



ENERGIESPARENDE TECHNOLOGIEN

PIR-PREMIERE UND PUR CLASSIC PANEELE

Technischer Katalog

CONTENTS

CHAPTER 1: GENERAL INFORMATION

1.1 History	3
1.2 Structure of sandwich panels	3
1.3 Polyurethane foam	3
1.4 What is the difference between pur and pir panels?	5
1.5 Why is pir premier better than other pir systems? What is the secret of pir premier?	7
1.6 Metal facings	8
1.7 Production lines	9

CHAPTER 2: PARAMETERS AND FEATURES OF SANDWICH PANELS

2.1 Dimensional tolerances	11
2.2 Thermal conductivity, thermal transmission, and thermal resistance of pur panels	13
2.3 Calculation of thermal transmittance and thermal resistance	15
2.4 Thermal insulating properties of building materials	17
2.5 Theat capacity	17
2.6 Thermal bridges and heat losses	18
2.7 Color	20

CHAPTER 3: EXTERNAL LOAD ON PANELS

3.1 Deformations due to surface temperature difference	21
3.2 Mechanical resistance of wall panels	21
3.3 Mechanical resistance of roof panels	28
3.4 Wrinkling stress	29
3.5 Uniformly distributed lateral load on vertical fixed panels / wind load on structures from sandwich panels	30
3.6 Vertical load on wall panels	36

CHAPTER 4: WALL AND ROOF SANDWICH PANELS BY PH INSULATION

4.1 Labeling	34
4.2 Geometry	34

CHAPTER 5: GENERAL RULES FOR HANDLING, CUTTING, TRANSPORTATION, AND STORAGE OF SANDWICH PANELS

5.1 Cutting	43
5.2 Packing, transportation, and storage	43

CHAPTER 6: FRAMELESS STRUCTURES WITH SANDWICH PANELS

6.1 general information	49
6.2 structure and assembly of cold rooms	49
6.3 metal elements of cold rooms	54
6.4 insulation of walls with sandwich panel	58
6.5 thickness of panels for cold rooms	58
6.6 pressure equalizing valves	59

KAPITEL 1: ALLGEMEINE INFORMATIONEN

1.1 GESCHICHTE

Sandwich-Paneele werden in großem Umfang beim Bau von Fertighäusern, Kühlhäusern, Tiefkühlräumen, Produktionsstätten und Büros sowie für andere Zwecke eingesetzt. Während der COVID-19-Pandemie werden mit dieser Technologie Infektionskrankenhäuser und Pavillons errichtet.

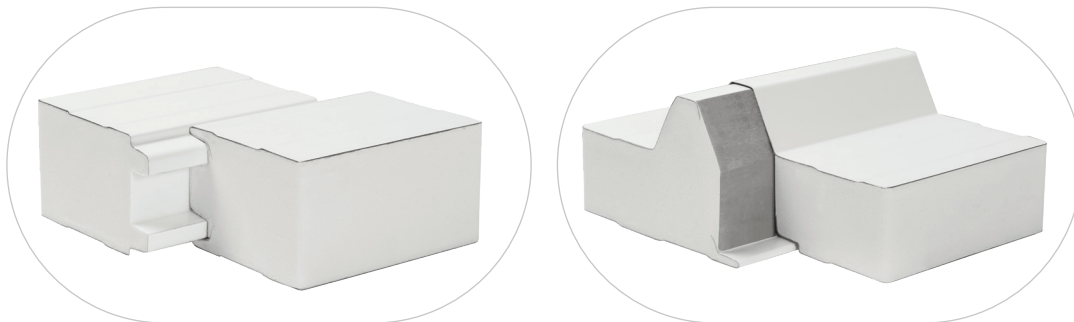
Durch ihre hohe Wärmedämmleistung reduzieren Sandwich-Paneele die Kosten für Heizung und Klimatisierung. Die Energieeinsparungen sind neben der schnellen Installation ein wichtiger Faktor für ihre wachsende Beliebtheit. Im Jahr 2005 verabschiedete das Europäische Komitee für Normung eine einheitliche Norm, EN 14509-2005, zur Regelung der Produktion und Verwendung von Sandwich-Paneeelen in der EU. Paneele von PH Insulation mit der individuell gestalteten Mischung PIR-Premiere sind gemäß der Norm EN 14509 CE-zertifiziert.

1.2 AUFBAU VON SANDWICH-PANEELEN

Sandwich-Paneele bestehen aus zwei starren Oberflächen, die in der Regel aus Metall sind, mit einer Kernschicht dazwischen, die eine höchstmögliche Isolierung bietet. Die Wärmeleitfähigkeit von PIR-Premiere Paneelen beträgt etwa 0,022 W/mK. Im März 2020 maß das Elastokam/BASF-Labor bei Mustern von PIR-Premiere Paneelen von PH Insulation eine Wärmeleitfähigkeit von 0,0194 W/mk.x1>.

Mineralwolle, expandiertes Polystyrol und Glaswolle sind ebenfalls beliebte Kernmaterialien für Sandwich-Paneele. Es gibt drei Hauptelemente, die zur Herstellung von effizienten Sandwich-Paneeelen erforderlich sind:

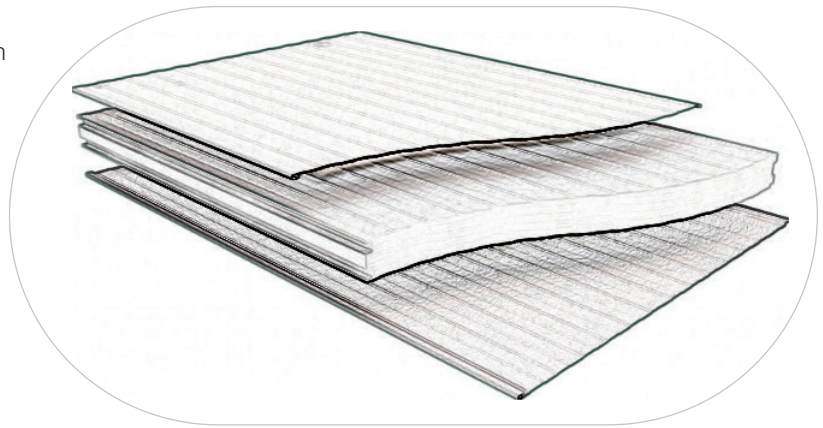
1. 40 % hängen von der Qualität der PUR- oder PIR-Schaumsysteme ab
2. 40 % hängen von der Qualität der Produktionslinie ab
3. 20 % hängen davon ab, dass die Fachleute mit dem entsprechenden Know-how die Arbeit erledigen



1.3 POLYURETHAN-SCHAUM

Polyurethan wird durch Polymerisation und Aufschäumen hergestellt. Dies geschieht durch die Mischung zweier flüssiger Komponenten mit einem Treibmittel und bestimmten Aktivatoren, die die Aushärtung beschleunigen. Das Mengenverhältnis dieser Komponenten und Additive bestimmt die Dichte, Steifigkeit und die anderen mechanischen Eigenschaften des Schaums sowie die Zeit, die für die verschiedenen Reaktionsphasen benötigt wird.

Abbildung 1.
Aufbau von Sandwich-Paneelen. Isolierkern befindet sich zwischen zwei dünnen Metallflächen



Polyurethan besteht aus kleinen geschlossenen Zellen. Nur 3 % des Materials sind fest, der Rest ist Gas, das in diesen Poren eingeschlossen ist. Seine Dichte liegt üblicherweise zwischen 24 und 96 kg/m³.

Es ist diese poröse Struktur, die Polyurethan zu einer großartigen Option für die Isolierung macht, da die Wärmeleitfähigkeit

von Gasen zehn- und hundertmal geringer ist als die von festen Materialien.

PU-Schäume sind:

- Energiesparend – ihre Wärmeleitfähigkeit beträgt lediglich 0,020 W/mK und kann auf 0,018 W/mK reduziert werden, wenn fortschrittliche Treibmittel verwendet werden.
- Umweltfreundlich - PU-Schäume finden Sie überall. Das reicht von den Sohlen Ihrer Schuhe über die Räder Ihres Autos bis hin zur Isolierung von Treibstofftanks in Raumfahrzeugen. In Russland sind sie seit der Verordnung des Gesundheitsministeriums Nr. 07/6 561 vom 26. Dezember 1986 für den Einsatz im Wohnungsbau zugelassen.
- Gesund - sie werden in der Lebensmittelindustrie zur Kühlung eingesetzt.
- Dampf- und wasserdicht.
- Beständig gegen Schimmel und andere Pilze. Auch Nagetiere und Insekten fressen sie nicht.
- Langlebig - sie behalten ihre Eigenschaften auch nach fünfzig Jahren.

PU-Schaumstoffe basieren auf Polyurethanen. Das sind polymere Verbindungen, die entstehen, wenn flüssige Isocyanate mit flüssigen Polyolen reagieren.

Je nach Anteil dieser Reagenzien können sowohl weiche als auch elastische oder harte Schaumstoffe mit guten Isoliereigenschaften hergestellt werden.

Abbildung 2.
PU-Schaumzellen bei 20-facher Vergrößerung betrachtet.

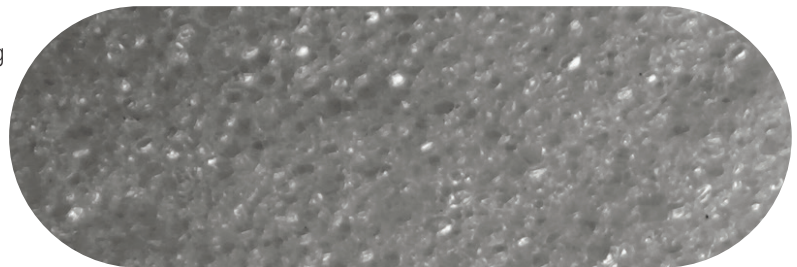
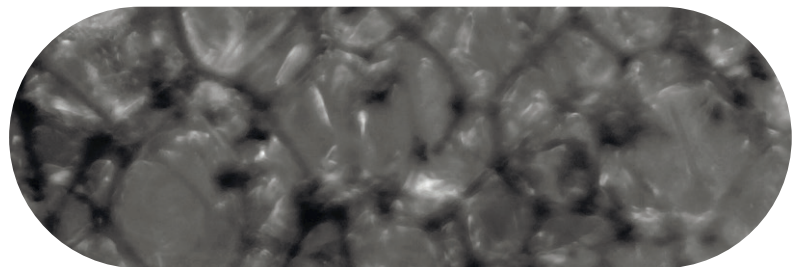


Abbildung 3.
PU-Schaumzellen bei 300-facher Vergrößerung betrachtet.



Aufgrund ihrer perfekten Isolationseigenschaften und der Fähigkeit, erheblichen mechanischen Belastungen standzuhalten, werden PU-Hartschäume häufig als Kern in Sandwich-Paneelen verwendet.

Die Wärmeverluste hängen von der Wärmeleitfähigkeit des in den Zellen des Festkörpers eingeschlossenen Gases und von der Konvektionsübertragung der Wärme ab. Wenn die Zellen relativ klein sind, ist die Konvektion vernachlässigbar, und der Feststoffanteil ist für bis zu 20% der Verluste verantwortlich.

Da die Zellgase wesentlich zum Wärmeverlust beitragen, sind die Eigenschaften der bei der Herstellung verwendeten Treibmittel entscheidend.

Während des Aufschäumens gelangt mit dem Treibmittel normalerweise auch etwas Kohlendioxid (CO₂) in die Zellen, das aber im Vergleich zu anderen Gasen sehr schnell durch die Zellwände entweicht. Geschlossene Zellen enthalten nach einiger Zeit hauptsächlich Treibmittel, die eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Nach Ablauf weiterer Zeit kann etwas Luft in den Schaum gelangen, was jedoch wenig Einfluss auf die Dämmeigenschaften hat.

Bei Sandwich-Paneelen mit Metalloberfläche ist der Kern durch diffusionsdichte Beschichtungen geschützt und die Zellgase können nur an den Paneel-Kanten oder durch diese eintreten.

Früher wurde das Gas Trichlorfluormethan (R-11 oder CFC-11) als Treibmittel eingesetzt. FCKW-Gase (Fluorchlorkohlenwasserstoffe) sind jedoch aufgrund ihres Ozonerstörungspotenzials inzwischen durch das Montreal-Protokoll verboten.

Es gibt jetzt eine Reihe von Treibmitteln, die bei der Herstellung von Sandwich-Paneelen zum Einsatz kommen. Dazu gehören teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (HFCKW-22 oder R2-2, HFCKW-142b oder R-142b, HFCKW-141b oder R-141b), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC, wie R-134a), und verschiedene Formen von Pentan und Wasser, das bei der Reaktion mit Isocyanat Kohlendioxid (CO₂) erzeugt.

Nach dem Mischen der chemischen Bestandteile dehnt sich der flüssige Schaum schnell aus. Die Zeit vom ersten Mischen der Komponenten bis zur Aushärtung des Schaumstoffkerns beträgt je nach Dicke des Kerns zwischen drei und sechs Minuten.

Da die chemische Reaktion exotherm ist, können die Kernmaterialien von Paneelen mit einer Dicke von 100 mm oder mehr Temperaturen von über 150°C erreichen. Es ist daher notwendig, Paneele mit einer Dicke von 100 mm oder mehr vor dem Transport zur Baustelle mindestens 24 Stunden zu lagern, um den Aushärtungs- und Abkühlungsprozess abzuschließen.

1.4 WAS IST DER UNTERSCHIED ZWISCHEN PUR- UND PIR-PANEELEN?

Polyisocyanurat (PIR)-Schaum ist eine Art Polyurethan-Hartschaum. Er hat eine verbesserte Feuerbeständigkeit und unterscheidet sich von reinen Polyurethan-Schaumstoffen nur durch das Mischungsverhältnis der Hauptkomponenten Polyol und Isocyanat. Dieses Verhältnis beträgt etwa 100:150 für PIR und etwa 100:110 für einfaches Polyurethan.

In PIR-Paneelen ist daher mehr Isocyanat enthalten als in PUR-Paneelen. Die mechanischen Eigenschaften des Schaums können auch von den verwendeten Aktivatoren abhängen.

Sandwich-Paneele mit PUR Classic Dämmung werden hauptsächlich in Kühl- und Tiefkühlräumen eingesetzt. Manchmal werden PUR-Paneele für den Bau von Lagerhallen in erdbebengefährdeten Gebieten verwendet: Um eine zusätzliche Festigkeit zu erzielen, können sie mit Hebelschlössern befestigt werden.

PIR-Paneele sind viel beliebter. PIR Premiere Paneele können eingesetzt werden beim Bau von:

- Kühl- und Tiefkühlräumen
- Obst- und Gemüselagern
- landwirtschaftlichen Gebäuden, wie z. B. Kuhställe, Geflügelställe, Schweineställe usw.
- Logistikzentren und Kühllagern
- Produktionsstätten und Geschäften
- Bürogebäuden
- Tankstellen und Hangars

PIR-Premiere Paneele mit individueller PIR-Mischung aus den besten Komponenten der Welt, der in Russland meistverkauften Mischung, werden auch bei der Sanierung von Konstruktionen aus anderen Materialien und zur Verbesserung der Energieeffizienz eingesetzt.

PIR-Kerne sind im Vergleich zu PUR weniger brennbar. Bei hohen Temperaturen bildet sich eine poröse Außenschicht aus Kohlenstoff und schützt tiefere Schichten vor Feuer.

Gemäß den Technischen Vorschriften für Brandschutzanforderungen (Russisches Föderales Gesetz FZ-123) sind Sandwich-Paneele mit der Feuerwiderstandsklasse EI 30 und der Brennbarkeitsklasse G1 zur Verwendung als Bau- oder Dämmstoff im Industrie- und Wohnungsbau zugelassen.

Gemäß den russischen technischen Anforderungen TU 5284-006-77983254 und TU 5284-003-77983254 können PIR und PUR Sandwich-Paneele bei Außentemperaturen von bis zu +80°C eingesetzt werden. Beide Paneeltypen sind beständig gegen Feuchtigkeit und Dampf.

PIR Paneele haben aufgrund ihrer thermischen Stabilität und Feuerbeständigkeit an Popularität gewonnen. PIR-modifizierte Polyurethan-Polymere ersetzen derzeit alle anderen Arten von PUR-Schäumen als Kernmaterial für Sandwich-Paneele.

Die Eigenschaften von Kernen, die auf kontinuierlich arbeitenden Produktionslinien hergestellt werden, können je nach Paneeldicke variieren. Die Komponenten der Mischung sollten so gewählt werden, dass der Schaum schnell nach oben steigt. Das bedeutet, dass die Dichte des Schaums in der Nähe der Stirnseiten etwas höher ist als in der Mitte des Paneels, wo sich der Schaum frei ausbreiten konnte. Da sich die Produktionslinie kontinuierlich bewegt, sind die Zellen meist eiförmig und in Richtung der Schaumbildung ausgerichtet.

Daher produzieren kontinuierlich arbeitende Produktionslinie Paneele mit herstellerspezifischem Kernaufbau und -eigenschaften.

Tabelle 1 zeigt wichtige Eigenschaften der derzeit bei der Herstellung von PU-Hartschaumstoffen verwendeten Treibmittel. Unter Belastung bricht die Polyurethan-Hartschaumstruktur zusammen, wenn sich die Zellwände verformen und brechen (bei Kompression oder Schub) oder zerbrechen (unter Spannung).

Die durchschnittliche Dichte, die normalerweise verwendet wird, liegt im Bereich von 35-50 kg/m³. Experimente mit Mustern aus PU-Schaum mit der gleichen Dichte zeigten, dass eine kleinere durchschnittliche Zellgröße zu einer geringeren Wärmeleitfähigkeit führt.

Auf der anderen Seite bedeutet eine höhere Dichte eine größere Paneelstärke.

Tabelle 1.
Physikalische und chemische Eigenschaften von ausgewählten Treibmitteln

Bezeichnung	Bruttoformel	Molare Masse, g/mol	Wärmeleitfähigkeit bei 25°C, mW/mK	Siedepunkt, °C	Sättigungsdampfdruck bei 20°C, Bar	Verbrennungsgrenzwert, %
R-11	C-Cl ₃ F	137,5	7,8	24	0,88	Nicht zutreffend
R-141b	CH ₃ C-Cl ₂ F	116,9	9,8	32	0,69	5,6-17,6
R-134a	CH ₂ FCF ₃	102,0	14,3	-26	5,62	Nicht zutreffend
R-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	134,0	12,2	15	1,24	Nicht zutreffend
R-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	148,0	10,6	40	0,47	3,5-9,0
i-Pentane	C ₅ H ₁₂	72,0	14,6	36	0,65	1,4-8,3
Isopentan	C ₅ H ₁₂	72,0	13,8	28	0,80	1,4-7,6
Cyclopentan	C ₅ H ₁₀	70,0	12,6	50	0,34	1,4-7,8
Kohlendioxid	CO ₂	44,0	16,3	-78	56,55	Nicht zutreffend
Luft	N ₂ O ₂	28,8	26,5	-193	624,03	Nicht zutreffend

Das bedeutet, dass eine geringere Dichte eine effektivere Isolierung bedeutet, aber solche Schäume ziemlich zerbrechlich sind. Die folgenden Abbildungen zeigen den empirischen Zusammenhang zwischen Wärmeleitfähigkeit und Dichte von PU-Schäumen.

Abbildung 4.
 Beziehung zwischen Wärmeleitfähigkeit und durchschnittlicher Zellgröße in PU-Schäumen

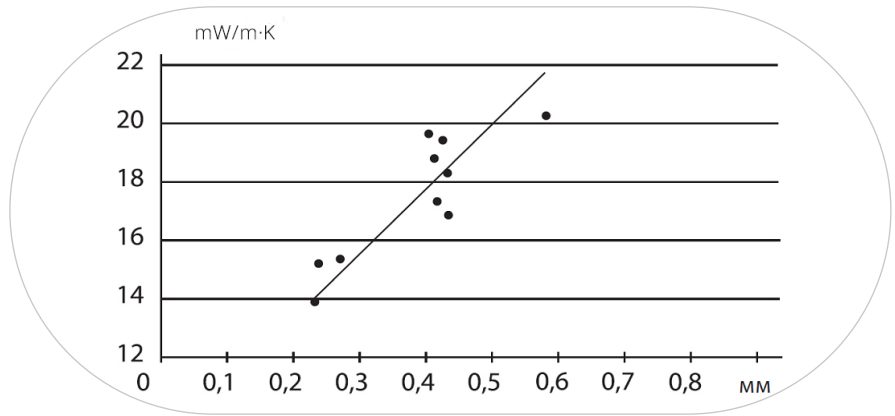
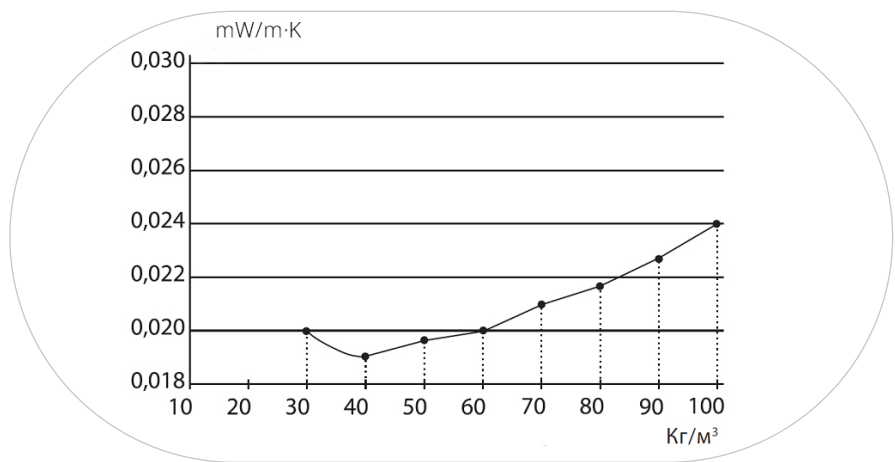


Abbildung 5.
 Beziehung zwischen Wärmeleitfähigkeit und Dichte in PU-Schäumen



Diese Daten legen nahe, dass ein PU-Schaum mit einer Dichte von 40 kg/m³ die beste Option für die Wärmedämmung ist. Wie wir gleich zeigen werden, ist die Festigkeit von Paneelen mit dieser Kerndichte ebenfalls ausreichend.

Nachfolgend finden Sie die Ergebnisse von Tests von PU-Hartschaum, die regelmäßig im Forschungszentrum von Dow Izolan durchgeführt werden.

Tabelle 2.

Ergebnisse der Tests von PUR-Mustern (Komponente A ist Voracor CD 443, Komponente B ist Voracor CD 345)

Parameter	Kante mit Verformung	Kante ohne sichtbare Verformungen	Geltende Norm
Scheinbare Kerndichte, kg/m ³	39,4	37,8	GOST 409
Druckbelastung bei 10 % Verformung, kPa	158,3	208,8	GOST 17177-87
Biegespannung bei Bruch, kPa	330	330	GOST 18564
Durchbiegung bei Bruch, mm	13,2	13,2	GOST 18564
Wasseraufnahme nach 24 h, %	1,6	1,6	GOST 23486-79
Haftung an Oberflächen bei gleichmäßigem Abstand, kPa	Obere	117,4	GOST 23486-79
	Untere	207,4	
Wärmeleitfähigkeit, W/m-K	0,022	0,022	GOST 7076-99
Formstabilität bei +75°C nach 24 h, %	ΔL	<1	GOST 20989-75
	ΔB		
	ΔH		

Tabelle 3.

Ergebnisse der Tests mit einem Fragment eines PIR-Paneels (Komponente A ist Voraterm CN815, kein Primer)

Parameter	Zunge	Zentrum	Rille	Geltende Norm	
Dichte, kg/m ³	40,8	41,2	40,9	GOST 409	
Scheinbare Kerndichte, kg/m ³	39,5	39,4	39,2	GOST 409	
Druckspannung bei 10 % Verformung, kPa	Stoßhöhe	116,17	99,97	115,25	
	Länge	318,87	317,48	317,53	GOST 23206-78
	Breite	125,41	125,25	119,88	
Wasseraufnahme in 24 h, %		1,50		GOST 20869-75	
Haftung an Oberflächen bei gleichmäßigem Abstand, kPa	Obere	134,39	110,77	132,16	GOST 22695-77
	Untere	118,12	111,54	100,32	
Wärmeleitfähigkeit, W/m-K 10/35		0,22		GOST 22695-77	

1.5 WARUM IST PIR-PREMIERE BESSER ALS ANDERE PIR SYSTEME?

Während die meisten russischen Hersteller von PU Sandwich-Paneelen vorgefertigte Lösungen bevorzugen, die von einer Handvoll multinationaler Konzerne angeboten werden, verwendet PH Insulation PIR-Premiere, das speziell für die Produktionslinien von PH Insulation entwickelt wurde. Seit mehr als drei Jahren garantiert diese benutzerdefinierte Mischung die Qualität der Paneele und der PIR Plita®-Platten von PH Insulation, insbesondere deren Wärmeleitfähigkeit, physikalischen und mechanischen Eigenschaften.

Um PIR-Premiere zu entwickeln, ging PH Insulation 2016 eine Partnerschaft mit den internationalen Unternehmen Dow, BASF und Evonik ein. Die Mischung ist nach der Norm EN 14509 zertifiziert. Alle PIR-Paneele von PH Insulation sind seit 2017 mit dem CE-Zeichen zertifiziert.

Bis Mai 2019 hatte PH Insulation mehr als 5 Millionen Quadratmeter Sandwich-Paneele mit PIR-Premiere und über 5 Tausend Tonnen Polyolsysteme hergestellt.

Gegenwärtig stellt PH Insulation jährlich Paneele und Türen mit PU-Isolierung für mehr als zweitausend Unternehmen in 15 Ländern her.

WAS IST DAS GEHEIMNIS DER PIR-PREMIERE PANELEE?

Die PIR-Premiere Mischung wird unter Berücksichtigung aller Besonderheiten der bei PH Insulation installierten kontinuierlich arbeitenden Pu.Ma Anlagen (Italien) hergestellt. Die unmittelbare Integration in weitere Produktionsprozesse macht das System einzigartig.

Um die Qualität der Sandwich-Paneele und der PIR Plita®-Platten zu gewährleisten, werden alle Komponenten vom 2016 gegründeten PH Insulation F&E Zentrum sorgfältig ausgewählt.

Das F&E-Zentrum bewertet 36 physikalische und mechanische Parameter des Gemischs für eine bessere Spreizfähigkeit, eine niedrige Wärmeleitfähigkeit und andere Eigenschaften des Schaums. PH Insulation führt Tests zur Wasseraufnahme, Formstabilität und zum Gewichtsverlust gemäß den russischen Normen (GOST) für zelluläre Kunststoffe durch.

Um die Qualität des Polyesters, der eines der entscheidenden Elemente des Systems ist, besser kontrollieren zu können, verhandelte PH Insulation mit zehn Lieferanten von Reagenzien weltweit und schloss Verträge mit Unternehmen ab, die Lösungen für BASF, Dow, Huntsman, Coim, Evonik und Covestro liefern.

Vor der Implementierung führte PH Insulation etwa einhundert Tests mit neun Aktivatoren von fünf internationalen Herstellern durch und fand ein optimales Verhältnis von Aktivator, Druck, chemischen Komponenten und der Geschwindigkeit der Formen in Produktlinien.

Das Forschungszentrum von PH Insulation überwacht vierzehn Parameter der Zusammensetzung und Eigenschaften der Sandwich-Paneele in Echtzeit, so dass wir für jeden Quadratmeter Paneele in jeder Lieferung bürgen können.

Das F&E-Zentrum sammelt und analysiert täglich über 4 GB Daten von unseren kontinuierlich arbeitenden Produktionslinien. Dies hilft PH Insulation, die Eigenschaften unserer Paneele zu verbessern und optimale technologische Modi für jede Paneel-Dicke zu finden.

Gemäß der Norm EN 14509 führt das Forschungszentrum von PH Insulation sowohl zerstörende Prüfungen für Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Modul des Kerns und Biegeverformung als auch zerstörungsfreie Prüfungen für künstliche Alterung und Wärmeleitfähigkeit durch.

Jede Woche werden in einer speziellen Kammer über 50 Meter Paneel-Proben, die von den Montagebändern kommen, von PH Insulation zerrissen, zerschnitten, komprimiert, gebogen, verbrannt, auf 100°C und mehr erhitzt, versenkt und eingefroren.

Als Ergebnis dieser Bemühungen widerstehen PIR-Premiere Paneele mit einer Kerndichte von 40 kg/m³ einer Druckbelastung von über 185 kPa bei 10 % Verformung und weisen eine Schubfestigkeit von 160 kPa oder mehr auf.

PH Insulation hat es sich zur Aufgabe gemacht, seine Komponenten oder technologischen Anpassungen gründlich zu testen. Derzeit kontrolliert PH Insulation die Qualität des PIR-Systems auf molekularer Ebene. Im Jahr 2020 installierte PH Insulation einen Reaktor zur Herstellung komplexer Polyether von H&S Anlagentechnik, Deutschland.

Derzeit ist es die modernste Anlage weltweit.

1.6 METALLVERKLEIDUNGEN

Die Metalloberflächen der von PH Insulation hergestellten Paneele entsprechen den in Tabelle 4 aufgeführten Normen.

Tabelle 4.
Normen für Metalloberflächen von PU Sandwich-Paneelen

Typ	Minimale Streckgrenze	GOST
Verzinkung	220 MPa	GOST 14918-80 GOST P 52246-2016
Zink und organische Beschichtung	220 MPa	GOST 30246-2016 GOST P 52146-2003 GOST P 54301-2011
Rostfreier Stahl	220 MPa	GOST 19904-90, EN 10088-1:2005
AMr2 1/2H Aluminiumlegierung	140 MPa	GOST 21631-76

Die Metalloberflächen (mit Ausnahme von rostfreiem Stahl) bestehen in der Regel aus gewalztem Stahl (GOST 14918-80, Gruppe B, erste Beschichtungsstufe) oder importierten dünnen Stahlblechen mit einer Korrosionsschutzschicht aus Zink (Zn) oder Zink-5% Aluminium (Zn-5%Al) oder Beschichtungen auf Basis von Aluminium, Zink und Silizium (Zn-55%Al).

Für einige Konstruktionsarten und um eine zusätzliche Haltbarkeit zu erzielen, können organische oder komplexe Schutzbeschichtungen verwendet werden.

Typ und Dicke der Oberflächen werden bei jeder Lieferung immer angegeben. PH Insulation bietet Paneele mit Metalloberflächen von 0,35 mm bis 0,7 mm Dicke an.

Die Mindeststreckgrenze von rostfreien Flächen ist in Tabelle 5 dargestellt. Die chemische Zusammensetzung der Oberflächen und ihre physikalischen Eigenschaften entsprechen den Anforderungen der Norm GOST 5632-14. PH Insulation verwendet Stahlbleche und Rollen (GOST 19904-90) oder ähnliche importierte Produkte (AISI 304 für die Lebensmittelindustrie und AISI 430 für allgemeine Zwecke).

Tabelle 5.
Technische Eigenschaften der Metalloberflächen von Paneelen

Minimale Streckgrenze	280 MPa
Maximale Streckgrenze	320 MPa
Maximale Zugfestigkeit	360 MPa
Dehnung	0,00 %
Gesamtgewicht der Verzinkung auf beiden Seiten	> 275 g/m ²
Mittlere Dicke der Verzinkung	≥ 20 µm
Standardbreite des Stahlblechs	1250 mm
Durchschnittliche Dicke der Polyesterbeschichtung (für lackierte Flächen)	25-30 µm

1.7 PRODUKTIONSLINIEN

Sandwich-Paneele werden auf kontinuierlich arbeitenden Produktionslinien oder nicht kontinuierlich arbeitenden Fließbändern hergestellt, indem das Schaumgemisch in eine geschlossene Form, die die Abmessungen des gewünschten Paneels hat, gespritzt wird.

NICHT KONTINUERLICH ARBEITENDE PRODUKTIONSLINIE

Bei dieser Art der Produktion wird die untere Verkleidung auf den Boden der Form gelegt und die obere Verkleidung auf Abstandshaltern abgestützt in Position gebracht. Die resultierende Struktur ist sehr robust und kann den beim Aufschäumen entstehenden Drücken standhalten. Kleine Öffnungen an den Enden der Form lassen Luft und überschüssigen Schaum ab. Dadurch kann sich der Schaum gleichmäßig verteilen.

Die Mischung wird durch eine Düse, die an der Seite der Form eingeführt wird, in den Hohlraum gesprüht. Der Vorgang dauert nur wenige Sekunden. Nach dem Aufschäumen wird das Paneel je nach Dicke 15 bis 50 Minuten in der Form belassen.

Dann kann das Paneel entfernt und die Form für das nächste Paneel vorbereitet werden. Mit dieser Methode können verschiedene Paneel-Formen mit verschiedenen Oberflächen gefertigt werden.

Der Nachteil ist, dass das Verfahren relativ langsam ist.

Selbst wenn ein Team von Mitarbeitern in Zyklen an mehreren Formen arbeitet und in jeder Form bis zu zwei Paneele gleichzeitig hergestellt werden, ist die Effizienz nicht hoch.

KONTINUIERLICH ARBEITENDE PRODUKTIONSLINIEN

Für die Massenproduktion werden kontinuierlich arbeitende automatische Produktionslinien eingesetzt. Eine solche Anlage kann in einer einzigen Schicht etwa 500 000 Quadratmeter Sandwich-Paneele mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 15 Metern pro Minute produzieren. Diese Produktionsgeschwindigkeit hat keinen Einfluss auf die Qualität der Paneele.

Die Oberflächen sind aus zwei Metallspulen gefertigt. Statische Elektrizität wird mithilfe einer Koronaentladung neutralisiert, um die Haftung der Oberflächen auf dem PU-Kern zu verbessern. Die meisten Produktionslinien sind mit antistatischen Geräten ausgestattet, die nur von einem italienischen Hersteller angeboten werden.

Danach durchlaufen die Paneele Rollformer, wo das Oberflächenprofil und die Kantendetails, einschließlich der Verriegelungssysteme, geformt werden. Abweichungen von den Konstruktionsparametern von Schließsystemen werden in der technischen Dokumentation festgelegt und sind in der Regel bei allen Herstellern weltweit gleich. Beide Seiten des Stahlblechs werden in der Regel zuerst mit einem Primer (einer Klebstoffschicht) beschichtet, der für eine gute Verbindung zwischen dem Schaumstoff und den Verkleidungen sorgt, und dann wird das Paneel auf die erforderliche Temperatur aufgeheizt, was eine Voraussetzung für eine optimale chemische Reaktion ist.

Die Zweikomponenten-Schaummischung wird dann zwischen zwei Paneelen eingeführt, und die Streifen gelangen auf ein Doppelförderband, das die Oberflächen auf dem erforderlichen Abstand hält. Die Seiten des Paneels werden ebenfalls durch seitliche Former gebildet, die kleinen Kettenbändern ähnlich sind.

Wenn das durchgehende Paneel herauskommt, kann der Schaumstoff mit einer fliegenden Säge auf die erforderlichen Längen zugeschnitten werden. Wegen der Geräusentwicklung erfolgt der Zuschnitt immer in einem separaten Raum. Dann werden die Paneele abgekühlt, gestapelt, für die Auslieferung verpackt und mit Schutzfolie abgedeckt.

Der Schaum bildet sich noch ca. 24 Stunden nach dem Verlassen der Linie aus, daher sollten Sandwich-Paneele bei einer kontrollierten Temperatur gelagert.

Wie auch alle vorherigen Schritte ist das sehr wichtig für die richtige Form der Paneele.

Produktionslinien werden immer individuell nach den Anforderungen des Kunden zusammengestellt. Wenn Ihnen also gesagt wird, dass eine bestimmte Linie einzigartig und kundenspezifisch ist, nehmen Sie solche Behauptungen mit Vorsicht zur Kenntnis.

Bild 2.

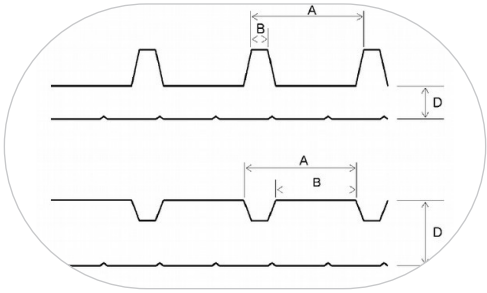
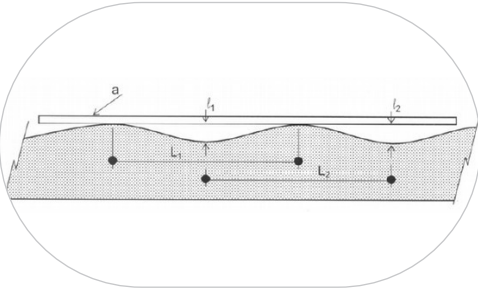
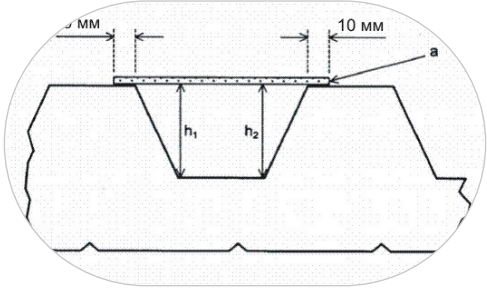
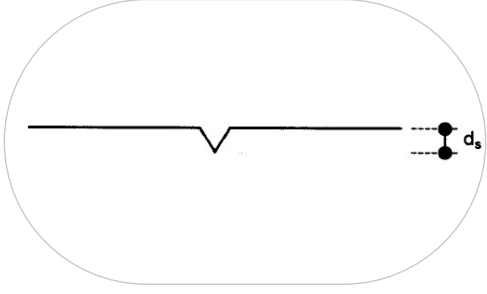
Ein Abschnitt der kontinuierlich arbeitenden Anlage von Pu.Ma, Italien, die in der Produktionsstätte von PH Insulation installiert ist.



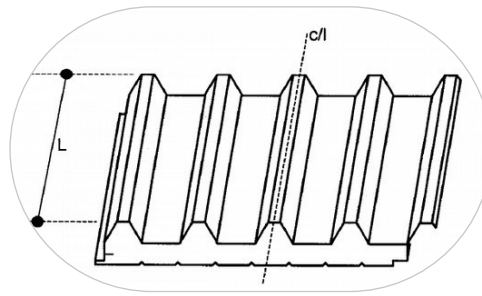
KAPITEL 2: PARAMETER UND EIGENSCHAFTEN VON SANDWICH-PANEELEN

2.1 MASSTOLERANZEN

Tabelle 6.
Maßtoleranzen von Sandwich-Paneeelen

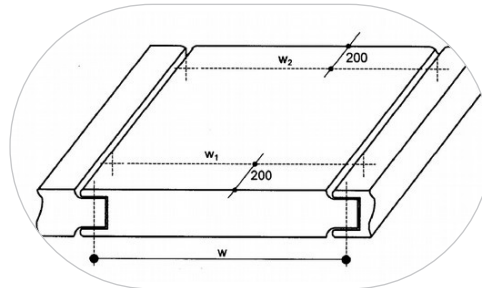
Parameter	Schema	Toleranz
Paneeldicke		für $D \leq 100$ mm: 2 mm für $D > 100$ mm: $\pm 2\%$
Abweichung von der Ebenheit für den gemessenen Abstand auf der ebenen Fläche (L)		für $L = 200$ mm: 0,6 mm für $L = 400$ mm: 1,0 mm für $L > 700$ mm: 1,5 mm
Tiefe der Metallprofilrippen (Dachpaneele)		$h = \frac{h_1 + h_2}{2}$ $h = (40 \pm 1) \text{ mm}$
Tiefe der Aussteifungen bei leicht profilierten Oberflächen (Wandpaneele)		$(1,5 \pm 0,3) \text{ mm}$

Länge

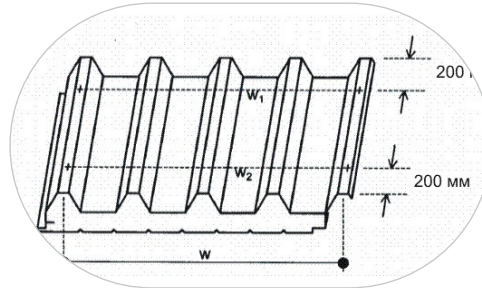


für $L \leq 3$ m: ± 5 mm
für $L > 3$ m: ± 10 mm

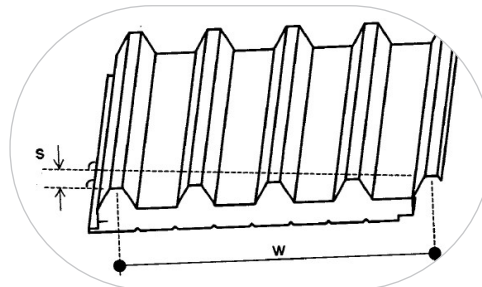
Breite der Abdeckung



± 2 mm

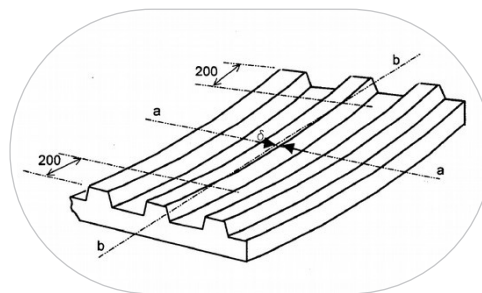


Abweichung von der
Rechtwinkligkeit



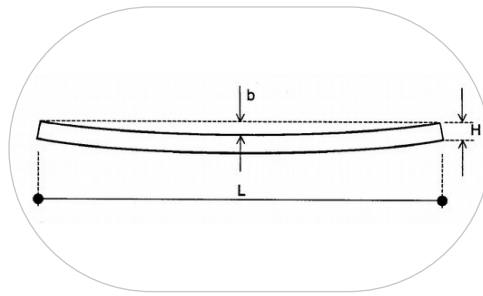
0,6 % der Nennbreite der
Abdeckung

Abweichung von der
Geradheit



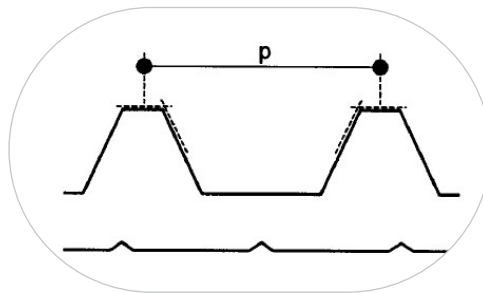
1,0 mm/m, nicht mehr als 5 mm

Durchbiegung



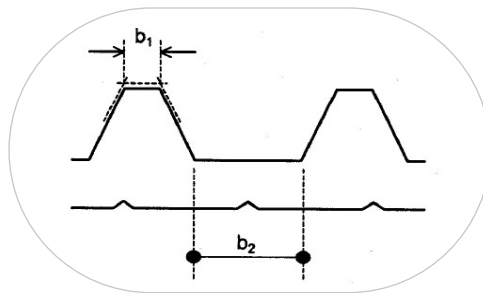
2,0 mm für jeden Meter Länge,
jedoch nicht mehr als 10 mm;
8,5 mm für jeden Meter
Breite bei leicht profilierten
Wandpaneelen;
10 mm für jeden Meter Breite
für Dachpaneele

Profilneigung
(Dachpaneele)



$p = (250 \pm 2) \text{ mm}$

Breiten der Rippe (b_1)
und Tal (b_2)



$b_1: \pm 1 \text{ mm}$
 $b_2: \pm 2 \text{ mm}$

2.2 WÄRMELEITFÄHIGKEIT, WÄRMEDURCHGANG UND WÄRMEWIDERSTAND VON PU-PANEELEN

Wärmeverluste in Gebäuden und anderen Strukturen entstehen durch:

1. Übertragungsverluste durch Böden, Wände und Decken; und
2. Lüftungsverluste als Folge von durchlässigen Verkleidungen (natürliche Lüftung).

Die Übertragungsverluste können durch den Einsatz von Materialien mit geringerer Wärmeleitfähigkeit reduziert werden. Lüftungsverluste können durch ein effizientes Belüftungssystem und durch eine „dichte“ Bauweise verringert werden.

Sandwich-Paneele sind eine gute Lösung, um Wärmeverluste auf zweifache Weise zu vermeiden. Die Dicke der Wärmedämmung hängt vom Verwendungszweck und den klimatischen Bedingungen ab.

Schauen wir uns die physikalischen Prinzipien an, die die Isolationseigenschaften verschiedener Materialien und Strukturen definieren.

Eine Eigenschaft ist die Wärmeübertragung (nicht zu verwechseln mit der Wärmeleitfähigkeit), die auftritt, wenn Stoffpartikel (Moleküle, Atome und Elektronen) im Zuge ihrer Bewegung Wärme übertragen.

Die Temperatur eines Objekts hängt von der kinetischen Energie seiner Atome und Moleküle ab, und diese Energie geht zu diesem Zweck von wärmeren zu kälteren Teilen oder zu einem anderen wechselwirkenden Objekt über.

Der Vorgang findet in jedem Objekt mit ungleicher Temperaturverteilung statt, aber sein Mechanismus wird durch den physikalischen Zustand beeinflusst.

Der stetige Energiestrom durch eine Wand mit der Fläche S ist direkt proportional zur Temperaturdifferenz zwischen ihren Seiten und umgekehrt proportional zu ihrer Dicke. Im Falle eines Wärmestroms durch eine Wand aus Sandwich-Paneeelen sind die Wärmeverluste zwischen den Flächen gegeben durch:

$$Q = -\lambda \frac{S \Delta T}{\delta} \quad (1)$$

mit Q = Rate der Wärmeverluste, S = Oberfläche, ΔT = Temperaturdifferenz auf dem Paneel und δ = Dicke der Isolierung.

Die Wärmeleitfähigkeit λ wird in W/mK gemessen und beschreibt die Fähigkeit eines Materials, Wärme zu leiten, quantitativ.

Es ist zu beachten, dass es sich hierbei um eine physikalische Eigenschaft des Materials handelt, die ausschließlich von seiner inneren Struktur, und nicht von seiner Form oder seinen Abmessungen abhängt.

Tabelle 7.
Wärmeleitfähigkeit der gängigsten Materialien

Material	$\lambda_{\text{ausgewiesen}}$, W/mK
Aluminium	202–236
Stahl	47–60
Glas	1,15
Backstein	0,87
Beton	1,7
Schaumstoffbeton	0,14–0,30
Holz	0,15
Mineralwolle	0,045
Expandiertes Polystyrol	0,04
Urea-Formaldehyd-Schaum	0,035
Luft (trocken und ruhig)	0,024–0,031
Polyurethan-Schaum (PUR/PIR)	0,021–0,023

Normalerweise liegt die ausgewiesene Wärmeleitfähigkeit sowohl von PUR- als auch von PIR-Schäumen im Bereich von 0,021-0,022 W/mK. Gemäß der Norm EN 14509-2005 muss der Hersteller Lambda-90/90-Werte angeben, die sicherstellen, dass die ausgewiesene Wärmeleitfähigkeit für 90 % der Produktion mit einer 90 % igen statistischen Sicherheit erreicht werden kann.

Die Wärmeleitfähigkeit ($\lambda_{\text{Bemessung}}$) ist für Bauzwecke eigentlich wichtiger als die ausgewiesene Wärmeleitfähigkeit. Worin besteht der Unterschied?

Wie bereits erwähnt, beschreibt die Norm EN 14905-2005 die Verfahren zur Messung aller wichtigen Parameter, einschließlich des Bemessungswerts der Wärmeleitfähigkeit, für Sandwich-Paneele klar und umfänglich.

Sie berücksichtigt eine Reihe von Kernmaterialien, die sich in Bezug auf ihre Haltbarkeit deutlich unterscheiden können.

Nach EN 14509 und EN 13165-2008 gibt es in Bezug auf die Alterung eine Anpassung des Bemessungswerts der Wärmeleitfähigkeit von PU-Hartschaumstoffen; das Entweichen des Treibmittels aus den Zellen und dessen Ersatz durch Luft sind Hauptfaktoren bei der Alterung von PU-Schaumstoffen.

Der Einfluss von Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit der Paneele wird nicht berücksichtigt, da die Außenseite dafür sorgt, dass bei ordnungsgemäßer Montage der Paneele keine Feuchtigkeit in den Schaum eindringt.

Die Wärmeleitfähigkeit hängt eigentlich von der Luftfeuchtigkeit ab, was aber nur dann von Bedeutung ist, wenn die Sandwich-Paneele schlecht eingebaut wurden. In diesem Fall dringt Feuchtigkeit durch unversiegelte Fugen in den Kern ein, und der Kern wird den Umgebungsbedingungen ausgesetzt.

Regelmäßige und saisonale Luftfeuchtigkeitsschwankungen beeinflussen die Struktur des PU-Schaums nicht und tragen nicht zu seiner Alterung bei.

Für Mineralwolle hingegen ist eine hohe Luftfeuchtigkeit ein abbauender Faktor.

Die Wärmeleitfähigkeit hängt auch von den Umgebungstemperaturen ab, aber EN 14509-2005 und die russische Norm GOST 54855-2011 verlangen nicht, dass die Proben erwärmt werden, um den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit zu bestimmen. Die Dämmeigenschaften von PU-Schaum verschlechtern sich in erster Linie durch die Diffusion des Treibmittels und dessen Verdrängung durch Luft. Die Luftfeuchtigkeit ist ein untergeordneter Faktor, der nur unter bestimmten Bedingungen zu berücksichtigen ist.

Unterschiedliche Ansätze zur Definition des Bemessungswerts der Wärmeleitfähigkeit in Russland und der EU sind in Tabellen 8 und 9 zusammengefasst.

Tabelle 8.

Ausgewiesene Wärmeleitfähigkeit und Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von Sandwich-Paneelen nach EN 14509-2008

Parameter	Ausgewiesene Wärmeleitfähigkeit	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit*	Hauptalterungsfaktor
Wärmeleitfähigkeit	90/90 λ ausgewiesen für trockene Muster bei mittlerer Temperatur von 10°C, keine Alterung	90/90 λ ausgewiesen für trockene Muster bei mittlerer Temperatur von 10°C, nach Alterung *	Ersatz des Treibmittels durch Luft

* Der Alterungsprozess hängt vom Typ des Treibmittels ab. Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit für alle Paneeltypen mit dichten Metalloberflächen wird in Schritten von 0,001 W/mK angegeben (siehe EN 13165-2008)

Tabelle 9.

Ausgewiesene und Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von Sandwich-Paneelen nach der russischen Norm SNiP 23-02-2003

Parameter	Wärmeleitfähigkeit	Bedingungen A	Bedingungen B
Wärmeleitfähigkeit	Durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit von mindestens fünf trockenen Mustern (nach GOST 7076-78)	Wärmeleitfähigkeit für 2 % Feuchtigkeitsaufnahme	Wärmeleitfähigkeit für 5 % Feuchtigkeitsaufnahme

2.3 BERECHNUNG VON WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT UND WÄRMEWIDERSTAND

Neben der Wärmeleitfähigkeit definieren der Wärmedurchgangskoeffizient (U) und der Wärmewiderstand (R) die Dämmeigenschaften von Böden, Decken, Dächern usw., einschließlich solcher, die aus Sandwich-Paneelen bestehen. In Bezug auf den Wärmedurchgangskoeffizienten wird der Wärmestrom durch ein Sandwich-Paneel wie folgt berechnet:

$$Q = US\Delta T \quad (2)$$

mit U = gemessener Wärmedurchgangskoeffizient des Sandwich-Paneels in W/(m²K), der von seiner Dicke abhängt; S = Fläche der Wand in m²; und ΔT = die Differenz aus den Lufttemperaturen auf beiden Seiten des Paneels.

Der Wärmewiderstand charakterisiert die Fähigkeit eines Objekts, einer Oberfläche oder einer Schicht, die Bewegung von Molekülen zu behindern. Man unterscheidet den Gesamtwärmewiderstand, der invers zum Wärmedurchgangskoeffizienten ist, vom Oberflächenwärmewiderstand, der invers zu den Wärmeverlusten ist, und den Schichtwärmewiderstand, der gleich dem Verhältnis von Schichtdicke und seiner Wärmeleitfähigkeit ist.

Allgemeiner ausgedrückt wird der Wärmedurchgangskoeffizient (U) definiert als

$$U = \frac{1}{R_s + \frac{t_{ni}}{\lambda_f} + \frac{(d_c + \Delta e)}{\lambda_{Bemessung}} + \frac{t_{ne}}{\lambda_g} + R_g} + \frac{\Psi}{B} \quad (3)$$

mit

d_c = Nominale Dicke des Kerns (ohne Berücksichtigung der Dicke der Oberflächen), m

t_{ni} = Nominale Dicke der Innenverkleidung, m

t_{ne} = Nominale Dicke der Außenverkleidung, m

$\lambda_{Bemessung}$ = Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit des Kerns, W/mK

λ_f = deklarierte Wärmeleitfähigkeit der Innenverkleidung, W/mK

λ_{fe} = ausgewiesene Wärmeleitfähigkeit der Außenverkleidung, W/mK
 Δ_e = zusätzliche Dicke durch die Profile der beiden Oberflächen, m
 Ψ = linearer Wärmedurchgangskoeffizient der Fugen pro Meter Paneellänge, W/mK
 B = Gesamtbreite der Platte, m
 R_{si} = innerer Oberflächenwiderstand, m²-K/W
 R_{se} = äußerer Oberflächenwiderstand, m²-K/W

Der innere Oberflächenwiderstand (Rsi) und der äußere Oberflächenwiderstand (Rse) sind nach EN ISO 6946 zu bestimmen und in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 10.
Wärmerichtung

	Richtung des Wärmestroms		
	Dach	Wand	Boden
Innerer Oberflächenwiderstand (R_{si}), m ² -K/W	0,10	0,13	0,17
Äußerer Oberflächenwiderstand (R_{se}), m ² -K/W	0,04	0,04	0,04

Die zusätzliche Dicke Δ_e ist für Dachpaneele wichtig und hängt von der Anordnung und der Höhe der Profile ab.

Abbildung 6.

Berechnung der Δ_e für Paneele von PH Insulation nach EN 14509-2008; $b_1 = 20$ mm, $b_2 = 60$ mm, $h = 40$ mm, $p = 250$ mm.

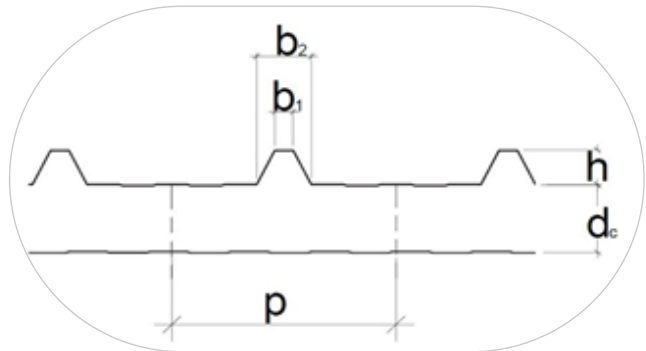


Tabelle 11.
Berechnung der Δ_e für Dachpaneele

	Höhe der Rippen (h), mm			
	$10 \leq h \leq 25$	$25 \leq h \leq 50$	$50 \leq h \leq 70$	$h > 70^*$
$r < 25$ %	1	2	2	2
$25 \% < r \leq 50$ %	3	5	6	7
$50 \% < r \leq 60$ %	5	9	12	14
$60 \% < r \leq 70$ %	7	12	16	19
$70 \% < r \leq 85$ %	8	15	20	24

* Wenn $h > 120$ mm ist, sind genauere Berechnungen erforderlich

Hier,

$$r = \frac{0,5(b_1 + b_2)}{p} = \frac{16}{100} \quad , \text{ d. h. } 16 \% (4)$$

Daher beträgt $\Delta e = 2 \text{ mm}$ für Dachpaneelen, die von PH Insulation hergestellt werden.

Alternativ kann die Formel (4) auch wie folgt dargestellt werden:

$$U = \frac{1}{R_s + \frac{t_n}{\lambda_f} + \frac{d_c + \Delta e}{\lambda_{design}} + \frac{t_a}{\lambda_f} + R_e} \left(1 + f_{p, \text{int}} \frac{1,0}{B} \right) \quad (5)$$

wobei f_{Fuge} der Wärmedurchgangskoeffizient der Fugen pro Meter Länge der Paneele ist (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12.

Wärmedurchgangskoeffizient von Fugen (f_{Fuge}) für Stahloberflächen

Dicke, mm	f_{Fuge}	
	Dach	Wand
60	0,04	0,20
80	0,04	0,20
120	0,04	0,10
160	0,04	0,10
200	0,03	0,10

Berechnen wir z. B. den Wärmedurchgangskoeffizienten eines PU-Wandpaneels (Dicke = 100 mm, Breite = 1,190 mm, 0,5 mm Metalloberfläche):

- Oberfläche außen: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
- 0,5 mm Oberfläche: $\lambda_{fe} = 60 \text{ W/mK}$
- 100 mm PUR-Kern: $\lambda_{Bemessung} = 0,026 \text{ W/mK}$
- 0,5 mm Oberfläche: $\lambda_{fi} = 60 \text{ W/mK}$
- Oberfläche innen: $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Aus der Formel (5):

$$U = \frac{1}{0,04 + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{60} + \frac{102 \cdot 10^{-3}}{0,026} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{60} + 0,13} \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \frac{1,0}{1,190} \right) \approx 0,26 \quad (6)$$

2.4 WÄRMEDÄMMENDE EIGENSCHAFTEN VON BAUMATERIALIEN

Mit dem Konzept des Wärmewiderstands kann der Unterschied verschiedener Materialien in Bezug auf die thermischen

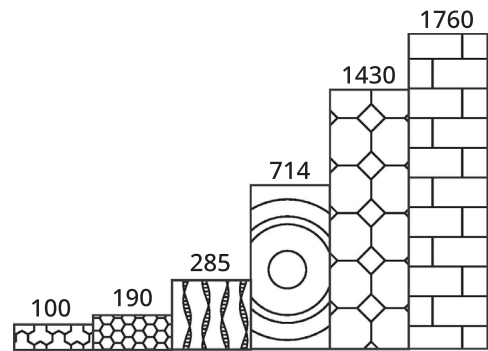
Isolationseigenschaften anschaulich gemacht werden.

Tabelle 13 zeigt die Wärmeleitfähigkeit gängiger Baumaterialien, die mithilfe ihrer ausgewiesenen Wärmeleitfähigkeit berechnet wurde. Das Bild rechts zeigt die Schicht dieser Materialien, die die gleichen Wärmedämmeigenschaften wie die einer 100 mm dicken Schicht aus PUR- oder PIR-Schaum aufweist.

Tabelle 13.

Wärmeleitfähigkeit von gängigen Baumaterialien. Die Schichten auf der rechten Seite haben gleiche Dämmeigenschaften.

Material	λ , W/mK	Dicke, mm
PUR/PIR	0,022	100
Expandiertes Polystyrol	0,04	190
Mineralwolle	0,06	285
Holz	0,15	714
Blähtonsteine	0,3	1 430
Backstein	0,37	1 760



Alle in der Tabelle angegebenen Schichten haben die gleiche Beständigkeit gegen Wärmeverluste (4,76 m²-K/W).

2.5 WÄRMEKAPAZITÄT

Leichte Sandwich-Konstruktionen haben im Vergleich zu traditionellen Baumaterialien wie Beton eine relativ geringe Kapazität, Wärme zu speichern.

Die Wärme- oder thermische Kapazität (C) eines Gebäudeteils ist definiert durch die durchschnittliche spezifische Wärmekapazität seines Materials, ausgedrückt in W/kgK, und seine Masse (m) in kg:

$$C = mc$$

Die folgende Tabelle zeigt die durchschnittliche spezifische Wärmekapazität einiger Baumaterialien.

Tabelle 14.

Spezifische Wärmekapazität von typischen Baumaterialien

Material	λ , W/mK	Dicke, mm
Beton	2 300	900
Leichtbeton	500	1 000
Holz	500	2 300
Mineralwolle	7 800	500
Blähtonsteine	70–150	1 030
PUR, PIR	40–42	1 400

Vergleichen wir nun die Wärmekapazität einer 100 mm dicken Betonwand mit der eines PUR-Panels gleicher Dicke (zur Vereinfachung der Aufgabe, wir gehen davon aus, dass das Panel aus einem 100 mm dicken Kern und Metalloberflächen von 0,5 mm besteht)

$$100 \text{ mm Beton} \quad C = 2300 \cdot 0,1 \cdot 900 = 207 \times 10^3 \text{ W/K}$$

$$100 \text{ mm PUR Sandwich-Paneel} \quad C = 40 \cdot 0,1 \cdot 1400 + 7800 \cdot 0,001 = 5607,8 \approx 5,61 \times 10^3 \text{ W/K}$$

Der Vergleich zeigt, dass die Wärmekapazität von Beton über 36 mal höher ist als die Wärmekapazität der Paneele.

Materialien mit einer hohen Wärmekapazität speichern eine beträchtliche Wärmemenge und sollten daher für Innenwände und Böden in modernen Gebäuden verwendet werden. Andererseits sind Materialien mit guten Wärmedämmeigenschaften eine bessere Option für Außenwände.

In diesem Fall wird weniger Energie benötigt, um eine geringere Temperatur in Kühlhäusern oder Raumtemperatur in Büros und Wohngebäuden zu halten.

Wenn die Außenwände aus leichten Materialien mit geringer Wärmekapazität wie z. B. aus Sandwich-Paneele bestehen, pendelt sich die Temperatur im Inneren viel schneller ein.

2.6 WÄRMEBRÜCKEN UND WÄRMEVERLUSTE

Wärmebrücken sind Bereiche, die im Vergleich zu anderen Teilen einer Konstruktion einen geringeren Wärmewiderstand aufweisen. Sie entstehen in der Regel bei der Montage von Paneelen, wenn ein Material mit guter Wärmeleitfähigkeit, z. B. Metall, mit beiden Oberflächen in Kontakt kommt. Zusätzlich zu den Wärmeverlusten erhöhen Wärmebrücken auch das Risiko von Kondensationsniederschlag auf der äußeren Oberfläche.

Um dies zu verhindern, verfügen Sandwich-Paneele über spezielle Fugen und sollten unter Berücksichtigung strenger Richtlinien installiert werden.

Tür- und Fensteröffnungen werden zusätzlich mit einem Profil eingerahmt, das die Brücken bricht. Zur Befestigung der Paneele sollten Stahlschrauben mit geringer Wärmeleitfähigkeit und, wenn möglich, mit geringem Querschnitt und einer Unterlegscheibe aus Gummi verwendet werden. Die Beseitigung von Wärmebrücken ist eine wichtige Aufgabe während des Baus, und die Qualität der Montage bestimmt, wie wirksam die Paneele ihre Aufgabe der Wärmedämmung erfüllen.

Tabelle 15.
Haupteigenschaften der PIR- und PUR-Wandpaneele von PH Insulation

Kern	PUR/PIR										
Dichte	(40 ± 2) kg/m ³										
Paneeldicke, mm	40	50	60	80	100	120	140	150	160	180	200
Gewicht, kg/m ²	8,5– 9,5	8,9– 9,9	9,7– 10,7	10,4– 11,6	11,2– 12,4	11,9– 13,2	12,7– 14,1	13,1– 14,5	13,5– 14,9	14,2– 15,8	15– 16,6
Maximale Länge	16 000 mm										
Breite	1 200 mm										
Breite der Abdeckung	1 190 mm										
Dicke der Metalloberflächen	≥ 0,45 mm										
Typ der Oberflächen	Profiliert / Flach										
Standardbeschichtung	RAL 9003 / Zn (unlackierter Zinküberzug)										
Wärmeleitfähigkeit	0,021 W/mK										
Wärmewiderstand	1,90	2,38	2,86	3,81	4,76	5,71	6,67	7,14	7,62	8,57	9,52
Wasseraufnahme nach 24 h, 96 % relative Luftfeuchtigkeit	12,5 %										
Wasseraufnahme nach 24 h, voll eingetaucht, Prozent des Volumens	2,5 %										
Schalldämmung	25 dB										

Tabelle 16.
Haupteigenschaften der PIR-Premiere Dachpaneele von PH Insulation

Kern	PIR-Premiere					
Dichte	(41 ± 2) kg/m ³					
Paneeldicke, mm	40	60	80	100	120	150
Gewicht, kg/m ²	9,8	10,7	11,5	12,3	13,1	14,4
Maximale Länge	16 000 mm					
Breite	1 071 mm					
Breite der Abdeckung	1 000 mm					
Dicke der Metalloberflächen	≥ 0,45 mm					
Typ der Oberflächen	Profiliert / Flach					
Standardbeschichtung	RAL 9003/Zn (unlackierte Zinkbeschichtung)					
Wärmeleitfähigkeit	0,021 W/mK					
Wärmewiderstand	2,0	2,95	3,90	4,86	5,81	7,24

Wasseraufnahme nach 24 h,
96 % relative Luftfeuchtigkeit 1—2,5 %

Wasseraufnahme nach 24 h,
voll eingetaucht, Prozent des
Volumens 2,5 %

Schalldämmung 35 dB

Tabelle 17.
Feuerbeständigkeit von PUR/PIR Wand- und Dachpaneelen

Parameter	Produkt	40 mm	60 mm	80— 120 mm	150— 200 mm
Feuerbeständigkeit	PUR Wandpaneelle	EI 15			
	PIR Wandpaneelle	EI 15	EI 30		EI 45
	PIR Dachpaneelle	RE 15	RE 15	RE 30	RE 30
Brandgefahr	PIR Dachpaneelle	K1 (15)			
Verbrennbarkeit		G2			
Entflammbarkeit		V1			
Rauchentwicklung	PIR Wandpaneelle	D3			
Toxizität der Verbrennungsprodukte		T2			
Flammenausbreitung		RP1			

2.7 FARBE

Die Paneelfarben werden ihrem Wärmeenergie-Absorptionsverhältnis entsprechend in drei Gruppen eingeteilt, siehe Tabelle 6.

Helle Farben reflektieren die Energie der Sonne besser und absorbieren weniger Wärme.

Gemäß der europäischen Norm für Sandwich-Paneele mit Metallumhüllung EN 14509 hat die Temperatur T der Außenverkleidung einen für den Sommer typischen Maximalwert.

Diese Zahl hängt von der Farbe und dem Lichtreflexionswert seiner Oberfläche ab.

T-Werte sind die Mindestwerte für die Berechnung der Wärmeausdehnung von isolierten Paneelen.

Gruppe I	Intensiv helle Farben T	+55°C
Gruppe II	Helle Farben T	+65°C
Gruppe III	Dunkle Farben T	+80°C

Tabelle 18

Wärmeenergie-Absorptionsverhältnis von RAL-Farben

Gruppe I Intensive helle Farben	Gruppe II Helle Farben			Gruppe III Dunkle Farben		
1 013	1 000	1 001	1 002	2 002	2 013	3 000
1 015	1 003	1 004	1 005	3 002	3 003	3 004
1 016	1 006	1 007	1 011	3 005	3 007	3 009
1 018	1 012	1 014	1 017	3 011	3 013	3 020
1 026	1 019	1 020	1 021	3 032	4 004	4 007
6 019	1 023	1 024	1 027	5 000	5 001	5 002
7 047	1 028	1 032	1 033	5 003	5 004	5 005
9 001	1 034	1 035	1 036	5 007	5 008	5 009
9 003	1 037	2 000	2 001	5 010	5 011	5 013
9 010	2 003	2 004	2 005	5 014	5 022	5 026
9 016	2 007	2 008	2 009	6 000	6 001	6 002
	2 010	2 011	2 012	6 003	6 004	6 005
	3 001	3 012	3 014	6 006	6 007	6 008
	3 015	3 016	3 017	6 009	6 010	6 011
	3 018	3 022	3 024	6 012	6 014	6 015
	3 026	3 027	3 031	6 020	6 022	6 029
	3 033	4 001	4 002	7 000	7 012	7 015
	4 003	4 005	4 006	7 016	7 021	7 022
	4 008	4 009	4 010	7 024	7 026	8 004
	4 011	4 012	5 012	8 011	8 012	8 014
	5 015	5 018	5 021	8 015	8 016	8 017
	5 024	5 025	6 013	8 019	8 022	8 023
	6 016	6 017	9 018	8 025	8 028	
	6 021	6 024	6 025	9 005	9 007	
	6 027	6 032	6 033			
	6 034	6 035	6 036			
	7 001	7 002	7 003			
	7 004	7 005	7 006			
	7 008	7 009	7 010			
	7 011	7 013	7 023			
	7 030	7 031	7 032			
	7 033	7 034	7 035			
	7 036	7 037	7 038			
	7 039	7 040	7 042			
	7 043	7 044	7 046			
	7 048	7 075	8 000			
	8 001	8 002	8 003			

8 007	8 008	8 024
8 029	9 002	9 006

9 022

KAPITEL 3: EXTERNE BELASTUNG AUF PANEELN

3.1 VERFORMUNGEN DURCH UNTERSCHIEDLICHE OBERFLÄCHENTEMPERATUREN

Die Lichtabsorption, die von der Farbe der äußeren Oberflächen abhängt, kann zu einer übermäßigen Erwärmung und Verformungen der Paneele führen. Dieses Problem kann unter allen Bedingungen auftreten, wenn die Temperatur auf dem Panel stark abweicht. Diese thermischen Verformungen sind durch die lineare Wärmeausdehnung von Metall (αL) gekennzeichnet:

$$\Delta L = \alpha L \cdot \Delta T \quad (7)$$

mit L = Länge oder Breite des Paneels, ΔL = Wärmeausdehnung und ΔT = Temperaturdifferenz.

Je nach Material schwankt αL von Metallflächen zwischen 11×10^{-6} und 13×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$). Dieser Wert bleibt von Temperaturschwankungen nahezu unberührt. Herrschen im Paneel unterschiedliche Temperaturen vor, kommt es zu Verformungen.

Die Durchbiegung in der Mitte des Paneels mit der Länge L ist:

$$\Delta X = \frac{\theta L^2}{8} \quad (8)$$

mit $\theta = (\alpha_2 T_2 - \alpha_1 T_1)/D$, D = Abstand zwischen den Mittelpunkten der Metalloberflächen und T_1 und T_2 = Temperatur der Oberflächen.

Die Durchbiegung eines Paneels mit der Dicke d , die mit Metalloberflächen der gleichen Dicke δ bedeckt ist, ist wie folgt:

$$\Delta X = \frac{\alpha_L \Delta T \cdot L^2}{8(d - \delta)} \quad (9)$$

Tabelle 19 zeigt die Werte der Durchbiegung für 3 m und 6 m lange Paneele bei einem Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenoberflächen von 55°C .

Tabelle 19.

Thermische Verformung von Paneelen mit einer Länge von 4 m und 6 m und einem Temperaturunterschied zwischen den Oberflächen von 55°C .

Paneeldicke, mm	Thermische Verformung bei $\Delta T = 55^\circ\text{C}$, cm	
	L = 3 m	L = 6 m
40	1,86	7,43
50	1,49	5,94
60	1,24	4,95
80	0,93	3,71
100	0,74	2,97
120	0,62	2,48
150	0,50	1,98
200	0,37	1,49

Die Tabelle legt nahe, dass, wenn äußere Oberflächen, die starker Erwärmung ausgesetzt sind, mit dunklen Farben (Gruppen II und III) gestrichen werden es besser ist, Paneele in kürzeren Abständen zu installieren.

3.2 MECHANISCHE BESTÄNDIGKEIT VON WANDPANEELN

Im Gegensatz zu herkömmlichen Dämmstoffen, die nur Wärme speichern, sind Sandwich-Paneele selbsttragend und können für den Bau von kleinen Gebäuden, z. B. Kühlhäusern, verwendet werden.

Ein Sandwich-Paneel als Ganzes ist offensichtlich widerstandsfähiger als seine zwei dünnen Metalloberflächen oder eine Schicht aus Polyurethan-Hartschaum im Inneren. Die Biegesteifigkeit der Oberflächen ist einzeln betrachtet so gering, dass sie kaum ihr Eigengewicht tragen, und das Polyurethan verformt sich recht leicht, weil sein Elastizitätsmodul sowie die Dehnbarkeit und Druckfestigkeit gering sind.

Zusammen bilden sie jedoch eine Struktur mit hoher mechanischer Festigkeit, da die Last auf alle Schichten verteilt wird. Die Oberflächen widerstehen dem Biegemoment, während der Kern der Schubspannung widersteht. Daher wirkt die Schubkraft auf den Kern, der für die Tragfähigkeit des gesamten dreischichtigen Aufbaus verantwortlich ist (die Erhöhung der Schubfestigkeit des Kerns erhöht die Festigkeit der Platte). In profilierten Paneelen ist die Biegesteifigkeit der Oberflächen ebenfalls an der Verteilung der Last beteiligt.

In diesem Fall widerstehen sowohl die Oberflächen als auch das ganze Paneel einem Biegemoment und einer Schubkraft: Die Druckkraft wirkt auf die obere Oberfläche, die Dehnungskraft auf die untere Oberfläche und die Schubkraft wirkt auf den PU-Schaumkern.

Damit der Kern der Schubkraft widerstehen und die Oberflächen stützen kann, ist eine starke Haftung zwischen den Schichten des Paneels erforderlich.

Die mechanische Festigkeit von Sandwich-Paneelen wird üblicherweise durch eine erweiterte Trägertheorie beschrieben, die die Schubflexibilität des Kerns berücksichtigt.

Betrachten wir einen Träger in Form eines Sandwich-Paneels, deren Metalloberflächen die gleiche Dicke δ aufweisen, und einem dazwischen liegenden PU-Schaumkern mit der Dicke $d - 2\delta$ und Länge L (Abbildung 7).

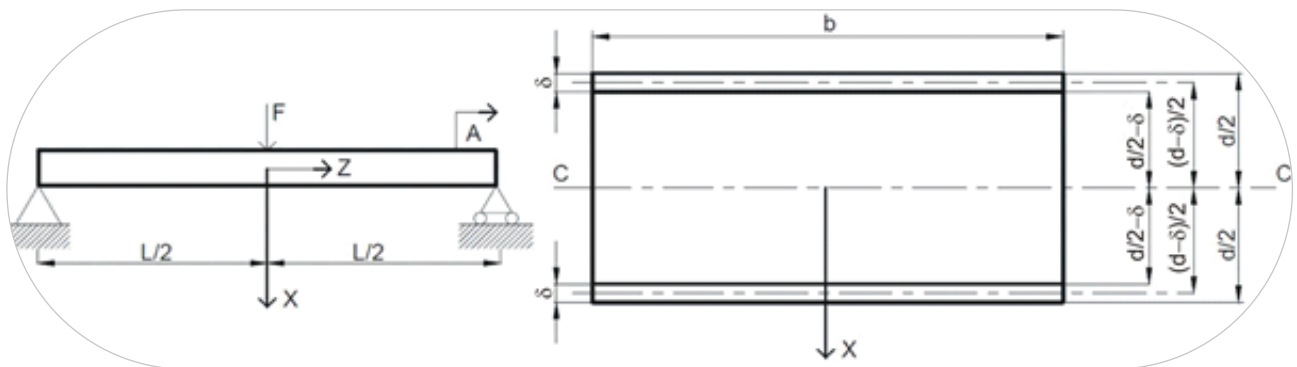
Definieren wir zunächst die Biegesteifigkeit des Paneels D . Wenn die Biegesteifigkeit eines Standardträgers das Produkt aus seinem Elastizitätsmodul und seinem Trägheitsmoment (I) ist, dann ist die Biegesteifigkeit eines Sandwich-Paneels die Summe der Steifigkeiten aller seiner einzelnen Schichten, die entlang der Mittelachse berechnet wird:

$$D = \frac{E_F b \delta^3}{6} + \frac{E_F b \delta \cdot (d - \delta)^2}{2} + \frac{E_C b (d/2 - \delta)^3}{12} \quad (10)$$

mit E_F und E_C = Elastizitätsmodule der Flächen bzw. des Kerns; weitere Parameter sind in Abbildung 7 erläutert

Abbildung 7.

Sandwich-Paneel als Träger



Die erste Komponente in der Formel (10) ist die Biegesteifigkeit der Oberflächen entlang ihrer Mittelachsen; die zweite Komponente ist die Biegesteifigkeit der Oberflächen entlang der Mittelachse des Paneels, und die dritte Komponente ist die Steifigkeit des Polyurethan-Kerns entlang seiner Achse, die im Allgemeinen die Mittelachse des Paneels ist. Die erste Komponente ist kleiner als 1 % der Sekunde, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist

$$\frac{d}{\delta} > 6,7 \Rightarrow \frac{E_F \delta \cdot (d - \delta)^2}{E_C (d/2 - \delta)^3} > 16,7 \quad (11)$$

Wenn die Bedingung (11) wahr ist, kann die Formel (10) wie folgt dargestellt werden:

$$D = \frac{E_F b \delta \cdot (b - \delta)^2}{2} + \frac{E_C b (d/2 - \delta)^3}{12} \quad (12)$$

$d/\delta = 80 > 6,7$ selbst für die dünnsten Paneele von 40 mm Breite, so dass (12) wahr ist. Da die Dicke der Oberflächen viel geringer als die des gesamten Paneels ($\delta/d \ll 1$) ist, ist die erste Komponente in der Formel (10) im Vergleich zu den beiden anderen vernachlässigbar.

Die zweite Komponente in Formel (12) beträgt weniger als 1 % der ersten Komponente, wenn

$$\frac{E_F \delta \cdot (d - \delta)^2}{E_C (d/2 - \delta)^3} > 16,7 \quad (13)$$

In einem belasteten Paneel auftretende Spannungen, können mit einigen Annahmen auch durch die klassische Trägertheorie beschrieben werden. Wenn sich das Paneel biegt, wirken oberhalb der neutralen C-C-Achse Druckkräfte auf sie, und die Dehnungskräfte wirken unterhalb dieser Achse.

$$\varepsilon_x = \frac{Mx}{D} \quad (14)$$

mit ε_x = Dehnung oder Stauchung im Abstand x von der neutralen C-C-Achse, M = Schubmoment, D = Biegesteifigkeit der Platte.

Zur Berechnung der Belastung, die beim Durchbiegen eines Sandwich-Paneels entsteht, wird die Durchbiegung (14) mit dem Elastizitätsmodul multipliziert. Da Sandwich-Paneele keine homogenen Strukturen sind, wird das Multiplikationsprodukt für ihre Teile angegeben (siehe Abbildung 8):

$$\sigma_m = \frac{Mx}{D} E_F \quad \frac{d}{2} - \delta < x < \frac{d}{2} \quad -\frac{d}{2} < x < -\frac{d}{2} + \delta \quad (15)$$

$$\sigma_p = \frac{Mx}{D} E_C \quad -\frac{d}{2} + \delta < x < \frac{d}{2} - \delta \quad (16)$$

mit σ_m = Belastung in den Metalloberflächen und σ_p = Belastung im Polyurethan-Kern. Die maximale Belastung ist erreicht, wenn x in den folgenden Grenzen Maximalwerte erreicht:

$$\sigma_m^{\max} = \frac{Md}{2D} E_F \quad \sigma_p^{\max} = \frac{M(d/2 - \delta)}{D} E_C \quad (17)$$

mit σ_m = Belastung in den Oberflächen, und σ_p = Belastung im Kern. Die maximale Belastung ist erreicht, wenn x seine Höchstgrenze erreicht:

$$x = \frac{k_1 E^3}{E_F J_F} + \frac{k_2 E}{G_C S_C} \quad (18)$$

mit F = aufgebrachte Kraft, $E_F J_F$ = Produkt aus Elastizitätsmodul und Trägheitsmoment (oder Biegesteifigkeit der Oberflächen), G_C = Schubmodul des Polyurethan-Kerns, und S = Querschnittsfläche des Kerns.

Abbildung 8.
Biegen eines dreischichtigen Paneels

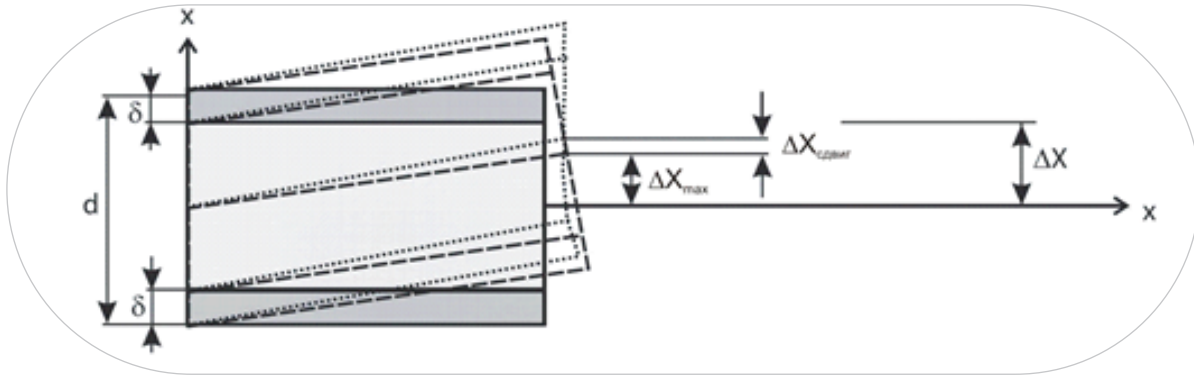


Abbildung 8 zeigt die gesamte Durchbiegung und Schubbiegung des Paneels aus seiner normalen Position. Die erste Komponente der vorstehenden Gleichung ist aus der Trägertheorie bekannt und bestimmt die Durchbiegung. Die zweite Komponente ist die Schubbiegung aufgrund des Schubs des Kerns. Die Koeffizienten k_1 und k_2 sind in der folgenden Tabelle aufgeführt und hängen von den Kanten des Paneels ab.

Lastverteilung	k_1	k_2	Beschreibung
	$\frac{1}{384}$	$\frac{1}{8}$	Gleichmäßig verteilte Last. Befestigte Kanten.
	$\frac{5}{384}$	$\frac{1}{8}$	Gleichmäßig verteilte Last. Freie Kanten.
	$\frac{1}{192}$	$\frac{1}{4}$	Zentrale Last. Befestigte Kanten.
	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{4}$	Zentrale Last. Freie Kanten.

Für das Trägheitsmoment ist J und die Querschnittsfläche der Isolierung:

$$S = 119,0(d - 2\delta)$$

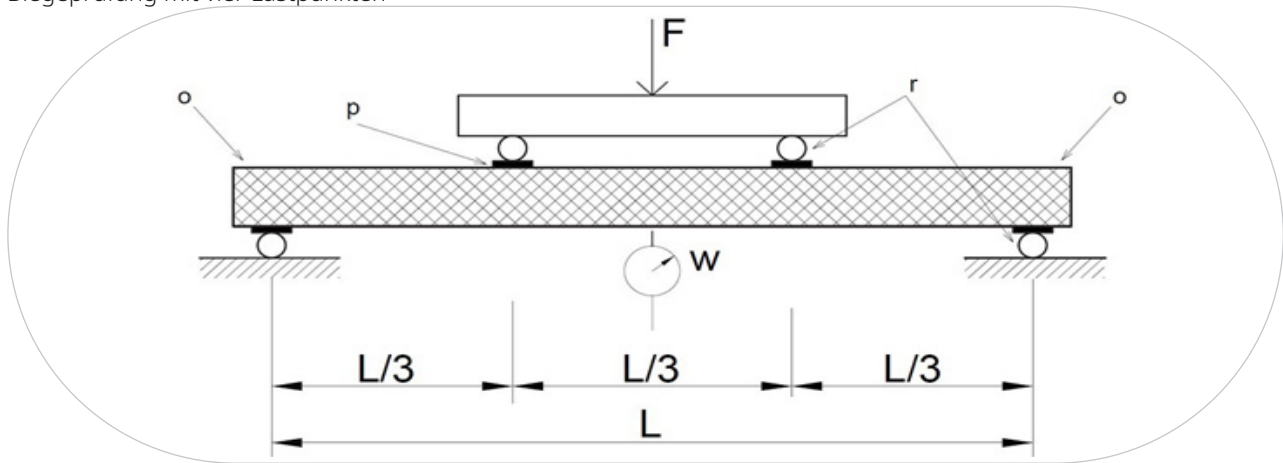
mit $119,0$ = Breite der Platte in cm, δ = Dicke der Oberflächen, d = Dicke des Paneels. Im Folgenden werden wir Metalloberflächen ohne Profil betrachten; profilierte Oberflächen haben ein viel höheres Trägheitsmoment, das von der Höhe des Profils abhängt und das Paneel noch zusätzlich versteift.

Einer der wichtigsten Parameter der elastischen Eigenschaften von Sandwich-Paneelen ist der Schubmodul des Kerns, der in diesem Fall aus PU-Schaum gefertigt ist.

Nach EN 14509 wird er bei einer Biegeprüfung mit vier Lastpunkten gemessen.

Die Breite L_s der Lastverteilungsplatten soll 60-100 mm betragen, um ein lokales Zusammendrücken der Oberflächen zu vermeiden

Abbildung 9.
Biegeprüfung mit vier Lastpunkten



F = aufgebrachte Last

r = Rollen, Radius 15 mm

w = gemessene Durchbiegung

p = Lastverteilungsplatten mit Dicke 8-12 mm und Breite L_s

o = Überstand nicht größer als 50 mm

Der Schubmodul des Kerns (GC) wird wie folgt berechnet:

$$B_S = \frac{E_{F_1} A_{F_1} E_{F_2} A_{F_2}}{E_{F_1} A_{F_1} + E_{F_2} A_{F_2}} e^2 \quad \text{Biegesteifigkeit (19)}$$

$$\Delta X_B = \frac{\Delta F \cdot L^3}{56,34 B_S} \quad \text{Durchbiegung (20)}$$

$$\Delta X_S = \Delta X - \Delta X_B \quad \text{Schubabweichung (21)}$$

$$G_C = \frac{\Delta F \cdot L}{6 b d_c \Delta X_S} \quad \text{Schubmodul (22)}$$

mit E_{F_1} = Elastizitätsmodul der oberen Oberfläche; A_{F_1} = gemessene Querschnittsfläche der oberen Oberfläche, A_{F_2} = gemessene Querschnittsfläche der unteren Oberfläche, E_{F_2} = Elastizitätsmodul der unteren Oberfläche, e = gemessene Tiefe zwischen den Mittelpunkten der Oberflächen ($d/2 - \delta/2$), ΔX = Durchbiegung in der Mitte der Spannweite für ein Lastinkrement ΔF , das aus der Steigung des linearen Teils der Last-Durchbiegungskurve entnommen wird, die die Abhängigkeit der Verformung von der Last widerspiegelt, d_c = die Tiefe des Kernmaterials ($d_c = d - (\delta_1 + \delta_2)$), d. h. die Dicke des Paneels nach Abzug der Dicke der beiden Oberflächen, und b = gemessene Breite des Musters.

Tests, die in den Labors der Dow Chemical Company nach DIN 53294-1982 durchgeführt wurden, ergaben, dass die Schubmodule von kleinen Mustern aus PU-Schaum 21 kgf/m² betragen. Wichtiger ist jedoch der Schubmodul des gesamten Sandwich-Paneels, der mit der Vier-Punkt-Lastmethode ermittelt wird.

Bei PU-Schaumpaneelen liegt der gemessene Schubmodul GC im Bereich von 40-45 kgf/m². In allen unseren Berechnungen gehen wir davon aus, dass sich die Paneele unter gleichmäßig verteiltem Eigengewicht biegen, es gibt also nur eine äußere Last, die flach und nach unten auf ein horizontales Paneel wirkt. Die Temperaturen auf den Oberflächen werden zu diesem Zweck als gleich angesehen. Die zulässige Durchbiegung von selbsttragenden Decken- und Dachpaneelen, auf denen sich eine einzelne Person während der Montage bewegen darf, wird mit $L/200$ angenommen, wobei L die Länge der Spannweite ist. Für Fassaden- und Wandpaneelle beträgt die zulässige Durchbiegung $L/100$.

Die Tabellen 20-23 zeigen die zulässigen Lasten für $x = L/200$.

Tabelle 20.

Zulässige gleichmäßig verteilte Lasten für Baupaneele mit befestigten Kanten von PH Insulation

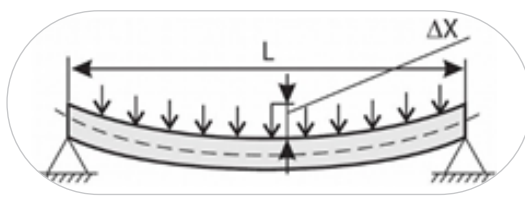
Paneeldicke, mm	Zulässige Nutzlast, kgf/m ²					Lastverteilung (zulässige Durchbiegung = L/200)
	Paneellänge, m					
	2	3	4	5	6	
40	141	82	52	33	21	
50	183	109	71	48	33	
60	224	136	91	63	44	
80	307	191	131	94	69	
100	390	246	171	125	94	
120	473	301	212	157	120	
150	598	383	273	206	160	
180	723	466	335	254	199	
200	806	521	376	287	226	

Tabelle 21.

Zulässige gleichmäßig verteilte Lasten für Baupaneele mit freien Kanten von PH Insulation

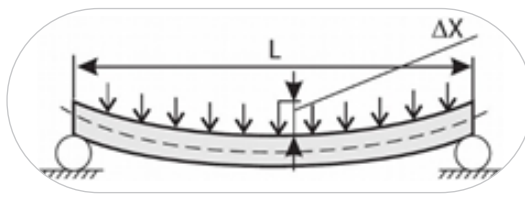
Paneeldicke, mm	Zulässige Nutzlast, kgf/m ²					Lastverteilung (zulässige Durchbiegung = L/200)
	Paneellänge, m					
	2	3	4	5	6	
40	106	47	21	8	2	
50	144	68	34	16	7	
60	183	91	48	26	13	
80	263	139	79	46	27	
100	344	189	113	69	43	
120	426	241	148	94	61	
150	549	320	202	133	90	
180	673	399	259	175	121	
200	755	453	297	204	143	

Tabelle 22.

Zulässige mittige Last für Baupaneele mit befestigten Kanten von PH Insulation

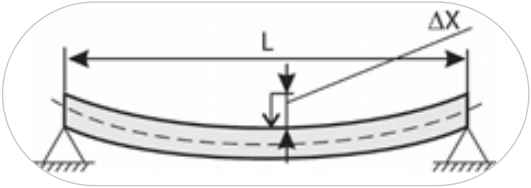
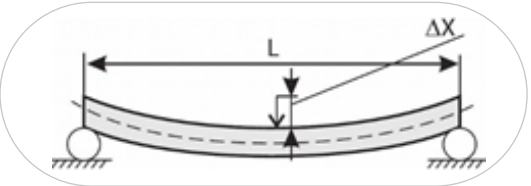
Paneeldicke, mm	Zulässige Nutzlast, kgf/m ²					Lastverteilung (zulässige Durchbiegung = L/200)
	Paneellänge, m					
	2	3	4	5	6	
40	167	146	123	100	78	
50	216	194	170	145	119	
60	265	242	215	186	158	
80	363	339	309	278	245	
100	462	436	405	371	335	
120	560	534	502	466	427	
150	708	680	647	608	567	
180	856	827	792	752	708	
200	954	925	890	848	803	

Tabelle 23.

Zulässige mittige Last für Baupaneele mit freien Kanten von PH Insulation

Paneeldicke, mm	Zulässige Nutzlast, kgf/m ²					Lastverteilung (zulässige Durchbiegung = L/200)
	Paneellänge, m					
	2	3	4	5	6	
40	133	91	56	29	7	
50	180	132	91	56	29	
60	227	175	127	86	53	
80	323	264	206	154	110	
100	420	356	289	228	174	
120	517	449	376	306	243	
150	663	591	511	430	355	
180	810	735	648	559	474	
200	908	831	741	647	555	

Alle vorstehenden Angaben sind theoretischer Natur und berücksichtigen nur eine gleichmäßig verteilte äußere Belastung auf die gesamte Oberfläche des Paneels abzüglich des Eigengewichts. Daher beinhaltet die berechnete Durchbiegung sowohl die aufgebrachten Lasten als auch das Eigengewicht; dies ist besonders bei Deckenpaneelen wichtig. Wir nehmen auch an, dass die Haftung zwischen dem Polyurethanschaum und den Metalloberflächen absolut ist, und die Biegeverformung L/200 beträgt.

Wenn während der Bauarbeiten eine Person auf die Deckenpaneele treten soll, wird dringend empfohlen, die Dicke mithilfe der Tabelle 24 auszuwählen. Dadurch wird sichergestellt, dass das Paneel sowohl dem Gewicht des Arbeiters als auch dem gleichmäßig verteilten Eigengewicht des Paneels standhält.

Tabelle 24 zeigt den Zusammenhang zwischen der Durchbiegung der Paneele durch Eigengewicht und der Länge der Spannweite. Diese Informationen sind nützlich, wenn ein Begehen der Deckenpaneele während der Montage oder danach nicht erforderlich ist und sich die Paneele daher nur unter ihrem Eigengewicht durchbiegen.

Tabelle 24.

Durchbiegung von Deckenpaneelen durch Eigengewicht (die Temperatur beider Oberflächen ist gleich)

Paneeldicke, mm	Durchbiegung in der Mitte, mm		Paneelemasse, kg
	Spannweite = 6 m		
	Befestigte Kanten	Freie Kanten	
60	5,8	13,6	75,7
80	4,3	8,9	81,3
100	3,4	6,6	87
120	2,9	5,3	92,7
140	2,6	4,4	98,4
150	2,4	4	101,3
160	2,3	3,8	104,1
180	2,1	3,4	109,8
200	2	3	115,5

* Bitte beachten Sie, dass Norm EN 14509 zusätzlich zu den angegebenen Werten eine Anfangsdurchbiegung von bis zu 1/500 der Paneellänge zulässt.

3.3 MECHANISCHE BESTÄNDIGKEIT DER DACHPANELEE

Dachpaneele unterscheiden sich deutlich von Wandpaneelen, da eine der Oberflächen tief profiliert ist (siehe Abbildungen 27 und 28). Diese Eigenschaft muss bei Planungsberechnungen berücksichtigt werden.

Zahlreiche theoretische Studien befassen sich mit dem Problem der Tragfähigkeit von profilierten Paneelen. Sie enthalten einige ziemlich fortgeschrittene Mathematik, daher werden wir eine vereinfachte Theorie verwenden und annehmen, dass die Last zwischen flachen und profilierten Teilen des Paneels gleichmäßig verteilt ist und die beiden als unabhängig voneinander betrachten.

Obwohl sich beide Teile biegen, wird beim profilierten Teil nur die Durchbiegung der Metalloberflächen berücksichtigt, während die Durchbiegung des flachen Teils zusätzlich durch den Schub des Kerns beeinflusst wird.

Mit dieser Annahme erhalten wir eine einfache Formel für die mittige Durchbiegung unter einer gleichmäßig verteilten Last:

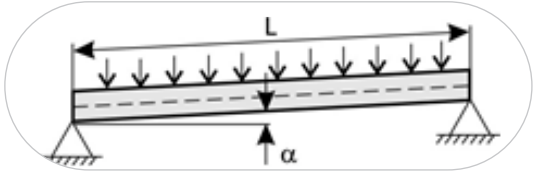
$$\Delta x = \frac{5E^3}{384B_S}(1-\beta)(1+k) \quad (23) \quad \beta = \frac{(1+k)B_D}{B_S + (1+k)B_D} \quad k = \frac{9,6B_S}{A_C G_{\phi\phi} L^2} \quad B_D = E_{F2} I_{F2} \quad (24)$$

$$B_S = \frac{E_{F1} A_{F1} E_{F2} A_{F2}}{E_{F1} A_{F1} + E_{F2} A_{F2}} e^2 \quad S = \frac{G_C e^2 b}{d_c} = A_C G_{\phi\phi} \quad (25)$$

mit B_S = Biegesteifigkeit, S = Schubsteifigkeit des flachen Teils, $B_D = E_F I_{F1} + E_{F2} I_{F2} \approx E_{F2} I_{F2}$ = Biegesteifigkeit des profilierten Teils (wir nehmen an, dass die untere Schicht eben ist), $A_C = b e$ = effektive Querschnittsfläche des Kerns, e = effektive Dicke des Kerns, $E_{F1} = E_{F2}$ = Elastizitätsmodule der oberen und unteren Schicht werden als gleichwertig betrachtet, und G_C ist der Schubmodul des Kerns.

Tabelle 25 zeigt die Nettolasten in der Mitte in kgf (nach Abzug des Eigengewichts), die eine Durchbiegung eines aus einem Feld bestehenden Dachpaneels von bis zu 1/200 seiner Länge verursachen.

Tabelle 25.
Zulässige Belastung der Dachpaneele, die zu einer Durchbiegung L/200 führt (bei gleichmäßig verteilter Last)

Paneeldicke, mm	Länge der Spannweite L, m						Lastverteilung (zulässige Durchbiegung = L/200)
	Paneellänge, m						
	1,5	2	3	4	5	6	
40	475	254	106	56	32	20	
60	583	333	154	86	53	34	
80	690	414	200	119	76	51	
100	800	490	250	150	97	69	
120	910	570	310	192	128	89	
150	1075	700	389	249	170	120	

Bitte beachten Sie, dass die in Tabelle 25 angegebenen Lasten nicht zum Versagen von Dachpaneelen führen, sondern zur Durchbiegung von 1/200 ihrer Länge.

Die Berechnungen wurden für ein horizontales Flachdach durchgeführt; wenn der Neigungswinkel α beträgt, multiplizieren Sie die Werte mit $\cos \alpha$.

Diese Daten veranschaulichen allgemein die zulässige Schneelast auf dem Dach, das aus Sandwich-Paneelen besteht. Genauere Berechnungen sollten jedoch auch eine mögliche Durchbiegung aufgrund der Temperaturunterschiede auf den Oberflächen berücksichtigen. Bitte überprüfen Sie die endgültigen Bemessungswerte der Schneelast auf Dachpaneelen anhand der örtlichen Regelwerke.

Gemäß SP 20.13330.2016 ist Russland in acht Schneezonen unterteilt. Die angegebene Schneelast in diesen Bereichen ist wie folgt:

Schneezonen in Russland	Ia	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
S_g , kgf/m ²	20	100	150	4 200	300	400	480	560

S_g -Werte sind für das Gewicht eines Quadratmeters Schneedecke angegeben. Der Bemessungswert für Schneelasten für Dachpaneele beträgt:

$$S = S_g \cdot \mu \quad (26)$$

Der Koeffizient μ hängt von der Neigung des Daches ab. Er ist der Kosinus des oben genannten Steigungswinkels ($\cos \alpha$); allerdings, schlägt SP 20.13330.2016 einen weniger strengen Ansatz vor:

- $\mu = 1$ bei Steigungswinkeln $< 25^\circ$
- $\mu = 0,7$ bei Steigungswinkeln $25-60^\circ$
- $\mu = 0$ bei Steigungswinkeln $> 60^\circ$

3.4 BELASTUNG DURCH FALTEN

Wie oben gezeigt, erzeugt die seitliche Belastung eines Paneels ein Kraftmoment, das seine obere Schicht zusammendrückt und seine unterste Schicht ausdehnt.

Die Druckspannung auf der oberen Oberfläche ist durch Formel (17) definiert.

$$\sigma_m^{\max} = \frac{Md}{2D} E_F = \frac{Md}{b\delta \cdot (d - \delta)^2} \quad (27)$$

Wir haben bereits theoretische Werte für die zulässigen Lasten angegeben, die die Paneele auf 1/200 ihrer Länge durchbiegen.

Tatsächlich ist die Belastung jedoch auf einen Schwellenwert begrenzt, nach dem das Paneel bricht. Diese kritische Belastung geht meist mit einer Faltenbildung auf der Oberseite des Paneels einher (siehe Bild 3). Die Bruchspannung σ_{krit} wird mit der folgenden Formel berechnet (2), (8), (10):

$$\sigma_{\text{krit}} = k^3 \sqrt{E_F E_C G_C} \quad (23)$$

Wie bereits erwähnt, ist E_F = Elastizitätsmodul der Metalloberflächen, E_C = Elastizitätsmodul des Polyurethan-Kerns und G_C = Schubmodul des Kerns.

Es wird üblicherweise angenommen, dass der empirische Koeffizient k die Qualität des Paneels definiert und von der Herstellungsmethode abhängt:

- $k = 0,65$ für PU Sandwich-Paneele, die auf kontinuierlich arbeitenden Produktionslinien hergestellt werden;
- k ist $0,5-0,65$ für alle anderen Sandwich-Paneele, einschließlich solcher mit Mineralwollkern oder PU-Schaum, die unter Verwendung einer nicht kontinuierlich arbeitenden Produktionslinie hergestellt werden.

In der Norm EN 14509 ist $k = 0,5$ für alle Arten von Sandwich-Paneeelen.

Das Kraftmoment, das entsteht, wenn eine gleichmäßig verteilte Kraft F auf ein nicht verspanntes Paneel wirkt, wird wie folgt berechnet:

$$M = \frac{FL^2}{8} \quad (28)$$

mit F = Gesamtkraft, die auf das Paneel wirkt, einschließlich Eigengewicht, und L = Länge der Platte.

Aus den Formeln (26) und (28) für die Spannung ergibt sich folgendes:

$$\sigma_m = \frac{FLd}{8\delta \cdot b(d - \delta)^2} \quad (29)$$

Dann lautet die Formel für die Kraft, die zur Faltenbildung der oberen Schicht des Sandwich-Paneels führt:

$$F = \frac{8b\delta \cdot (d - \delta)^2}{Ld} k^3 \sqrt{E_F E_C G_C} \quad (30)$$

Auch hier beschreibt die Formel (30) die volle Kraft F , die auf ein nicht verspanntes Paneel wirkt, einschließlich seines Eigengewichts.

Tabelle 26.

Werte der Faltungsspannung (kgf) für 3 m und 6 m dicke Paneele mit verschiedenen Dicken ohne Eigengewicht der Paneele.

Die angegebenen Werte gelten für nicht verspannte gestützte Paneele.

Paneeldicke, mm	L = 3 m	L = 6 m
40	390	143
50	499	194
60	607	247
80	822	350
100	1038	454
120	1250	557
140	1469	661
150	1577	712
180	1900	868
200	2115	971

3.5 GLEICHMÄSSIG VERTEILTE SEITLICHE BELASTUNG AUF VERTIKALE BEFESTIGTE PANEELLE / WINDLAST AUF STRUKTUREN AUS SANDWICH-PANEELN

Obwohl die folgenden Berechnungen theoretischer Natur sind, bieten sie eine realistische Demonstration der Stärke von Sandwich-Paneelen mit Polyurethan-Kernen.

In der Praxis sind die Außenwände von Bauwerken hauptsächlich Temperatur- und Windlasten ausgesetzt. Betrachten wir die Windlast auf ein festes Wandpaneelen. Der Druck auf seiner Oberfläche wird durch die Bernoulli-Formel definiert:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (31)$$

mit $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$, und v = durchschnittliche Windgeschwindigkeit am Bauort.

Betrachten wir nun die zulässige Flächenlast auf ein vertikal befestigtes Wandpaneels. Die Windlast kann mit bestimmten Annahmen als gleichmäßig verteilt betrachtet werden, sodass die resultierende Durchbiegung der Platte durch die Formel beschrieben wird:

$$\Delta x = \frac{5E^3}{384E_F J_F} + \frac{E}{8E_C S_C} \quad (32)$$

Das Eigengewicht der Paneele sollte nicht berücksichtigt werden, da es quer zur Windlast wirkt. Nach nach den europäischen Empfehlungen biegen die zulässigen Lasten das Paneel bis zu $L/100$ durch, wobei L = die Länge der Platte ist.

Tabelle 27.
Zulässige Lasten auf einem Einfeld-Wandpaneel

Paneeldicke, mm	Zulässige Nutzlast, kgf/m ²					Lastverteilung (zulässige Durchbiegung = L/100)
	Paneellänge, m					
	2	3	4	5	6	
40	264	126	67	39	25	
50	355	176	97	58	37	
60	448	230	131	80	51	
80	638	344	203	128	85	
100	831	463	282	182	123	
120	1 026	585	365	240	165	
140	1 220	710	452	302	210	
150	1 320	773	496	334	234	
160	1 418	837	540	367	258	
180	1 615	964	630	433	308	
200	1 813	1 092	722	500	360	

Tabelle 28.
Zulässige Lasten auf einem Zweifeld-Wandpaneel

Paneeldicke, mm	Zulässige Nutzlast, kgf/m ²					Lastverteilung (zulässige Durchbiegung = L/100)
	Paneellänge, m					
	2	3	4	5	6	
40	298	164	100	65	44	
50	389	219	137	91	63	
60	481	276	176	119	84	
80	670	393	258	179	129	
100	860	514	343	242	177	
120	1 053	636	429	307	228	
140	1 245	760	518	375	280	
150	1 345	823	563	408	307	
160	1 440	885	607	443	335	
180	1 640	1 010	698	512	390	
200	1 834	1 139	790	583	446	

Bei einer Windgeschwindigkeit $v = 20 \text{ m/s}$, ist die Windlast

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20^2 \text{ kg/m-s}^2 = 250 \text{ N/m}^2 = 25 \text{ kgf/m}^2 \quad (33)$$

Diese Last verlagert z. B. eine 6 m lange Platte von 100 mm Dicke um 6 mm aus ihrer normalen Position. Gemäß SP 20.13330.2016 Lasten und Einwirkungen, sollten bei der Berechnung der Windlast einige Anpassungsfaktoren verwendet werden:

$$P = P_0 \cdot C_e(z) \cdot C_p \quad (34)$$

wobei $C_e(z)$ von der Kategorie des Ortes und der Höhe abhängt und C_p ein aerodynamischer Koeffizient ist, der von der Form des Gebäudes und anderen Faktoren abhängt.

Detaillierte Richtlinien für die Berechnung dieser Koeffizienten in Bezug auf den Breitengrad und die Merkmale des Ortes, an dem sich das Gebäude befindet – die Nähe zum Meer, zu den Bergen, zu anderen Gebäuden usw. sind in den örtlichen Vorschriften zu finden.

Nachdem die Windlast für die Region und den Ort bestimmt wurde, kann die Länge der Wandpaneele mit einer bestimmten Dicke der Aufstellung der zulässigen Lasten entnommen werden.

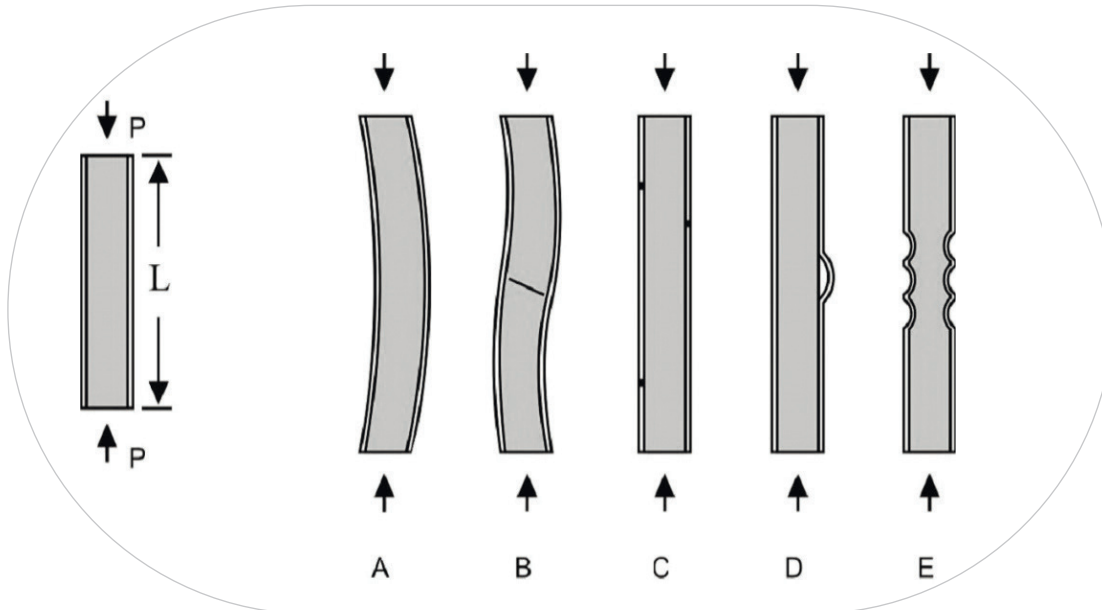
3.6 VERTIKALE BELASTUNG AUF WANDPANEELN

Es gibt viele theoretische und experimentelle Studien über die Beständigkeit von Sandwich-Paneelelen gegen vertikale (Längs-) Kompression. Ihre Schlussfolgerungen bestätigen, dass relativ kleine Paneele stark genug für die Montage von rahmenlosen Strukturen sind.

Nach diesen Studien führt die vertikale Belastung in Sandwich-Paneelelen zu mindestens vier Arten von Verformungen (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11.

Mögliche Verformungen von Sandwich-Paneelen durch die axiale (Längs-)Spannung: A - allgemeines Knicken, B - Kernschubversagen, C - mikrostrukturelle Veränderungen an den Oberflächen, D - Faltenbildung an der Oberfläche, E - Dellen an der Oberfläche



Gehen wir davon aus, dass das Paneel im Idealfall flach ist. Die Steifigkeit seiner Metalloberflächen ist um ein Vielfaches höher als die Steifigkeit des Polyurethan-Kerns, so dass die Oberflächen der gesamten Längslast widerstehen. Eine mögliche Art der Paneelverformung ist ein allgemeines Beulen (Abbildung 11A), das bis zur Eulerschen Last ansteigen kann, oder ein kritischer Punkt, nach dem das durchgebogene Paneel nicht mehr in die Ausgangsposition zurückkehren kann und die Abweichung ins Unendliche steigt:

$$F_A = \frac{\pi^2 B_S}{\beta L^2} = \frac{\pi^2 b \delta \cdot (d - \delta)^2}{\beta L^2} E_F \quad (35)$$

Hier ist B_S die Biegesteifigkeit des Paneels. Der Koeffizient β hängt von der Art der Befestigung ab:

- $\beta = 2$, wenn das Paneel an der Unterseite starr befestigt ist
- $\beta = 1$, wenn das Paneel oben und unten klappbar ist
- $\beta = 0,699$, wenn das Paneel unten starr befestigt und oben klappbar ist
- $\beta = 1/2$, wenn das Paneel oben und unten starr befestigt ist

Das Versagen des Kerns wird durch sein Schubmodul definiert:

$$F_B = b \cdot (d - \delta) G_C \quad (36)$$

wobei b die Breite des Paneels (in diesem Fall 1,190 mm), δ die Dicke der Metalloberfläche (0,5 mm) und G_C der Schubmodul des Polyurethan-Kerns ist.

Es ist zu beachten, dass die Eulersche Last, die zum Knicken des Paneels führt, geringer sein kann als die Last, die zum Kernversagen führt. Obwohl es einfacher ist, die Verformungsarten getrennt zu beschreiben, treten sie in der Praxis häufiger gemeinsam auf und führen nach einem kritischen Punkt zum Versagen der Platte insgesamt. Der Wert dieser Last ist definiert durch die Formel:

$$\frac{1}{F_c} = \frac{1}{F_A} + \frac{1}{F_B} \quad (37)$$

Tabelle 29.

Kritische Belastung, die zum irreversiblen Versagen von vertikal belasteten Paneelen führt

Paneeldicke, mm	F_{cr} (für $\beta = 2$)		
	L = 2,5 m	L = 3 m	L = 6 m
40	4 065	3 230	1 070
50	5 700	4 680	1 630
60	7 620	6 270	2 300
80	11 600	9 800	3 900
100	15 800	13 600	5 820
120	20 200	17 700	8 400
140	24 700	21 600	10 400
150	27 000	24 100	11 700
180	34 000	30 700	15 900
200	38 700	35 300	18 900

Faltenbildung und Knicken der Paneele treten bei einer kritischen Belastung auf, die durch die Formel (23) definiert ist. Die Last (außer Rotation und Verdrehung), die zu dieser Art von Versagen bei perfekt flachen, vertikal installierten und unten befestigten Paneelen führt, ist wie folgt:

$$F_C = 2\delta \cdot bk^3 \sqrt{E_C E_F G_C} \approx \delta \cdot b^3 \sqrt{E_C E_m G_C} \approx 6620 \text{ kgf} \quad (38)$$

wenn diese Belastung nicht zum totalen Ausfall führt.

Für die Zwecke von (38) sind die Oberflächen, wie zuvor, gleich und $k = 0,5$.

KAPITEL 4: WAND- UND DACH-SANDWICH-PANEELE VON PH INSULATION

4.1 KENNZEICHNUNG

Die Paneele von PH Insulation werden dem nachfolgenden Beispiel entsprechend gekennzeichnet.

Kennzeichnungsschema:

X	X	X	X.X.X.X	—	X	/	X	—	X
1	2	3	4		5		6		7

1. Typ der Isolierung (PIR-Premiere oder PUR Classic)
2. Paneelaufbau (PWT für dreischichtige Wandpaneele, PRT für dreischichtige Dachpaneele)
3. Verriegelungssystem:
 - Standard für Wandpaneele
 - Z-Schloss für Wandpaneele (Z)
 - Standardschloss für Dachpaneele
 - Z-Schloss für Dachpaneele (Z)
4. Abmessungen (Länge in cm, Breite und Dicke in mm)
5. Typ der äußeren Oberfläche
6. Typ der inneren Oberfläche
7. Kennzeichnung auf Packlisten oder in Begleitpapieren

Zum Beispiel ist ein dreischichtiges Wandpaneel mit PIR-Premiere Dämmung, Standard-Verriegelungssystem, Länge = 600 cm, Breite = 1,190 mm, Dicke = 100 mm, mit Außenseite aus verzinktem Stahl und einer mit 25-30 µm RAL 9003 Polyester-Schicht bedeckter Innenseite wie folgt gekennzeichnet:

PIR PWT 600.1190.100 - Zn/Ral9003

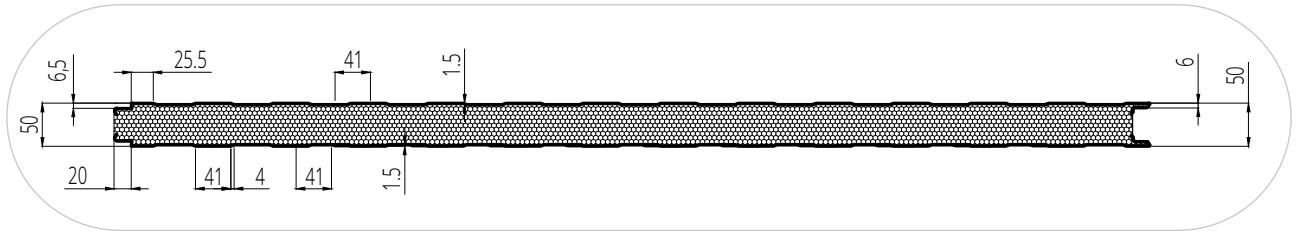
4.2 ANORDNUNG

1. Typ des Paneels:
 - PUR PWT: Wandpaneele mit PUR Classic Kern
 - PIR PWT, PIR PWT Z, PIR PWT SF: Wandpaneele mit PIR-Premiere Kern
 - PIR PRT, PIR PRT Z: Dachpaneele mit PIR-Premiere Kern
2. Art des Schließsystems:
 - Standard für PWT und PRT
 - Z-Schloss (Z) für PIR PWT und PRT
3. Breite der Abdeckung:
 - PUR PWT und PIR PWT: 1 190 mm
 - PIR PWT Z: 1 190 mm
 - Alle Paneelarten: 1 000 mm
4. Mindestlänge: 2 000 mm für alle Paneel-Arten
5. Maximale Länge:
 - PUR PWT: 9 300 mm
 - PIR PWT; PIR PWT Z, PIR PWT SF: 16 000 mm
 - PIR PRT; PIR PRT Z: 13 600 mm
6. Dicke der Sandwich-Paneele:
 - 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 150, 160, 180, 200 mm
 - 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200 mm
 - 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200 mm
 - 30, 40, 60, 80, 100, 120, 150 mm
 - 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200 mm

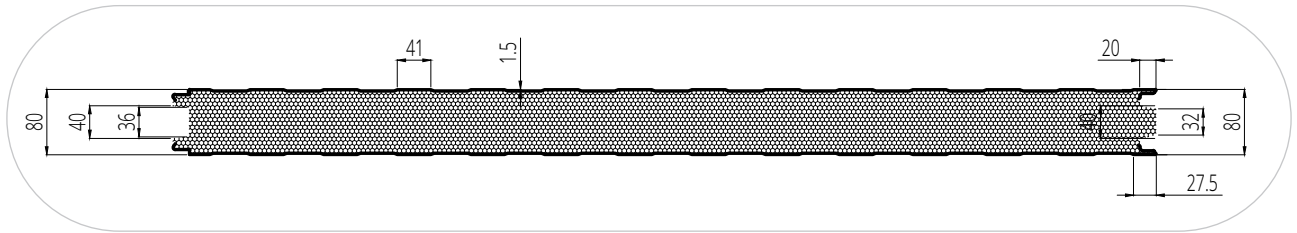
Profile auf Metalloberflächen verleihen den Paneelen zusätzliche Steifigkeit. Abmessungen, Schließsysteme und Profiltypen sind in den nachstehenden Abbildungen dargestellt:

Abbildung 12.
Anordnung der Wandpaneele mit Standard-Verriegelungssystem (PWT)

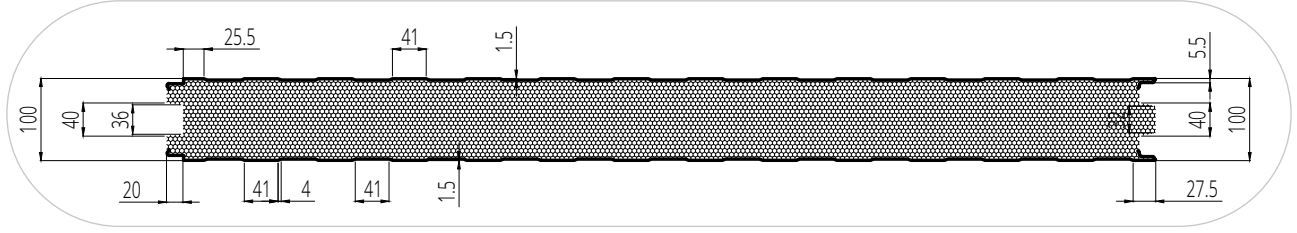
Paneelbreite 50 mm



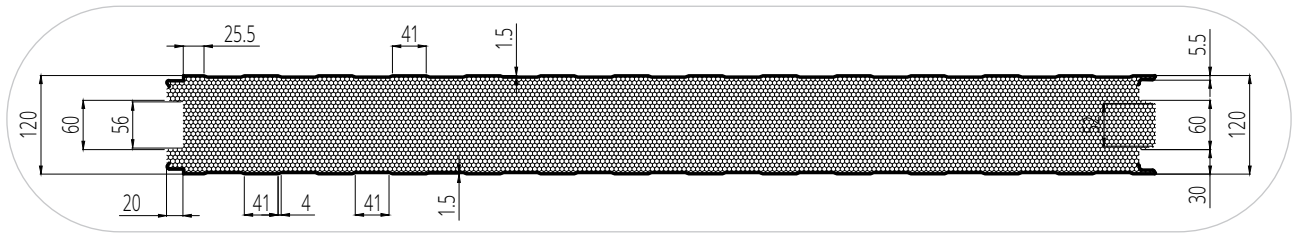
Paneelbreite 80 mm



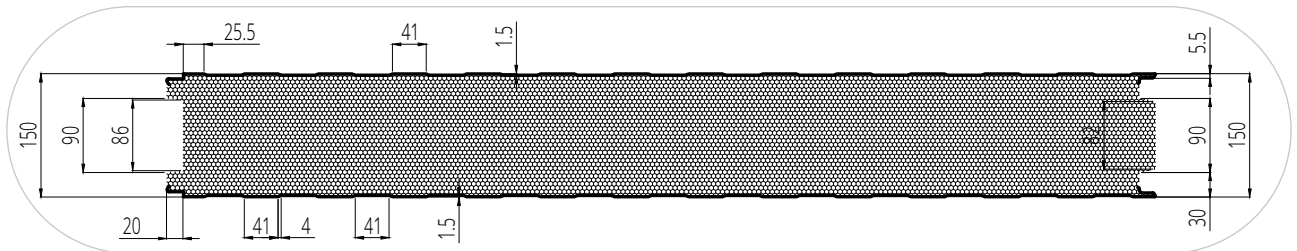
Paneelbreite 100 mm



Paneelbreite 120 mm



Paneelbreite 150 mm



Paneelbreite 200 mm

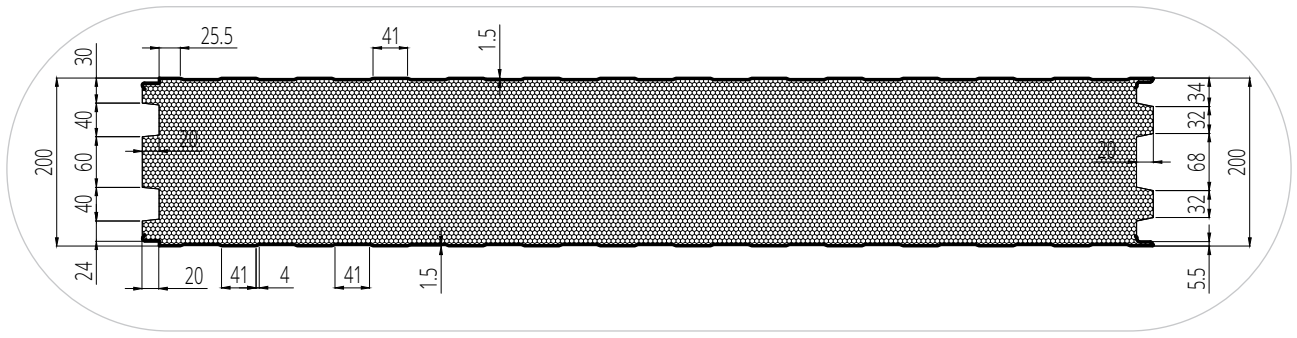


Abbildung 13.
Verbindung von Wandpaneelen mit Standard-Verriegelungssystem

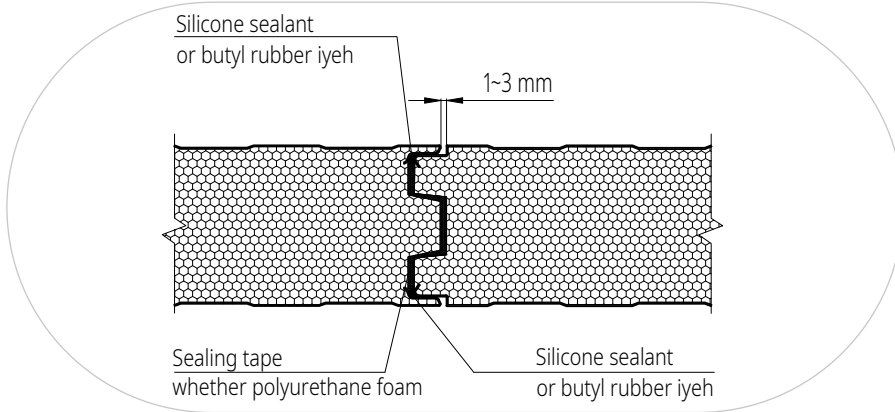
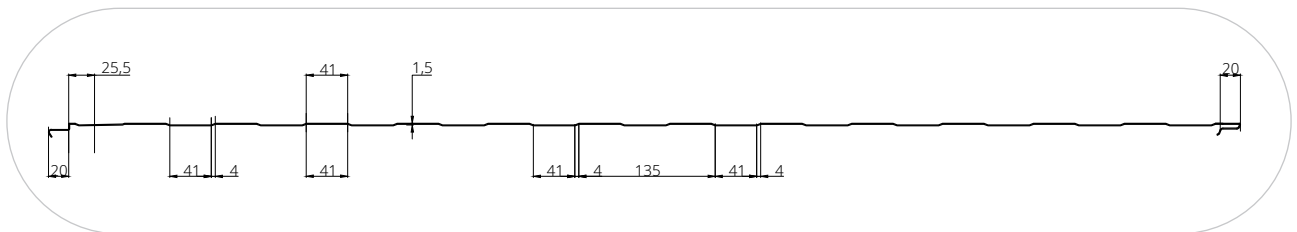


Abbildung 14.
Profilarten auf der Innenseite von PWT-Paneelen

Standard ProfHolod-Profil

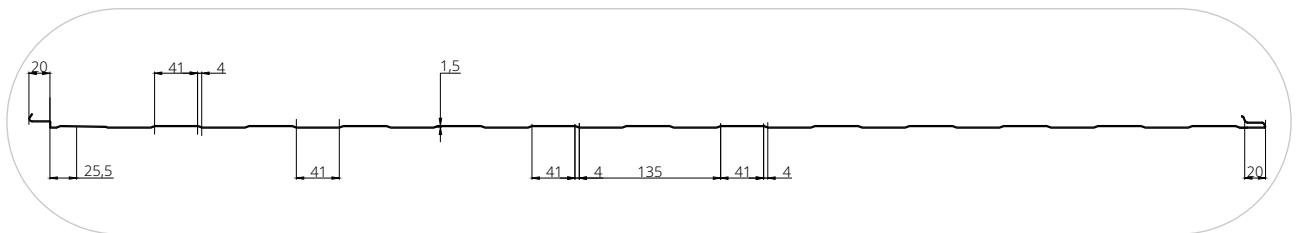


Kein Profil



Abbildung 15.
Profiltypen an der Außenseite von PWT-Paneelen

Standard ProfHolod-Profil



Kein Profil



Abbildung 16.
Anordnung der Paneele mit Z-Schloss-System (PWT Z)

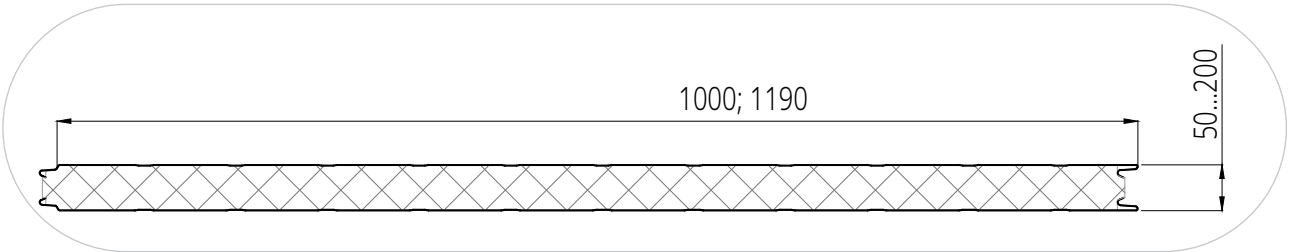
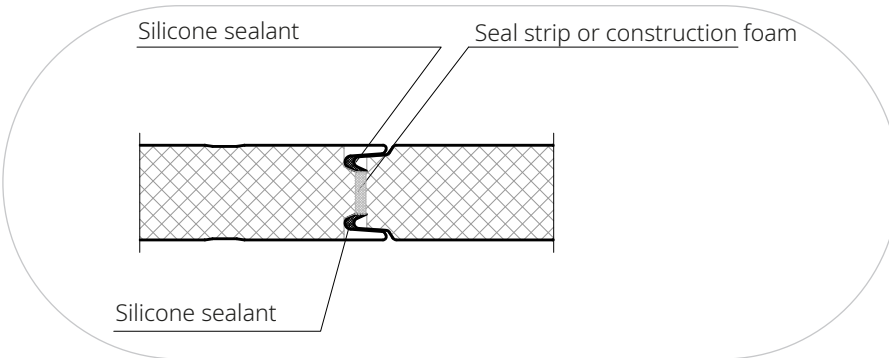
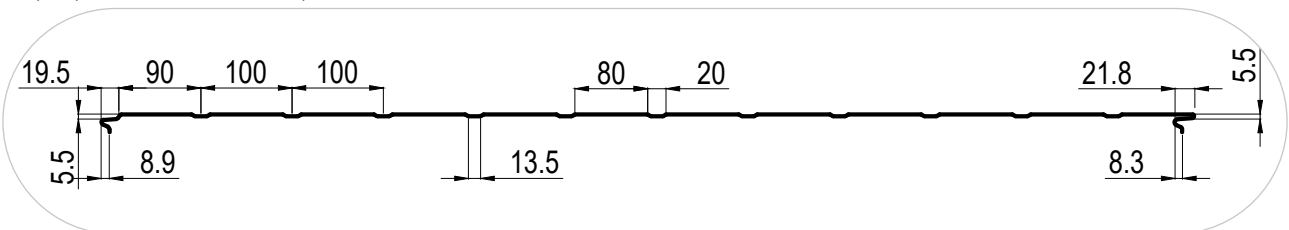


Abbildung 17.
Verbindung von Wandpaneelen mit Z-Schloss-System



Trapezprofile mit 100 mm Spannweite (T1)



Keine Profile



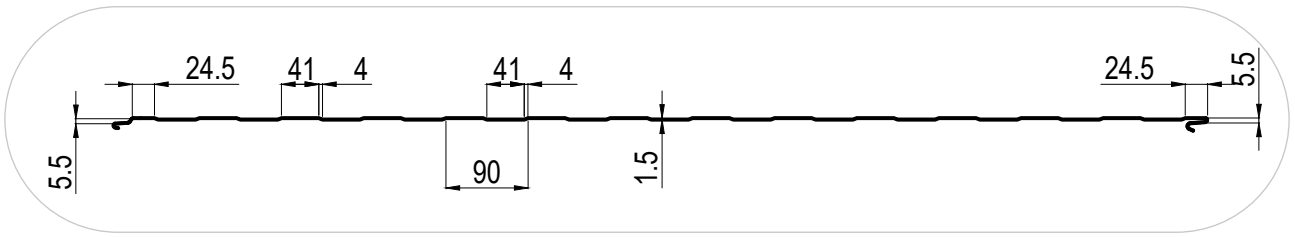
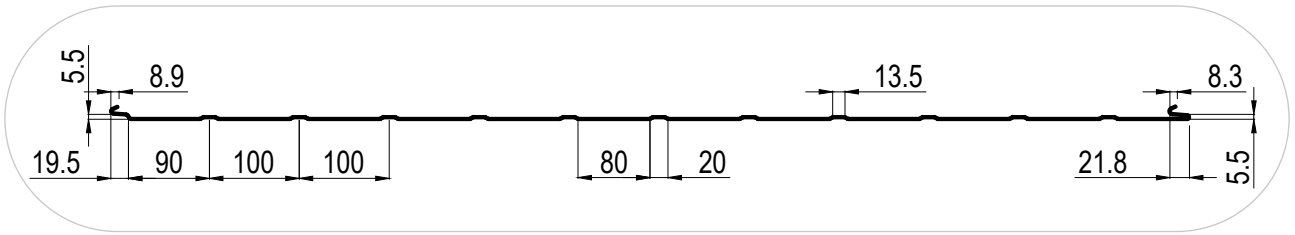
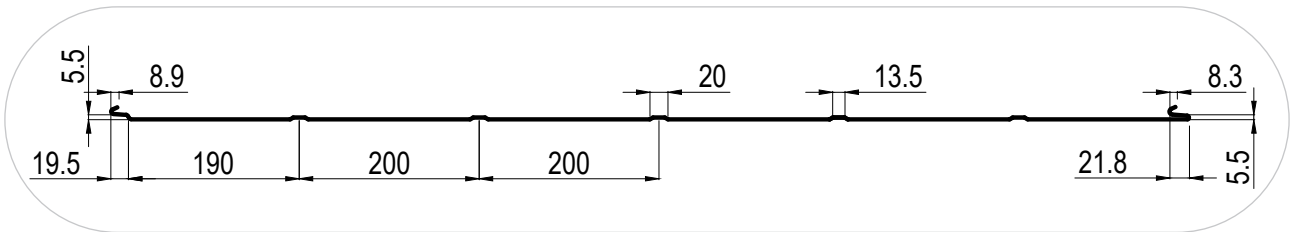


Abbildung 18.
 Profiltypen an der Außenseite von Paneelen mit Z-Schloss-System

Trapezprofile mit 100 mm Spannweite (T1)



Trapezprofile mit 200 mm Spannweite (T2)



Standard ProfHolod-Profil

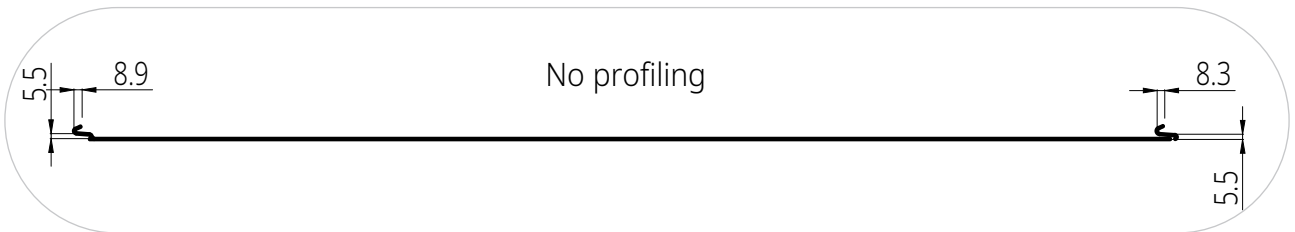
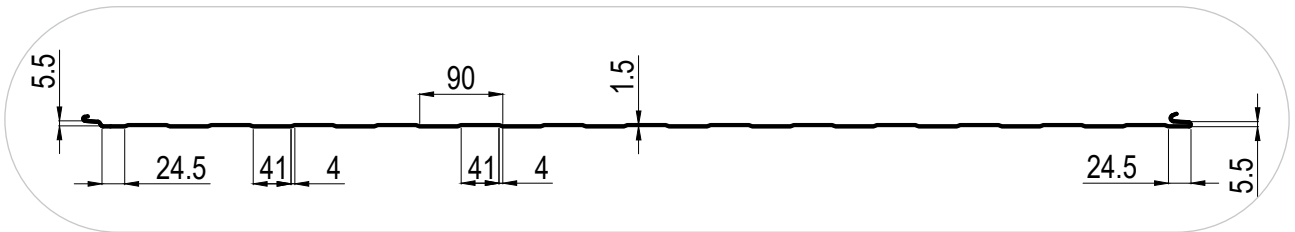
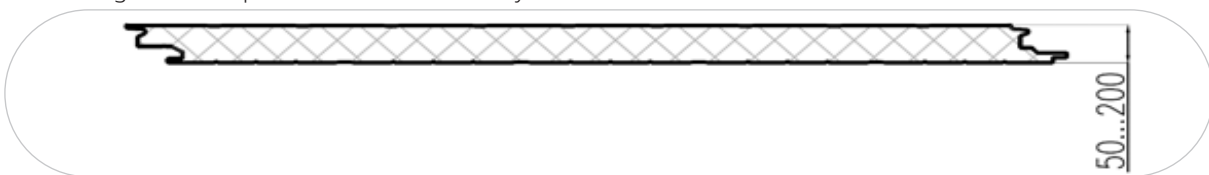


Abbildung 19.
 Anordnung von Wandpaneelen mit Z-Schloss-System



Bei einem Verriegelungssystem tritt die Oberflächenkante in einen im Kern befindlichen Schlitz ein und verbindet zwei

Paneele zuverlässig.

Dieses Prinzip reduziert das Risiko von Beschädigungen während des Transports und der Installation erheblich. Auf Wunsch können die im Gießverfahren hergestellten Wandpaneele zur besseren Justierung der Paneele bei der Montage mit Hebelschlössern entlang der Kante ausgestattet werden.

Abbildung 23.
PUR-PWT Paneele mit Hebelschloss

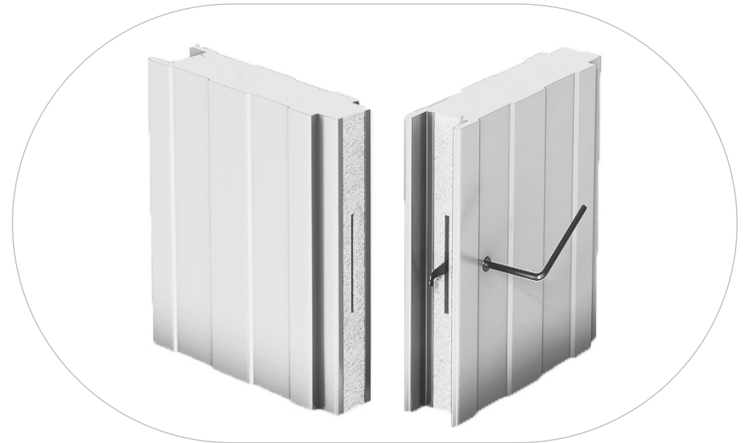


Abbildung 24.
Anordnung von Dachpaneelen mit Standardverriegelungssystem

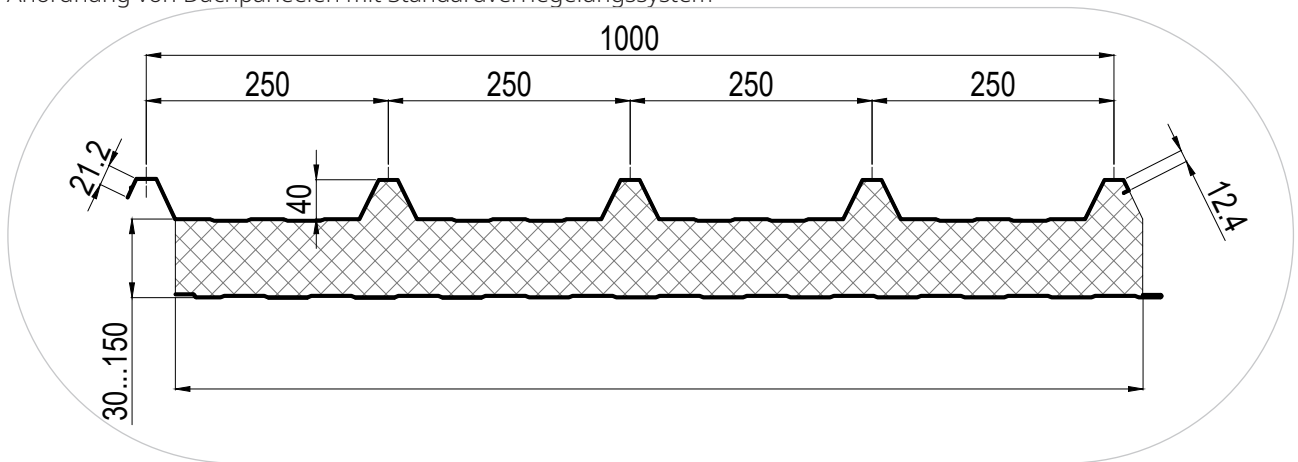


Abbildung 25.

Verbindung von Dachpaneelen mit einem Standard-Verriegelungssystem

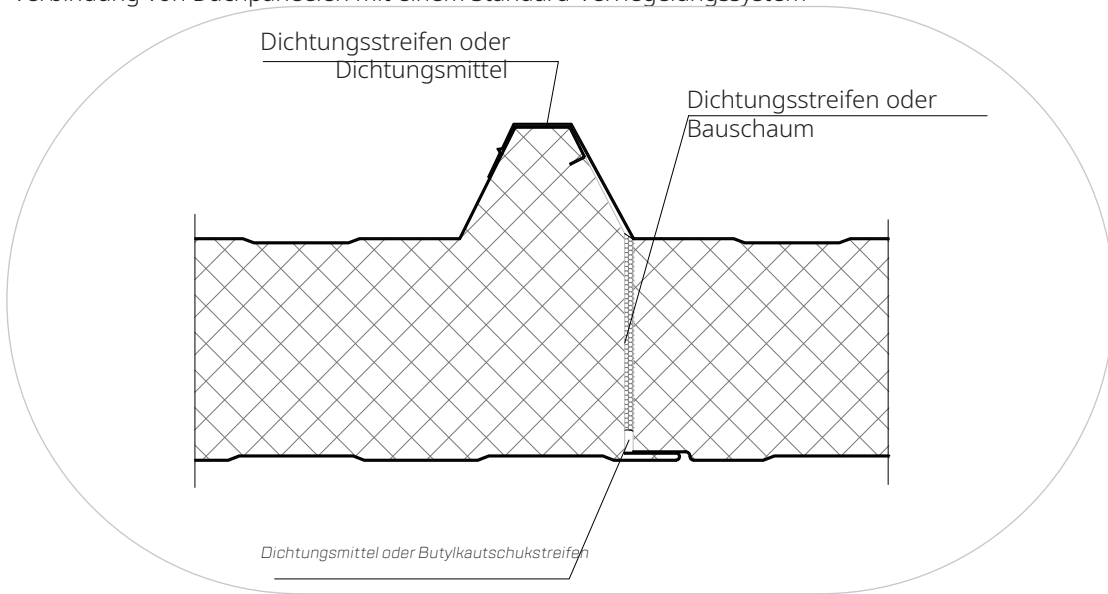
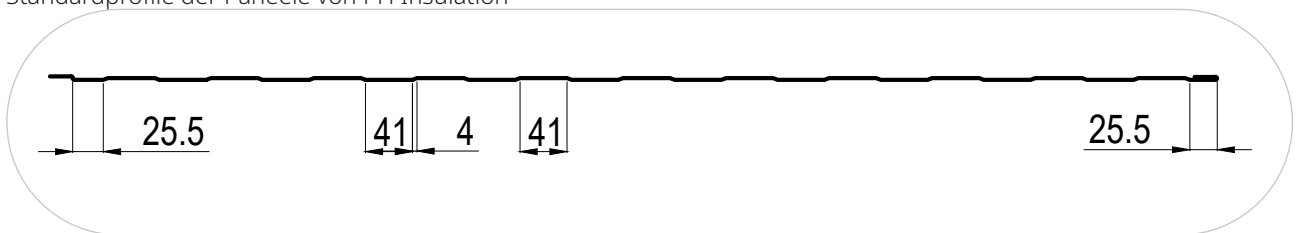


Abbildung 26.
 Profilarten auf der Innenseite von PRT-Paneelen
 Standardprofile der Paneele von PH Insulation



Keine Profile



Abbildung 27.
 Profilarten auf der Außenseite von PRT-Planeelen

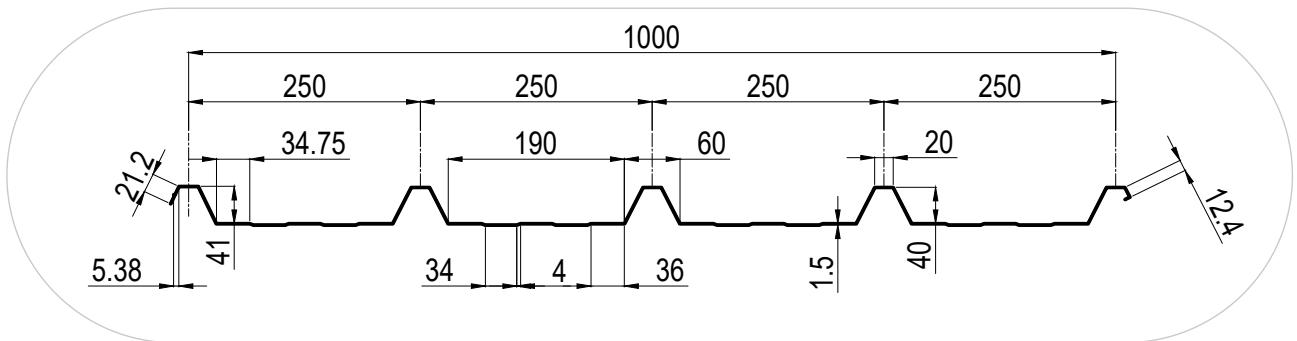


Abbildung 28.
Anordnung von Dachpaneelen mit Z-Schloss-System (PRT Z)

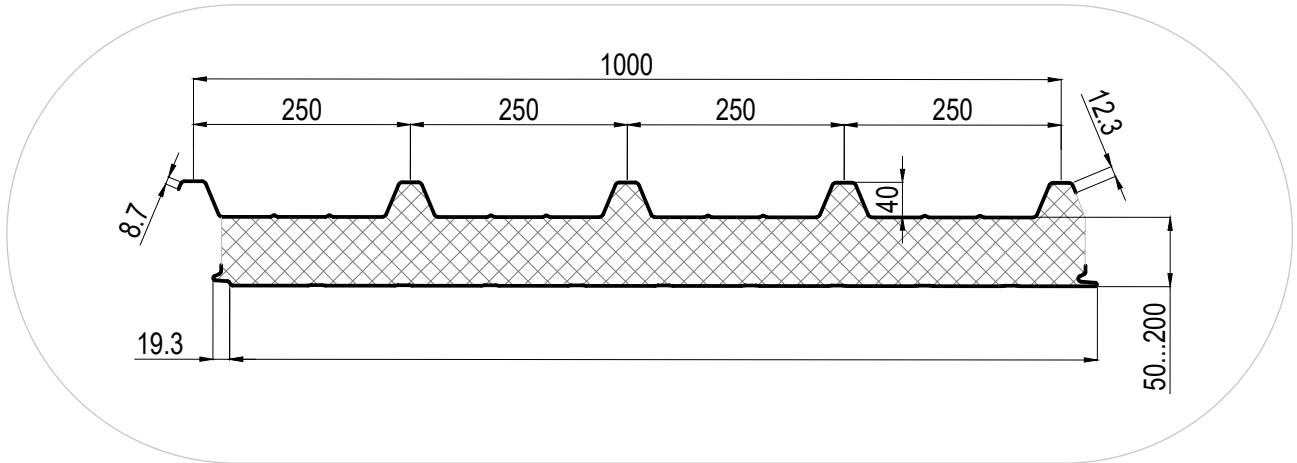


Abbildung 29.
Verbindung von Dachpaneelen mit Z-Schloss-System

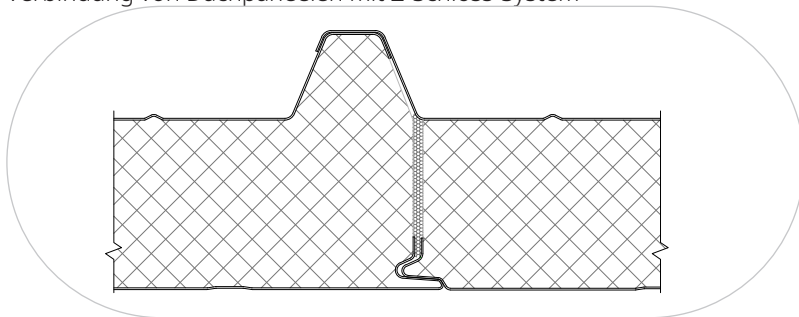
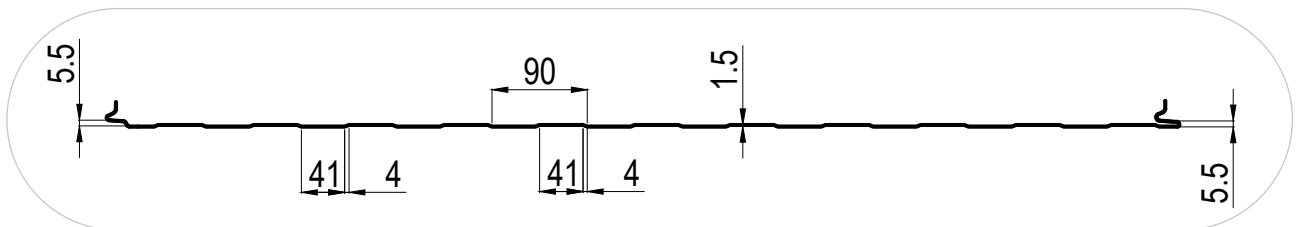
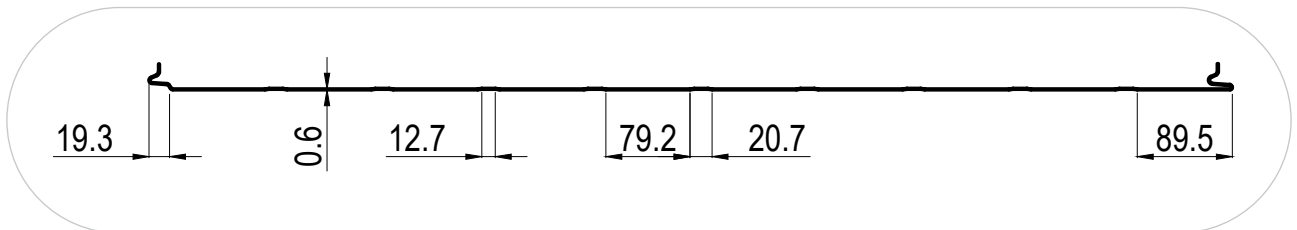


Abbildung 30.
Profilarten auf der Innenseite von PRT Z-Paneeelen

Standard ProfHolod-Profil



Trapezprofile mit 100 mm Spannweite (T1)



Keine Profile

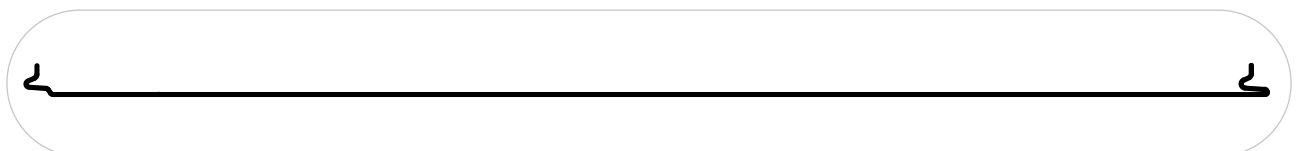


Abbildung 31.
 Profilarten an der Außenseite von PRT Z-Paneelen

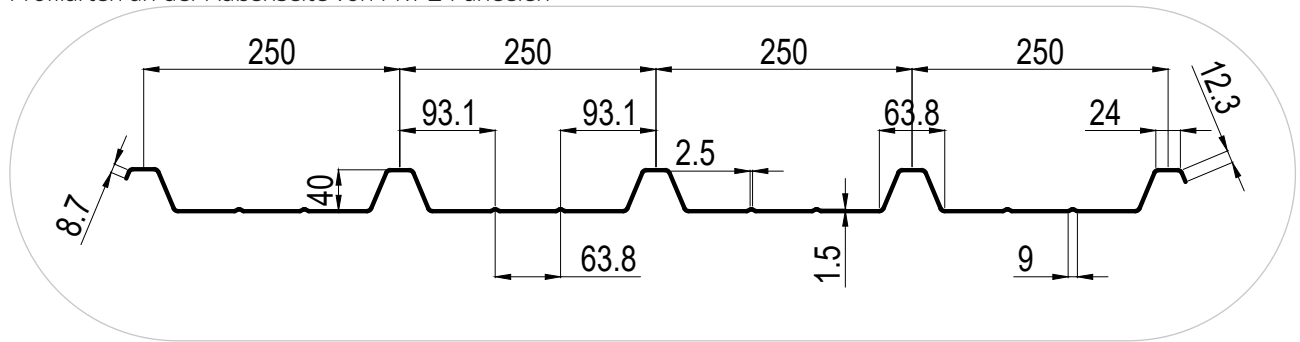


Tabelle 30.
 Farben der Sandwich-Paneele nach RAL Classic Standard

Bezeichnung	Nummer
Elfenbein	RAL 1014
Helles Elfenbein	RAL 1015
Signalblau	RAL 5005
Blattgrün	RAL 6002
Moosgrün	RAL 6005
Signalgrau	RAL 7004
Hellgrau	RAL 7035
Schokoladenbraun	RAL 8017
Grauweiß	RAL 9002
Signalweiß	RAL 9003
Weißes Aluminium	RAL 9006

Andere RAL-Farben sind auf Anfrage erhältlich.

KAPITEL 5: ALLGEMEINE REGELN FÜR HANDHABUNG, ZUSCHNITT, TRANSPORT UND LAGERUNG VON SANDWICH-PANEELEN

5.1 ZUSCHNITT

PIR und PUR Sandwich-Paneele sollten mit einer Stich- oder Kreissäge geschnitten werden, und es sollte ein spezielles Blatt für Sandwich-Paneele verwendet werden. Dadurch wird der Schnitt glatt und eine Zackenbildung wird verhindert (siehe Bilder 4 und 5). Die Schutzfolie vor dem Zuschneiden nicht entfernen.

Die Sandwich-Paneele nicht mit einem Winkelschleifer schneiden!

5.2 VERPACKUNG, TRANSPORT UND LAGERUNG

VERPACKUNG VON SANDWICH-PANEELEN

Die Metalloberflächen der Sandwich-Paneele von PH Insulation sind mit einer 35-50 µm dicken Polyethylenfolie geschützt, die nach der Montage entfernt werden sollte.

Bitte beachten Sie, dass das Entfernen der Schutzfolie vor der Montage zu einer Beschädigung der Paneele führen kann. Wir empfehlen außerdem, die Schutzfolie sofort nach der Montage, spätestens jedoch drei Monate nach der Herstellung der Platte zu entfernen. Es kann später schwierig sein, die Schutzfolie zu entfernen, und die Beschichtung der Platte kann sich verschlechtern.

Die Paneele sind in Stößen, die bis zu 1.200 mm hoch sind, verpackt. Die Anzahl der Paneele in jedem Stoß hängt von deren Typ und Dicke ab.

Um Reibung während des Transports zu vermeiden, werden Pappbögen verwendet.

Alle Stöße enthalten eine Mitteilung mit einer Packliste, auf der die Bestellnummer, Menge, Größe, Typ und das Gesamtgewicht der Paneele angegeben sind.

VERPACKUNG VON PIR PREMIERE-PANEELEN

Die Ecken der Stöße sind mit vertikalen Metallwinkeln geschützt.

Bei Dachpaneelen sind an den Ecken zusätzliche Pappwinkel angebracht, um sie vor Reibung während des Transports zu schützen.

Der Stoß ist mit Stretchfolie umwickelt, und die obere Lage der Umhüllung ist befestigt. Die Überlappung der Umhüllung in der Schicht beträgt 35-40 %.

Die Stöße stehen auf starken Styroporunterlagen mit einer Dicke von 8 cm und einer Dichte von 35 kg/m³. Die Anzahl dieser Unterlagen hängt von der Länge der Paneele ab.

VERPACKUNG VON PUR CLASSIC PANEELEN

An den Stellen, an denen die Verpackungsfolie mit den Kanten des Schließsystems in Berührung kommt, sind zusätzliche Kunststoff- oder Pappwinkel unter die Umhüllung gelegt, um die Paneele während des Transports vor Reibung zu schützen.

Die Ecken des Stoßes sind mit vertikalen Metallwinkeln geschützt.

Der Stoß wird mit Stretchfolie umwickelt und auf starke Styroporunterlagen mit einer Dicke von 8 cm und einer Dichte von 35 kg/m³ gestellt.

Die Anzahl dieser Unterlagen hängt von der Länge der Paneele ab.

Foto 6-1.
Verpackte Wand-Sandwich-Paneele

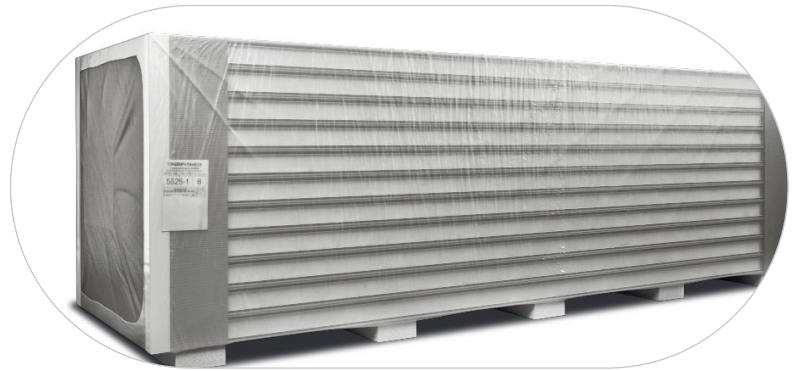
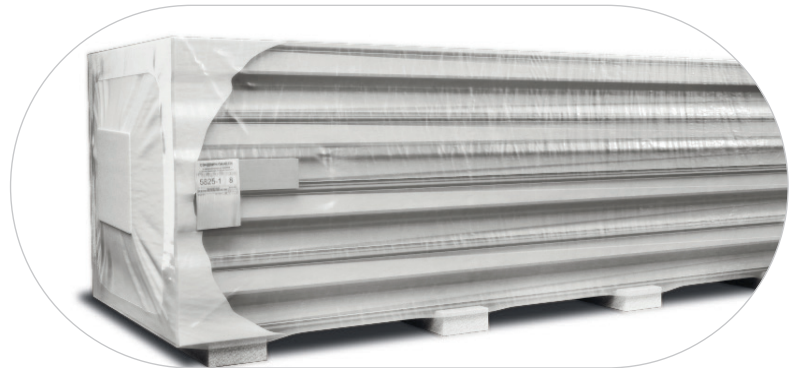


Bild 6-2.
Verpackte Dach-Sandwich-Paneele



TRANSPORT

Allgemeine Überlegungen

PH Insulation liefert die Produkte an jeden beliebigen Bestimmungsort in Russland und im Ausland auf dem Straßen-, Schienen- und Seeweg. Dies ist die beste Option, denn jede Ladung benötigt eine sorgfältig ausgewählte Transportart und einen verantwortungsvollen Lieferservice.

PH Insulation nutzt Online-Auktionen, um Fachleute zu einem angemessenen Preis zu beauftragen und um Ihre Bestellung so schnell wie möglich sicher zu liefern.

Wenn Sie die Lieferung Ihrer Sandwich-Paneele lieber selbst organisieren möchten, achten Sie bitte darauf, dass die LKW des von Ihnen ausgewählten Unternehmens nicht mit selbst angebrachten Vorrichtungen (Haken, Winkeln usw.) ausgestattet sind; dies kann die Ladevolumen verringern und die Paneelen beim Transport beschädigen.

Das Beladen der Sandwich-Paneele erfolgt von der Seite, daher sollten auf beiden Seiten des LKW Schiebebühnen platziert werden.

Die Innenabmessungen des Sattelauflegers sollten $13.600 \times 2.450 \times 2.600$ mm (LBH) betragen. Auch wenn sie nur 2-3 cm kleiner sind, kann es sein, dass die Paneele nicht hineinpassen und ein weiterer LKW erforderlich sein wird. Vergewissern Sie sich daher, dass der Transporteur versteht, wie wichtig es ist, dass die Maße beachtet werden.

Der Laderaum sollte sauber, flach und frei von Fremdkörpern sein.

Fragen Sie den Transporteur, ob der LKW mit Rungen für großformatige und lange Lasten, z. B. Rohre oder Holz, ausgestattet ist. Diese reduzieren den zur Verfügung stehenden Laderaum, so dass die Paneele möglicherweise nicht passen, auch wenn die Abmessungen des LKW den formalen Anforderungen entsprechen.

Der Fahrer sollte 6-10 Ladegurte mitbringen. PH Insulation verkauft oder vermietet solche Ausstattung nicht.

Während des Transports sollte die Stabilität und Befestigung der Paneele kontrolliert werden, und lose Bänder sollten festgezogen werden.

Geformte Teile sollten während des Transports die Oberfläche der Paneele nicht berühren.

Legen Sie keine anderen Lasten auf die Stöße.

TRANSPORTART

Meistens werden die Paneele auf der Straße transportiert, z. B. in einem Pritschenwagen, einem Seitenwagen oder einem Planenwagen. Bitte beachten Sie, dass einige Fahrzeuge für den Transport von Sandwich-Paneeelen und Türen für Kühlräume nicht geeignet sind.

Geeignete Optionen:

1. Pritschenwagen sind für kurze Strecken geeignet. Bei einer Entfernung von mehr als 700 km raten wir dringend von dieser Option ab, da Gegenwind und Niederschlag die Ladung beschädigen können.
2. Seitenwagen
3. Planen- oder bedeckte Sattelaufleger

CONTAINER

Es stehen 20'-Standard-, 40'-Standard- und 40'-High-Cube-Frachtcontainer zur Verfügung. Wenn Sie Produkte von PH Insulation in einem Container transportieren möchten, informieren Sie bitte vorab Ihren Projektleiter und achten Sie auf die Innenmaße.

Bitte beachten Sie, dass einige Sattelaufleger aufgrund von Konstruktionsmerkmalen NICHT für den Transport von Paneelen und Türen für Kühlräume geeignet sind; es ist physikalisch unmöglich, unsere Produkte auf solche LKW zu laden. Wir empfehlen daher, den Lkw-Typ vorab mit dem Leiter Ihres Projekts abzustimmen.

Wenn ein LKW mit einer Hebebühne ausgestattet ist, kann der Gabelstapler nicht nahe genug heranfahren und die Sandwich-Paneelstöße nicht ordnungsgemäß be- oder entladen.

Seitliche Rungen stellen ebenfalls ein Hindernis dar, da die Paneele von der Seite geladen werden.

Wenn der LKW mit festen oder nicht verschiebbaren Rungen ausgestattet ist, ist es nicht möglich, die Sandwich-Paneelstöße oder Türen für Kühlräume sicher zu laden.

AUFTRAGNEHMER

Einige Transportunternehmen auf dem Liefermarkt sind unzuverlässig. Bitte stellen Sie sicher, dass Ihr Partner vertrauenswürdig ist.

Prüfen Sie deren Gründungsunterlagen und Steuermeldungen und suchen Sie nach Referenzen.

Wir raten von Unternehmen, die seit weniger als einem Jahr oder unter einer juristischen Adresse an einem Ort der Massenregistrierung registriert sind, ab.

LAGERUNG

Lagern Sie Sandwich-Paneele auf einer ebenen Fläche (maximal 5 % Neigung), bis zu zwei Stöße in einem Stapel. Die Gesamthöhe des Stapels sollte 2,4 m nicht überschreiten. Der obere Stoß sollte nicht über den unteren hinausragen. Legen Sie Holzstützen (mindestens 10 cm dick) unter den unteren Stoß, mit einem maximalen Abstand von 1 m zwischen den Stützen.

Lagern Sie Sandwich-Paneele in ihrer wasserdichten Werksverpackung in einem offenen oder halbgeschlossenen Lager und beachten Sie die Brandschutzvorschriften. Halten Sie die Paneele von Feuchtigkeit fern.

Schützen Sie die Paneele bei kurzfristiger Lagerung im Freien vor direkter Sonneneinstrahlung, Staub und Niederschlag. Kippen Sie die Stöße ein wenig an, um die Ansammlung von Regenwasser zu verhindern.

BITTE:

- KEINE Lasten auf die Stöße platzieren;
- die zweite Reihe von Stößen im Verhältnis zur unteren Reihe NICHT mit einer Verschiebung legen;
- NICHT auf den Paneelen gehen;
- die Stöße NICHT an der Kante anheben.

Tabelle 31 zeigt die Anzahl der Wandpaneele in einer Standard-Werkspackung und die Anzahl der Stöße in einem Standard-LKW.

Tabelle 31.

Die Anzahl der vollen Wandpaneelstöße (Breite = 1 190 mm) in einem Standard-LKW mit Innenmaßen 13,4 × 2,45 × 2,6 m

Paneeldicke, mm	Paneele pro Stoß	Stoßhöhe, m	Fläche von 16 Stößen, (L=3 m), m ²	Fläche von 12 Stößen, (L=4 m), m ²	Fläche von 8 Stößen, (L=5 m), m ²	Fläche von 16 Stößen, (L=6 m), m ²	Fläche von 4 Stößen, (L=3 m), m ²
40	18	0,8	1 024	1 024	853	1 024	683
50	18	0,98	1 024	1 024	853	1 024	683
60	18	1,16	1 024	1 024	853	1 024	683
80	14	1,2	796	796	664	796	531
100	11	1,18	626	626	521	626	417
120	9	1,16	512	512	427	512	341
140	8	1,2	455	455	379	455	303
150	7	1,13	398	398	332	398	265

Tabelle 32. Die Anzahl der vollen Dachpaneelstöße (Breite = 1 000 mm) in einem Standard-LKW mit den Innenmaßen 13,4 × 2,45 × 2,6 m

Paneeldicke, mm	Paneele 3 m			Paneele 4 m		
	Paneele pro Stoß	Stoßhöhe, mm	Stöße pro LKW	Paneele pro Stoß	Stoßhöhe, mm	Stöße pro LKW
30	22	1 180	16	22	1 180	12
40	18	1 160		18	1 160	
60	14	1 200		14	1 200	
80	10	1 080		10	1 080	
100	8	1 040		8	1 040	
120	8	1 200		8	1 200	
150	6	1 100		6	1 100	
200	4	960	4	960		

Tabelle 33. Die Anzahl der vollen Dachpaneelstöße (Breite = 1 000 mm) in einem Standard-LKW mit den Innenmaßen 13,4 × 2,45 × 2,6 m

Paneeldicke, mm	Pannee 3 m			Pannee 4 m		
	Pannee pro Stoß	Stoßhöhe, mm	Stöße pro LKW	Pannee pro Stoß	Stoßhöhe, mm	Stöße pro LKW
30	22	1 180	8	14	780	6
40	18	1 160		12	800	
60	14	1 200		14	1 200	
80	10	1 080		10	1 080	
100	8	1 040		8	1 040	4
120	8	1 200		8	1 200	
150	6	1 100		6	1 100	
200	4	960		4	960	

Bild 7.
Werkseitig verpackte Sandwich-Paneele



T

Tabelle 34 zeigt die Anzahl der Wand- und Dachpaneele in einem Stoß in Abhängigkeit von ihrer Dicke und dem vorläufigen Gewicht von einem laufenden Meter Paneele in einem Stoß.

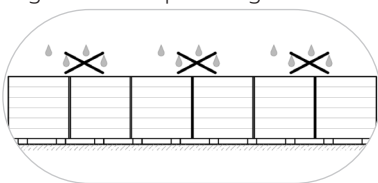
Tabelle 34.

Standard-Sandwich-Paneelstöße von PH Insulation

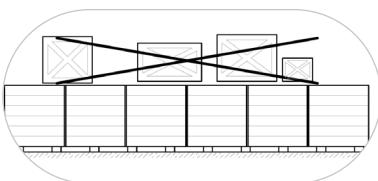
Typ	Paneeldicke, mm	Paneele pro Stoß	Stoßhöhe, mm	Stoßgewicht pro 1 laufender Meter, kg
Wandpaneele (Breite = 1.190 mm)	40	28	1210	328
	50	22	1190	268
	60	18	1170	228
	80	14	1210	191
	100	11	1190	161
	120	9	1170	140
	140	8	1210	132
	150	7	1140	119
	160	7	1210	122
	180	6	1170	111
Dachpaneele (Breite = 1 000 mm)	200	5	1090	97
	30	22	1190	191
	40	18	1170	198
	60	14	1210	165
	80	10	1090	126
		12	1290	151
	100	8	1050	107
		10	1290	134
	120	8	1210	114
	150	6	1110	93
		4	960	70

Tabelle 35.

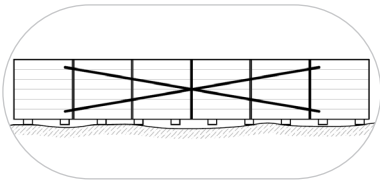
Allgemeine Empfehlungen für die Lagerung von Sandwich-Paneelen



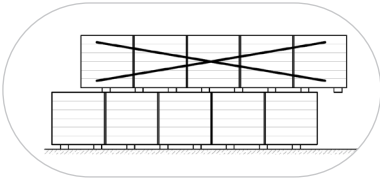
Von Feuchtigkeit fernhalten.
Integrität der Verpackung kontrollieren.



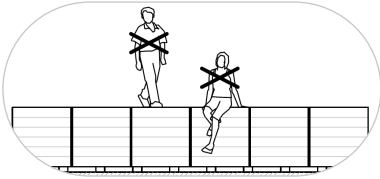
Keine anderen Objekte auf die Oberfläche der Paneele stellen.



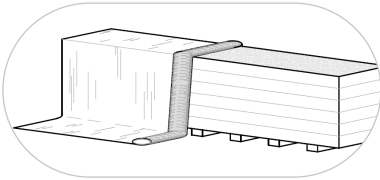
Paneele auf einer flachen Oberfläche lagern.



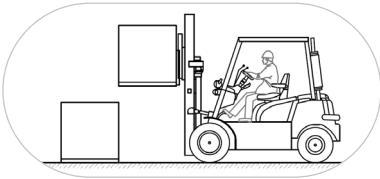
Überhang in der zweiten Reihe vermeiden.



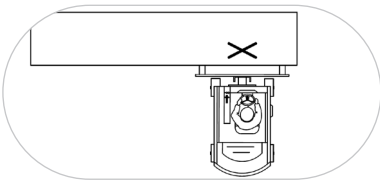
Nicht auf den Paneelen gehen.



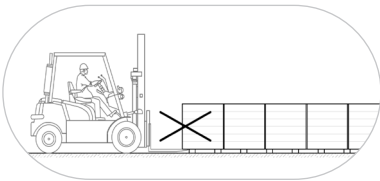
Paneele vor direkter Sonneneinstrahlung schützen.



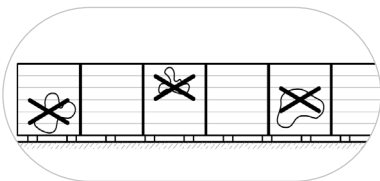
Stöße einzeln anheben.



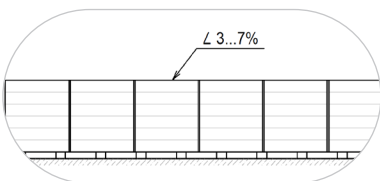
Nicht an der Kante anheben.



Nicht rütteln.



Verunreinigungen vermeiden.



Paneele mit einer leichten Längsneigung platzieren.

KAPITEL 6: RAHMENLOSE STRUKTUREN AUS SANDWICH-PANEELEN

6.1 ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Für den Aufbau von rahmenlosen Kühl- und Gefrierräumen werden selbsttragende Sandwich-Paneele und Metallelemente verwendet. Diese Strukturen können sowohl modular als auch konventionell sein und halten eine gewünschte Temperatur in einem geschlossenen Raum.

Vorgefertigte Kühlräume, die nach einer gewissen Nutzungsdauer versetzt werden sollen, werden aus Sandwich-Paneeelen hergestellt, die mit einem festziehenden Hebelschloss-System ausgestattet sind. Sie lassen sich fast überall leicht montieren und bei Bedarf schnell demontieren und versetzen.

Abbildung 32.
Ein konventioneller Kühlraum aus Sandwich-Paneeelen



Der Kühlraum wird aus Wand-, Boden- und Deckenpaneelen sowie Metallelementen desselben Typs und der gleichen Farbe wie die Oberflächenpaneele zusammengesetzt.

Die Bodenpaneele sollten mit Sperrholzplatten oder Aluminium-Riffelblechen verstärkt werden, da Sandwich-Paneele für das ständige Begehen und das Bewegen von Gabelstaplern und Wagen nicht stabil genug sind.

Vorgefertigte Kühlräume werden auf Wunsch mit Verbrauchsmaterialien wie Schrauben für Metallelemente, Ankerbolzen, Silikondichtstoffen und Bauschäumen geliefert.

6.2 AUFBAU UND MONTAGE VON KÜHLRÄUMEN

Kühlräume werden aus Sandwich-Paneeelen mit 0,5 mm dicken verzinkten Oberflächen und Metallelementen zusammengesetzt. Diese selbsttragenden Strukturen bieten bei richtiger Montage eine Wärmedämmung und reduzieren die Kühlkosten erheblich. Diese Arten von Kühl- und Tiefkühlkammern erfüllen die hygienischen Anforderungen für die Lagerung von Lebensmitteln.

Abbildung 34 zeigt die drei Hauptteile der Struktur.

Ein Satz von Paneelen und Metallelementen zum Zusammenbau eines Kühlraums wird mit einem detaillierten Montageplan und einer Packliste geliefert.

Prüfen Sie zunächst, ob alle Paneele und anderen Elemente vorhanden sind, und bereiten Sie die Aufbauort vor.

Abbildung 33.
Abbildung eines Kühlraums

- I. Verbindung von Boden- und Wand-Sandwich-Paneelen
- II. Verbindung von Wandpaneelen
- III. Verbindung von Decken- und Wandpaneelen

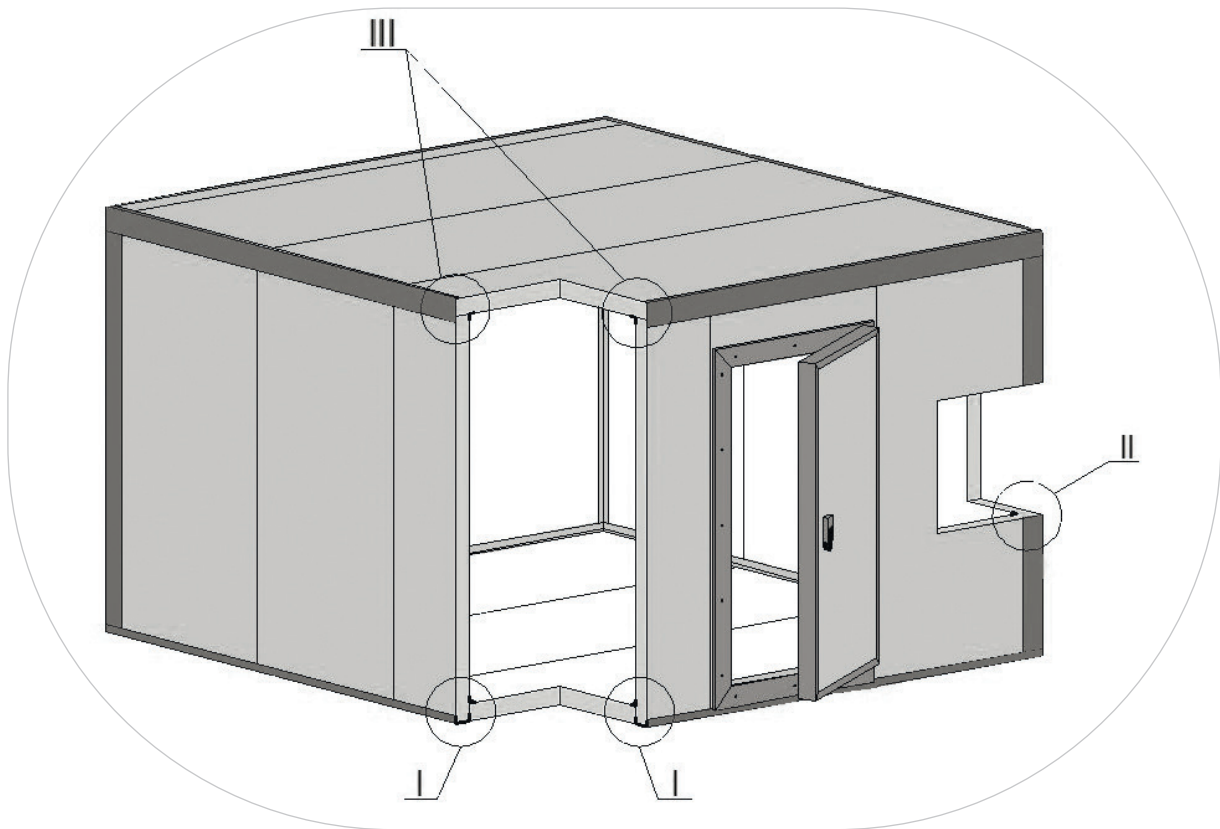
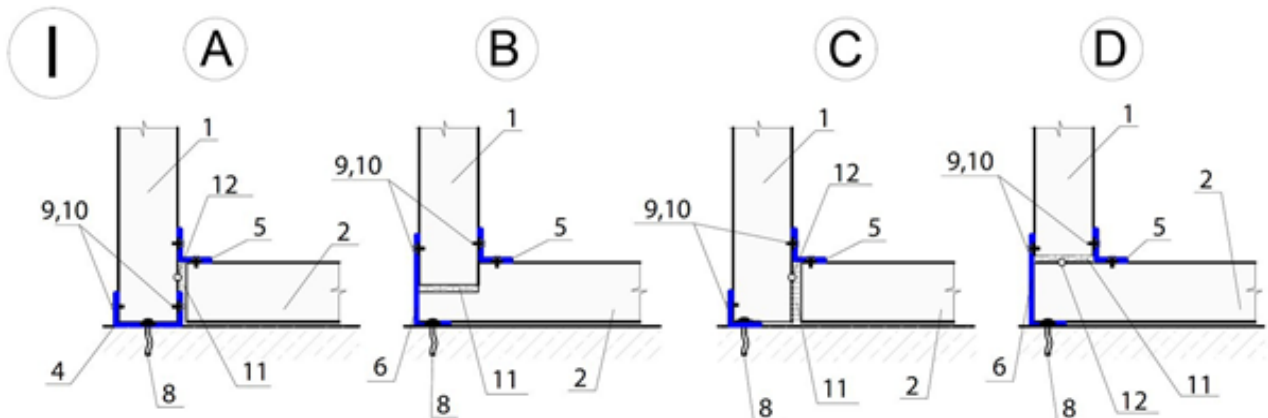


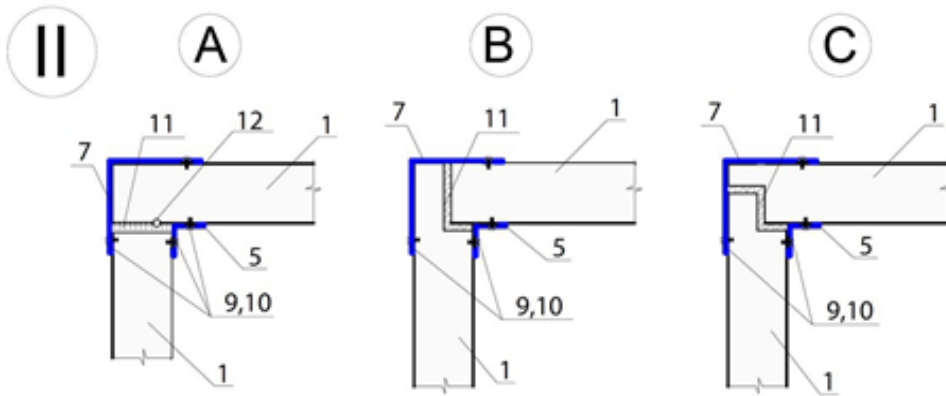
Abbildung 34.
Hauptverbindungen von Sandwich-Paneelen in einem Kühlraum

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. Wandpaneel 2. Bodenpaneel 3. Deckenpaneel 4. Kanal für Wandpaneele 5. Innenwinkel, 40-40 mm 6. Ungleicher Außenwinkel 7. Gleicher Außenwinkel | <ul style="list-style-type: none"> 8. Keilbolzen (450 mm Spannweite) 9. Schrauben für Metallelemente (200-300 mm Spannweite) 10. Allzweck-Dichtungsmittel 11. Bauschaum 12. Einschnitt in der Metalloberfläche zur Vermeidung von Wärmebrücken |
|--|---|

Arten der Befestigung von Wand- und Bodenpaneelen



Arten der Befestigung von Wandpaneelen in den Ecken eines Kühlraums



Arten der Befestigung von Wand- und Deckenpaneelen

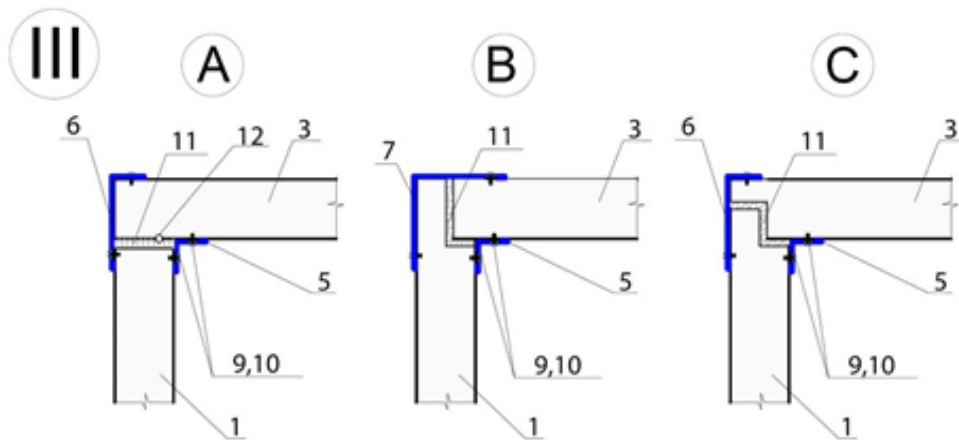
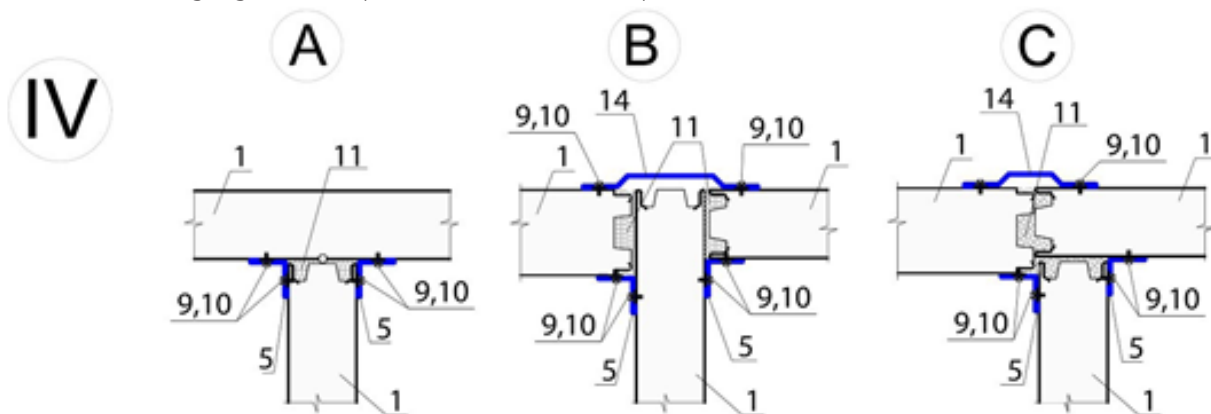


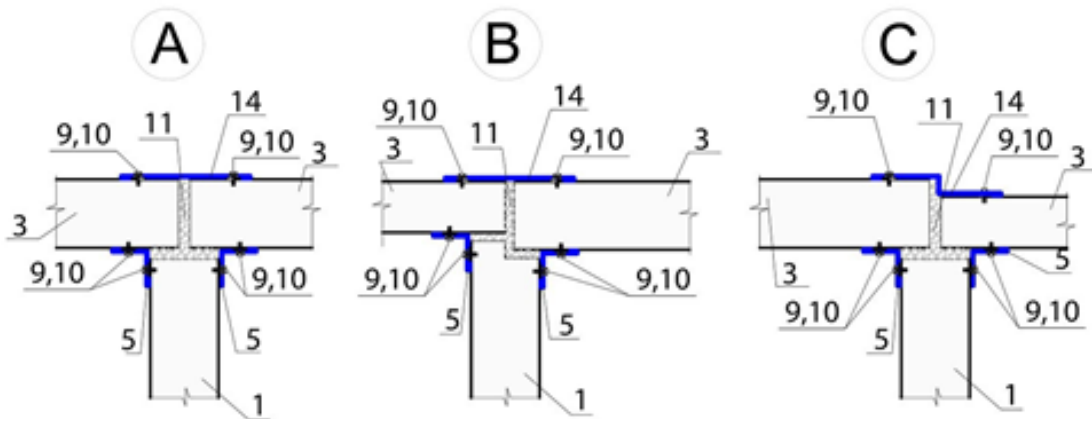
Abbildung 35.
Hauptverbindungen von Sandwichelementen in einem Kühlraum (Fortsetzung)

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Wandpaneel | 9. Schrauben für Metallelemente (200-300 mm Spannweite) |
| 2. Bodenpaneel | 10. Allzweck-Dichtungsmittel |
| 3. Deckenpaneel | 11. Bauschaum |
| 4. Kanal für Wandpaneel | 12. Einschnitt in der Metalloberfläche zur Vermeidung von Wärmebrücken |
| 5. Innenwinkel, 40-40 mm | 13. Trennwandpaneel |
| 6. Ungleicher Außenwinkel | 14. Abdeckleiste |
| 7. Gleicher Außenwinkel | |
| 8. Keilbolzen (450 mm Spannweite) | |

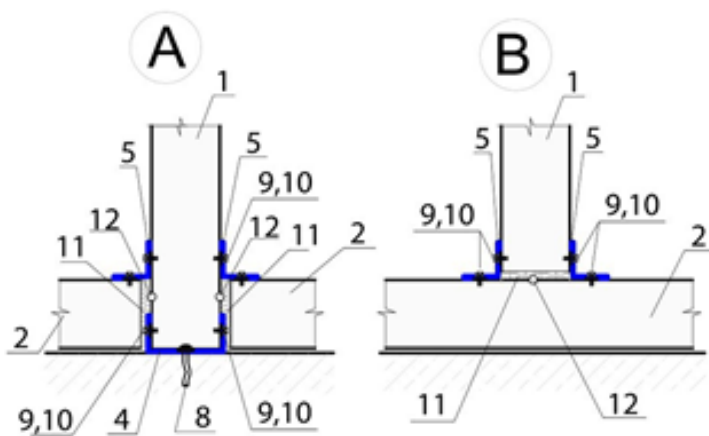
Arten der Befestigung von Wandpaneelen und Trennwandpaneelen



Arten der Befestigung von Trennwand- und Deckenpaneelen

V

Arten der Befestigung von Trennwand- und Bodenpaneelen

VI

Kanäle für Wandpaneele werden mit dem zuvor abgeflachten Boden entlang des montierten Kühlraums verschraubt.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Boden- und Wandpaneele mit Beton zu verbinden.

Option I (B, C, D) ist besser geeignet für kleine Strukturen; diese Verbindungen verhindern auf natürliche Art Wärmebrücken, während die Verwendung von Metallkanälen eine spezielle Montagemethode erfordern.

Um eine Wärmebrücke zu unterbrechen, wird die innere Metalloberfläche eines Wandpaneels geschnitten. Wenn Bodenpaneele verwendet werden, wird empfohlen, den Schnitt etwas höher als den Kanal, aber nicht höher als die Oberfläche der Bodenpaneele anzusetzen.

Danach wird der Kühlraum gemäß dem Verfahren montiert, wobei mit einer beliebigen Ecke oder ggf. mit dem Paneel mit einer Türöffnung begonnen wird.

Die Arten der Eckverbindungen von Wandpaneelen sind in den Abbildungen 34 und 35 dargestellt.

Option II (A-C). Die Zungen der Wandpaneele sind in Montagerichtung angeordnet. Auf die Nut des nächsten Panels wird etwas Bauschaum aufgetragen, das Paneel wird in den Kanal gelegt und in das zuvor installierte Paneel gedrückt.

Dann werden die Paneele angezogen und mit dem Kanal verschraubt. Achten Sie darauf, dass alle Wandpaneele senkrecht stehen. Wenn der Kühlraum fertig ist, verschließen Sie alle Fugen mit einem hygienischen Silikonkondichtmittel.

Die Paneele werden mit einer Stichsäge oder einer Kreissäge mit einem speziellen Schneidblatt geschnitten. Türöffnungen werden mit einer Stichsäge geschnitten und in ein U-förmiges Element bestehend aus zwei Metallwinkeln und einem Kunststoffprofil eingefasst.

Abbildung 36-1.
Profil für die Einrahmung eines Fensters

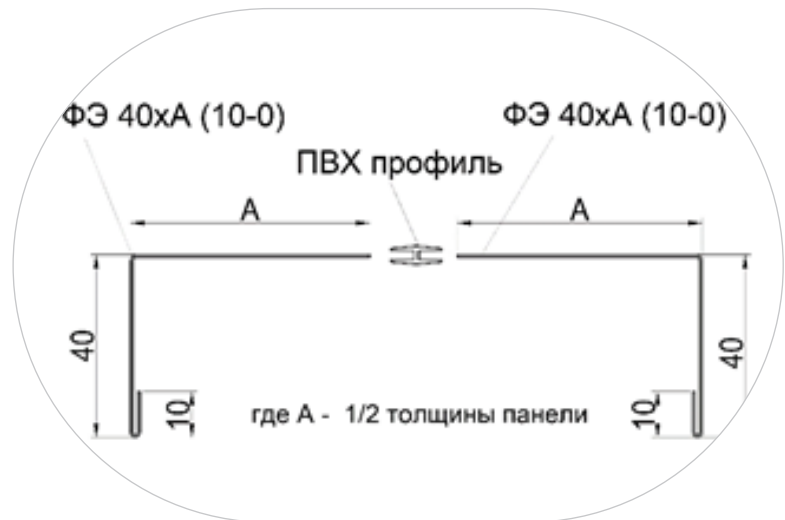


Abbildung 36-2.
Profil für die Einrahmung eines Fensters der
Farbe der Außenflächen oder Wandpaneele.



Die Länge bzw. Breite der Boden- und Deckenpaneelle sollte den Außen- bzw. Innenmaßen des Kühlraums genau entsprechen. Die Montageart ist im Montageplan angegeben.

Die vertikalen Winkel des Kühlraums sind mit Metallelementen verkleidet; ihre Farbe entspricht in der Regel

Die Flügel von Außenwinkeln sind 40 mm dicker als Wandpaneelle, was das Abdecken der offenen Kante eines Paneels in jeder Montageart ermöglicht.

Die Winkel werden mit gewindeschneidenden Schrauben oder Nieten an den Paneelen befestigt. Die Deckenpaneelle werden mit horizontalen Winkeln mit den Wandpaneelen verbunden.

Der Kühlraum kann mehrere durch Trennwände getrennte Bereiche umfassen. Um Baukosten zu reduzieren, werden Paneelle unterschiedlicher Dicke verwendet (z. B. 100-mm-Paneelle für einen Tieftemperaturraum und 80-mm-Paneelle für einen angrenzenden Mitteltemperaturraum).

Dies kann jedoch zu einigen Unannehmlichkeiten bei der Montage führen, und es sollte entweder die äußere oder die innere Höhe priorisiert werden.

Alle Innenwinkel des Kühlraums sind mit 40-40 mm Metallwinkeln gemäß dem Schema abgedeckt.

Die Bodenpaneelle sollten mit 1,5-4 mm Sperrholzplatten oder Aluminium-Riffelblechen verstärkt werden.

Verwenden Sie KEINE Bodenpaneelle ohne diese Verstärkung!

Die Abmessungen eines rahmenlosen Kühlraums sind durch die Tragfähigkeit von Wand- und Decken- bzw. Dachpaneelen und durch den Standort des Kühlraums beschränkt.

PH Insulation empfiehlt dringend die Herstellung eines Metallrahmens für Kühlräume mit den Längen- und Breitenmaßen von mehr als 6 000 mm und einer Höhe über 4 000 mm.

Abbildung 37.
Aluminium-Riffelblech zur Bodenverbesserung



Wird ein Kühlraum in einem Innenraum montiert, sollten die folgenden Anforderungen erfüllt sein:

- Der Raum sollte trocken und gut belüftet sein.
- Das Verhältnis der Raumvolumina sollte mindestens 1:3,5 betragen, oder der Raum sollte mit einer ausgeglichenen Lüftungsanlage ausgestattet sein. Andernfalls kann die Kühlung gestört werden, und die Energiekosten können steigen.
- Der Kühlraum sollte mindestens 0,1 m von den Wänden und 0,6 m von der Raumdecke entfernt sein. Der Durchgang zum Kühlschranks sollte mindestens 0,7 m breit sein. Der Kühlraum sollte vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt sein und mindestens 1,5 m von Wärmequellen entfernt stehen.
- Der Fußboden im Raum sollte waagrecht sein und eine maximale Neigung von 1 % haben. Die Oberflächenrauheit sollte 2 mm nicht überschreiten. zu Entsiegelungen und erhöhten Energiekosten führt.

Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, kann es zu Verschiebungen in der relativen Position der Panels kommen, was wiederum zu

Kühlräume, die im Freien unter einer Abdeckung installiert werden, sollten auf einer ebenen Beton- oder Asphaltbetonoberflächen aufgestellt werden; Rauheit und Neigung des Bodens sollten 3 mm bzw. 1,5 % nicht überschreiten.

Die in der Region der Montage vorherrschende Wind- und Schneelast sollte berücksichtigt werden, genauso wie eine mögliche Durchbiegung aufgrund von Temperaturunterschieden zwischen den Paneelen. Wenn ein Kühlraum für den Außenbereich mit Deckenpaneelen montiert wird, sollten diese Paneele vollständig mit wasserdichten Materialien abgedeckt werden. Obwohl Deckenpaneelle als solche ein Dach nicht ersetzen können, eignen sie sich durch eine zuverlässige Abdichtung für diese Funktion.

6.3 METALLELEMENTE VON KÜHLRÄUMEN

Abbildung 38.
Kanäle für die Montage der Paneele

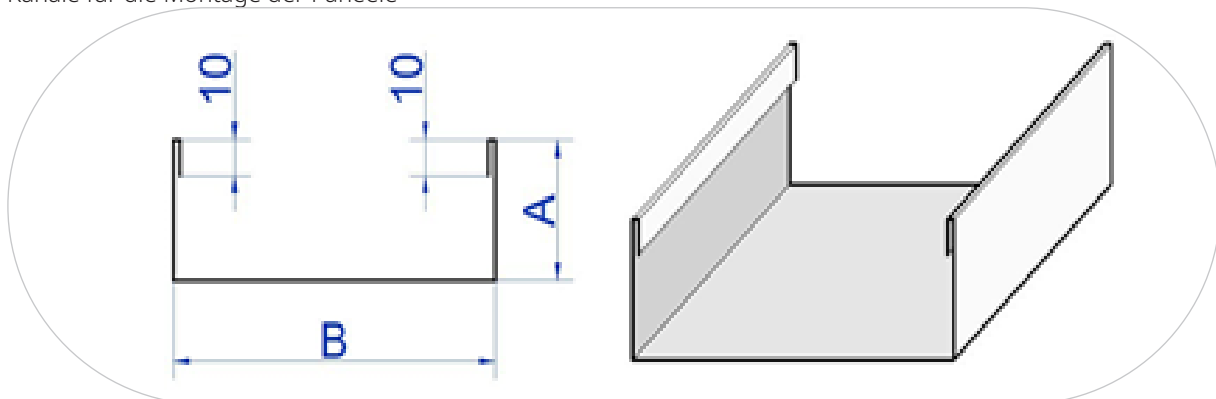


Tabelle 36.
Kanäle für die Montage der Paneele

A, mm	B, mm	Typ	Masse pro laufenden Meter, kg
40	42	Sh 40×42×40 Zn-0,45 (10-10)	0,50
	52	Sh 40×52×40 Zn-0,45 (10-10)	0,54
	62	Sh 40×62×40 Zn-0,45 (10-10)	0,57
	82	Sh 40×82×40 Zn-0,45 (10-10)	0,64
	102	Sh 40×102×40 Zn-0,45 (10-10)	0,71
	122	Sh 40×122×40 Zn-0,45 (10-10)	0,78
	142	Sh 40×142×40 Zn-0,45 (10-10)	0,85
	152	Sh 40×152×40 Zn-0,45 (10-10)	0,89
	162	Sh 40×162×40 Zn-0,45 (10-10)	0,93
	182	Sh 40×182×40 Zn-0,45 (10-10)	0,99
	202	Sh 40×202×40 Zn-0,45 (10-10)	1,07
50	42	Sh 50×42×50 Zn-0,45 (10-10)	0,57
	52	Sh 50×52×50 Zn-0,45 (10-10)	0,61
	62	Sh 50×62×50 Zn-0,45 (10-10)	0,64
	82	Sh 50×82×50 Zn-0,45 (10-10)	0,71
	102	Sh 50×102×50 Zn-0,45 (10-10)	0,78
	122	Sh 50×122×50 Zn-0,45 (10-10)	0,85
	142	Sh 50×142×50 Zn-0,45 (10-10)	0,89
	152	Sh 50×152×50 Zn-0,45 (10-10)	0,93
	162	Sh 50×162×50 Zn-0,45 (10-10)	0,99
	182	Sh 50×182×50 Zn-0,45 (10-10)	1,07
	202	Sh 50×202×50 Zn-0,45 (10-10)	1,13

Abbildung 39.
Gleiche Winkel (flach)

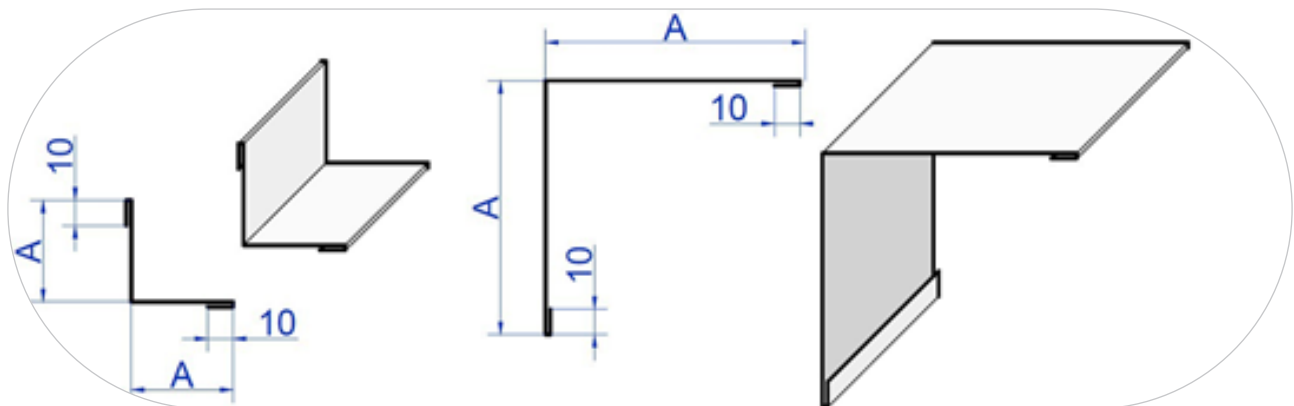


Tabelle 37.
Gleiche Winkel (flach)

A, mm	Typ (UV - Innenwinkel, UN - Außenwinkel)	Masse pro laufenden Meter, kg
40	UV (UN) 40×40 Zn-0,45 (10-10)	0,35
60	UV (UN) 60×60 Zn-0,45 (10-10)	0,49
80	UV (UN) 80×80 Zn-0,45 (10-10)	0,64
100	UV (UN) 100×100 Zn-0,45 (10-10)	0,77
120	UV (UN) 120×120 Zn-0,45 (10-10)	0,92
140	UV (UN) 140×140 Zn-0,45 (10-10)	1,05
160	UV (UN) 160×160 Zn-0,45 (10-10)	1,20
180	UV (UN) 180×180 Zn-0,45 (10-10)	1,34
200	UV (UN) 200×200 Zn-0,45 (10-10)	1,48
220	UV (UN) 220×220 Zn-0,45 (10-10)	1,62
240	UV (UN) 240×240 Zn-0,45 (10-10)	1,77

Abbildung 40.
Flaches Abdeckband

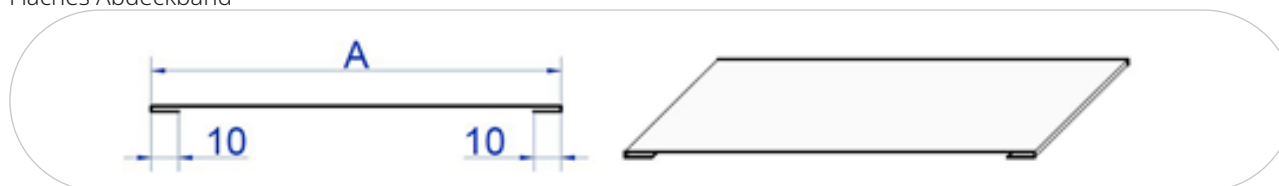


Tabelle 38.
Flaches Abdeckband

A, mm	Typ	Masse pro laufenden Meter, kg
40	N 40 Zn-0,45 (10-10)	0,21
60	N 60 Zn-0,45 (10-10)	0,28
80	N 80 Zn-0,45 (10-10)	0,35
100	N 100 Zn-0,45 (10-10)	0,42
120	N 120 Zn-0,45 (10-10)	0,49
140	N 140 Zn-0,45 (10-10)	0,56
150	N 150 Zn-0,45 (10-10)	0,60
160	N 160 Zn-0,45 (10-10)	0,64
180	N 180 Zn-0,45 (10-10)	0,70
200	N 200 Zn-0,45 (10-10)	0,77

Abbildung 41.
Ungleiche Winkel (für Verbindungen von Decken- und Wandpaneelen)

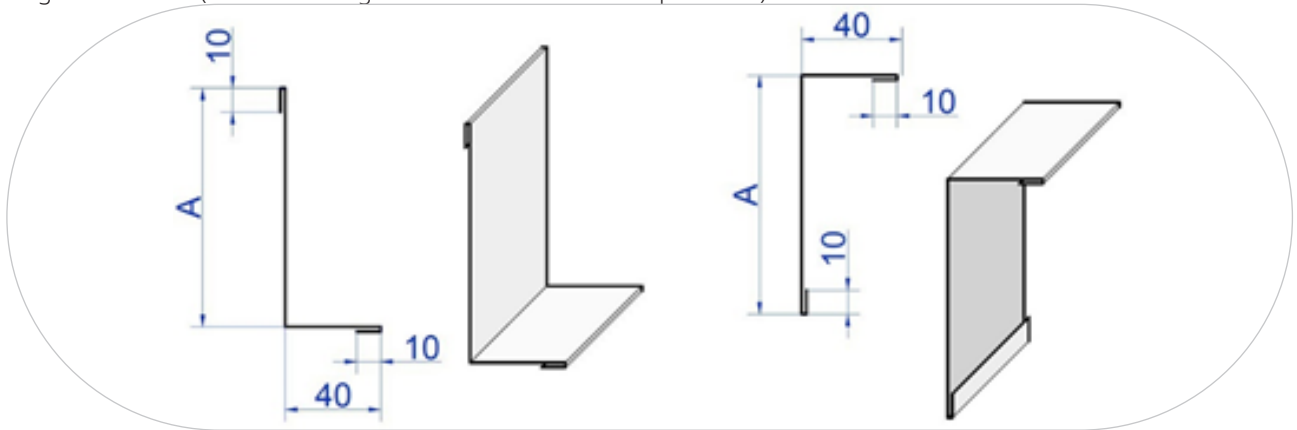


Tabelle 39.
Ungleiche Winkel (für Verbindungen von Decken- und Wandpaneelen)

A, mm	Typ Innen- oder Außenwinkel	Masse pro laufenden Meter, kg
60	UV (UN) 40×60 Zn-0,45 (10-10)	0,42
80	UV (UN) 40×80 Zn-0,45 (10-10)	0,49
100	UV (UN) 40×100 Zn-0,45 (10-10)	0,56
120	UV (UN) 40×120 Zn-0,45 (10-10)	0,66
140	UV (UN) 40×140 Zn-0,45 (10-10)	0,70
160	UV (UN) 40×160 Zn-0,45 (10-10)	0,78
180	UV (UN) 40×180 Zn-0,45 (10-10)	0,85
190	UV (UN) 40×190 Zn-0,45 (10-10)	0,88
200	UV (UN) 40×200 Zn-0,45 (10-10)	0,92
220	UV (UN) 40×220 Zn-0,45 (10-10)	0,99
240	UV (UN) 40×240 Zn-0,45 (10-10)	1,06

Abbildung 42.
Furring-Abdeckleiste

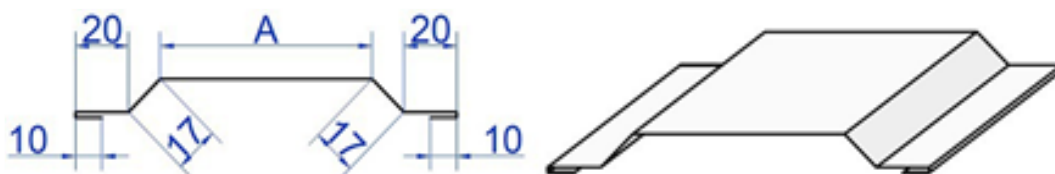


Tabelle 40.
Furring-Abdeckleiste

A, mm	Typ	Masse pro laufenden Meter, kg
40	N 20×17×40×17×20 10-10	0,47
60	N 20×17×60×17×20 10-10	0,54
80	N 20×17×80×17×20 10-10	0,61
100	N 20×17×100×17×20 10-10	0,69

120	N 20×17×120×17×20 10-10	0,76
140	N 20×17×140×17×20 10-10	0,83
160	N 20×17×160×17×20 10-10	0,90
180	N 20×17×180×17×20 10-10	0,97
200	N 20×17×200×17×20 10-10	1,04
220	N 20×17×220×17×20 10-10	1,11

6.4 ISOLIERUNG VON WÄNDEN MIT SANDWICH-PANEELEN

Wenn ein Kühl- oder Tiefkühlraum in einem Innenraum montiert wird und mit Beton- oder Ziegelwänden in Berührung kommt, beeinflusst dies sein Wärmedämmeigenschaften. Darüber hinaus kann auch die Luftschicht zwischen den Paneelen und der Wand ein Faktor sein, der bei der Berechnung der thermischen Parameter der Kühlkammer und der Auswahl einer geeigneten Paneeldicke berücksichtigt werden sollte.

Wenn eine Platte mit der Dicke δ_1 und dem Wärmewiderstand R_1 eng an einer Wand mit der Dicke δ und der Wärmeleitfähigkeit α anliegt, ist der Gesamtwärmewiderstand der Schicht, die aus den Paneelen und der Wand besteht:

$$R_{\text{gesamt}} = \frac{\delta}{\alpha} + R_1 \quad (39)$$

Wenn wir also z. B. eine 450 mm dicke Ziegelwand dämmen (Wärmeleitfähigkeit von Ziegelsteinen = 0,37 W/mK), dann ist

$$R_{\text{gesamt}} = 1,22 + R_1 \quad (40)$$

Die Wärmeleitfähigkeit von PU-Schaum beträgt 0,022 W/mK, sodass die zusätzliche Isolierung durch die Ziegelwand es möglich macht, ein Paneel zu wählen, die 25 mm dünner ist als die, die für einen freistehenden Kühlraum benötigt wird.

Allerdings ist diese Schlussfolgerung nur dann richtig, wenn die Paneele dicht an der Ziegelwand anliegen.

Andernfalls kann die Kühlung des Raums zwischen der Wand und dem Kühlraum anschließend zur Beschädigung der Paneele führen.

Um die Kosten der Schrumpfung deutlich zu reduzieren, bietet PH Insulation PIR Plita®-Platten (PIR-Premiere mit Folien-oder Papierverkleidung) zur Wärmedämmung von Wänden und Kühlräumen an.

Das Material wird mit speziellen korrosionsgeschützten Schrauben, die mindestens 3 cm länger als die Dicke der Paneele sind, an einer abgeflachten Wand befestigt.

6.5 PANEELDICKE FÜR KÜHLRÄUME

Um die richtigen Paneele für eine rahmenlose Kühlkammer auszuwählen, ist es wichtig, mechanische und thermische Faktoren zu berücksichtigen, die die Dicke der Wände beeinflussen.

Zu den mechanischen Faktoren gehören:

- - Windlast an Wänden und Decke, wenn der Kühlraum im Freien aufgestellt ist
- Belastung der Wände durch die Decke, die von der Länge und Dicke der Deckenpaneelle abhängt
- übermäßiger Außendruck auf den Kühlraum, wenn Druckausgleichsventile versagen
- Durchbiegung und Knicken aufgrund von Temperaturunterschieden zwischen den Paneelen
- Durchbiegung der Paneele aufgrund ihres Eigengewichts
- mögliche Belastung der Deckenpaneelle bei der Montage

Zu den thermischen Faktoren gehören:

- Innentemperatur;
- Außentemperatur;
- Volumen der Kühlkammer;
- Material und Dicke des Gebäudes, falls zutreffend;
- Art der zu lagernden Produkte, täglicher Zu- und Abgang, etc.

Die Berechnung der Wärmebilanz in Kühlräumen ist ein eigenständiges bautechnisches Problem. Eine einfache Einschätzung hilft jedoch, die Einsatzmöglichkeit bestimmter Paneeldicken zu beurteilen.

Es liegt auf der Hand, dass die Wärmedämmung umso besser ist, je dicker das Paneel ist, daher steht die wirtschaftliche Machbarkeit im Vordergrund.

In der Regel geht man davon aus, dass eine optimale Wärmedämmung für einen kalten Raum die Wärmeverluste auf 10 W/m² pro Stunde reduzieren sollte.

Dieser Wert wird auch als Wärmelast oder Wärmebedarf bezeichnet, der erreicht werden muss, um eine gewünschte Temperatur im Inneren aufrecht zu erhalten. Tabelle 41 zeigt den Bemessungswert für Wärmeverluste für Paneele verschiedener Dicken in Abhängigkeit von den Temperaturunterschieden an der Wand eines Kühlraums. Sie sollte nur für Kühl- und Lagerräume verwendet werden und gilt nicht für Büro- und Wirtschaftsgebäude.

Tabelle 41.

Auswahl der Wandstärke für Kühlräume basierend auf der Temperaturdifferenz entlang der Wand

		Paneeldicke, mm										
		40	50	60	80	100	120	140	150	160	180	200
Temperaturunterschied	10°C	5,30	4,20	3,50	2,60	2,10	1,70	1,50	1,40	1,30	1,20	1,00
	15°C	7,90	6,30	5,25	3,90	3,15	2,55	2,25	2,10	1,95	1,80	1,50
	20°C	10,50	8,40	7,00	5,20	4,20	3,40	3,00	2,80	2,60	2,40	2,00
	25°C	13,10	10,50	8,75	6,50	5,25	4,25	3,75	3,50	3,25	3,00	2,50
	30°C	15,80	12,60	10,50	7,80	6,30	5,10	4,50	4,20	3,90	3,60	3,00
	35°C	18,40	14,70	12,25	9,10	7,35	5,95	5,25	4,90	4,55	4,20	3,50
	40°C	21,00	16,80	14,00	10,40	8,40	6,80	6,00	5,60	5,20	4,80	4,00
	45°C	23,60	18,90	15,75	11,70	9,45	7,60	6,75	6,30	5,85	5,40	4,50
	50°C	26,30	21,00	17,50	13,00	10,50	8,50	7,50	7,00	6,50	6,00	5,00
	55°C	28,90	23,10	19,25	14,30	11,55	9,35	8,25	7,70	7,15	6,60	5,50
	60°C	31,50	25,20	21,00	15,60	12,60	10,20	9,00	8,40	7,80	7,20	6,00
	65°C	34,10	27,30	22,75	16,90	13,65	11,05	9,75	9,10	8,45	7,80	6,50
	70°C	36,80	29,40	24,50	18,20	14,70	11,90	10,50	9,80	9,10	8,40	7,00
	75°C	39,40	31,50	26,20	19,50	15,70	12,70	11,25	10,50	9,75	9,00	7,50
	80°C	42,00	33,60	28,00	20,80	16,80	13,60	12,00	11,20	10,40	9,60	8,00
	85°C	44,60	35,70	29,80	22,10	17,90	14,50	12,80	11,90	11,00	10,20	8,50
90°C	47,30	37,80	31,50	23,40	19,00	15,30	13,50	12,60	11,70	10,80	9,00	
95°C	49,90	39,90	33,30	24,70	20,10	16,20	14,30	13,30	12,40	11,40	9,50	

	Optimale Dicke
	Überhöhte Dicke (möglich)
	Nicht empfohlen

6.6 DRUCKAUSGLEICHSVENTILE

In Niedertemperatur-Kühlräumen werden Druckausgleichsventile installiert.

Wenn die Luft abgekühlt wird, sinkt der Druck im Inneren. Bei kleinen Kammern (bis zu einigen Kubikmetern) und Kühlräumen, die eine erhebliche konstruktive Steifigkeit aufweisen, ist das kein Problem. Diese Druckunterschiede machen es jedoch schwierig, eine gut abdichtende Tür zu einem großen Kühlraum zu öffnen, was zu häufigen Brüchen von Türgriffen und -schlössern führt.

In Tiefkühlräumen sind Druckausgleichsventile mit Einfrierschutz erforderlich, die unter allen Bedingungen funktionieren.

Für eine bessere Zuverlässigkeit werden große Kühlräume mit mehreren solcher Ventile ausgestattet.

Für den Druckausgleich im Inneren von Tiefkühlagern können Metall- und Silikonventile verwendet werden. Metallventile schließen unter Schwerkraft, daher werden sie horizontal in Deckenpaneele eingebaut, was nicht immer praktisch ist. Silikonventile funktionieren in vertikaler Position, was den Einbau in Wandpaneele erleichtert.

Der Wirkungsgrad von Druckausgleichsventilen wird in Abhängigkeit vom Volumen des Kühlraums gewählt.

Bild 9.
KVD-4-60 Druckausgleichsventil



Die zum Ausgleich von Innen- und Außendruck erforderliche Luftmenge wird wie folgt berechnet:

$$Q = K \cdot V \cdot \Delta T \quad (41)$$

mit Q = benötigte Luftmenge in l/min; $K = 3,66$ (Konstante); V = Volumen des gekühlten Raums in m^3 ; ΔT = maximale Temperaturänderung im gekühlten Raum in $^{\circ}C$ (nicht zu verwechseln mit der Temperaturdifferenz an der Wand des Kühlraums).

Das Fehlen von Druckausgleichsventilen kann zu schweren Schäden an der gesamten Konstruktion führen. Die Ventile werden mit Schrauben befestigt, und der Raum zwischen dem Wandpaneel und dem Ventil wird abgedichtet. Die Ventile sind quer zum Luftstrom aus den Kühlern neben der Tür angeordnet.

In Kühlkammern, die kleiner als $120 m^3$ sind, werden die Ventile mindestens 30 cm vom Boden und von der Decke entfernt angebracht; in Kühlräumen mit bis zu $600 m^3$ sollte der Abstand mindestens 50 cm betragen. Blockieren Sie die Ventile nicht und schränken Sie den Luftstrom durch sie nicht ein.

Die Ventile werden mit 230 V versorgt.

HINWEIS: Der Einbau von Druckausgleichsventilen in falscher Position kann zum Einfrieren und Ausfall der Ventile führen.

QUELLENANGABE

Allen, H.G. (1993): Analysis and Design of Structural Sandwich Panels.

Bogoslovskii, V. N. (1982): Stroitel'naia teplofizika [Wärmephysik im Bauwesen].

Damen, G., Kassel'man, Kh.-F., Polents, R., & Shil'd, E. (1982): Stroitel'naia fizika [Physik im Bauwesen].

Davies, J. M. (2001): Lightweight Sandwich Construction.

DIAB Sandwich-Handbuch - DIAB Gruppe.

Dekhtyar, A. Sh. (1979): Oblegchennye konstruksii metallicheskikh sten promyshlennykh zdaniy [Leichte Konstruktionen von Metallwänden von Industriegebäuden].

EN 14509-2006 (2006): Selbsttragende doppelschalige Metalldämmplatten - Werkmäßig hergestellte Produkte - Spezifikationen.

Keller, P., Lazutin, M., & Ottens, A. (2002): Teplovaia izoliatsiia iz zhestkogo poliuretana: osnovnye svoistva i napravleniia primeneniia v stroitel'stve [Wärmedämmung mit starrem Polyurethan: Haupteigenschaften und Anwendungsbereiche im Bauwesen], Energoberezhnie, 2002, №3.

Koschade, R. (2006): Construction with Factory Engineered Sandwich Panels.

Shtamm, K. & Vitte, Kh. (1983): Mnogosloinye konstruksii [Mehrschichtige Strukturen].

Wiesinger, R. (2009): Sandwich Panels Application Guide.

