

Einsatzbeispiele und Perspektiven: Mechanisch belastbare Vakuum – Dämmelemente im Bauwesen

Dipl.-Ing. Christian Keitzl

ThyssenKrupp tempsafe GmbH, Essener Straße 59, 46047 Oberhausen,
e-mail: keitzl@tk-tempsafe.thyssenkrupp.com , Internet: www.tempsafe.de

1. Einleitung

Die ThyssenKrupp tempsafe GmbH, eine Tochter der ThyssenKrupp Steel AG, beschäftigt sich mit der Herstellung, der Entwicklung und dem Verkauf von mechanisch belastbaren, planparallelen Vakuum – Dämmelementen (VIS) sowie vakuum – isolierten¹⁾ Behältern.

Der nachfolgende Beitrag beschreibt zu Beginn neben allgemeinen Grundlagen aktuelle Anwendungen für den Einsatz innovativer, mechanisch belastbarer Vakuum – Dämmelemente. Es folgen Beispiele aus dem allgemeinen Hochbau. Ferner geht der Beitrag auf zukünftige Entwicklungspotentiale für das Bauwesen ein.

2. Grundlagen

Die Grundlagen der Vakuumisolation für sphärische und zylindrische Behälter sind bereits aus den Bereichen Lagertanks und Transportfahrzeuge für Flüssiggas (tiefgekühlte Gase) bekannt. Einen anderen nahezu täglichen Einsatzfall der Vakuumdämmung zeigt zum Beispiel die Thermoskanne.

Zu diesen bekannten Anwendungen wurden mechanisch belastbare planparallele Dämmelemente, die ähnlichen physikalischen Eigenschaften gehorchten, zur Serienreife entwickelt.

Die Vorteile hierfür liegen auf der Hand:

- **Hohes Energieeinsparpotential**, dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der allgemein erwünschten Reduktion der CO₂ – Emissionen sowie der Einsparung an Primärenergie interessant.

¹⁾ Der Begriff Isolation steht hier, in Anlehnung an die im Kühlraumbau üblichen Sprachregelungen, gleichbedeutend mit dem Begriff Dämmung.

- **Deutlicher Raumgewinn durch Dämmstärkenreduktion**, was bedeutet, dass bei gleichen Außenabmessungen mehr Nutzfläche bzw. mehr Nutzvolumen zur Verfügung steht.
- **Mechanische Belastbarkeit**, eine Eigenschaft, die insbesondere beim rauen Betrieb und Einsatz auf Baustellen ein nicht zu unterschätzender Vorteil ist.
- **Eigenbiegesteifigkeit**, ermöglicht die Lastabtragung in Anlehnung an die Sandwich – Theorie.
- **Hohe Lebensdauer** der Elemente und damit der thermischen und mechanischen Eigenschaften, wobei Lebensdauer hier Zeiträume größer 25 Jahre meint.
- **Geringste Alterungseigenschaften** und zwar dadurch dass man den eigentlichen Dämmstoff durch eine Edelstahlhülle weitestgehend von schädigenden Einflüssen abschirmt.
- **geringe Umweltbeeinflussungen** durch den Herstellprozess
- **Vollständig recyclingfähig**, ein kompletter Materialkreislauf wird durch die einfache Trennung der Komponenten gewährleistet.
- **Einfache Handhabung**, das bedeutet, dass keine Maßnahmen bei dem Transport und der Montage der Elemente erforderlich sind, die über diejenigen, die aus der Baupraxis heraus bekannt sind, hinausgehen.
- **Wirtschaftlichkeit** durch ein günstiges Kosten / Nutzen Verhältnis.

ThyssenKrupp tempsafe hat, neben einer Vielzahl von vakuumisolierten Behältern für die unterschiedlichsten Anwendungen aus den Bereichen Logistik, Lebensmittel-, oder auch der Medizintechnik, planparallele Dämmelemente insbesondere in den Gebieten Fahrzeugbau und Kühlraumbau geliefert.

2.1. Beispiele derzeitiger Einsatzgebiete

Der tempsafe[®] floor, ein mechanisch belastbarer Boden für Kühl- und Tiefkühlräume, beweist täglich seine vielfältigen Einsatzmöglichkeiten auf mehr als 10.000 m² europaweit montierter Elementfläche.



Bilder 1 a, b: Tiefkühlzellen, ausgestattet mit dem tempsafe[®] floor

Die Anforderungen, wie das Befahren mit Hubwagen, kleineren Gabelstaplern oder die Belastungen durch Regale werden durch die Variationsmöglichkeiten der Deckblechstärken bewerkstelligt. Weiterhin sind lastverteilende Maßnahmen wie das Aufbringen von Estrich oder Fahrbeton für die Durchleitung von extremen Lasten realisierbar.

Neben den Edelstahldeckblechen besteht das Paneel aus einem Stützkern aus hochdisperser Kieselsäure oder polymerem Material sowie einem Edelstahl - Profilrahmen und einem verschweißten Evakuieranschluss.

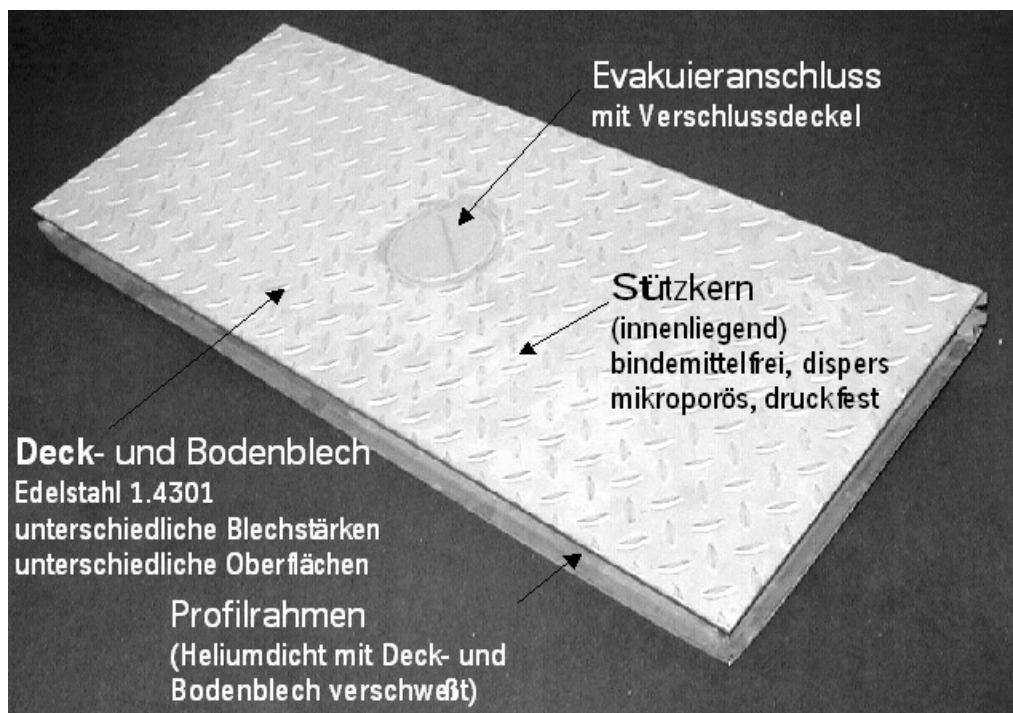


Bild 2: Das tempsafe® element mit seinen Komponenten

Bei maximalen Elementabmessungen von 3.000 x 8.000 mm, also einer Gesamtfläche von bis zu 24 m² lassen sich auch große Flächen optimal unter Ausnutzung der hervorragenden Dämmeigenschaften der Vakuum – Technologie, bei gleichzeitigem Raumabschluss, gestalten und isolieren.

2.2. Die geometrischen und gestalterischen Möglichkeiten

Neben der Ausführung als Rechteck können tempsafe® elements in nahezu beliebiger (planparalleler) Ausführung hergestellt werden: mit Eckwinkeln $\neq 90^\circ$, mit Ausklinkungen, mit rechteckigen und zylindrischen Durchbrüchen (siehe auch Bild 3). Die Deckbleche ermöglichen neben den unterschiedlichen Strukturen und Farbgebungen des Materials Edelstahl die Applikation unterschiedlicher Oberflächenbeschichtungen auf Kundenwunsch: Das Aufbringen von RAL – Ton lackierten Aluminiumblech- oder Stahlblechtafeln ist ebenso möglich, wie das Beschichten mit Einscheibensicherheitsglas.

Auch mineralische Oberflächen wie Sandstein sind für die Außenoberfläche realisierbar ebenso wie z.B. Gipskartonbekleidungen für die Innenoberflächen. Besonders interessant ist die Option der auf den Oberflächen werksseitig aufgeschweißten Schraubbolzen; hiermit lassen sich vielfältige individuelle Konstruktionsvarianten, wie zum Beispiel Geländerbefestigungen auf Bodendämmungen, realisieren.

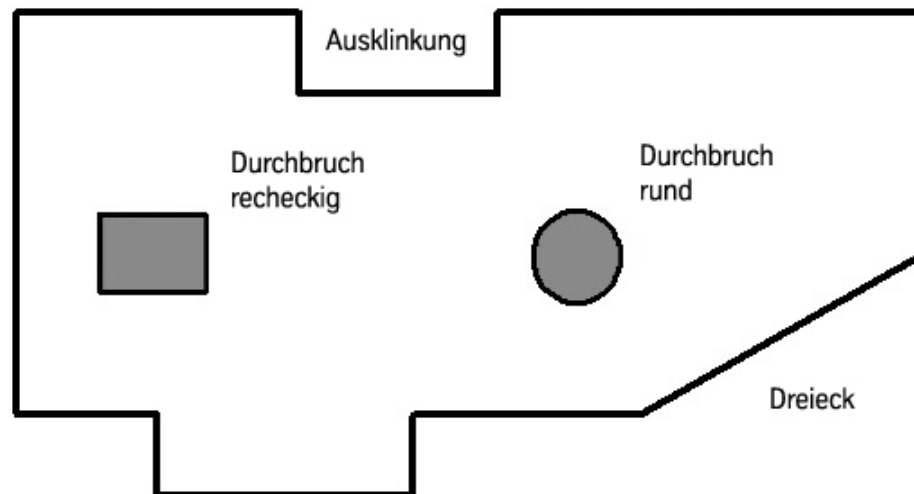


Bild 3: Die geometrischen Möglichkeiten der tempsafe® elements

3. Einsatz im allgemeinen Hochbau

Der Einsatz im allgemeinen Hochbau erstreckt sich für die tempsafe® elements zur Zeit über drei Bereiche:

1. Einsatz als Element mit der primären Funktion Wärmeschutz, zum Beispiel als Dämmung von Loggien oder als allgemeine Dämmung von Böden.
2. Einsatz als Element mit der primären Funktion Wärmeschutz und Lastabtragung, zum Beispiel als raumabschließendes Fassadendämmelement.
3. Einsatz mit der primären Funktion Brandschutz, zum Beispiel als Brandschutztür im Kühlraumbau mit einem U – Wert von 0,19 W/m²K.

3.1. Boden - Dämmsysteme

Innerhalb der Bodendämmung bieten sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten. Als Voraussetzung ist hier die vorwiegend ruhende statische Belastung zu sehen.

Die tempsafe® elements decken die Anforderungen an Bodendämmungen sowohl für den Außen- als auch für den Innenbereich ab.

Am Beispiel einer Loggiendämmung werden nachfolgend die Eigenschaften der tempsafe® elements erläutert.

Die Aufgabenstellung ist häufig eine Aufstockung auf ein bestehendes mehrgeschossiges Wohngebäude. Durch die Energieeinspar – Verordnung (EnEV)

werden, durch den darunter liegenden Wohnraum, schnell Dämmstoffstärken mit herkömmlichen Dämm – Materialien von 200 bis 250 mm, je nach Wärmeleitfähigkeitsgruppe, erforderlich. Dies bedingt eine Stufe vom Wohnbereich auf die Terrassen, worauf der Bauherr gerne verzichten möchte. Mit tempsafe® elements ausgeführte Dämmungen werden lediglich 30 bis 40 mm dick, somit kann auf diesen Antritt verzichtet werden. Gleichzeitig können tempsafe® elements, falls unter ihnen ein Gefälleestrich verlegt wurde, als wasserführende Schicht verwendet werden, da die Edelstahl – Deckbleche wasser- und dampfdiffusionsdicht sind.

Nach dem Verlegen der Elemente sind diese sofort belastbar und können mit unterschiedlichen Belägen wie Betonwerksteinen, Fliesen u.ä. belegt werden. Auch extensive oder intensive Dachbegrünungen sind möglich. Durch das geringe Flächengewicht von 16 bis 40 kg/m² fallen die Elemente innerhalb des Standsicherheitsnachweises kaum ins Gewicht.

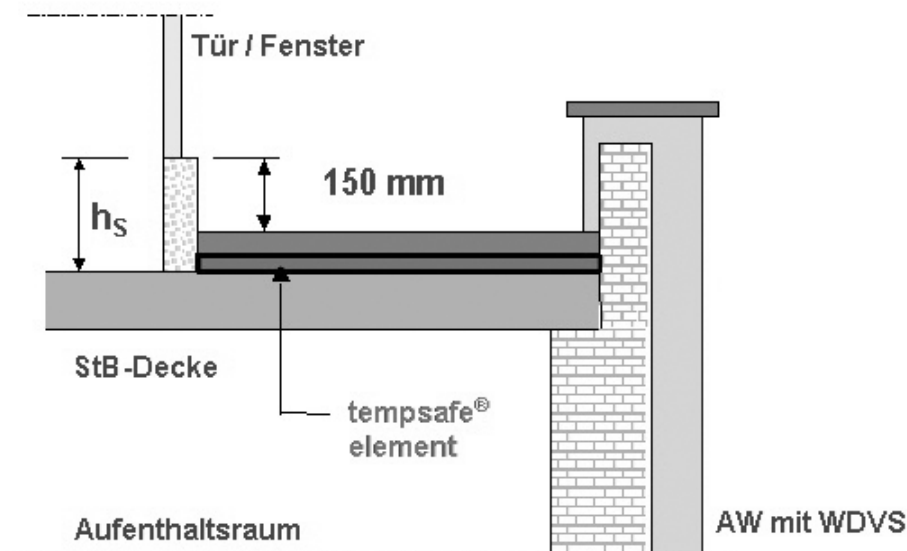


Bild 4: Ausführungsbeispiel Loggia – Dämmung
 h_s (XPS) = 500 mm
 h_s (tempsafe® elements) = 250 mm

Die Montage der Elemente kann durch Handwerksbetriebe erfolgen. Die Abdichtungsarbeiten basieren auf herkömmlichen Details, wobei die Anschlüsse kalt zu verkleben sind. Entsprechende Kaltklebebänder mit den Eignungen zum Verkleben von Edelstahl sind auf dem Markt erhältlich und werden täglich bei der Verarbeitung von Polyurethan – Sandwichelementen eingesetzt.

Das Thema Wärmebrücken wird insbesondere bei mehrteiligen Bodendämmungen immer wieder diskutiert. DIN 4108-2 (04.03) stellt an Wärmebrücken die Anforderungen, dass zur Vermeidung von Schimmelpilzen ein Temperaturfaktor von $f_{RSI} \geq 0,7$ bei einer gleichzeitig festgelegten minimalen inneren Oberflächentemperatur von $\theta_{si} \geq 12,6 \text{ °C}$ mindestens einzuhalten ist. Innerhalb der

Berechnung ist für die Innenlufttemperatur θ_i 20°C und für die Außenlufttemperatur θ_e –5°C anzusetzen.

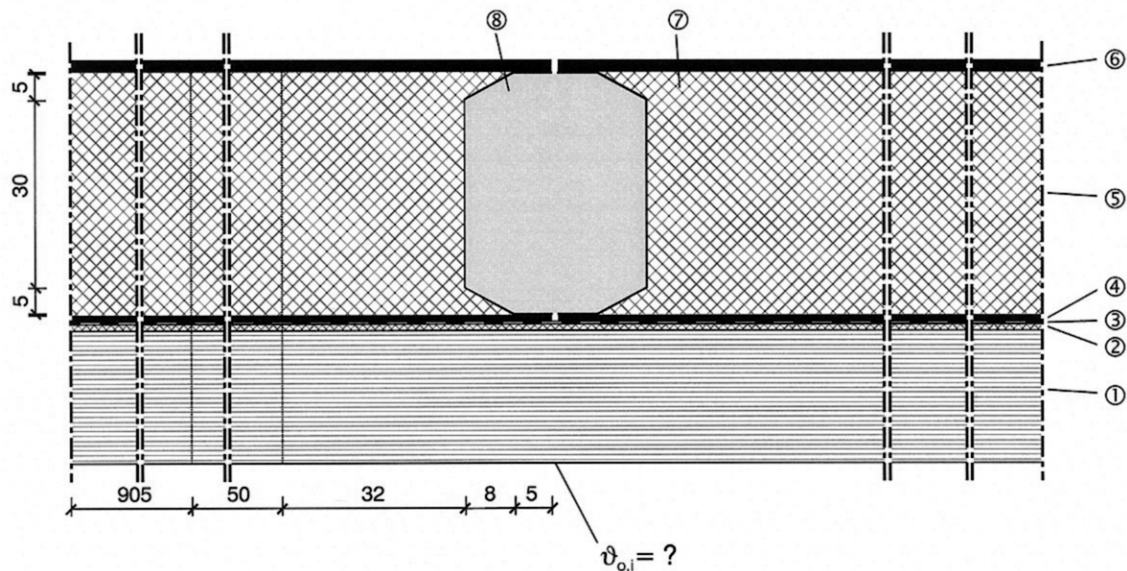
FEM – Berechnungen für eine Leichtbaukonstruktion nach Bild 5 haben gezeigt, dass Taupunktunterschreitungen unabhängig vom verwendeten Material innerhalb der Fuge, selbst bei ungünstigeren Konstellationen als den oben beschriebenen ($\theta_{e, \text{Simulation}} = -10^\circ\text{C}$) nicht eintreten.

Im unten gezeigten Fall wurde das Formteil, dass als Fugenprofil dient, mit einer veränderten Wärmeleitfähigkeit versehen. Die Berechnungen wurden beispielhaft für PVC und für Polyurethan durchgeführt.

In der Gegenüberstellung ergaben sich bei Innentemperaturen von +20°C und Außentemperaturen von –10°C Taupunkttemperaturen bei Klimarandbedingungen nach DIN 4108-3 (07.01) von 9,3 °C.

Die errechneten minimalen inneren Oberflächentemperaturen lagen bei 16,06°C ($>\theta_{si} = 12,6^\circ\text{C}$) für ein PVC – Profil und bei 16,74 °C ($>\theta_{si} = 12,6^\circ\text{C}$) für ein PUR – Profil.

Für f_{RSI} ergibt sich mit dem schlechteren Ansatz der raumseitigen Oberflächentemperatur aus der FEM – Simulation ($\theta_{e, \text{Simulation}} = -10^\circ\text{C}$ anstatt $\theta_e = -5^\circ\text{C}$) von $\theta_{si} = 16,06^\circ\text{C}$ ein Faktor von 0,842, gegenüber $f_{RSI, \text{erf.}}$ von 0,7.



- ① BFU-Platte, d = 22 mm, $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$
- ② Vlies, d = 1 mm, $\lambda = 0,20 \text{ W/mK}$
- ③ PE-Folie, d = 0,25 mm, $\lambda = 0,30 \text{ W/mK}$
- ④ Edelstahl 1.4301, d = 1 mm, $\lambda = 17 \text{ W/mK}$
- ⑤ evakuierter Stützkern, d = 40 mm, $\lambda = 0,0052 \text{ W/mK}$
- ⑥ Edelstahl 1.4301, d = 2 mm, $\lambda = 17 \text{ W/mK}$
- ⑦ Randverbund Edelstahl 1.4301, d = 0,3 mm, $\lambda = 17 \text{ W/mK}$
- ⑧ Formteil, $\lambda = 0,17 \text{ W/mK}$

Bild 5: Detail einer Dachterrasse in Leichtbaukonstruktion mit tempsafe® – Dämmung (nicht dargestellt ist der oberseitige Aufbau sowie die oberseitige Abdichtung), Quelle: Ruhr-Universität Bochum, Numerische Berechnung zur Temperaturverteilung und Wärmebrückenwirkung, April 2003 (nicht veröffentlicht)

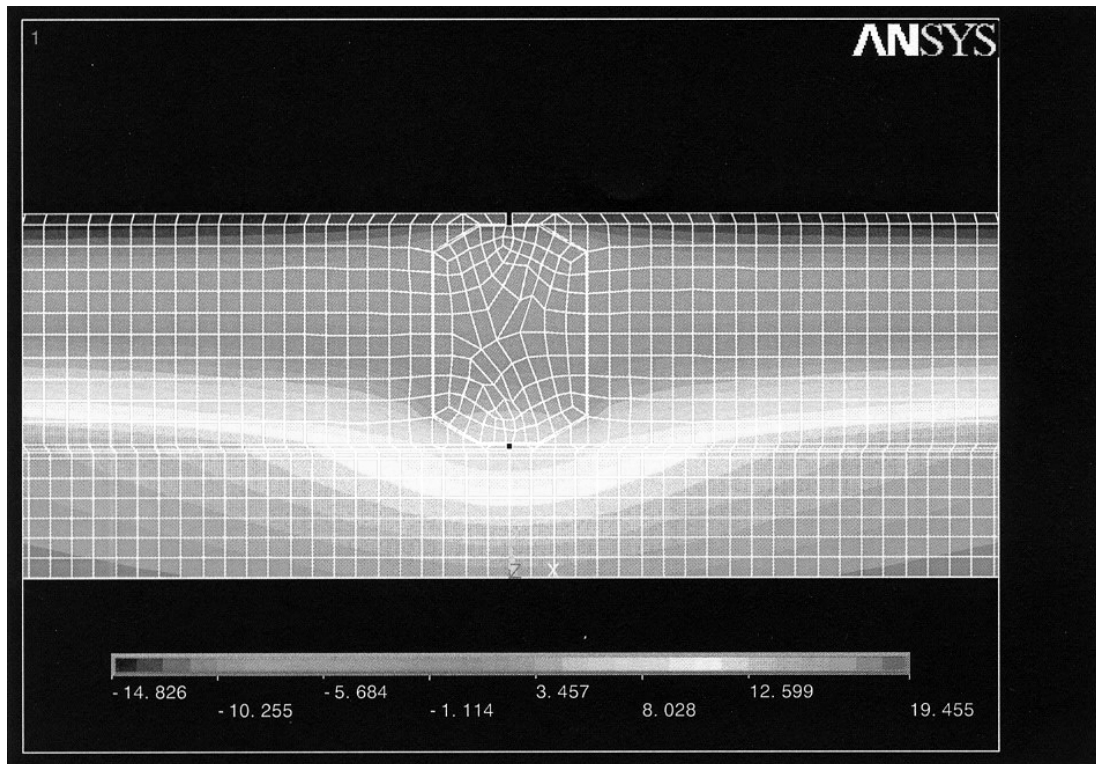


Bild 6: Temperaturverlauf der Dachterrasse mit tempsafe® – Dämmung und Fugenformteil aus Polyurethan (Konstruktion gemäß Bild 5), Quelle: Ruhr-Universität Bochum, Numerische Berechnung zur Temperaturverteilung und Wärmebrückenwirkung, April 2003 (nicht veröffentlicht)

Ein weiterer Einsatzfall ist eine höhengleiche Gebäudeerweiterung zum Beispiel an Altbauten bei gleichzeitiger Integration einer elektrischen Fußbodenheizung. Mit einer Konstruktionshöhe von lediglich 26 mm oberhalb des Rohfußbodens inklusive eines Bodenbelages (im gezeigten Beispiel Fliesen, Bild 8) lassen sich durch den Einsatz von mechanisch belastbaren Vakuumdämmelementen raumsparende Flächenheizungen realisieren, die sich durch extrem kurze Reaktionszeiten auszeichnen.

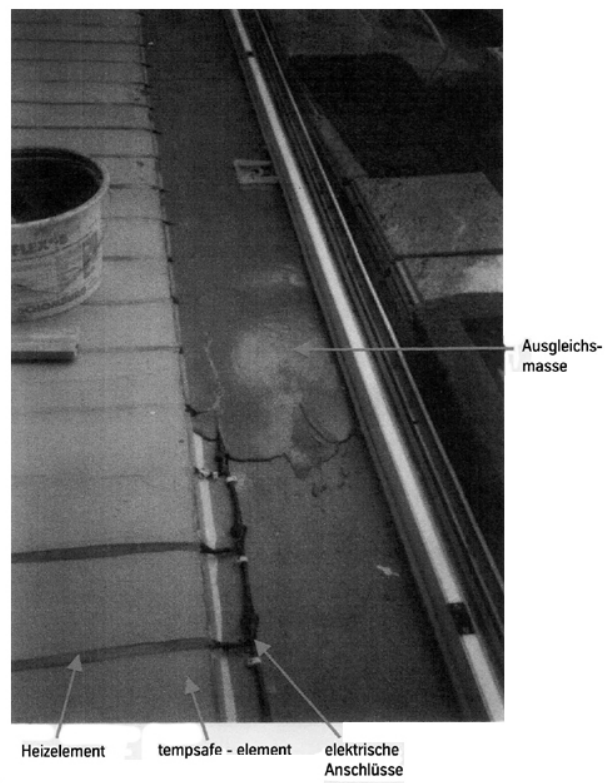


Bild 7: Gebäudeerweiterung mit Fußbodenheizung und Dämmung durch tempsafe® elements mit einem Konstruktionsaufbau von 26 mm

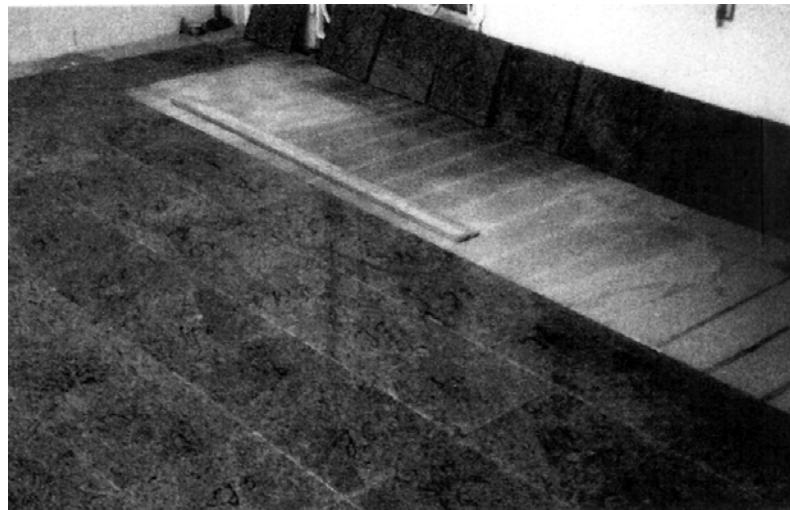


Bild 8: Gebäudeerweiterung aus Bild 7 kurz vor der Fertigstellung

4. Fassadendämmung

tempsafe® elements können ebenfalls als lastabtragende Elemente zur Dämmung der Gebäudehülle eingesetzt werden. Die Möglichkeiten der optischen und geometrischen Gestaltung wurden bereits angesprochen. Die Elemente werden in eine Pfosten – Riegel – Konstruktion integriert.

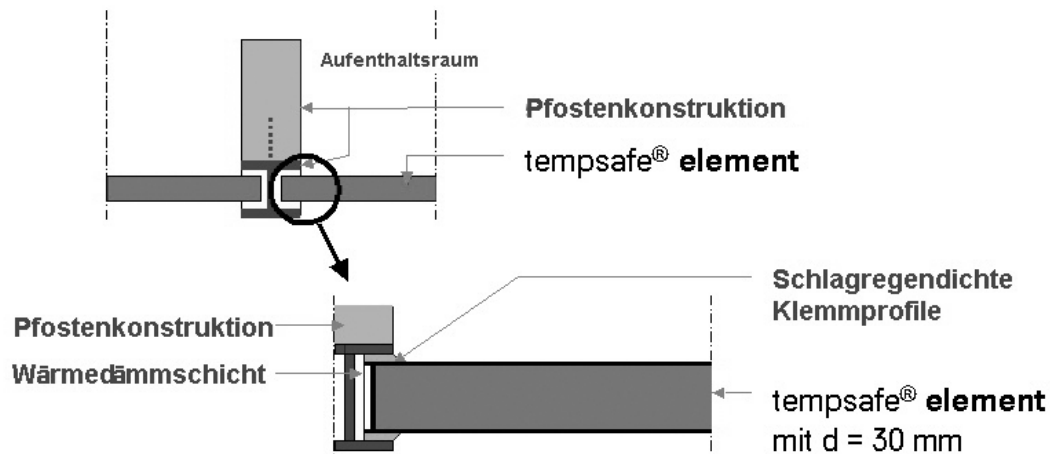


Bild 9: Konstruktionsbeispiel tempsafe® element in Pfosten – Riegel - Konstruktion

Bei einer solchen Anwendung lasten auf den Elementen, die hier als Platten ausgebildet sind, Windsog- und Winddruckkräfte sowie die sich aus den Temperaturdifferenzen ergebenden Verformungen. Die Bemessung der Elemente geht auf die Sandwich- oder auch Verbundtheorie zurück. Dies gilt für die evakuierten Elemente. Für den Fall einer unplanmäßigen Belüftung eines Elementes wird das äußere Deckblech als Membran bemessen, so dass die Tragfähigkeit bis zur Instandsetzung erhalten bleibt.



Bilder 10 a, b: tempsafe® elements als Fassadendämmelemente

5. Einsätze im Brandschutz und Türenbau

Brandschutzprüfungen im Rahmen einer Zulassung beim Material – Prüfamts NRW, haben gezeigt, dass die tempsafe® elements, ausgestattet mit einem Stützkern aus hochdisperser Kieselsäure Temperaturdifferenzen von nahezu 1000 K über einen Zeitraum von mehr als 90 min. widerstehen. Im überprüften Fall wurde eine Brandschutztüre für Tiefkühlräume (Betriebstemperatur – 28°C) gemeinsam mit der ems-Isoliertüren Mickleit GmbH & Co.KG entwickelt, deren Kernkomponente ein tempsafe® element ist.



Bild 11: Die T90 – Brandschutztüre eingebaut in die Prüfkammer

Diese Brandschutztüre hat die Feuerwiderstandsklasse T90 nach DIN 4102 Teil 5 erhalten.

Die unten stehende Grafik verdeutlicht nochmals die Versuchsbedingungen.

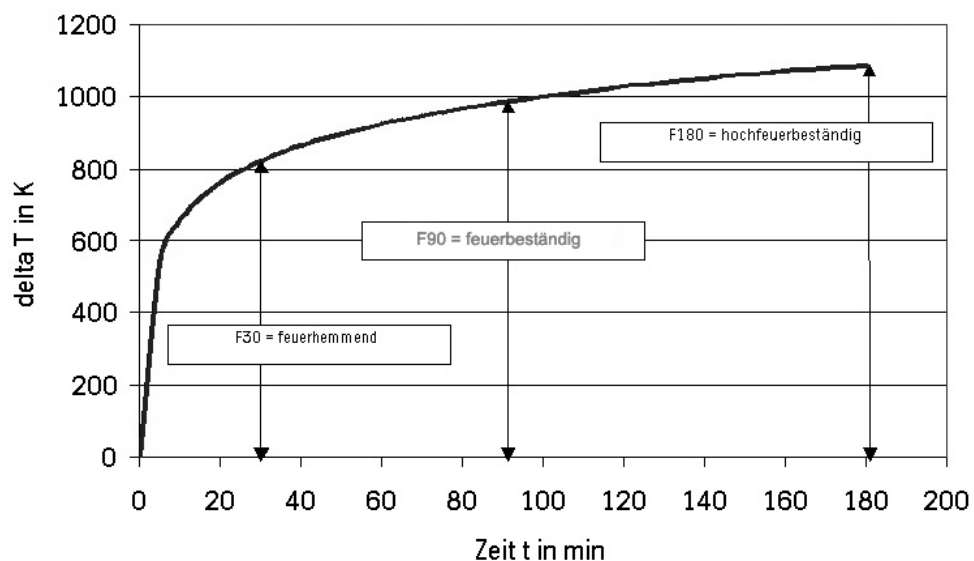


Bild 12: Brandverlauf, dargestellt an der Einheitstemperaturkurve (ETK), Versuchsbedingungen der T90 Kühlraum - Brandschutztüre

Neben Brandschutztüren lassen sich tempsafe® elements auch als hoch wärmedämmende Türfüllungen in Haustüren verwenden. Hier können wieder die unterschiedlichen Varianten der Oberflächenbeschichtungen zum tragen kommen. Durch eine beidseitig aufgeklebte Holzschicht bestehen zum Beispiel für den Schreiner die gleichen Möglichkeiten der handwerklichen Aufbereitung einer hochwertigen Eingangstüre wie im herkömmlichen Türenbau, mit den Vorteilen einer optimalen Wärmedämmung und der, durch die Edelstahldeckschichten gleichzeitig mitgelieferten, einbruchhemmenden Wirkung.

6. Perspektiven

Die denkbaren Anwendungen im allgemeinen Hochbau sind noch weitaus vielfältiger als dies im Rahmen dieses Beitrags beschrieben werden kann. Die Überlegungen gehen heute dahin, dass tempsafe® elements als Kerndämmung in Betonfertigteilen oder auch als gleichzeitig dämmendes und aussteifendes Element in der Holz – Ständer – Bauweise (Scheibe) eingesetzt werden. Insbesondere im Passivhausbau können dann die Holzständer auf das statisch erforderliche Maß reduziert werden, da die Zwischenräume nicht mehr Raum für etwa 400 mm Mineralwolle bieten müssen. Um den Einsatz im Bauwesen aus der Phase der “Zustimmung im Einzelfall” ausgewählter Objekte in die Serienphase zu überführen, hat ThyssenKrupp tempsafe zwei allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen beim DIBt in Berlin beantragt. Die erste Zulassung soll den Einsatz der tempsafe® elements als Wärmedämmelement mit vorwiegend ruhender Beanspruchung, wie bei den Bodendämmungen beschrieben, reglementieren. Die zweite Zulassung beinhaltet die unter dem Absatz Fassadendämmung erläuterten Anforderungen, wobei diese Zulassung den Einsatz als Ein- und Mehrfeldträger beschreiben wird. Abschließende Prüfanweisungen, die durch die entsprechenden Sachverständigen – Ausschüsse beim DIBt erlassen werden, liegen noch nicht vor. Dennoch werden weitere Versuche, in enger Abstimmung mit den Instituten, durchgeführt. Nur die Erteilung allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen wird den größeren Einsatz der Vakuum - Dämmtechnik im Bauwesen ermöglichen.

7. Zusammenfassung

Es werden einige beispielhafte Anwendungen aus den Bereichen des allgemeinen Hochbaus und aus dem Bereich des Kühlraumbaus dargestellt. Diese Beispiele zeigen, dass mechanisch belastbare Vakuumdämmelemente den Anforderungen des Hochbaus gerecht werden, wenn nicht sogar, vor dem Hintergrund heutiger Normen und Gesetzgebungen, über die Anforderungen hinausgehen. Bauphysikalisch optimierte Details sowie statische Bemessungsverfahren wurden und werden entwickelt und an Zulassungen wird gearbeitet, um die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der mechanisch belastbaren Vakuumdämmelemente einem breiten Markt zur Verfügung zu stellen.

Literaturhinweise

- DIN 4102-1 (05.98): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- DIN 4108-2 (04.03): Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- DIN 4108-3 (07.01): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- Keitzl, Ch.: Die Vakuum – Isolationstechnik, DKV Vortrag, Berlin, November 2002
- Keitzl, Ch.: Einsatzmöglichkeiten der Vakuum – Isolationstechnik in der Kühlkette, DKV Tagungsbericht 2002, Magdeburg, November 2002
- Ruhr-Universität Bochum, Numerische Berechnung zur Temperaturverteilung und Wärmebrückenwirkung, April 2003 (nicht veröffentlicht)
- Berner K.: Gutachten (Nr. Z-29) über das Tragverhalten von VIS – Elementen im Rahmen von Voruntersuchungen, März 2002 (nicht veröffentlicht)
- Fachhochschule Mainz, Prüfbericht No. 400221-04, Voruntersuchung der Traglastfähigkeit von Vakuum Dämmelementen (VIS – Elementen), Februar 2002 (nicht veröffentlicht)
- Materialprüfungsamt NRW, Außenstelle Erwitte, Prüfbericht Nr. 23002307 von Dezember 2001 (nicht veröffentlicht)
- Nowara, E., Keitzl, Ch., Willems, W.: Hinweise zur Handhabung von Vakuum-Dämmelementen der tempsafe®-Serie (Datenblatt), Emden / Oberhausen, August 2002
- Nowara, E., Willems, W., Keitzl, Ch.: Vorgehensweise bei der Instandsetzung von Vakuum-Dämmelementen der tempsafe®-Serie (Datenblatt), Emden / Oberhausen, August 2002
- Ruhr-Universität Bochum, KIB VI – Bereich Konstruktionsteilprüfung, Prüfzeugnis Nr. A-38/2001 vom 28. Februar 2002 (nicht veröffentlicht)
- Ruhr-Universität Bochum, KIB VI – Bereich Konstruktionsteilprüfung, Prüfzeugnis Nr. A-18/2002 vom 18. April 2002 (nicht veröffentlicht)
- Willems, W., Nowara, E.: Neue Wege in der Gebäudedämmung, 7. Internationale Passivhaustagung, 21. und 22. Februar 2003 in Hamburg, Berichtband Seiten 557 bis 564
- Willems, W., Keitzl, Ch., Nowara, E.: Vakuum – hocheffiziente Wärmedämmung der Gebäudehülle, BDB-Nachrichten, Heft 4/2002 Seiten 49 und 50, München, 2002