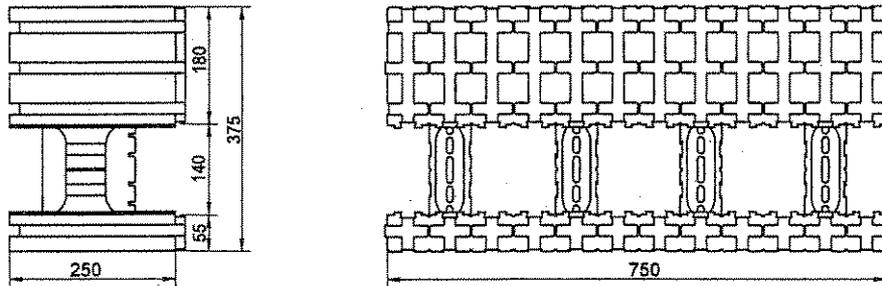
Anlage 1: Isorast Schalungssteine in Neopor Ausführung mit Dämmstoffstegen



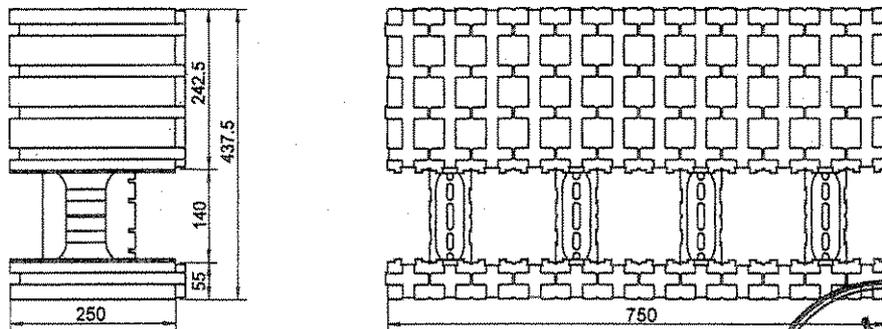
25er-Innenwandstein



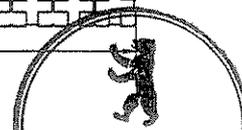
31er-Außenwandstein



37er-Dickwandstein

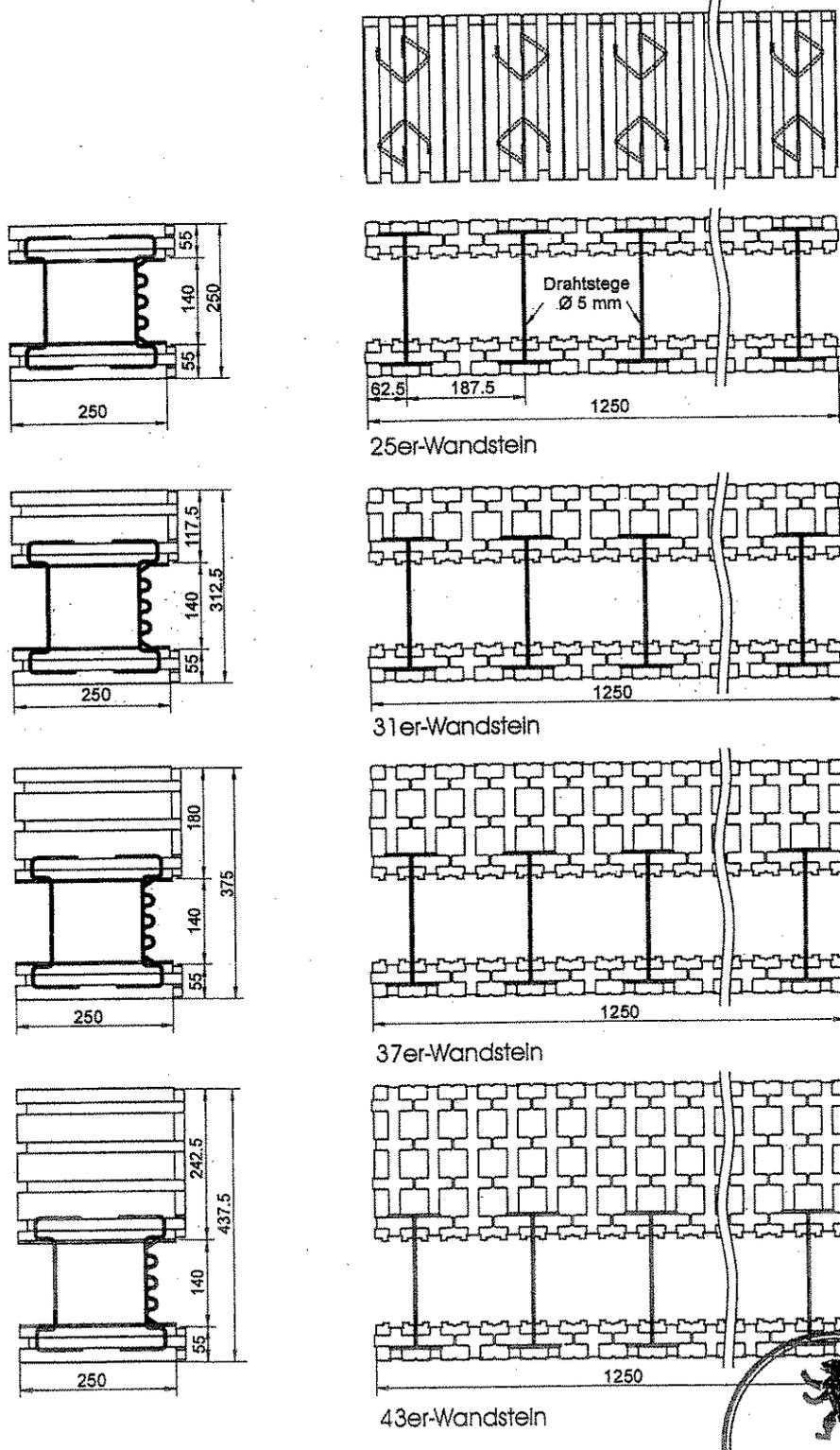


43er-Super-Dickwandstein



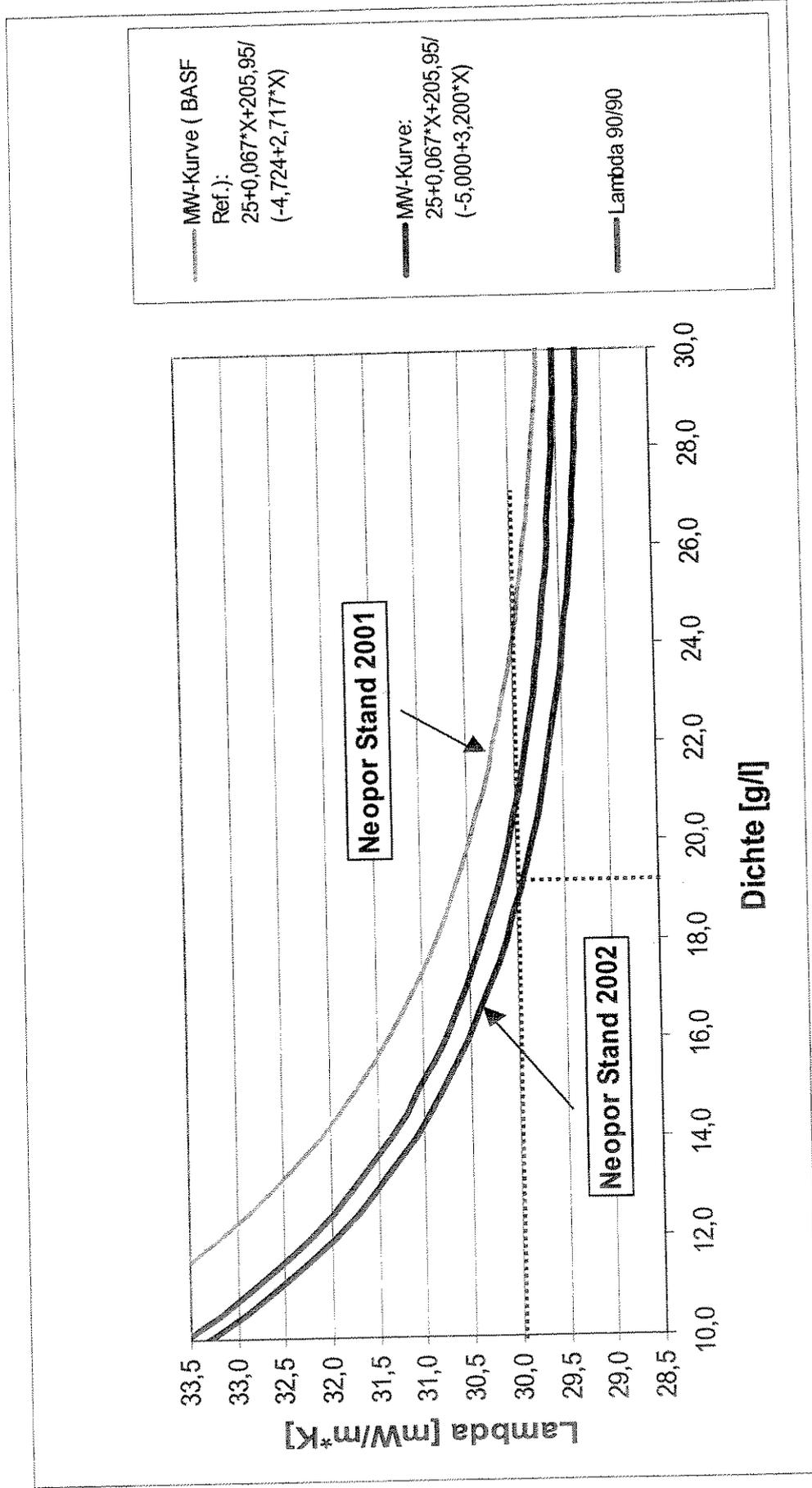
Diese Kurzfassung des Prüfberichts B3-12/03 darf ohne die weiteren Seiten des Berichts veröffentlicht werden.

Anlage 2: Isorast Schalungssteine in Neopor Ausführung mit Stahlstegen



Diese Kurzfassung des Prüfberichts B3-12/03 darf ohne die weiteren Seiten des Berichts veröffentlicht werden.

BASF-Referenzkurve NEOPOR®



Bauteil: isorast-Außenwand Wandstärke:		0,2500 m		
Nr	Schichten	Schichtdicke s [m]	Wärmeleitfähigkeit D _R [W/mK]	Wärmedurchlass- widerstand s/DR
1	Innenputz	0,0100	0,350	0,0286
2	25er isoraststein	0,2500	0,070	3,5542
5	Kunstharzputz	0,0150	0,700	0,0214
Wandstärke:		0,2750	Summe 1/A:	3,6042
			Wärmeübergangswiderstand R _s	0,1300
			Wärmeübergangswiderstand R _{se}	0,0400
			Wärmedurchgangswiderstand 1/U	3,7742
		0,2650	U-Wert	0,27

Bauteil: isorast-Außenwand Wandstärke:		0,3125 m		
Nr	Schichten	Schichtdicke s [m]	Wärmeleitfähigkeit D _R [W/mK]	Wärmedurchlass- widerstand s/DR
1	Innenputz	0,0100	0,350	0,0286
2	31er isoraststein	0,3125	0,057	5,5076
5	Kunstharzputz	0,0150	0,700	0,0214
Wandstärke:		0,3375	Summe 1/A:	5,5576
			Wärmeübergangswiderstand R _s	0,1300
			Wärmeübergangswiderstand R _{se}	0,0400
			Wärmedurchgangswiderstand 1/U	5,7276
		0,1746	U-Wert	0,17

Bauteil: isorast-Außenwand Wandstärke:		0,3750 m		
Nr	Schichten	Schichtdicke s [m]	Wärmeleitfähigkeit D _R [W/mK]	Wärmedurchlass- widerstand s/DR
1	Innenputz	0,0100	0,350	0,0286
2	37er isoraststein	0,3750	0,050	7,4612
5	Kunstharzputz	0,0150	0,700	0,0214
Wandstärke:		0,4000	Summe 1/A:	7,5112
			Wärmeübergangswiderstand R _s	0,1300
			Wärmeübergangswiderstand R _{se}	0,0400
			Wärmedurchgangswiderstand 1/U	7,6812
		0,1302	U-Wert	0,13

Bauteil: isorast-Außenwand Wandstärke:		0,4375 m		
Nr	Schichten	Schichtdicke s [m]	Wärmeleitfähigkeit D _R [W/mK]	Wärmedurchlass- widerstand s/DR
1	Innenputz	0,0100	0,350	0,0286
2	43er isoraststein	0,4375	0,046	9,4127
5	Kunstharzputz	0,0150	0,700	0,0214
Wandstärke:		0,4625	Summe 1/A:	9,4627
			Wärmeübergangswiderstand R _s	0,1300
			Wärmeübergangswiderstand R _{se}	0,0400
			Wärmedurchgangswiderstand 1/U	9,6327
		0,1038	U-Wert	0,1

Formular: U-Wert - Berechnung

Bauteil: isorast-Außenwand Wandstärke: 0,2500 m				
Nr	Schichten	Schichtdicke s [m]	Wärmeleitfähigkeit D _R [W/mK]	Wärmedurchlass- widerstand s/DR
1	Innenputz	0,015	0,350	0,0429
2	isorast - Innendämmung (Neopor)	0,055	0,032	1,7188
3	isorast - Betonkern	0,140	1,350	0,1037
4	isorast - Außendämmung (Neopor)	0,055	0,032	1,7188
5	Kunstharzputz	0,010	0,700	0,0143
Wandstärke:		0,275	Summe 1/A:	3,5985
			Wärmeübergangswiderstand R _s	0,1300
			Wärmeübergangswiderstand R _{se}	0,0400
			Wärmedurchgangswiderstand 1/U	3,7685
		0,2654	U-Wert	0,27

Bauteil: isorast-Außenwand Wandstärke: 0,3125 m				
Nr	Schichten	Schichtdicke s [m]	Wärmeleitfähigkeit D _R [W/mK]	Wärmedurchlass- widerstand s/DR
1	Innenputz	0,015	0,350	0,0429
2	isorast - Innendämmung (Neopor)	0,055	0,032	1,7188
3	isorast - Betonkern	0,140	1,350	0,1037
4	isorast - Außendämmung (Neopor)	0,118	0,032	3,6719
5	Kunstharzputz	0,010	0,700	0,0143
Wandstärke:		0,338	Summe 1/A:	5,5516
			Wärmeübergangswiderstand R _s	0,1300
			Wärmeübergangswiderstand R _{se}	0,0400
			Wärmedurchgangswiderstand 1/U	5,7216
		0,1748	U-Wert	0,17

Bauteil: isorast-Außenwand Wandstärke: 0,3750 m				
Nr	Schichten	Schichtdicke s [m]	Wärmeleitfähigkeit D _R [W/mK]	Wärmedurchlass- widerstand s/DR
1	Innenputz	0,015	0,350	0,0429
2	isorast - Innendämmung (Neopor)	0,055	0,032	1,7188
3	isorast - Betonkern	0,140	1,350	0,1037
4	isorast - Außendämmung (Neopor)	0,180	0,032	5,6250
5	Kunstharzputz	0,010	0,700	0,0143
Wandstärke:		0,400	Summe 1/A:	7,5047
			Wärmeübergangswiderstand R _s	0,1300
			Wärmeübergangswiderstand R _{se}	0,0400
			Wärmedurchgangswiderstand 1/U	7,6747
		0,1303	U-Wert	0,13

Bauteil: isorast-Außenwand Wandstärke: 0,4375 m				
Nr	Schichten	Schichtdicke s [m]	Wärmeleitfähigkeit D _R [W/mK]	Wärmedurchlass- widerstand s/DR
1	Innenputz	0,015	0,350	0,0429
2	isorast - Innendämmung (Neopor)	0,055	0,032	1,7188
3	isorast - Betonkern	0,140	1,350	0,1037
4	isorast - Außendämmung (Neopor)	0,243	0,032	7,5781
5	Kunstharzputz	0,010	0,700	0,0143
Wandstärke:		0,463	Summe 1/A:	9,4578
			Wärmeübergangswiderstand R _s	0,1300
			Wärmeübergangswiderstand R _{se}	0,0400
			Wärmedurchgangswiderstand 1/U	9,6278
		0,1039	U-Wert	0,10