



Dipl. Ing. Markus Friedrich

Datentechnik

Bahnhofstraße 74
15732 Eichwalde bei Berlin
Tel. 0 30/67 81 95 23
www.friedrich-datentechnik.de

Fachbericht über Windsogstandfestigkeit vollflächig verklebter Dachsysteme mit Schaumglas

Auftraggeber: Deutsche FOAMGLAS® GmbH
Zentrale Technik
Freiheitstraße 11
40699 Erkrath

Stand: Dezember 2010

Inhalt:

Windsogstandfestigkeit vollflächig verklebter Dachsysteme mit Schaumglas	3
Physikalische Grundlagen	4
Wirkung der Raumlufte auf das Dachabdichtungspaket	5
Wirbeleffekte	6
Sicherheitsreserven	7
Berechnung nach DIN 1055, Teil 4	8
Baupraxis und Verlegetechnik	11
Bauphysik	12
Korrekturberechnung gemäß DIN EN ISO 6946	13
U-Wert und Grenzflächentemperaturen	14
Lebensdauer und Sanierungsfähigkeit	16
Vergleichsberechnungen aus der Praxis	17

Windsogstandfestigkeit vollflächig verklebter Dachsysteme mit Schaumglas

Bauen in Zeiten des Klimawandels stellt für Planer und Dachhandwerker eine neuartige Herausforderung dar. Sowohl Häufigkeit als auch das Ausmaß von Starkregen und Orkanen nehmen signifikant zu. Die Versicherungen haben ihre auf Risikoabschätzung beruhenden Tarife bereits erhöht. Doch auch die Planung und der Bau von Dachkonstruktionen muss den wachsenden Anforderungen gerecht werden.



Von allen Naturphänomenen stellen Orkane die größte, sich unmittelbar aus der Klimaänderung ergebende Gefahr für Flachdächer dar. Eine verantwortungsvolle Planung erfordert deshalb fundierte Kenntnisse über die Wirkung von Wind an flachgeneigten Dächern.

Physikalische Grundlagen:

Wind besteht aus Luft. Luft wiederum besteht aus unzähligen Gasmolekülen, welche scheinbar völlig ungeordnet kreuz und quer durch den Raum fliegen. Bei Windstille wird keine der 6 Flugrichtungen (x-, y- und z-Richtung, jeweils vor oder zurück) bevorzugt, so dass die Summe der Bewegungen zu Null wird.

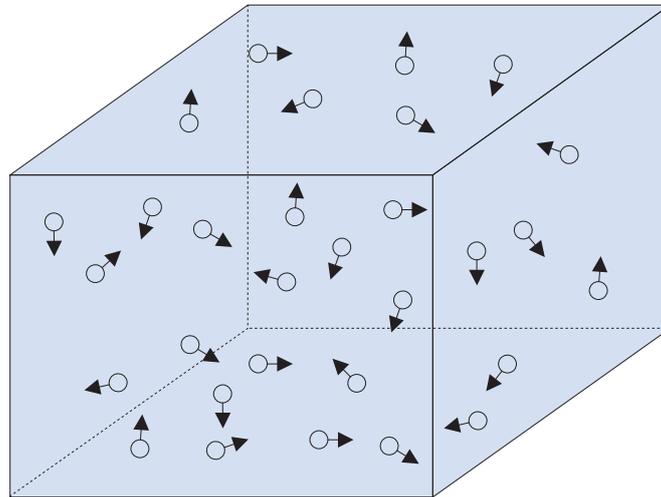


Bild 1: gleichverteilte Gasmolekülbewegung bei Windstille

Bei Wind wird eine der Flugrichtungen bevorzugt. Erweitert man obige Darstellung an der Decke um ein Dachschichtenpaket und die darüber strömenden Gasmoleküle des Windes, kann die abhebende Kraft verständlich gemacht werden.

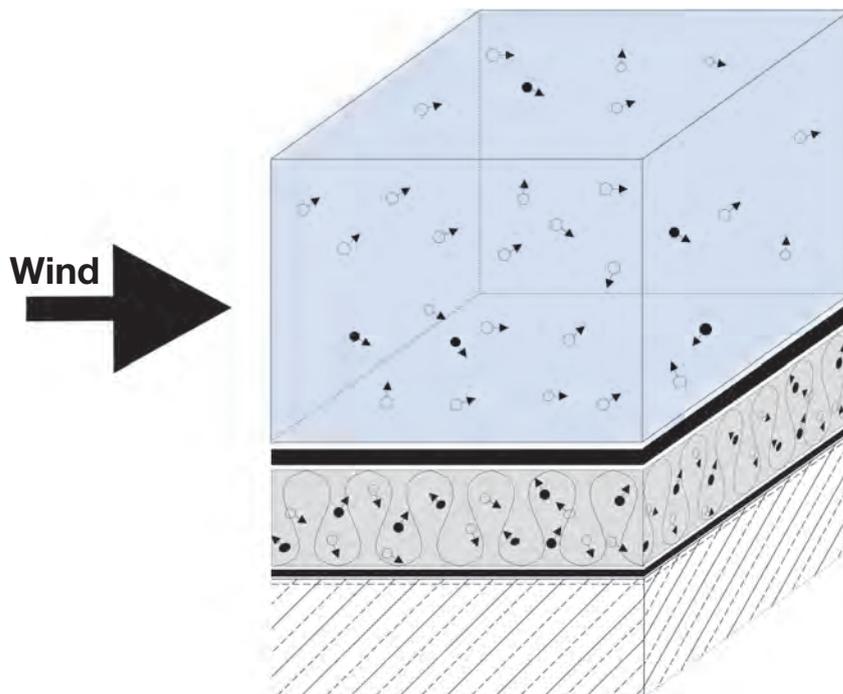


Bild 2: Gasmolekülbewegung in und über dem Abdichtungspaket

Sowohl innerhalb der Dämmung als auch zwischen Dämmung und Abdichtung ruht die Luft. Dies bedeutet, dass die Gasmoleküle gleichverteilt in alle 6 Richtungen des Raumes fliegen. Über der Dachabdichtung bewegen sich mehr Luftmoleküle in Richtung des Windes und entsprechend weniger in die restlichen 5 Richtungen, also auch nach unten. In der Bilanz stoßen somit mehr Luftteilchen von unten an die Dachabdichtung als von außen darauf. Die Dachabdichtung wird also nicht weggesogen, sondern von innen nach oben weggedrückt.

Der Bernoulli-Effekt (*Daniel Bernoulli, Schweizer Mathematiker 1700-1782*)

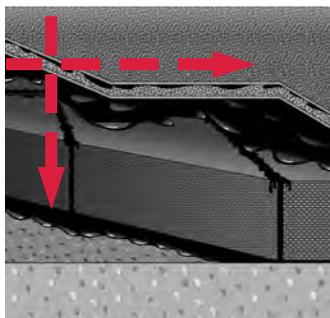
Vereinfacht gesagt entdeckte Bernoulli, dass die Summe der statischen (= Luftdruck bei Windstille) und der kinetischen Energie (= Staudruck des Windes) nicht komprimierbarer Gase und Flüssigkeiten konstant ist. Steigt die Windgeschwindigkeit (= kinetische Energie) sinkt der Luftdruck (statische Energie).

Überträgt man den Satz von Bernoulli auf das Flachdach, so folgt: Der Wind über dem Dach führt zu sinkendem Luftdruck. Innerhalb des Abdichtungspaketes bleibt der Luftdruck konstant. Damit ist der Luftdruck unter der Oberlage höher als darüber und drückt die Oberlage nach oben.

Wirkung der Raumlufte auf das Dachabdichtungspaket

Doch nicht nur die Luft innerhalb des Dachabdichtungspaketes, also zwischen Dampfsperre und Dachhaut, drückt nach außen. Auch die Raumlufte im Gebäude kann enorme Kräfte auf das gesamte Dachabdichtungspaket ausüben. An Gebäuden mit größeren Fassadenöffnungen und luftdurchlässigen Tragdecken (Trapezblech, Holzschalung u.a.) dringt der Wind in das Gebäudeinnere und drückt von unten gegen das Abdichtungspaket. Dieser Innendruck kann im Mittenbereich der Dachfläche die abstoßende Kraft mehr als verdoppeln.

Wenn die ruhende Luft im Dachaufbau und innerhalb des Gebäudes ursächlich für Windsogschäden ist, besteht die effektivste Methode zur Schadensverhütung im Vermeiden von Luft innerhalb und unterhalb des Abdichtungspaketes! Für dieses Prinzip steht das Kompaktdach. Vollflächig in Bitumen eingeschwemmte, geschlossenzellige Schaumglasplatten enthalten praktisch keine „freien“ Gasmoleküle, welche die Abdichtungslage von innen abstoßen könnten.



FOAMGLAS® Kompaktdach bietet Sicherheit gegen Unterflutung, Wasserdurchtritt und Querverteilung von Wasser.

- mehrere Lagen hochwertige Abdichtung
- wasser- und dampfdichte Schaumglas-Dämmplatten
- dauerhafte Fugenverklebung
- kraftschlüssiger Verbund mit dem Untergrund

Wirbeleffekte

Diese Feststellung gilt auch für die Betrachtung von Wirbeleffekten wie sie an realen Baukörpern auftreten.

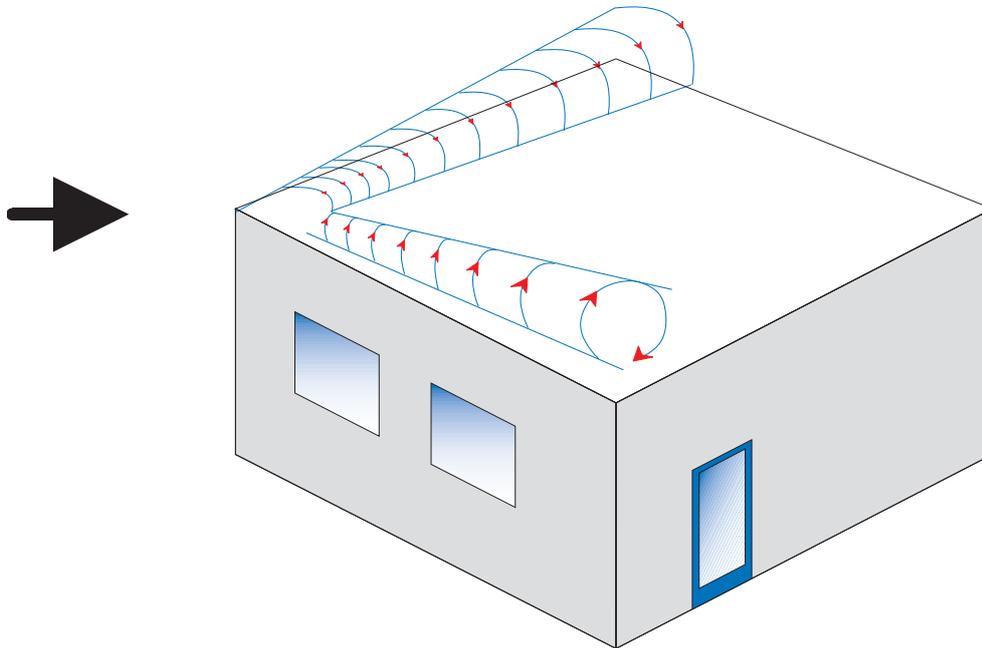


Bild 3: tütenförmige Wirbel bei Über-Eck-Anströmung

Rollenförmige Wirbel am Dachrand oder tütenförmige Wirbelpaare über den Ecken verringern den Luftdruck oberhalb der Abdichtung zusätzlich. Da sich die Gasmoleküle im Wirbel nicht parallel zur Dachoberfläche bewegen sondern teilweise, insbesondere nahe am Dachrand, von dieser aufwärts wegströmen, verstärkt sich dort der Luftdruckmangel. Im Eck treten bis 2,5-fach überhöhte Sogkräfte auf. Dennoch kann diese Zunahme den nahezu fehlenden Luftdruck im Inneren des Kompaktdaches nicht unterbieten.

Untersuchungen von Prof. Dr. Ing. H.J. Gerhardt am Institut für Industrieaerodynamik in Aachen bestätigen diese Wirkungsweise luftfreier Konstruktionen ein-drucksvoll. Im dortigen Versuchsstand konnte das FOAMGLAS® Kompaktdach nicht bis zum Versagenskriterium ausgetestet werden. Der Versuchsstand zur Ermittlung von Bemessungslasten mechanischer Befestigungselemente war mit erzeugbaren Sogkräften von ca. 6 kN/m² zu schwach.

I.F.I. Institut für Industrieaerodynamik GmbH Institut an der Fachhochschule Aachen			
Prüfbericht Testing Report Procès-Verbal			
No. 09/02	Datum 03.09.02	Dieser Prüfbericht umfasst	5 Seiten.
No. / No.	date / date	This testing report consists of	5 pages.
		Ce procès-verbal comprend	5 pages.
Titel Prüfung des Widerstandes gegenüber Windlasten in Anlehnung an die Leitlinie für europäische technische Zulassungen von Systemen mit mechanisch befestigten, flexiblen Dachabdichtungsbahnen, Abschnitt 5.1.4.1 (Ausgabe März 2000)			
Titre Test of the resistance to wind uplift with reference to the Guideline for European technical approval of systems of mechanically fastened flexible roof waterproofing membranes, chapter 5.1.4.1 (Edition March 2000)			
Titre Essai de résistance à l'arrachement sous l'action du vent suivant le Guide d'Agrément Technique Européen sur les systèmes de feuilles souples d'étanchéité de toitures fixés mécaniquement, chapitre 5.1.4.1 (Edition mars 2000)			
Auftraggeber Client: Contractant:	Deutsche Pilsburgh Corning GmbH, D - 42761 Haan		
Der Prüfingenieur: The test engineer: L'ingénieur de contrôle:	Dipl.-Ing. J. Gomez		
Leiter der Prüfstelle: Chief of control and testing: Chef de contrôle:	Prof. Dr.-Ing. H.J. Gerhardt 		
Bitte beachten Sie unsere allgemeinen Prüfbestimmungen auf Seite 2. Please note our general conditions on page 2. Veuillez consulter nos conditions générales de contrôle de la page 2			

Sicherheitsreserven

Versagenslasten für Kompaktdächer können nur theoretisch ermittelt werden. Setzt man für die Bitumenverklebung typische Labortestwerte von $0,1 \text{ N/mm}^2$ an, ergibt sich eine Versagenslast von 100 kN/m^2 . Dies entspricht der Kraftaufnahme von typ. 250 Tellerdübeln/m² oder einer ca. 550 cm dicken Schicht Rundkornkies 16/32. Mangels Nachweisverfahren und aus baupraktischen Gründen wird die Bemessungslast i.A. mit lediglich 10 kN/m^2 angesetzt. Trotz der Reduzierung hat kein anderes Lage-sicherungssystem auch nur annähernd vergleichbare Sicherheitsreserven. Aufgrund dieser Sicherheitsreserven übertreffen Kompaktdächer bereits heute die Anforderungen zukünftiger Normen und Bauvorschriften. Die Planungssicherheit ist stets gewährleistet. Steigenden Versicherungsprämien kann entgegengesteuert werden, da die Vermögenswerte optimal geschützt sind.

Dieses enorme Sicherheitspotential bieten z.Zt. nur luftfreie, vollflächig in Bitumen verklebte Systeme. Für teilverklebte Systeme auf Kaltbitumen- oder PU-Basis fehlen allgemeingültige Rechenwerte, die das Verhältnis Klebermenge zu Haltekraft eindeutig beschreiben. Die Schälbeanspruchung am Rand der Kleberaupe stellt jedoch eine systemimmanente Schwachstelle dar, so dass vergleichbare Bemessungslasten nicht annähernd erreicht werden.

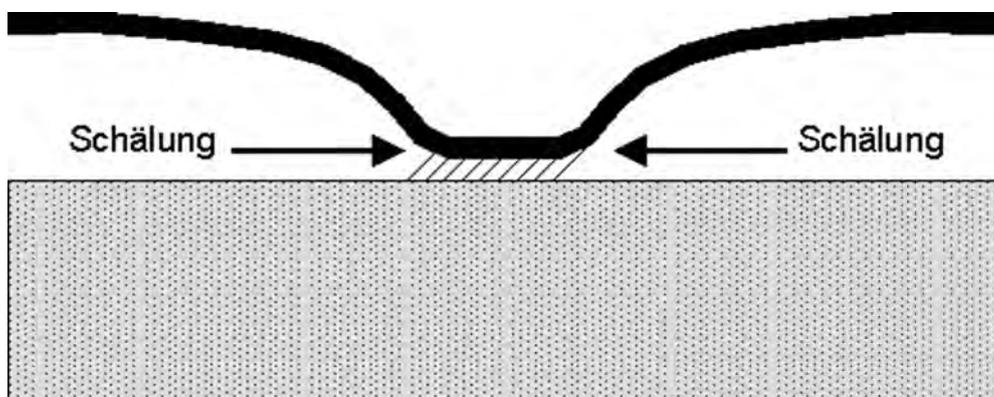


Bild: Schälbeanspruchung teilverklebter Systeme

Mechanisch befestigte Dächer bieten i.d.R. ein eng begrenztes Sicherheitspotential, resultierend aus den Bemessungsvorschriften der Normen. Für Windsogkräfte als „veränderliche, freie Einwirkungen“ ist, lt. DIN 1055, Teil 100, ein Sicherheitsfaktor von 1,5 anzusetzen, das entspricht einem Sicherheitspotential von 50%. Diese Sicherheit ist bei den aktuellen Klimabedingungen nicht in allen Fällen ausreichend.

Berechnung nach DIN 1055, Teil 4

Hierzu ein Rechenexempel: die aktuelle DIN 1055 Teil 4 rechnet in Windzone 2 mit einer Bezugswindgeschwindigkeit von 25 m/s = 90 km/h in 10 m Höhe über Grund. Orkane wie Wibke, Lothar und Kyrill erreichten Spitzenwindgeschwindigkeiten von ca. 50 m/s = 180 km/h.

Berechnungsbeispiel für Windsog bei Normwind und einem Orkan vgl. Lothar oder Kyrill:

$$W_{\text{res}} = q * c_p * SF \quad \text{mit} \quad W_{\text{res}} = \text{resultierender Windsog}$$

$$q = \text{Staudruck} = \frac{1}{2} * \rho * v^2$$

$$\rho = \text{Luftdichte} = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$v = \text{Windgeschwindigkeit}$$

$$c_p = \text{Lastbeiwert. Wertebereich von 0,6 bis 2,5. Hier zu 1 gesetzt.}$$

$$SF = \text{Sicherheitsfaktor} = 1,5$$

$$\text{Normwind: } W_{\text{res}} = \frac{1}{2} * 1,25 \text{ kg/m}^3 * (25 \text{ m/s})^2 * 1 * 1,5 = 0,586 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Orkan: } W_{\text{res}} = \frac{1}{2} * 1,25 \text{ kg/m}^3 * (50 \text{ m/s})^2 * 1 * 1,5 = 2,344 \text{ kN/m}^2$$

Resümee: bei einer Verdoppelung der Windgeschwindigkeit vervierfacht sich der resultierende Windsog!

Da die Windgeschwindigkeit quadratisch in den resultierenden Windsog eingeht, führt bereits eine 42 %-ige Windgeschwindigkeitsüberhöhung zur Verdopplung der resultierenden Kräfte. Selbst korrekt berechnete und verlegte Dächer sind gefährdet!

Berechnung nach DIN 1055, Teil 4 (März 2005)

Grundlagen der Berechnung:

Gebäudehöhe:	58 m
Gebäuelänge:	70 m
Gebäudebreite:	30 m
Randfixierung (Umfang + 50 m):	250 m
Tragdecke:	Ortbeton, geschlossen
Windzone:	2
Geländekategorie:	Binnenland
Maximale Bemessungslast je Befestiger:	0,4 kN
Bahnenbreiten:	1,0 m und 0,5 m
Bahnenüberdeckung:	12 cm

Rechenweg:

Staudruck: $q = 1,249 \text{ kN/m}^2$

Resultierender Windsog: $W_{\text{res}} = q * (c_p + c_{pi}) * SF$

Bereich	c_p	c_{pi}	SF	W_{res}	Bef/m ²	Fläche[m ²]	Bef gesamt
Eck	2,50	0,00	1,50	4,683	11,71	496,00	5807
Rand a	1,70	0,00	1,50	3,747	9,37	580,00	5432
Rand i	0,80	0,00	1,50	2,248	5,62	1024,00	5755
Summe					8,09	2100,00	16994

Randfixierung: 1000 Befestiger (bei Randlänge = 250 m, 4 St./m)

Benötigt werden mind. 16994 St. + 1000 St. = **17994 Befestiger.**

Sicherheitspotential eines Kompaktdaches ($c_p = 1,8^*$) im Eckbereich:

$$W_{\text{netto}} = 1,249 \text{ kN/m}^2 * 1,8 = 2,248 \text{ kN/m}^2$$

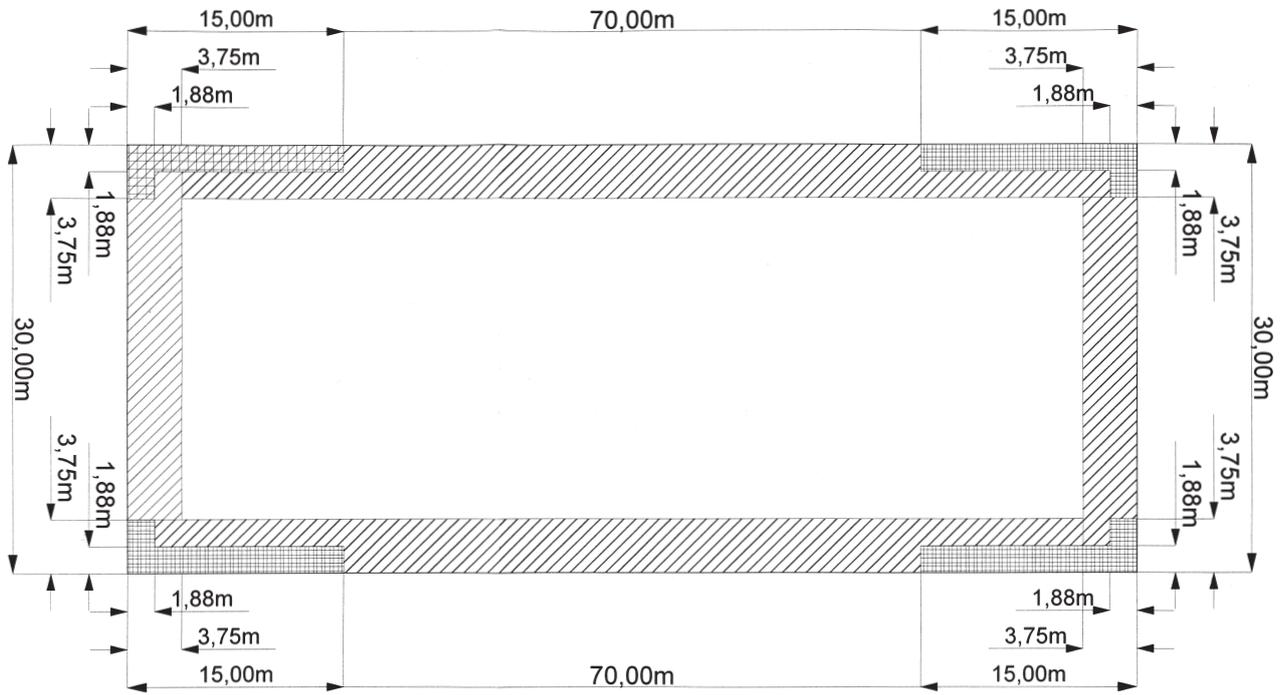
$$W_{\text{res}} \text{ (Tellerdübel)} = 4,683 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{Sicherheitspotential} = 50 \%$$

$$W_{\text{res}} \text{ (Kompaktdach)} = 10,00 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{Sicherheitspotential} = 345 \%$$

Bitte beachten: Bei Einsatz breiter Dachbahnen auf unverklebter Dämmung ist darauf zu achten, dass die Dämmplatten gegen Verschieben gesichert werden (Fachregeln für Dächer mit Abdichtungen, Ausgabe Sept. 2001, Absatz 4.4). Hierzu sind u.U. zusätzliche WD-Befestiger erforderlich.

* Der c_p -Wert eines Kompaktdaches reduziert sich wegen der vergrößerten Lasteinzugsfläche von $c_{pe,1}$ zu $c_{pe,10}$ (Lasteinwirkungsfläche = 10 m² oder größer).

Verlegeskizze: Berechnung nach DIN 1055, Teil 4



Auflasten wie Kies und Plattenbeläge bilden bei derartigen Starkwindereignissen eine ernstzunehmende Gefahr für Mensch und Umgebung, da Verwehsicherheit und Lagestabilität i.d.R. nicht mehr gewährleistet sind. Dies ist auch der Grund, weshalb der Einsatz von Rundkornkies auf Dächern in Höhen von mehr als 20 m generell nicht empfohlen wird.

Insbesondere Fachplaner und Statiker schätzen das enorme Sicherheitspotential eines Kompaktdaches. Die Reserven sind so hoch, dass die Einteilung in Eck-, Rand- und Mittenbereich ebenso entfallen kann wie die Ermittlung der partiellen Windsogkräfte. Bei nicht rechteckigen Gebäuden kann die diffizile Interpretation der physikalisch wirksamen Gebäudeabmessungen vermieden werden. Solange aufwendige Grundrisse nach dem gültigen Stand der Technik nicht exakt berechenbar sind, ist das Kompaktdach die sichere Lösung für eine windsogtechnische Bemessung. Dieser pauschale Ansatz gilt auch für besonders windkritische Gebäudetypen wie Türme und hohe Gebäude mit Höhen bis 200 m.

Baupraxis und Verletechnik

Auch unter baupraktischen Gesichtspunkten verhält sich ein Kompaktdach nahezu ideal. Wie man aus unzähligen Bauschadensanalysen weiß, entstehen große Schäden meist als Folge örtlich eng begrenzter Anfangsschäden. Hierbei führen Mängel in der Ausbildung luftdichter Dachrandabschlüsse zu einer Ablösung im Eck- oder Randbereich. Dort addieren sich Sog von außen und unterströmender Druck unter die Abdichtung. Löst sich in Folge dessen die Dachhaut, nimmt sofort die Unterströmung zu, der Effekt baut sich auf und "rollt" die gesamte Dachabdichtung weg. Kompaktdächer sind gegen diesen Effekt nahezu immun, da jeder cm^2 des Abdichtungspaketes verklebt ist und ein Unterströmen prinzipbedingt nicht auftreten kann.

Grundsätzlich ist das Einschwemmen von Schaumglas in Heißbitumen eine Verlegungsmethode, die windsogkritische Verlegemängel weitestgehend ausschließt. Neben der Vermeidung von Unterströmung sind auch Probleme wie die Trittsicherheit von Tellerdübeln, das Zuordnen passender Schraubenlängen auf Gefälledächern, Schraubenkorrosion u.a. ausgeschlossen. Selbst auf die Ausbildung spezieller Wartungswege kann in den meisten Fällen verzichtet werden. FOAMGLAS® Kompaktdächer sind in jeder Hinsicht robust.



Gieß- und Einrollverfahren der 1. Lage auf FOAMGLAS®

Sollte dennoch ein Schadensfall auftreten und die Oberlage der Abdichtung beschädigt werden, so kann der Defekt aufgrund der Unterlaufsicherheit schnell lokalisiert und auf kostengünstige Art repariert werden.

Bauphysik

Die luftfreie Verlegung hat aus wärme- und feuchtetechnischer Sicht den Vorteil, frei von Wärmebrücken zu sein. Durch das Vermeiden von Luftspalten zwischen den Dämmplatten und den Verzicht auf metallische Durchdringungen bleibt die gesamte Konstruktion frei von größeren Wärmegradienten, also relativ großen Temperaturunterschieden auf kleinem Raum.



Diese positiven bauphysikalischen Eigenschaften wurden mit Einführung der Energieeinsparverordnung auch rechnerisch relevant. Foamglas behält in jedem Abdichtungsaufbau seine Wärmeleitgruppe bei und muss nicht mit Korrekturfaktoren für Luftspalte und Befestiger abschlägig berechnet werden (DIN EN ISO 6946, Anhang D).

Korrekturberechnung (s. Beispiel Berechnung Seite 14 und 15)

Berechnung der Koeffizienten $\Delta U(f)$ und $\Delta U(g)$ nach DIN EN ISO 6946 Anhang D

$\Delta U(f)$ = U-Wert-Korrektur für Dachbefestigung

$$\Delta U(f) = 5 * \lambda_{\text{Stahl}} * (\text{Befestiger} / \text{m}^2) * (\text{Querschnittsfläche je Befestiger})$$

$$\Delta U(f) = 5 * 50 * (4,85 / \text{m}^2) * (\pi * (0,0048 \text{ m} / 2)^2) = 0,022$$

$\Delta U(g)$ = U-Wert-Korrektur für Luftspalten

$$\Delta U(g) = d U'' * (R_1 / R_T)^2 \quad \text{mit} \quad \Delta U'' = 0,01 \text{ (lt. Tabelle D.1)}$$

$$R_1 = \text{Wärmedurchlasswiderstand Dämmung} = d / \lambda = 0,16 / 0,04 = 4$$

$$R_T = \text{Wärmedurchlasswiderstand Bauteil} = 4,289 \text{ (siehe Berechnung)}$$

$$\Delta U(g) = 0,01 * (4 / 4,289)^2 = 0,009$$

$$\text{Gesamtkorrektur: } \Delta U_{\text{ges}} = \Delta U(f) + \Delta U(g) = 0,031 \text{ entsprechend } 13,14 \%$$

Selbstredend entfällt auch die Korrekturrechnung für unterströmendes Niederschlagwasser wie sie bei Umkehrdächern erforderlich ist.

Auch feuchtetechnisch ist Schaumglas ein idealer Baustoff.

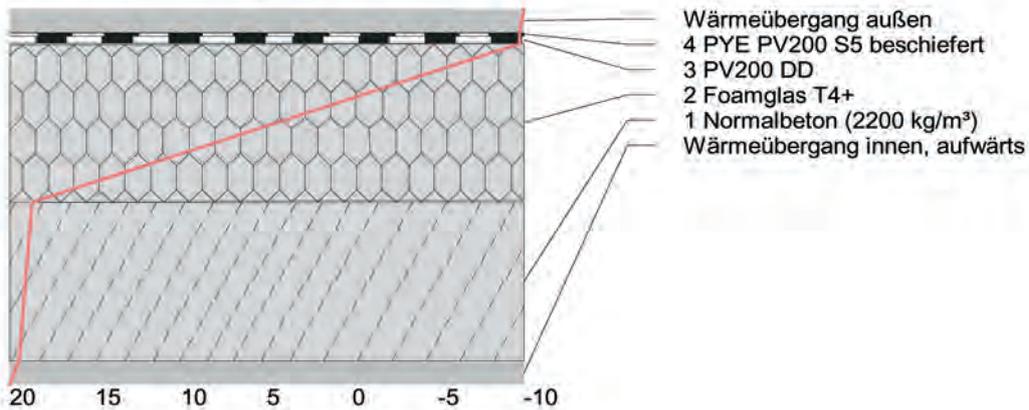
FOAMGLAS®-Dämmplatten bilden mit einem sd-Wert > 1500 m eine perfekte Dampfsperre. Die eindiffundierenden Feuchtemengen sind so gering, dass ein Feuchtenachweis nach DIN 4108, Teil 3, § 3.2.3.2.1 (sd > 100 m) i.d.R. nicht erforderlich ist.

U-Wert und Grenzflächentemperaturen

Schicht	Dicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m²K)]	Wärmedurchlaßwiderstand [m² * K/W]	Grenzfl.-Temp Tauperiode [°C]	Grenzfl.-Temp Verd.periode [°C]
Luft innen				20,00	12,00
Wärmeübergang innen, aufwärts			0,1000	19,42	12,16
1) Normalbeton (2200 kg/m³)	0,2000	1,600	0,1250	18,69	12,35
2) Foamglas T4+	0,2000	0,041	4,8780	-9,77	20,00
3) PV200 DD	0,0040			-9,77	20,00
4) PYE PV200 S5 beschiefert	0,0050			-9,77	20,00
Wärmeübergang außen			0,0400	-10,00	20,00
Luft außen				-10,00	20,00
Wärmedurchgangswiderstand [m²*K/W]				5,143	
U-Wert [W/(m²*K)]				0,194	

Wärmedurchlaßwiderstände unterhalb dampfbremsender Schicht ($s_d \geq 100\text{m}$):
 $0,200 = 3,89\% \leq 20\% \Rightarrow$ Tauwassernachweis nach DIN 4108 (Juli 2001), Teil 3, Abs. 4.3.3.2 nicht erforderlich

Temperaturverlauf Tauperiode Basiskonstruktion



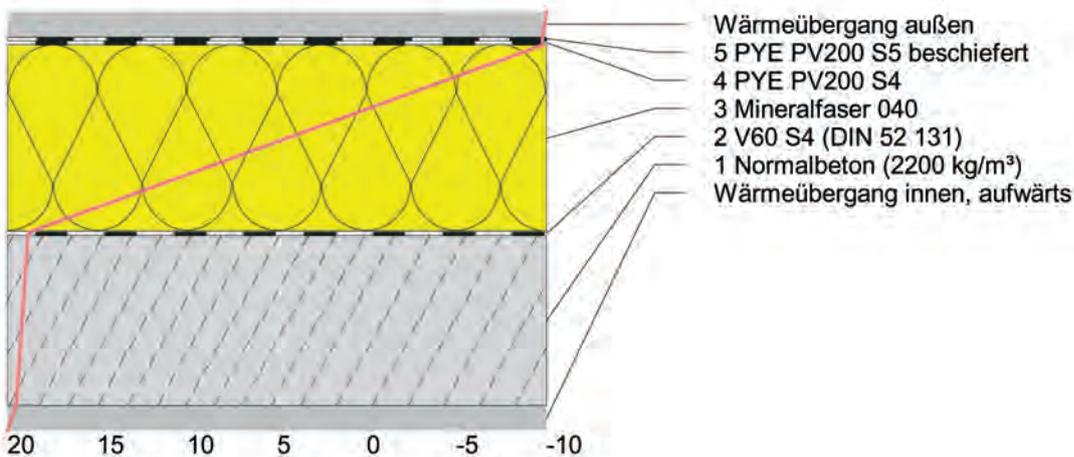
U-Wert und Grenzflächentemperaturen

Schicht	Dicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]	Wärmedurchlaßwiderstand [m² * K/W]	Grenzfl.-Temp Tauperiode [°C]	Grenzfl.-Temp Verd.periode [°C]
Luft innen				20,00	12,00
Wärmeübergang innen, aufwärts			0,1000	19,48	12,14
1) Normalbeton (2200 kg/m³)	0,2000	1,600	0,1250	18,83	12,31
2) V60 S4 (DIN 52 131)	0,0040	0,170	0,0235	18,71	12,35
3) Mineralfaser 040	0,2200	0,040	5,5000	-9,79	20,00
4) PYE PV200 S4	0,0040			-9,79	20,00
5) PYE PV200 S5 beschiefert	0,0050			-9,79	20,00
Wärmeübergang außen			0,0400	-10,00	20,00
Luft außen				-10,00	20,00
Wärmedurchgangswiderstand [m²K/W]			5,789		
$\Delta U(f) + \Delta U(g) = 0,0226 = 13,08\% \geq 3\%$			0,023		
U-Wert [W/(m²K)]			0,195		

Wärmedurchlaßwiderstände unterhalb dampfbremsender Schicht ($s_d \geq 100\text{m}$):

0,200 = 3,46% \leq 20% \Rightarrow Tauwassernachweis nach DIN 4108 (Juli 2001), Teil 3, Abs. 4.3.3.2 nicht erforderlich

Temperaturverlauf Tauperiode Basiskonstruktion



Dies hat zur Folge, dass bei einer WLK von 040 eine Dämmdickenzunahme von ca. 2 cm für den gleichen U-Wert berücksichtigt werden muss.

Lebensdauer und Sanierungsfähigkeit

Die wärmebrückenfreie Konstruktion verhindert auch mechanischen Stress in Folge von thermischen Längenänderungen. Letztere summieren sich innerhalb der Abdichtungsebene und erfordern auf nicht vollflächig verklebten Aufbauten eine mechanische Randfixierung zur Aufnahme horizontaler Kräfte.

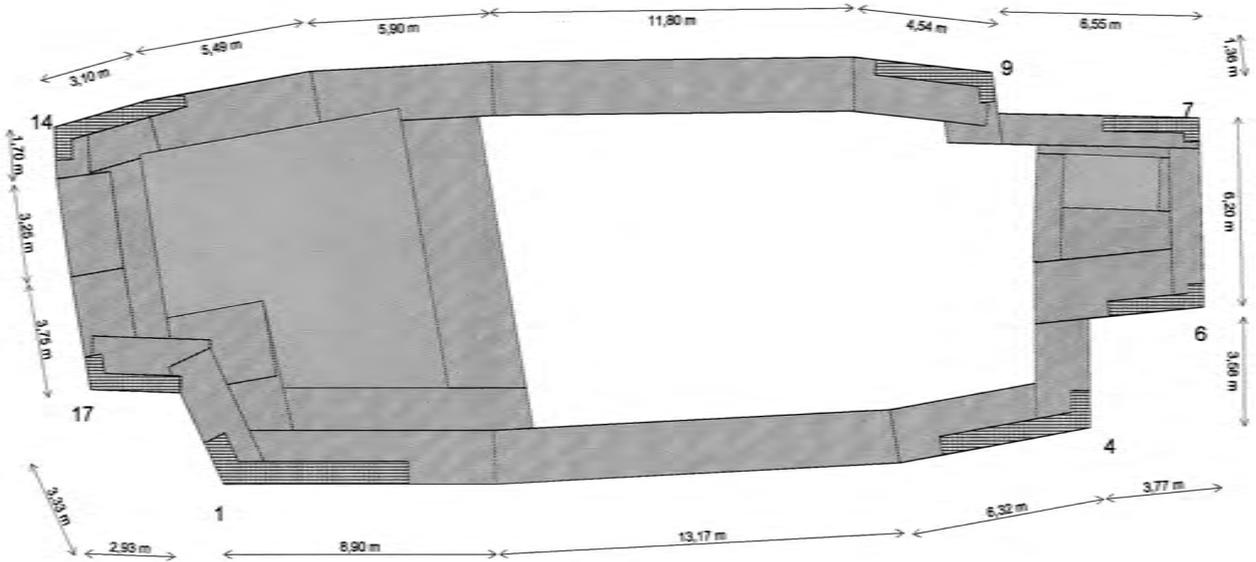
Die vollflächige Verklebung der Oberlage verhindert die Einleitung horizontaler Kräfte auf die Bahn und macht somit die Linearfixierung am Dachrand ebenso überflüssig wie die gesonderte Befestigung einzelner Dämmplatten in lose verlegten Aufbauten zur Vermeidung von Dämmplattenwanderung. In der Summe wird der thermisch-mechanische Stress der Abdichtungslage minimiert und damit die Lebensdauer des gesamten Abdichtungspaketes erhöht.

Diese großflächig schichtbildende Verlegetechnik ist nur möglich, da Schaumglas einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten vergleichbar dem von Beton besitzt und keinerlei Feuchte aufnimmt. Die Kombination beider Eigenschaften befreit die 1. Abdichtungslage von der Aufgabe, Bewegungen als auch Dampfdruckunterschiede ausgleichen zu müssen. So gesehen bestehen Kompaktdächer aus 2 Oberlagen mit doppelter Abdichtungssicherheit.

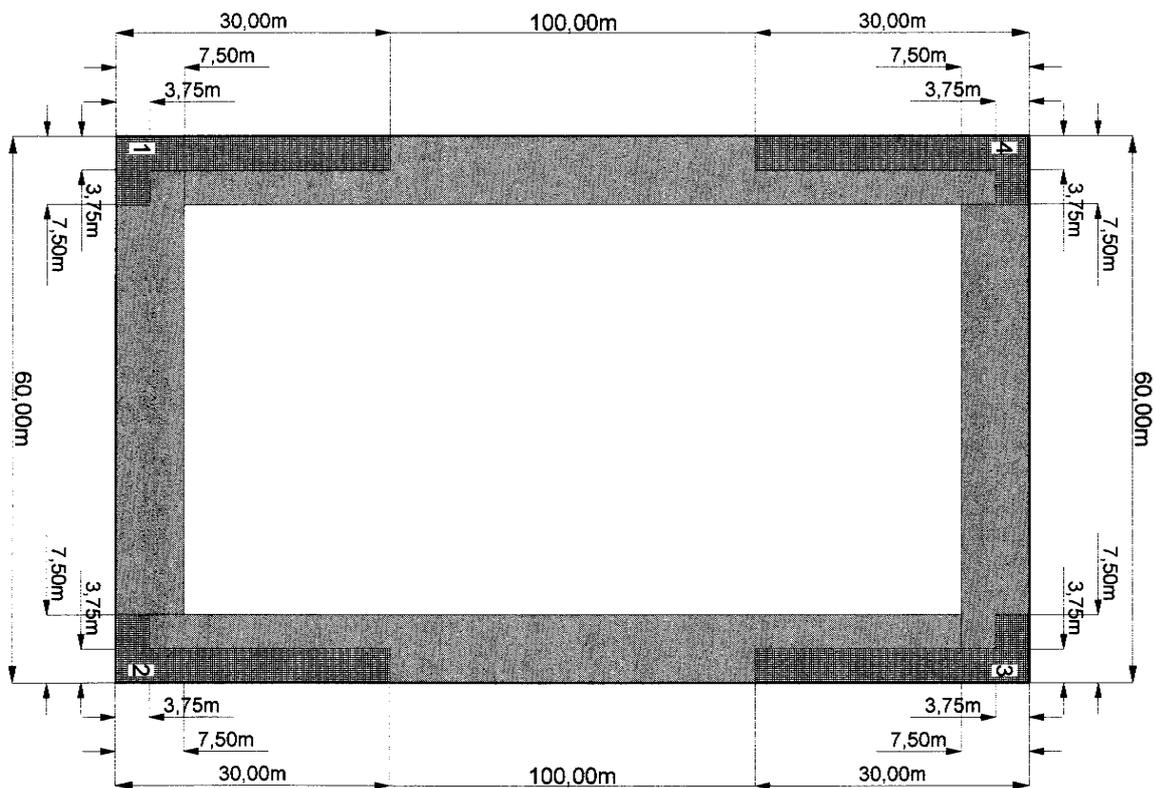
Schaumglas unterliegt weit weniger Alterungsprozessen als weiche Dämmstoffe. Der Grundstoff Glas ist chemisch resistent gegen nahezu alle in der Natur vorkommenden Stoffe, widerstandsfähig gegen Feuer und mechanisch robust. In Bitumen eingeschwemmt kann ihm weder Dampf noch Wasser zusetzen, so dass die Dämmung i.d.R. ein weit höheres Lebensalter erreicht als die heutzutage üblichen Abdichtungsprodukte. Der dampfsperrende Charakter ermöglicht noch in Jahrzehnten das Aufbringen von Zusatzdämmung. Kompaktdächer sind windsogtechnisch und bauphysikalisch so weit auf der sicheren Seite, dass deren Sanierungsfähigkeit stets gewährleistet bleibt.

Vergleichsberechnungen aus der Praxis

Gebäudetyp I



Gebäudetyp II



Berechnung nach DIN 1055, Teil 4 (März 2005)

Grundlagen der Berechnung:

Gebäudehöhe:	54 m
Gebäuelänge:	70 m
Gebäudebreite:	30 m
Randfixierung (ca. Umfang + 50 m):	250 m
Tragdecke:	Porenbeton mit Zementestrich, geschlossen
Dachneigung:	2%
Maximale Bemessungslast je Befestiger:	0,4 kN
Bahnenbreiten:	1,10 m
Bahnenüberdeckung:	10 cm

Rechenweg:

Staudruck: $q = 1,007 \text{ kN/m}^2$

Resultierender Windsog: $W_{res} = q * (cp + cpi) * SF$

Bereich	cp	cpi	SF	W_{res}	Bef/m ²	Fläche[m ²]	Bef gesamt
Eck	2,50	0,00	1,50	3,777	9,44	77,25	729
Rand a	2,00	0,00	1,50	3,022	7,55	134,84	1019
Rand i	1,20	0,00	1,50	1,813	4,53	161,70	733
Summe					6,64	373,78	2481

Randfixierung: 1000 Befestiger (bei Randlänge = 250 m, 4 St./m)

Benötigt werden mind. 2481 St. + 1000 St. = **3481 Befestiger.**

Sicherheitspotential mechanischer Befestigungssysteme = 50 %

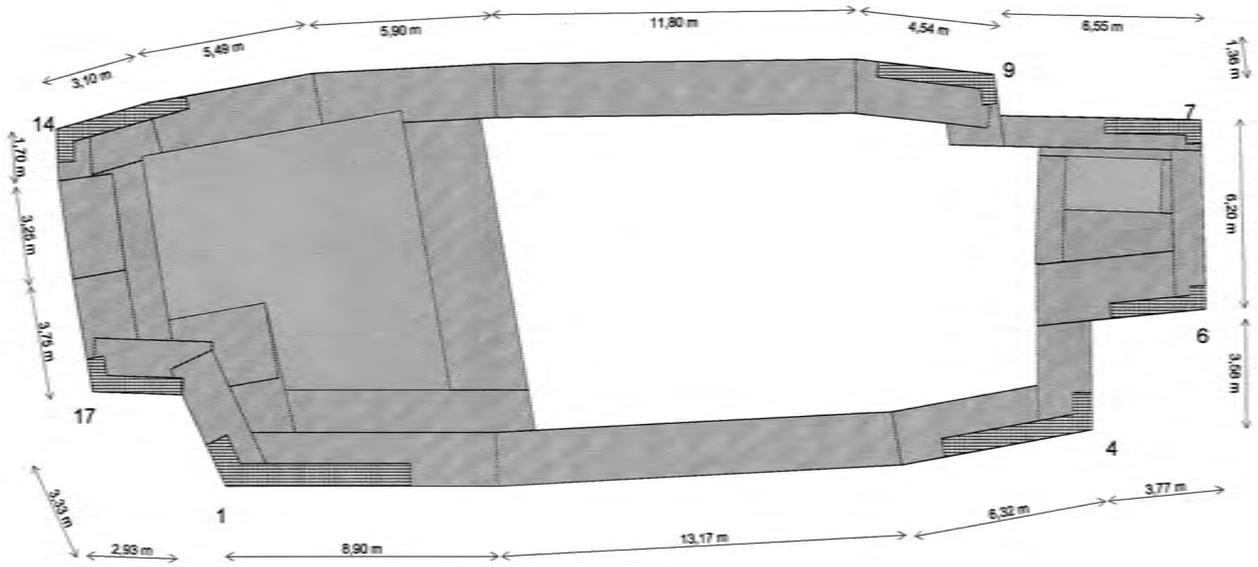
Sicherheitspotential Kompaktdach ($cpe,10 = 1,8$):

$$W_{netto} = 1,007 \text{ kN/m}^2 * 1,8 = 1,81 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{res} \text{ (Kompaktdach)} = 10,00 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{Sicherheitspotential} = 452 \%$$

Bitte beachten: Bei Einsatz breiter Dachbahnen auf unverklebter Dämmung ist darauf zu achten, dass die Dämmplatten gegen Verschieben gesichert werden (Fachregeln für Dächer mit Abdichtungen, Ausgabe Sept. 2001, Absatz 4.4). Hierzu sind u.U. zusätzliche WD-Befestiger erforderlich.

Gebäudetyp I



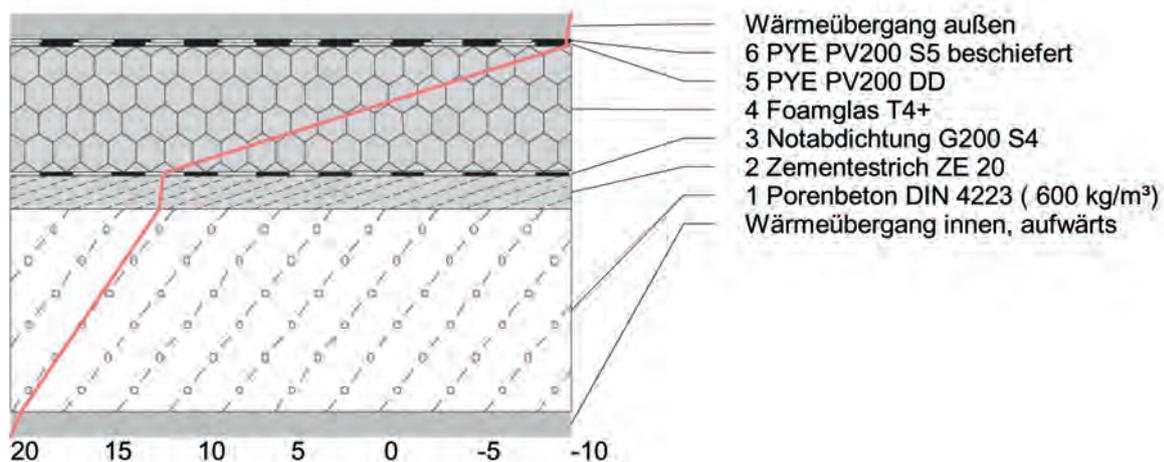
U-Wert und Grenzflächentemperaturen

Schicht	Dicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]	Wärmedurchlaßwiderstand [m² * K/W]	Grenzfl.-Temp Tauperiode [°C]	Grenzfl.-Temp Verd.periode [°C]
Luft innen				20,00	12,00
Wärmeübergang innen, aufwärts			0,1000	19,41	12,16
1) Porenbeton DIN 4223 (600 kg/m³)	0,2400	0,190	1,2632	12,01	14,15
2) Zementestrich ZE 20	0,0400	1,200	0,0333	11,82	14,20
3) Notabdichtung G200 S4	0,0040	0,170	0,0235	11,68	14,24
4) Foamglas T4+	0,1500	0,041	3,6585	-9,77	20,00
5) PYE PV200 DD	0,0050			-9,77	20,00
6) PYE PV200 S5 beschiefert	0,0050			-9,77	20,00
Wärmeübergang außen			0,0400	-10,00	20,00
Luft außen				-10,00	20,00
Wärmedurchgangswiderstand [m²*K/W]			5,119		
U-Wert [W/(m²*K)]					0,195

Wärmedurchlaßwiderstände unterhalb dampfbremsender Schicht ($s_d \geq 100m$):

1,420 = 27,74% > 20% => Tauwassernachweis nach DIN 4108 (Juli 2001), Teil 3, Abs. 4.3.3.2 erforderlich

Temperaturverlauf Tauperiode Basiskonstruktion

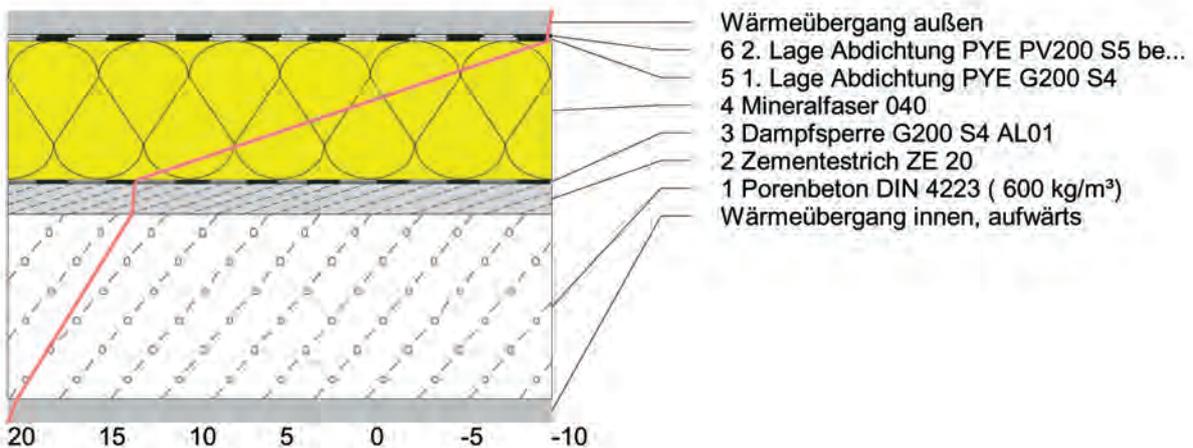


U-Wert und Grenzflächentemperaturen

Schicht	Dicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]	Wärmedurchlaßwiderstand [m² * K/W]	Grenzfl.-Temp Tauperiode [°C]	Grenzfl.-Temp Verd.periode [°C]
Luft innen				20,00	12,00
Wärmeübergang innen, aufwärts			0,1000	19,50	12,14
1) Porenbeton DIN 4223 (600kg/m³)	0,2400	0,190	1,2632	13,14	13,84
2) Zementestrich ZE 20	0,0400	1,200	0,0333	12,97	13,89
3) Dampfsperre G200 S4 AL01	0,0040	0,170	0,0235	12,85	13,92
4) Mineralfaser 040	0,1800	0,040	4,5000	-9,80	20,00
5) 1. Lage Abdichtung PYE G200 S4	0,0040			-9,80	20,00
6) 2. Lage Abdichtung PYE PV 200 S5 beschiefert	0,0050			-9,80	20,00
Wärmeübergang außen			0,0400	-10,00	20,00
Luft außen				-10,00	20,00
Wärmedurchgangswiderstand [m²*K/W]			5,960		
$\Delta U(f) + \Delta U(g) = 0,0357 = 21,30\% \geq 3\%$			0,036		
U-Wert [W/(m²*K)]					0,204

Wärmedurchlaßwiderstände unterhalb dampfbremsender Schicht ($s_d \geq 100m$):
 $1,396 = 23,43\% > 20\% \Rightarrow$ Tauwassernachweis nach DIN 4108 (Juli 2001), Teil 3, Abs. 4.3.3.2 erforderlich

Temperaturverlauf Tauperiode Basiskonstruktion



Berechnung nach DIN 1055 Teil 4 (März 1986)

Grundlagen der Berechnung:

Gebäudehöhe:	9,50 m
Gebäuelänge:	100 m
Gebäudebreite:	60 m
Randfixierung (Umfang):	320 m
Tragdecke:	Stahlträger
Windzone:	2
Geländekategorie:	Binnenland
Maximale Bemessungslast je Befestiger:	0,4 kN
Bahnenbreiten:	1,0 m und 0,5 m
Bahnenüberdeckung:	12 cm

Rechenweg:

Staudruck: $q = 0,740 \text{ kN/m}^2$

Resultierender Windsog: $W_{\text{res}} = q * (c_p + c_{pi}) * SF$

Bereich	c_p	c_{pi}	SF	W_{res}	Bef/m ²	*Bef/m ²	Fläche[m ²]	Bef gesamt
Eck	2,50	0,80	1,50	3,66	7,32	9,93	506,25	3708
Rand a	1,00	0,80	1,50	2,00	4,00	4,96	1668,75	6667
Rand i	0,60	0,80	1,50	1,55	3,11	3,58	3825,00	11885
Summe					3,71	4,50	6000,00	22260
* Unter Bezug der Obergurte und der min. Befestigungsabstände								

Randfixierung: 1613 Befestiger (bei Randlänge = 500 m, 3,226 St./m)

Benötigt werden mind. 22260 St. + 1280 St. = **23540 Befestiger.**

Sicherheitspotential eines Kompaktdaches im Eckbereich:

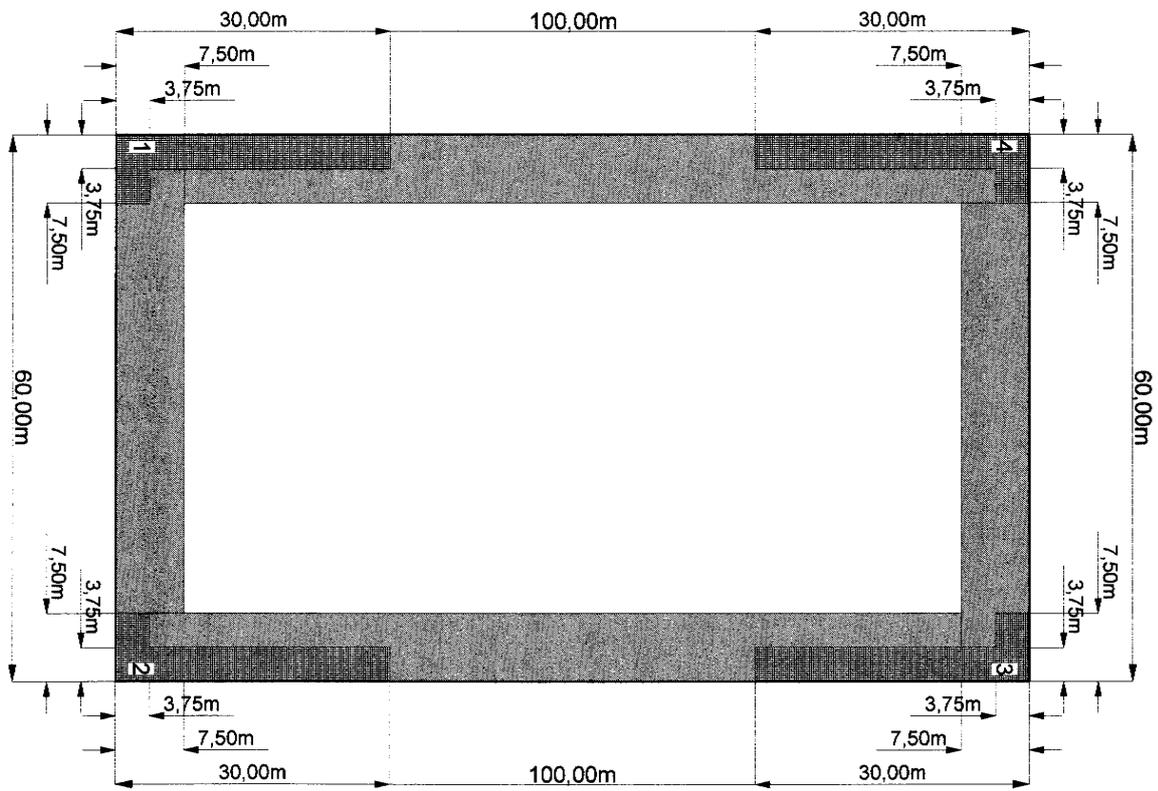
$$W_{\text{netto}} = 0,74 \text{ kN/m}^2 * 3,00 = 2,22 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{\text{res}} \text{ (Tellerdübel)} = 3,66 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{Sicherheitspotential} = 50 \%$$

$$W_{\text{res}} \text{ (Kompaktdach)} = 10,00 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{Sicherheitspotential} = 350 \%$$

Bitte beachten: Bei Einsatz breiter Dachbahnen auf unverklebter Dämmung ist darauf zu achten, dass die Dämmplatten gegen Verschieben gesichert werden (Fachregeln für Dächer mit Abdichtungen, Ausgabe Sept. 2001, Absatz 4.4). Hierzu sind u.U. zusätzliche WD-Befestiger erforderlich.

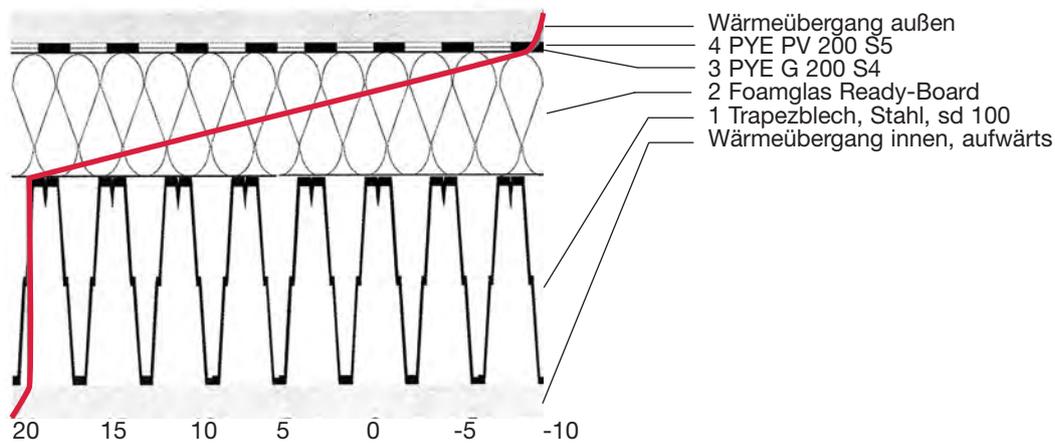
Gebäudetyp II



U-Wert und Grenzflächentemperaturen

Schicht	Dicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]	Wärmedurchlasswiderstand [m²*K/W]	Grenzfl.-Temp Tauperiode [°C]	Grenzfl.-Temp Verd.periode [°C]
Luft innen				20,00	12,00
Wärmeübergang innen, aufwärts			0,1000	19,06	12,25
1) Trapezblech, Stahl, sd 100	0,0009			19,06	12,25
2) Foamglas Ready-Board	0,1200	0,040	3,0000	-9,13	19,87
3) PYE G 200 S4	0,0040	0,170	0,0235	-9,35	19,93
4) PYE PV 200 S5	0,0050	0,170	0,0294	-9,62	20,00
Wärmeübergang außen			0,0400	-10,00	20,00
Luft außen				-10,00	20,00
Wärmedurchgangswiderstand [m²*K/W]			3,193		
U-Wert [W/(m²*K)]			0,313		

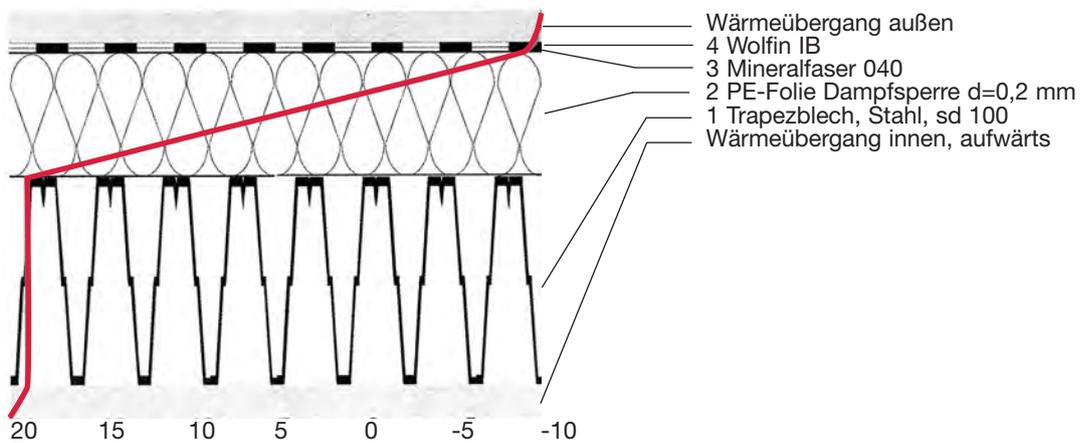
Temperaturverlauf Tauperiode Basiskonstruktion



U-Wert und Grenzflächentemperaturen (Eckbereich)

Schicht	Dicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]	Wärmedurchlasswiderstand [m²*K/W]	Grenzfl.-Temp Tauperiode [°C]	Grenzfl.-Temp Verd.periode [°C]
Luft innen				20,00	12,00
Wärmeübergang innen, aufwärts			0,1000	19,23	12,21
1) Trapezblech, Stahl, sd 100	0,0009			19,23	12,21
2) PE-Folie Dampfsperre d= 0,2 mm	0,0002	0,350	0,0006	19,23	12,21
3) Mineralfaser 040	0,1500	0,040	3,7500	-9,64	19,99
4) Wolfen IB	0,0015	0,230	0,0065	-9,69	20,00
Wärmeübergang außen			0,0400	-10,00	20,00
Luft außen				-10,00	20,00
Wärmedurchgangswiderstand [m²*K/W]			3,897		
$\Delta U(f) + \Delta U(g)$ = 0,0583 = 22,74% > = 3%			0,058		
U-Wert [W/(m²*K)]			0,315		

Temperaturverlauf Tauperiode Basiskonstruktion

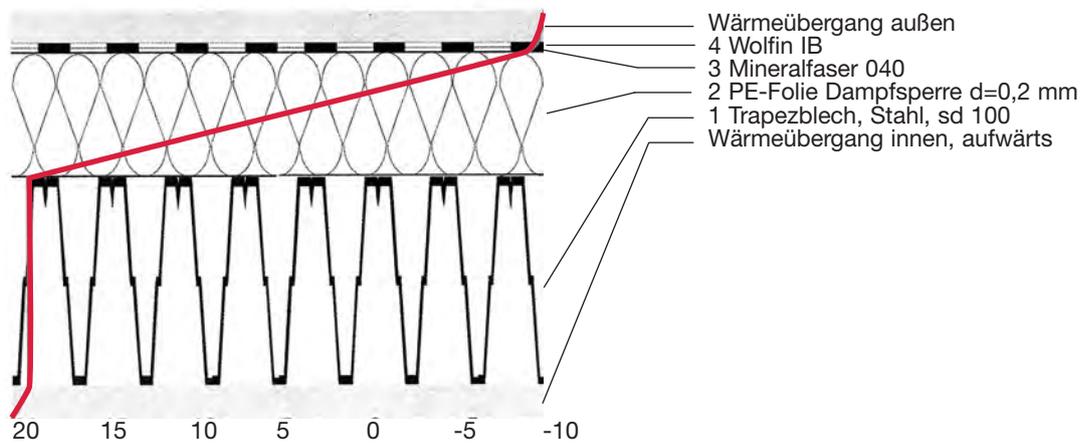


Dies hat zur Folge, dass bei einer WLK von 040 eine Dämmdickenzunahme von ca. 3 cm für den gleichen U-Wert berücksichtigt werden muss.

U-Wert und Grenzflächentemperaturen (Randbereich)

Schicht	Dicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]	Wärmedurchlasswiderstand [m²*K/W]	Grenzfl.-Temp Tauperiode [°C]	Grenzfl.-Temp Verd.periode [°C]
Luft innen				20,00	12,00
Wärmeübergang innen, aufwärts			0,1000	19,18	12,22
1) Trapezblech, Stahl, sd 100	0,0009			19,18	12,22
2) PE-Folie Dampfsperre d= 0,2 mm	0,0002	0,350	0,0006	19,17	12,22
3) Mineralfaser 040	0,1400	0,040	3,5000	-9,62	19,99
4) Wolfin IB	0,0015	0,230	0,0065	-9,67	20,00
Wärmeübergang außen			0,0400	-10,00	20,00
Luft außen				-10,00	20,00
Wärmedurchgangswiderstand [m²*K/W]			3,647		
$\Delta U(f) + \Delta U(g)$ = 0,0338 = 12,31% > = 3%			0,034		
U-Wert [W/(m²*K)]			0,308		

Temperaturverlauf Tauperiode Basiskonstruktion

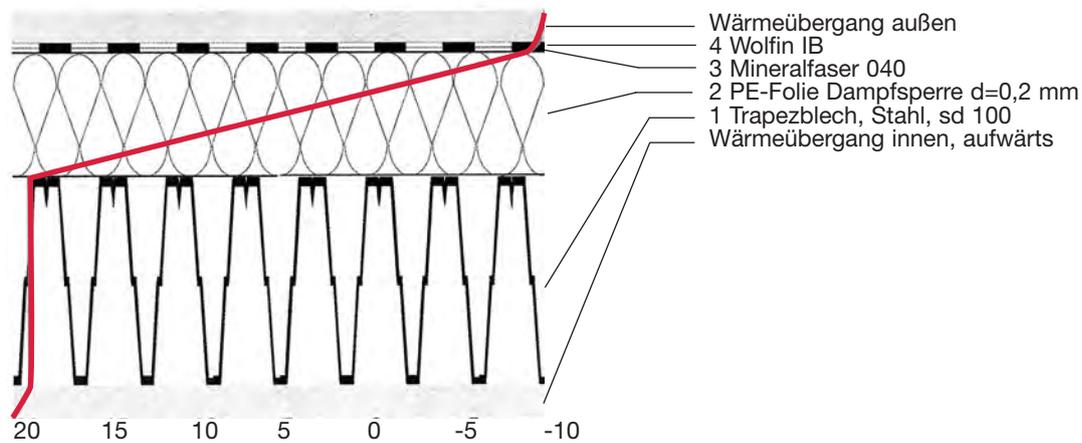


Dies hat zur Folge, dass bei einer WLK von 040 eine Dämmdickenzunahme von ca. 2 cm für den gleichen U-Wert berücksichtigt werden muss.

U-Wert und Grenzflächentemperaturen (Innenbereich)

Schicht	Dicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]	Wärmedurchlasswiderstand [m²*K/W]	Grenzfl.-Temp Tauperiode [°C]	Grenzfl.-Temp Verd.periode [°C]
Luft innen				20,00	12,00
Wärmeübergang innen, aufwärts			0,1000	19,18	12,22
1) Trapezblech, Stahl, sd 100	0,0009			19,18	12,22
2) PE-Folie Dampfsperre d= 0,2 mm	0,0002	0,350	0,0006	19,17	12,22
3) Mineralfaser 040	0,1400	0,040	3,5000	-9,62	19,99
4) Wolfen IB	0,0015	0,230	0,0065	-9,67	20,00
Wärmeübergang außen			0,0400	-10,00	20,00
Luft außen				-10,00	20,00
Wärmedurchgangswiderstand [m²*K/W]			3,647		
$\Delta U(f) + \Delta U(g)$ = 0,0288 = 10,52% > = 3%			0,029		
U-Wert [W/(m²*K)]			0,303		

Temperaturverlauf Tauperiode Basiskonstruktion



Dies hat zur Folge, dass bei einer WLG von 040 eine Dämmdickenzunahme von ca. 2 cm für den gleichen U-Wert berücksichtigt werden muss.

www.foamglas.com

FOAMGLAS®
Building

Deutsche FOAMGLAS® GmbH
Zentrale Technik
Freiheitstraße 11, D-40699 Erkrath
Telefon 0211 929635-21, Fax 0211 929635-35
info@foamglas.de
www.foamglas.de

Pittsburgh Corning Europe N.V./S.A.
Headquarter Europe, Middle East and Africa (EMEA)
Albertkade 1, B-3980 Tessenderlo
Phone +32 13 661721, Fax +32 13 667854
www.foamglas.com