

Das solarthermisch aktivierte Fassadenpaneel (STAF Paneel)

Pflichtenheft

Arbeitspaket 1: A.T1.1

Leistung: D.T1.1.1 Pflichtenheft

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
1. PFLICHTENHEFT - ENTWICKLUNG EINES SOLARTHERMISCH AKTIVIERTEN FASSADENPANEELS .	1
1.1. Ausgangspunkt	1
1.2. Entwicklungsansatz	1
1.3. Konzept STAF-Paneel.....	2
2. BAUTECHNISCHE BETRACHTUNGEN	3
2.1. Baurechtliche Grundlagen	3
2.2. Baugesetzliche Anforderungen lt. OIB-Richtlinien:	7
2.3. Hochbautechnische Anforderungen	18
2.4. Architektonische Anforderungen	21
3. THERMISCHE BETRACHTUNGEN	23
3.1. Wärmetechnische Anforderungen	23
3.2. Funktionsweise des STAF Paneels	23
3.3. Spezifikation des Mediums (Fluids)	24
3.4. Kollektor Wirkungsgrad	25
3.5. Fluidkanalführung und Kanalquerschnitte	26
3.6. Beschichtungen für den Absorber des STAF Paneels	30
3.7. Abdeckungen für den Absorber des STAF Paneels.....	30
3.8. Ausrichtung des STAF Paneels.....	30
3.9. Maximaler Wärmeunterschied	31
3.10. Integration von Photovoltaik (hybride Anwendung, PV/T)	31
3.11. Anwendungsbereiche.....	31
4. UMFORMTECHNISCHE BETRACHTUNGEN	32
4.1. Prozessbeschreibung – Roll-Bonding	33
4.2. Aufbau / Entwicklung eines geeigneten FEM-Modells	35
4.3. Ermittlung Materialkennwerte für die Umformsimulation.....	37
4.4. Bauteilauslegung STAF-Paneel	38
LITERATURVERZEICHNIS	39
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	41

1. Pflichtenheft - Entwicklung eines solarthermisch aktivierten Fassadenpaneels

Das Pflichtenheft ist ein Dokument, in dem die folgenden Parameter für die Herstellung des solarthermisch aktivierten Fassadenpaneels (STAF Paneel) erarbeitet werden:

Aktueller Stand der Technik; Gebäudehüllen aus metallischen Werkstoffen mit dem Schwerpunkt Aluminium und seinen im Bauwesen üblichen Legierungen; Bauphysik: Wärmeschutz, Feuchtschutz, Schallschutz, Brandschutz, Luftdichtigkeit; Fassadentechnik: Befestigung, Unterkonstruktion, Verbindungstechniken für das Fügen der Paneele untereinander, Öffnungen (Fenster, Entrauchung); Tragverhalten des Paneels unter verschiedenen Lasteinwirkungen, Beschichtungen (architektonische und solarthermische Anforderungen), Schutzschichten; Relevante Normen und Richtlinien; Lebenszyklusanalyse des Paneels; Energieausbeute pro m² Fassadenelement, Grad der Energienutzung (instationäre Berechnung Sommer / Winter), Randbedingungen für Standortklima; Heizung und Kühlung des Gebäudes in Verbindung mit einer Wärmepumpe; Unterstützung für die Warmwasserbereitung des Gebäudes.

Das Pflichtenheft ist die Grundlage für die Umsetzung der nächsten Aktivitäten.

1.1. Ausgangspunkt

Traditionell sind Sandwichpaneele im Bauwesen - vor allem im Industrie- und Kühlhausbau - millionenfach eingesetzte, kostengünstige, montagefertige Elemente zur Bildung der thermischen Gebäudehülle im Wand- und Dachbereich. Die dabei verwendeten Sandwichkonstruktionen bestehen aus einem Dämmkern, zumeist aus geschäumtem Polyurethan (PU), seltener aus Mineralwolle (MW) oder expandiertem Polystyrol (EPS), und zwei dünnen, metallischen Deckschichten aus Stahl- oder Aluminiumblechen.

1.2. Entwicklungsansatz

Die teilweise Erschließung o.a. Paneelflächen zur solaren Energiegewinnung an der Außenseite einerseits, sowie die thermische Konditionierung (Heizen oder Kühlen) der Innenräume andererseits, stellt die zentrale Idee des Interreg-Projektes „ABS network“ dar (Abb. 1). Dabei entspricht die Entwicklung von Lösungen zur Integration energieumwandelnder Systeme in der Gebäudehülle (Stichwort „Solarfassaden“) bei gleichzeitiger Berücksichtigung architektonischer Aspekte den aktuellen Trends im modernen Fassadenbau. Durch funktional überzeugende und gestalterisch anspruchsvolle Sandwichfassaden können neben dem klassischen Industriebau auch weitere Anwendungsgebiete, wie z.B. Bürobau, Wohnbau, Schulbau etc., erschlossen werden.

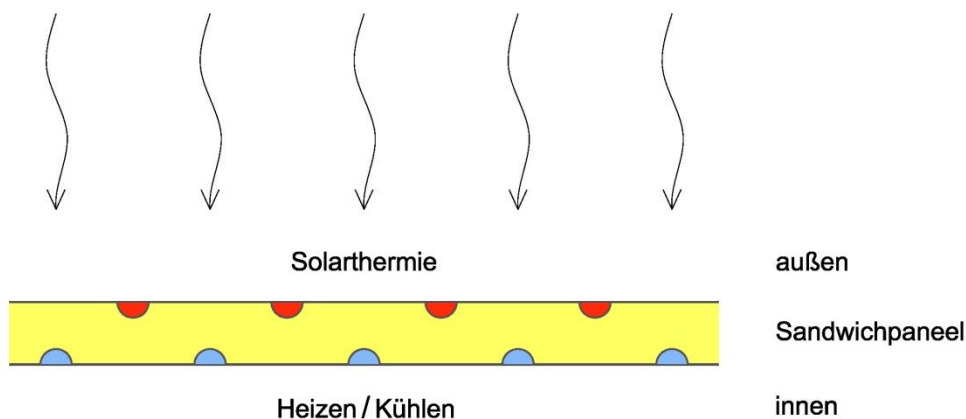


Abb. 1: Sandwichpaneel mit Fluidkanälen zur Energieernte an seiner Außenseite und Konditionierung der Innenräume an seiner Innenseite.

1.3. Konzept STAF-Paneel

Zum Zweck der energetischen Aktivierung werden die äußeren metallischen Deckschichten eines Sandwichpaneels durch Umformung derart modifiziert, dass sich exakt definierte Hohlräume - sog. Fluidkanäle - ausbilden (Abb. 2). Als „state of the art“ ist gegenwärtig die Methode des „Roll-Bonding“ zu bezeichnen - ein spezielles Verfahren der Blechumformung, welches seitens der Fa. Talum zur Produktion von Verdampfern für Kühlschränke (Roll-bond Evaporatoren), aber auch zur Herstellung von Absorberplatten für Flachkollektoren eingesetzt wird.

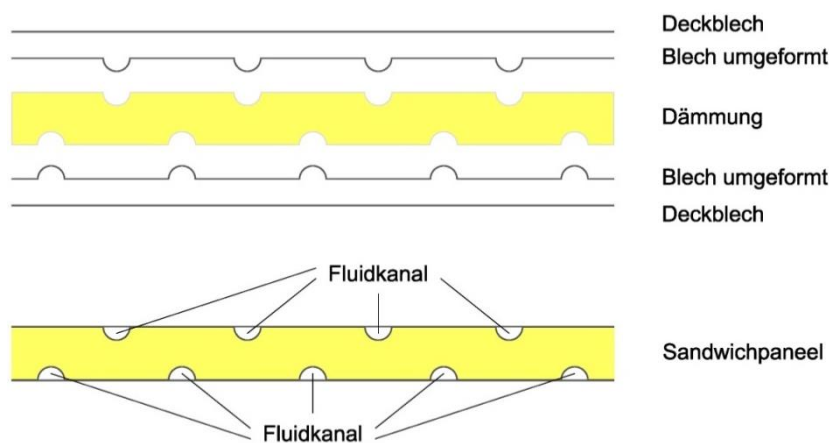


Abb. 2: Aufbau Sandwichpaneel (vier Bleche): jeweils ein ebenes und ein umgeformtes Deckblech bilden die Fluidkanäle aus

2. Bautechnische Betrachtungen

2.1. Baurechtliche Grundlagen

Zur Sicherstellung einer gleichbleibend hohen Qualität von Bauwerken – im Falle des STAF-Paneels ist hier speziell die Gebäudehülle (Dach und Wand) gemeint – muss eine Vielzahl von Anforderungen erfüllt werden. Diese sind (geordnet nach Priorität) in EU-Verordnungen, EU-Richtlinien, nationalen Gesetzen, europäischen und nationalen Normen sowie technischen Regelwerken (z.B. Fachregeln oder Fachinformationen) festgeschrieben. Darüber hinaus können auch noch spezielle Vereinbarungen als zusätzliche Anforderungen zwischen den Vertragsparteien (z.B. Käufer und Verkäufer) vereinbart werden.

EU-Verordnung:

Eine EU-Verordnung ist ein Rechtsakt der Europäischen Union mit allgemeiner Gültigkeit und unmittelbarer Wirksamkeit in den Mitgliedstaaten. Im Bereich des Bauwesens ist in diesem Zusammenhang die EU-Bauprodukteverordnung zu nennen, welche EU-weit harmonisierte Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten schafft. Bevor ein Bauprodukt auf dem Markt der EU bereitgestellt wird, muss eine sogenannte "Leistungserklärung" erstellt werden, wenn das Bauprodukt von einer "harmonisierten Norm" erfasst ist oder dafür eine "Europäische Technische Bewertung" ausgestellt wurde.

In der EU-Bauproduktenverordnung vom 09. März 2011 werden im Anhang 1 die Grundanforderungen für Bauwerke (Schutzziele) wie folgt definiert [1]:

Bauwerke müssen als Ganzes und in ihren Teilen für deren Verwendungszweck tauglich sein, wobei insbesondere der Gesundheit und der Sicherheit der während des gesamten Lebenszyklus der Bauwerke involvierten Personen Rechnung zu tragen ist. Bauwerke müssen diese Grundanforderungen an Bauwerke bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllen.

- Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- Brandschutz
- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung
- Schallschutz
- Energieeinsparung und Wärmeschutz
- Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

Umsetzung in nationalen Gesetzen:

Zuständig für die Bauordnungen und eine Reihe damit zusammenhängender Regelungen sind in Österreich die neun Bundesländer, was in der Vergangenheit dazu geführt hat, dass sich die

bautechnischen Vorschriften je nach Bundesland stark voneinander unterschieden haben (Standortabhängigkeit).

Zur Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften wurden vom Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) als Koordinierungsplattform der österreichischen Bundesländer auf dem Gebiet des Bauwesens, die sog. OIB-Richtlinien herausgegeben. Diese sind entsprechend den Grundanforderungen für Bauwerke der Bauproduktenverordnung gegliedert. Lediglich für die Grundanforderung „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ gibt es keine OIB-Richtlinie. Die Bundesländer können die OIB-Richtlinien in ihren Bauordnungen für verbindlich erklären, was bereits in allen Bundesländern der Fall ist. Von den OIB-Richtlinien kann jedoch gemäß den Bestimmungen in den diesbezüglichen Verordnungen der Bundesländer abgewichen werden, wenn der Bauwerber nachweist, dass ein gleichwertiges Schutzniveau erreicht wird, wie bei Einhaltung der OIB-Richtlinien. Dies soll die notwendige Flexibilität für innovative architektonische und technische Lösungen sicherstellen [2].

EU-Richtlinien:

Im Gegensatz zu EU-Verordnungen sind EU-Richtlinien nicht unmittelbar wirksam und verbindlich, sondern sie müssen durch nationale Rechtsakte umgesetzt werden, um wirksam zu werden. Es bleibt den einzelnen Mitgliedstaaten überlassen, wie sie die Richtlinien umsetzen. Sie haben also bei der Umsetzung der Richtlinie einen gewissen Spielraum. Wenn die Richtlinie allerdings die Einführung konkreter Berechtigungen oder Verpflichtungen verlangt, muss das nationalstaatliche Recht, das ihrer Umsetzung dient, entsprechend konkrete Berechtigungen oder Verpflichtungen begründen.

Im Bereich des Bauwesens ist in diesem Zusammenhang die EU-Gebäuderichtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – auch bekannt als Energieeffizienzrichtlinie oder EU-Gebäuderichtlinie – zu nennen [3]. Da innerhalb der Europäischen Union ungefähr ein Drittel des Energieeinsatzes in den Gebäudebereich fließt (in die Raumwärme bzw. Raumkühlung, die Warmwasserbereitung und Beleuchtung) soll die EU-Gebäuderichtlinie dazu beitragen, die Energieeffizienz von Gebäuden zu erhöhen. Die EU hat es sich zum Ziel gesetzt, bis 2020 zwanzig Prozent ihres Primärenergieverbrauchs einzusparen. Zur Erreichung dieses Zieles muss auch der Energieverbrauch in Gebäuden europaweit gesenkt werden. Die Richtlinie enthält Anforderungen hinsichtlich der

- Methoden zur Berechnung der integrierten Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
- Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz neuer Gebäude
- Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz bestehender großer Gebäude, und von Gebäuden, die einer größeren Renovierung unterzogen werden sollen
- Erstellung von Ausweisen über die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes (Energieausweise)
- regelmäßigen Inspektionen von Heizkesseln und Klimaanlage in Gebäuden und einer Überprüfung der gesamten Heizungsanlage, wenn deren Kessel älter als 15 Jahre sind.

Nur wenige Jahre nach ihrer Kundmachung wurde die EU-Gebäuderichtlinie 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden überarbeitet und eine neue sog „Gebäuderichtlinie“ 2010/31/EU verabschiedet [4]. Die Richtlinie enthält folgende neue Anforderungen

- Festlegung einer Berechnungsmethode
- Mindestanforderungen für neue und bestehende Gebäude und gebäudetechnische Systeme
- Festlegung, dass ab 2020 nur mehr Niedrigstenergiegebäude errichtet werden dürfen
- Kostenoptimum als Schlüsselkriterium
- Vorbildfunktion der öffentlichen Stellen
- Qualifikation der Institutionen, die Ausweise ausstellen und Überprüfungen vornehmen, Einführung eines unabhängigen Kontrollsystems
- Anpassung an den technischen Fortschritt, Sanktionen

Umsetzung in nationalen Gesetzen:

Das Österreichische Institut für Bautechnik hat zur Gebäuderichtlinie 2010/31/EU die OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz in der Ausgabe von 2015 sowie das OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem Nationalen Plan erarbeitet. Die Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie erfolgte durch Gesetze des Bundes und der Bundesländer. Beispielsweise wurden die OIB-Richtlinien in den jeweiligen Landesbauordnungen für verbindlich erklärt.

Während Gesetze oder Verordnungen stets zielorientierte Anforderungen (z.B. Schutzziele) definieren, so enthalten die OIB-Richtlinien Leistungsanforderung auf technischer Ebene, jedoch keine vorgeschriebenen Ausführungsmethoden oder -lösungen. Diese werden vielmehr durch Normen und sonstige technische Regelwerke definiert. [5]

Europäische und nationale Normen:

Eine ÖNORM ist eine von Austrian Standards Institute veröffentlichte nationale Norm. Bei ÖNORMEN sind freiwillige Standards, die in Normungsgremien (Komitees) bei Austrian Standards Institute erarbeitet werden. Angeregt wird ihre Entwicklung entweder durch interessierte Kreise, oder sie werden im Rahmen der europäischen und internationalen Normung (z.B. CEN, ISO) als nationale Norm übernommen. ÖNORMEN werden von Austrian Standards Institute herausgegeben.

Hinsichtlich der Planung, Herstellung, Montage und Betrieb des STAF-Paneels sind die folgenden (österreichischen und übernommenen europäischen) Normen und Fachregeln in der jeweils aktuellen Fassung zu beachten:

- ÖN EN 1990: Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung
- ÖN B 1990: Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung - nationale Festlegungen und Ergänzungen
- ÖN EN 1991: Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke
- ÖN B 1991: Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - nationale Festlegungen und Ergänzungen
- ÖN EN 1998: Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
- ÖN B 1998: Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - nationale Festlegungen und Erläuterungen

- ÖN EN 1999: Eurocode 9 - Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen
- ÖN B 1999: Eurocode 9 - Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen - nationale Festlegungen, Erläuterungen und Ergänzungen
- ÖN EN 1090: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken
- ÖN B 2110: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen - Werkvertragsnorm
- ÖN B 2221: Bauspenglerarbeiten - Werkvertragsnorm
- ÖN B 2225: Metallbauarbeiten, Herstellung von Stahl- und Aluminiumtragwerken sowie Korrosionsschutzarbeiten - Werkvertragsnorm
- ÖN B 2230-1: Maler- und Beschichtungsarbeiten - Teil 1: Beschichtung auf Holz- und Holzwerkstoffe, Metall, Kunststoff, Mauerwerk, Putz, Beton und Leichtbauplatten – Werkvertragsnorm
- ÖN B 3419: Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen
- ÖN B 3521-1: Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen aus Metall - Teil 1: Bauspenglerarbeiten - handwerklich gefertigt
- ÖN B 6000: Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe für den Wärme- und/oder Schallschutz im Hochbau - Produktarten, Leistungsanforderungen und Verwendungsbestimmungen
- ÖN B 8110: Wärmeschutz im Hochbau
- ÖN B 8115: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau
- ÖN DIN 18202: Toleranzen im Hochbau - Bauwerke
- ÖN EN 508: Dachdeckungs- und Wandbekleidungsprodukte aus Metallblech - Spezifikationen für selbsttragende Bedachungsprodukte aus Stahlblech, Aluminiumblech oder nichtrostendem Stahlblech
- ÖN EN 1264: Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung
- ÖN EN 12828: Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen
- ÖN EN 12975: Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kollektoren
- ÖN EN 13162: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) - Spezifikation
- ÖN EN 13165: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Polyurethan-Hartschaum (PU) – Spezifikation
- ÖN EN 13501: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
- ÖN EN 14509: Selbsttragende Sandwich-Elemente mit beidseitigen Metalldeckschichten - Werkmäßig hergestellte Produkte - Spezifikationen
- ÖN EN 14782: Selbsttragende Dachdeckungs- und Wandbekleidungselemente für die Innen- und Außenanwendung aus Metallblech - Produktspezifikation und Anforderungen
- Fachregel für Bauspenglerarbeiten Teil 2: Dacheindeckungen und Wandverkleidungen (Wandeindeckungen) aus großformatigen, industriell gefertigten Metallelementen

2.2. Baugesetzliche Anforderungen lt. OIB-Richtlinien:

Wärmeschutz:

Betreffend die wärmetechnischen Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile legt die OIB-RL 6:2015 (Abb. 3) bei Neubauten für Wände gegen Außenluft einen maximal zulässigen Wärmedurchlasskoeffizienten von $U_{\max, \text{zul.}} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ fest. Für Dächer (Steildächer, Flachdächer etc.) wird hingegen die Einhaltung eines maximal zulässigen Wärmedurchlasskoeffizienten von $U_{\max, \text{zul.}} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ vorgeschrieben. Dachschrägen, die einen Neigungswinkel von mind. 60° gegenüber der Horizontalen aufweisen, werden hinsichtlich des einzuhaltenden maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten als Wände definiert [6].

	Bauteil	U-Wert [W/m ² K]
1	WÄNDE gegen Außenluft	0,35
2	WÄNDE gegen unbeheizte oder nicht ausgebaute Dachräume	0,35
3	WÄNDE gegen unbeheizte, frostfrei zu haltende Gebäudeteile (ausgenommen Dachräume) sowie gegen Garagen	0,60
4	WÄNDE erdberührt	0,40
5	WÄNDE (Trennwände) zwischen Wohn- oder Betriebseinheiten oder konditionierten Treppenhäusern	0,90
6	WÄNDE gegen andere Bauwerke an Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenzen	0,50
7	WÄNDE kleinflächig gegen Außenluft (z.B. bei Gaupen), die 2 % der Wände des gesamten Gebäudes gegen Außenluft nicht überschreiten, sofern die ÖNORM B 8110-2 (Kondensatfreiheit) eingehalten wird	0,70
8	WÄNDE (Zwischenwände) innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	–
9	FENSTER, FENSTERTÜREN, VERGLASTE TÜREN jeweils in Wohngebäuden (WG) gegen Außenluft ⁽¹⁾	1,40
10	FENSTER, FENSTERTÜREN, VERGLASTE TÜREN jeweils in Nicht-Wohngebäuden (NWG) gegen Außenluft ⁽¹⁾	1,70
11	sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE vertikal gegen Außenluft ⁽²⁾	1,70
12	sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE horizontal oder in Schrägen gegen Außenluft ⁽²⁾	2,00
13	sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE vertikal gegen unbeheizte Gebäudeteile ⁽²⁾	2,50
14	DACHFLÄCHENFENSTER gegen Außenluft ⁽³⁾	1,70
15	TÜREN unverglast, gegen Außenluft ⁽⁴⁾	1,70
16	TÜREN unverglast, gegen unbeheizte Gebäudeteile ⁽⁴⁾	2,50
17	TÖRE Rolltore, Sektionaltore u. dgl. gegen Außenluft ⁽⁵⁾	2,50
18	INNENTÜREN	–
19	DECKEN und DACHSCHRÄGEN jeweils gegen Außenluft und gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt) ⁽⁶⁾	0,20
20	DECKEN gegen unbeheizte Gebäudeteile ⁽⁶⁾	0,40
21	DECKEN gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten ⁽⁶⁾	0,90
22	DECKEN innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten ⁽⁶⁾	–
23	DECKEN über Außenluft (z.B. über Durchfahrten, Parkdecks) ⁽⁶⁾	0,20
24	DECKEN gegen Garagen ⁽⁶⁾	0,30
25	BÖDEN erdberührt ⁽⁶⁾	0,40

(1) ... Für Fenster ist für den Nachweis des U-Wertes das Prüfnormmaß von 1,23 m × 1,48 m anzuwenden, für Fenstertüren und verglaste Türen das Maß 1,48 m × 2,18 m.
(2) ... Für großflächige, verglaste Fassadenkonstruktionen sind die Abmessungen durch die Symmetrieebenen zu begrenzen.
(3) ... Für Dachflächenfenster ist für den Nachweis des U-Wertes das Prüfnormmaß von 1,23 m × 1,48 m anzuwenden.
(4) ... Für Türen ist das Prüfnormmaß 1,23 m × 2,18 m anzuwenden.
(5) ... Für Tore ist das Prüfnormmaß 2,00 m × 2,18 m anzuwenden.
(6) ... Für Decken und Böden kleinflächig gegen Außenluft darf für 2 % der jeweiligen Fläche der U-Wert bis zum Doppelten des Anforderungswertes betragen, sofern die ÖNORM B 8110-2 (Kondensatfreiheit) eingehalten wird.

Abb. 3: Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile [6]

An wärmeübertragende Bauteile werden mit der OIB-RL 6:2015 weitere spezielle wärmetechnische Anforderungen gestellt. Bei Wand- und Deckenheizungen muss der Wärmedurchlasswiderstand der Bauteilschichten zwischen der Heizfläche und der Außenluft mindestens $R_{\min, \text{erf}} = 4,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ betragen. Unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände an den Bauteiloberflächen würde diese Vorgabe einen maximal zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten von $U_{\max, \text{zul}} \approx 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ bedeuten.

Es gilt jedoch unbedingt zu beachten, dass mit der Einhaltung der von der OIB-RL 6:2015 maximal zulässigen U-Werte für Wände und Dächer die Erfüllung der Einhaltung des maximal zulässigen Heizwärmebedarfs, des maximal zulässigen Heizenergiebedarfs und des maximal zulässigen Endenergiebedarfs für ein konditioniertes Gebäude keineswegs gewährleistet sein muss. Laut OIB-RL6 müssen für konditionierte Wohngebäude (WG) und Nichtwohngebäude (NWG) abhängig vom Standort des Gebäudes und vom Verhältnis des konditionierten Bruttovolumens zur thermischen Gebäudehüllenfläche die in dieser Richtlinie definierten maximal zulässigen Heizwärmebedarfswerte $HWB_{\max, \text{Ref}, \text{RK}}$ [$\text{kWh/m}^2\text{a}$], Heizenergiebedarfswerte $HEB_{\max, \text{WG}, \text{RK}}$ [$\text{kWh/m}^2\text{a}$] und Endenergiebedarfswerte $EEB_{\max, \text{WG}, \text{RK}}$ [$\text{kWh/m}^2\text{a}$] eingehalten werden (Abb. 4, Abb. 5, Abb. 6, Abb. 7).

		Neubau	Größere Renovierung
$HWB_{\text{Ref}, \text{RK}}$ in [$\text{kWh/m}^2\text{a}$]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	$16 \times (1 + 3,0 / \ell_c)$	$23 \times (1 + 2,5 / \ell_c)$
	ab 01.01.2017	$14 \times (1 + 3,0 / \ell_c)$	$21 \times (1 + 2,5 / \ell_c)$
$HWB_{\max, \text{Ref}, \text{RK}}$ in [$\text{kWh/m}^2\text{a}$]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	54,4 ⁽¹⁾	–
	ab 01.01.2017	47,6 ⁽¹⁾	–
HEB_{RK} in [$\text{kWh/m}^2\text{a}$]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	$HEB_{\max, \text{WG}, \text{RK}}$	$HEB_{\max, \text{WGsan}, \text{RK}}$
	ab 01.01.2017		
EEB_{RK} in [$\text{kWh/m}^2\text{a}$]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	$EEB_{\max, \text{WG}, \text{RK}}$	$EEB_{\max, \text{WGsan}, \text{RK}}$
	ab 01.01.2017		

⁽¹⁾ ... Beim Neubau gilt der $HWB_{\max, \text{RK}}$ für Gebäude mit einer konditionierten Brutto-Grundfläche von nicht mehr als 100 m² der Höchstwert nicht.

Abb. 4: Höchstwerte für Wohngebäude bei Nachweis der Anforderungen über den Heizenergiebedarf [6]

		Neubau	Größere Renovierung
$HWB_{\text{Ref}, \text{RK}}$ in [$\text{kWh/m}^2\text{a}$]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	$16 \times (1 + 3,0 / \ell_c)$	$25 \times (1 + 2,5 / \ell_c)$
	ab 01.01.2017		
$HWB_{\max, \text{Ref}, \text{RK}}$ in [$\text{kWh/m}^2\text{a}$]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	54,4 ⁽¹⁾	–
	ab 01.01.2017		
f_{GEE}	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	0,90	1,10
	ab 01.01.2017	0,85	1,05

⁽¹⁾ ... Beim Neubau gilt $HWB_{\max, \text{RK}}$ für Gebäude mit einer konditionierten Brutto-Grundfläche von nicht mehr als 100 m² der Höchstwert nicht.

Abb. 5: Höchstwerte für Wohngebäude bei Nachweis der Anforderungen über den Gesamtenergieeffizienz-Faktor [6]

		Neubau	Größere Renovierung
HWB _{Ref,RK} ⁽¹⁾ in [kWh/m²a]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	16 × (1 + 3,0 / ℓ _c)	23 × (1 + 2,5 / ℓ _c)
	ab 01.01.2017	14 × (1 + 3,0 / ℓ _c)	21 × (1 + 2,5 / ℓ _c)
HWB _{max,Ref,RK} ⁽¹⁾ in [kWh/m²a]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	54,4	–
	ab 01.01.2017	47,6	–
KB* _{max,RK} in [kWh/m³a]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	1,0	2,0
	ab 01.01.2017		
HEB _{RK} ⁽¹⁾ in [kWh/m²a]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	HEB _{max,WG,RK}	HEB _{max,WGsan,RK}
	ab 01.01.2017		
EEB _{RK} ⁽¹⁾ in [kWh/m²a]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	EEB _{max,WG,RK}	EEB _{max,WGsan,RK}
	ab 01.01.2017		
(1) ... bezogen auf eine Geschoßhöhe von 3,00 m mit Nutzungsprofil Wohngebäude			

Abb. 6: Höchstwerte für Nicht-Wohngebäude bei Nachweis der Anforderungen über den Heizenergiebedarf [6]

		Neubau	Größere Renovierung
HWB _{Ref,RK} ⁽¹⁾ in [kWh/m²a]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	$16 \times (1 + 3,0 / \ell_c)$	$25 \times (1 + 2,5 / \ell_c)$
	ab 01.01.2017		
HWB _{max,Ref,RK} ⁽¹⁾ in [kWh/m²a]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	54,4	–
	ab 01.01.2017		
KB* _{max,RK} in [kWh/m³a]	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	1,0	2,0
	ab 01.01.2017		
f _{GEE}	ab Inkrafttreten bis 31.12.2016	0,90	1,10
	ab 01.01.2017	0,85	1,05
(1) ... bezogen auf eine Geschoßhöhe von 3,00 m mit Nutzungsprofil Wohngebäude			

Abb. 7: Höchstwerte für Nicht-Wohngebäude bei Nachweis der Anforderungen über den Gesamtenergieeffizienzfaktor [6]

Bisherige Heizwärmebedarfsberechnungen zeigen, dass für die Erfüllung der maximal zulässigen Heizwärmebedarfswerte nach der OIB-RL6:2015 in den meisten Fällen für typische neu errichtete Wohn- und Nicht-Wohngebäude mittlerweile Wärmedurchgangskoeffizienten für Wände von $U \approx 0,16 - 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ und für Dächer von $U \approx 0,10 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ notwendig geworden sind.

Es wird daher für die wärmetechnische Konzeption der solaraktivierten Paneele die Einhaltung der Wärmedurchgangskoeffizienten für den Einsatz als Wandbauteile von $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ und für den Einsatz als Dachbauteile von $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ (mit zusätzlich aufgelegter Wärmedämmung) empfohlen. Es ist dabei unbedingt zu beachten, dass für die angeführten U-Werte der Anteil an Paneelstößen (Fugen) in wärmetechnischer Hinsicht zu berücksichtigen ist.

Feuchteschutz:

Die OIB-RL6:2015 schreibt hinsichtlich des Feuchteschutzes vor, dass schädliche Kondensation an der inneren Bauteiloberfläche und im Inneren von Bauteilen zu vermeiden ist. Des Weiteren wird dort ausgeführt, dass allfällige negative Wirkungen von Wärmebrücken unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Möglichkeiten weitgehend zu reduzieren sind. Die OIB-RL6 verweist hinsichtlich des Feuchte- und Kondensationsschutzes auf die ÖNORM B 8110-2:2003-07-01. In dieser Norm wird auch die Vermeidung der Schimmelgefahr an den Bauteilen vorgeschrieben, wobei in diesen Ausführungen die Schimmelgefahr mit dem Vorliegen einer relativen Luftfeuchtigkeit von mindestens $\phi = 80\%$ für die an der Bauteiloberfläche direkt angrenzende Luftschicht bei einer bestimmten Bemessungsaußenlufttemperatur definiert ist.

Betreffend das hinsichtlich des Kondensationsschutzes zu konzipierende solaraktivierte Paneel ist festzuhalten, dass mit den im Abschnitt „Wärmeschutz“ empfohlenen Wärmedurchgangskoeffizienten unter den in den Normen definierten und heranzuziehenden Werten für die Raumluftfeuchtigkeit und die jeweiligen Lufttemperaturen eine Bauteiloberflächenkondensation und somit auch die Schimmelgefahr an der dem Innenraum zugewandten Seite des Paneels vermieden wird, zudem ja im Heizfalle durch die direkte Beheizung des Paneels die innenseitige Bauteiloberfläche eine zusätzliche Oberflächentemperaturerhöhung erfährt. Lediglich im Kühlfall, bei dem die innenseitige Paneeloberfläche direkt gekühlt wird, ist darauf zu achten, dass die Oberflächentemperatur nicht jene zulässige Minimaltemperatur unterschreitet, ab der sich unter den Normbedingungen eine Oberflächenkondensation einstellt bzw. ab der nun Schimmelgefahr besteht.

Eine Kondensation im Inneren des Paneels kann aufgrund der beidseitigen Beplankung mit Stahlblechen, die per se dampfdicht sind, ausgeschlossen werden.

Eine besondere wasserdampfdiffusionstechnische Betrachtung verlangt die konstruktive Ausführung der Paneelstöße. Die Fugenstöße sind konstruktiv derart zu gestalten, sodass zum einen an der Innenseite des Stoßes der Wasserdampfdiffusionswiderstand so hoch ist, dass der Eintrag der Raumluftfeuchtigkeit in den Fugenstoßbereich auf ein unschädliches Maß (Vermeidung Kondensations- und Schimmelgefahr) beschränkt wird, und dass zum anderen der Wasserdampfdiffusionswiderstand der Fugen- bzw. Stoßkonstruktion an der Außenseite niedriger oder maximal gleich ist wie jener an der Innenseite, sodass in den kalten Monaten die Wasserdampfdiffusion stets aus der Fugenkonstruktion hinaus an die Außenluft gewährleistet wird. Die Fugen sind, um den direkten Eintrag von Innen- bzw. Außenluft in die Stoßfugenkonstruktion zu vermeiden, beidseitig luftkonvektionsdicht zu gestalten (Abschnitt „Luftdichtigkeit“).

Luftdichtigkeit:

Die derzeit gültige OIB-Richtlinie 6:2015 [6] schreibt für neu errichtete Gebäude mit natürlicher Lüftung eine maximale Luftwechselrate von $n_{50} \leq 3,0$ [1/h] bei einer Druckdifferenz von $\Delta p = 50$ Pa während des Blower-Door-Tests vor. Für Gebäude mit Lüftungsanlagen reduziert sich die maximal zulässige Luftwechselrate auf $n_{50} \leq 1,5$ [1/h].

Der Kriterienkatalog von „klima:aktiv“ schlägt die Einhaltung einer maximalen Luftwechselraten von $n_{50} \leq 1,0$ [1/h] bei Neubauten und $n_{50} \leq 2,0$ [1/h] bei sanierten Gebäuden vor.

Um den Passivhausstandard eines Gebäudes zu erreichen, muss u.a. eine maximale Luftwechselrate von $n_{50} \leq 0,6$ [1/h] eingehalten werden.

Die Einhaltung der maximal zulässigen Luftwechselrate eines Gebäudes wird nach der Errichtung mit Hilfe eines Blower-Door-Testes überprüft. Grundsätzlich sind Bauteile der Gebäudehülle konvektionsdicht, d. h. luftströmungsdicht auszuführen. Die Paneele sind aufgrund der beidseitig angeordneten Stahlbleche per se luftströmungsdicht.

Betreffend die Paneelstoßfugen sei angemerkt, dass eine einzuhaltende maximal zulässige Fugendurchlässigkeit, welche über den Fugendurchlasskoeffizienten a definiert ist, im Grunde genommen nur für offenbare Bauteile wie Fenster oder Türen vorgesehen ist. Der Fugendurchlasskoeffizient a - auch a -Wert oder Fugenluftdurchlässigkeitswert genannt - gibt an, welches Luftvolumen V [m³] pro Meter Fugenlänge je Stunde bei einer bestimmten Luftdruckdifferenz Δp [Pa] durch die Bauteilfuge entweichen kann.

Die Paneelstöße sind daher, auch um die Einhaltung der maximal zulässigen Luftwechselrate bei einer Druckdifferenz von $\Delta p = 50$ Pa nicht zu gefährden, auf jeden Fall luftströmungs- bzw. konvektionsdicht zu konstruieren und zu gestalten.

Schallschutz:

Die zu erfüllenden Anforderungen hinsichtlich des baulichen Schallschutzes der Außenbauteile sind in der OIB-RL 5:2015 geregelt [7]. Die in der OIB-RL 5:2015 angeführten Werte für das mindesterforderliche Schalldämmmaß R_w opaker Außenbauteile decken sich weitgehend mit den Anforderungen aus der ÖNORM B 8115-2:2006-12-01, sodass die nachstehenden Tabellen aus der OIB-Richtlinie zur Festlegung der schalltechnischen Anforderungswerte herangezogen werden dürfen (Abb. 8, Abb. 9).

Mindesterforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen für Wohngebäude, -heime, Hotels, Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Kurbauwerke u. dgl.								
Maßgeblicher Außenlärmpegel [dB]		Außenbauteile gesamt [dB]	Außenbauteile opak [dB]	Fenster und Außentüren [dB]		Decken und Wände gegen nicht ausgebauten Dachräume [dB]	Decken und Wände gegen Durchfahrten und Garagen [dB]	Gebäudetrennwände (je Wand) [dB]
Tag	Nacht	$R'_{res,w}$	R_w	R_w	$R_w + C_{tr}$	R'_w	R'_w	R_w
≤ 45	≤ 35	33	43	28	23	42	60	52
46 - 50	36 - 40	33	43	28	23	42	60	52
51 - 60	41 - 50	38	43	33	28	42	60	52
61	51	38,5	43,5	33,5	28,5	47	60	52
62	52	39	44	34	29	47	60	52
63	53	39,5	44,5	34,5	29,5	47	60	52
64	54	40	45	35	30	47	60	52
65	55	40,5	45,5	35,5	30,5	47	60	52
66	56	41	46	36	31	47	60	52
67	57	41,5	46,5	36,5	31,5	47	60	52
68	58	42	47	37	32	47	60	52
69	59	42,5	47,5	37,5	32,5	47	60	52
70	60	43	48	38	33	47	60	52
71	61	44	49	39	34	47	60	52
72	62	45	50	40	35	47	60	52
73	63	46	51	41	36	47	60	52
74	64	47	52	42	37	47	60	52
75	65	48	53	43	38	47	60	52
76	66	49	54	44	39	47	60	52
77	67	50	55	45	40	47	60	52
78	68	51	56	46	41	47	60	52
79	69	52	57	47	42	47	60	52
≥ 80	≥ 70	53	58	48	43	47	60	52

Abb. 8: Mindestwerte des Schalldämmmaßes für Außenbauteile von Wohngebäuden, -heimen, Hotels u. dgl. [7]

Mindest erforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen für Verwaltungs- und Bürogebäude u. dgl.								
Maßgeblicher Außenlärmpegel [dB]		Außenbauteile gesamt [dB]	Außenbauteile opak [dB]	Fenster und Außentüren [dB]		Decken und Wände gegen nicht ausgebaute Dachräume [dB]	Decken und Wände gegen Durchfahrten und Garagen [dB]	Gebäudetrennwände (je Wand) [dB]
Tag	Nacht	$R'_{res,w}$	R_w	R_w	$R_w + C_{tr}$	R'_w	R'_w	R_w
≤ 45	≤ 35	33	43	28	23	42	60	52
46 - 60	36 - 50	33	43	28	23	42	60	52
61	51	33,5	43	28,5	23,5	42	60	52
62	52	34	43	29	24	42	60	52
63	53	34,5	43	29,5	24,5	42	60	52
64	54	35	43	30	25	42	60	52
65	55	35,5	43	30,5	25,5	42	60	52
66	56	36	43	31	26	42	60	52
67	57	36,5	43	31,5	26,5	42	60	52
68	58	37	43	32	27	42	60	52
69	59	37,5	43	32,5	27,5	42	60	52
70	60	38	43	33	28	42	60	52
71	61	39	44	34	29	42	60	52
72	62	40	45	35	30	42	60	52
73	63	41	46	36	31	42	60	52
74	64	42	47	37	32	42	60	52
75	65	43	48	38	33	42	60	52
76	66	44	49	39	34	42	60	52
77	67	45	50	40	35	42	60	52
78	68	46	51	41	36	42	60	52
79	69	47	52	42	37	42	60	52
≥ 80	≥ 70	48	53	43	38	42	60	52

Abb. 9: Mindestwerte des Schalldämmmaßes für Außenbauteile von Verwaltungs-, Bürogebäuden u. dgl. [7]

Es gilt zu beachten, dass das mindestens erforderliche Schalldämmmaß des opaken Bauteiles nicht nur vom maßgeblichen in der ÖNORM B 8115-2:2006-12-01 definierten Außenlärmpegel, sondern auch vom Flächenanteil anderer Bauteilarten geringeren Schalldämmmaßes wie z.B. Fenster etc. innerhalb eines Außenbauteilabschnittes abhängt. Der Grund liegt darin, dass an zusammengesetzte Bauteilabschnitte (z.B. Außenwandabschnitt mit entsprechenden Anteilen von opakem Außenbauteil und Fenster etc.) zusätzliche schalltechnische Anforderungen im Sinne eines einzuhaltenden resultierenden Schalldämmmaßes gestellt werden.

Es würde sich als sehr praktikabel erweisen, nicht für jedes erforderliche bewertete Schalldämmmaß einen eigenen Paneelaufbau zu konzipieren, sondern die Konzeption auch aus wirtschaftlichen Gründen auf nur wenige Paneelaufbauten, die im Sinne von „Schallschutzklassen“ den gesamten schalltechnischen Anforderungskatalog weitgehend abdecken, zu beschränken. Ein Vorschlag hierzu wäre z.B. die Entwicklung unterschiedlicher Paneele mit den bewerteten Schalldämmmaßen von $R_w = 43$ dB, 48 dB, 53 dB und 58 dB, wobei - da die Anforderung von $R_w = 53$ und 58 dB eher seltener vorkommen - die „Schallschutzklassen“ 53 dB und 58 dB zu einer gemeinsamen mit $R_w = 58$ dB zusammengefasst werden könnten. Der Einsatz von Außenbauteilen mit einem bewerteten Schalldämmmaß von weniger als 43 dB ist gemäß OIB-Richtlinie 5 nicht zulässig.

Die obig vorgeschlagenen Schalldämmmaße sollten - trotz des schalltechnisch eher problematischen Aufbaues eines Dämmpaneels - z.B. durch den Einsatz von Mineralwolle als Dämmmaterial, durch den zusätzlichen Einsatz schwerer Materialien wie z.B. Zementfaserplatten und speziellen biegeweichen, aber schweren Schalldämmeinlagen innerhalb der Konstruktion aber auch durch die Konzeption des Dämmpaneels als schalltechnisch mehrschichtig wirkender Aufbau (auch zur Vermeidung eines signifikanten Frequenzverlaufseinbruches) erreicht werden.

Des Weiteren muss auch eindringlich erwähnt werden, dass das Schalldämmmaß eines solchen Bauteilaufbaus - wie bei diesem Paneel vorliegend - aufgrund seines schalltechnisch äußerst komplexen und frequenzabhängigen Verhaltens und aufgrund der vorliegenden Fugenanteile (Plattenstöße) nicht berechnet oder simuliert werden kann. Die Feststellung des tatsächlich vorliegenden Schalldämmmaßes R_w des Paneels kann nur mit Hilfe einer schalltechnischen Messung in einem Prüflabor festgestellt werden.

Raumakustische Anforderungen werden in der OIB-RL 5:2015 nur für bestimmte Nutzungskategorien gestellt. Um die Anforderung zur Hörsamkeit für speziell genutzte Räume (Klassenräume etc.) zu erfüllen, sind dafür vorgesehene maximal zulässige Nachhallzeiten T [s] einzuhalten. Für Räume, an die zum Schutz der Nutzer Anforderungen an die Lärminderung gestellt werden (Werkstätten, Kindergartenräume etc.), sind ein mittlerer Absorptionsgrad der Begrenzungsflächen in den Oktavbändern von 250 bis 4.000 Hz von mind. $\alpha_{m,B} = 0,20$ und in den Oktavbandmittenfrequenzen von 500, 1.000 und 2.000 Hz nach Möglichkeit von mind. $\alpha_{m,B} = 0,25$ einzuhalten. Diese und auch höhere Absorptionsgrade sollten bei Dämmpaneelen z.B. durch eine entsprechende Strukturierung der innenraumzugewandten Oberfläche oder durch eine - auch heiz- und kühltechnisch - geeignete Beplankung mit sogenannten Lochplatten erfüllbar sein.

Brandschutz:

Die brandschutztechnischen Anforderungen und Bestimmungen an und für Bauteile sind in der OIB-RL 2:2015 [8], in der OIB-RL 2.1:2015 [9] und in der OIB-RL 2.3:2015 [10] enthalten. Sie sind in erster Linie von der vorliegenden Gebäudeklasse und von dem Fluchtniveau des letzten Geschoßes abhängig. Die Gebäude werden unter anderem aufgrund ihrer Nutzungsart, ihrer Abmessungen und ihrer Flächenausmaße in die Gebäudeklassen GK 1-5 eingeteilt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die einzuhaltenden Klassen des Brandverhaltens der Baustoffe bzw. Bauteilschichten gemäß Klassifizierung in ÖNORM EN 13501-1 in Abhängigkeit von der vorliegenden Gebäudeklasse (für die GK 5 auch in Abhängigkeit der Anzahl der Geschoße) und von der Art und Lage des Bauteils (Abb. 10).

Gebäudeklassen (GK)	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5		
					≤ 6 oberirdische Geschosse	> 6 oberirdische Geschosse	
1 Fassaden							
1.1 Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme	E	D	D	C-d1	C-d1	C-d1	
1.2 Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete							
1.2.1 Gesamtsystem oder	E	D-d1	D-d1	B-d1 ⁽¹⁾	B-d1 ⁽¹⁾	B-d1	
1.2.2 Einzelkomponenten							
- Außenschicht	E	D	D	A2-d1 ⁽²⁾	A2-d1 ⁽²⁾	A2-d1 ⁽³⁾	
- Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	E / E	D / D	D / A2	D / A2	D / A2	C / A2	
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	E	D	D	B ⁽²⁾	B ⁽²⁾	B ⁽³⁾	
1.3 sonstige Außenwandbekleidungen oder -beläge	E	D-d1	D-d1	B-d1 ⁽⁴⁾	B-d1 ⁽⁴⁾	B-d1	
1.4 Gebäudetrennfugenmaterial	E	E	E	A2	A2	A2	
1.5 Geländerfüllungen bei Balkonen, Loggien u. dgl.	-	-	-	B ⁽⁴⁾	B ⁽⁴⁾	B	
2 Gänge und Treppen jeweils außerhalb von Wohnungen: Bekleidungen und Beläge sowie abgehängte Decken							
2.1 Wandbekleidungen ⁽⁵⁾							
2.1.1 Gesamtsystem oder	-	D	D	C	B	B	
2.1.2 Einzelkomponenten							
- Außenschicht	-	D	D	C ⁽⁴⁾	B	B	
- Unterkonstruktion	-	D	D	A2 ⁽⁴⁾	A2 ⁽⁴⁾	A2 ⁽⁴⁾	
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	-	C	C	C	A2	A2	
2.2 abgehängte Decken	-	D-d0	D-d0	C-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0	
2.3 Wand- und Deckenbeläge	-	D-d0	D-d0	C-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0	
2.4 Bodenbeläge	-	D _{II}	D _{II}	C _{II} -s1 ⁽⁶⁾	C _{II} -s1	C _{II} -s1	
3 Treppenhäuser: Bekleidungen und Beläge sowie abgehängte Decken							
3.1 Wandbekleidungen ⁽⁵⁾							
3.1.1 Gesamtsystem oder	-	D	C	B	A2	A2	
3.1.2 Einzelkomponenten							
- Außenschicht	-	D	C ⁽⁴⁾	B	A2	A2	
- Unterkonstruktion	-	D	A2 ⁽⁴⁾	A2 ⁽⁴⁾	A2 ⁽⁴⁾	A2 ⁽⁴⁾	
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	-	C	C	A2	A2	A2	
3.2 abgehängte Decken	-	D-s1, d0	C-s1, d0	B-s1, d0	A2-s1, d0	A2-s1, d0	
3.3 Wand- und Deckenbeläge	-	D-s1, d0	C-s1, d0	B-s1, d0	A2-s1, d0	A2-s1, d0	
3.4 Bodenbeläge							
3.4.1 in Treppenhäusern gemäß Tabelle 2a, 2b	-	D _{II} -s1	C _{II} -s1	B _{II} -s1	A2 _{II} -s1	A2 _{II} -s1	
3.4.2 in Treppenhäusern gemäß Tabelle 3	-	D _{II} -s1	C _{II} -s1 ⁽⁶⁾	C _{II} -s1	B _{II} -s1	A2 _{II} -s1	
4 Dächer mit einer Neigung ≤ 60°							
4.1 Dacheindeckung bzw. Bedachung ⁽⁷⁾	B _{ROOF} (t1)	B _{ROOF} (t1)	B _{ROOF} (t1)	B _{ROOF} (t1)	B _{ROOF} (t1) ⁽⁸⁾	B _{ROOF} (t1) ⁽⁸⁾	
4.2 Dämmschicht bzw. Wärmedämmung in der Dachkonstruktion	E	E	E	B ⁽⁹⁾	B ⁽¹⁰⁾	B ⁽¹⁰⁾	
5 nicht ausgebaute Dachräume							
5.1 Bekleidungen (Fußbodenkonstruktionen)							
5.1.1 Gesamtsystem oder	-	E	D	D	B	B	
5.1.2 Einzelkomponenten							
- Außenschicht	-	C	C	B	B	B	
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	-	E	E	B ⁽⁹⁾	B ⁽¹⁰⁾	B ⁽¹⁰⁾	
5.2 Bodenbeläge	-	D _{II}	D _{II}	C _{II} -s1 ⁽¹¹⁾	B _{II} -s1 ⁽¹¹⁾	B _{II} -s1 ⁽¹¹⁾	
(1) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig, wenn das Gesamtsystem die Klasse D-d0 erfüllt;							
(2) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 oder aus Holz und Holzwerkstoffen in D zulässig;							
(3) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 zulässig;							
(4) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;							
(5) Fehlen in Gängen und Treppenhäusern Wand- bzw. Deckenbeläge, gelten für die Bekleidung (als Gesamtsystem) bzw. die Außenschicht der Bekleidung die Anforderungen für Wand- bzw. Deckenbeläge gemäß Zeile 2.3 bzw. 3.3;							
(6) Laubhölzer (z.B. Eiche, Rotbuche, Esche) mit einer Mindestdicke von 15 mm sind zulässig;							
(7) Bei Dächern mit einer Neigung < 20° genügt als oberste Schicht auch 5 cm Kies oder Gleichwertiges;							
(8) Bei Dächern mit einer Neigung ≥ 20° müssen Dacheindeckung, Lattung, Konterlattung und Schalung der Klasse A2 entsprechen; abweichend davon sind für Lattung, Konterlattung und Schalung auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;							
(9) In folgenden Fällen sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E zulässig:							
- auf Dächern mit einer Neigung < 20° bzw. auf der obersten Geschosdecke oder							
- auf Dächern mit einer Neigung ≥ 20°, die in A2 hergestellt sind und die gemäß Tabelle 1b erforderliche Feuerwiderstandsdauer auch hinsichtlich der Leistungseigenschaften E und I erfüllen;							
(10) Es sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E bei Dächern mit einer Neigung < 20° bzw. auf der obersten Geschosdecke zulässig, wenn diese in A2 hergestellt sind und die gemäß Tabelle 1b erforderliche Feuerwiderstandsdauer auch hinsichtlich der Leistungseigenschaften E und I erfüllt wird;							
(11) Es sind auch Bodenbeläge in D _{II} zulässig, wenn die Wärmedämmung bzw. Dämmschicht in B ausgeführt wird.							

Abb. 10: Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten der Baustoffe bzw. Bauteilschichten [8]

Folgende gemäß ÖNORM EN 13501 definierte Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen sind - ebenfalls abhängig von der Gebäudeklasse, vom Fluchtniveau und von der Art und Lage des Bauteils - zu erfüllen (Abb. 11).

Gebäudeklassen (GK)	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5	
					≤ 6 oberirdische Geschoße	> 6 oberirdische Geschoße
1 tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände)						
1.1 im obersten Geschoß	-	R 30	R 30	R 30	R 60	R 60
1.2 in sonstigen oberirdischen Geschoßen	R 30 ⁽¹⁾	R 30	R 60	R 60	R 90	R 90 und A2
1.3 in unterirdischen Geschoßen	R 60	R 60	R 90 und A2	R 90 und A2	R 90 und A2	R 90 und A2
2 Trennwände (ausgenommen Wände von Treppenhäusern)						
2.1 im obersten Geschoß	-	REI 30 EI 30	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60
2.2 in oberirdischen Geschoßen	-	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.3 in unterirdischen Geschoßen	-	REI 60 EI 60	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.4 zwischen Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in Reihenhäusern	nicht zutreffend	REI 60 EI 60	nicht zutreffend	REI 60 EI 60	nicht zutreffend	nicht zutreffend
3 brandabschnittsbildende Wände und Decken						
3.1 brandabschnittsbildende Wände an der Nachbargrundstücks- bzw. Bauplatzgrenze	REI 60 EI 60	REI 90 ⁽²⁾ EI 90 ⁽²⁾	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2
3.2 sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken	nicht zutreffend	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2
4 Decken und Dachschrägen mit einer Neigung ≤ 60°						
4.1 Decken über dem obersten Geschoß	-	R 30	R 30	R 30	R 60	R 60
4.2 Trenndecken über dem obersten Geschoß	-	REI 30	REI 30	REI 60	REI 60	REI 60
4.3 Trenndecken über sonstigen oberirdischen Geschoßen	-	REI 30	REI 60	REI 60	REI 90	REI 90 und A2
4.4 Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in oberirdischen Geschoßen	R 30 ⁽¹⁾	R 30	R 30	R 30	R 60	R 90 und A2
4.5 Decken über unterirdischen Geschoßen	R 60	REI 60 ⁽³⁾	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2
5 Balkonplatten	-	-	-	R 30 oder A2	R 30 oder A2	R 30 und A2 ⁽⁴⁾
(1) Nicht erforderlich bei Gebäuden, die nur Wohnzwecken oder der Büronutzung bzw. büroähnlichen Nutzung dienen;						
(2) Bei Reihenhäusern genügt für die Wände zwischen den Wohnungen bzw. Betriebseinheiten auch an der Nachbargrundstücks- bzw. Bauplatzgrenze eine Ausführung in REI 60 bzw. EI 60;						
(3) Für Reihenhäuser sowie Gebäude mit nicht mehr als zwei Betriebseinheiten mit Büronutzung bzw. büroähnlicher Nutzung genügt die Anforderung R 60;						
(4) Bei Einzelbalkonen genügt eine Ausführung in R 30 oder A2, wenn die Fläche nicht mehr als 10 m², die Auskragung nicht mehr als 2,50 m und der Abstand zwischen den Einzelbalkonen mindestens 2,00 m beträgt.						

Abb. 11: Allgemeine Anforderungen an den Feuerwiderstand von Bauteilen [8]

Für Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m (Hochhäuser) sind gemäß der OIB-RL 2.3:2015 [10] zudem spezielle - in der nachfolgenden Tabelle angeführte - Anforderungen an das Brandverhalten der Bauteile (Klassen zum Brandverhalten) einzuhalten (Abb. 12).

1 Fassaden		
1.1	Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme	A2-d1
1.2	Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete	
1.2.1	Gesamtsystem <i>oder</i>	A2-d1
1.2.2	Einzelkomponenten	
	- Außenschicht	A2-d1
	- Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	A2 / A2
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2
1.3	sonstige Außenwandbekleidungen oder -beläge	A2-d1
1.4	nichttragende Außenwandbauteile	A2-d1
1.5	Gebäudetrennfugenmaterial	A2
1.6	Geländerfüllungen bei Balkonen, Loggien u. dgl.	A2
2 Treppenhäuser und Gänge außerhalb von Wohnungen: Bekleidungen und Beläge sowie abgehängte Decken		
2.1	Wandbekleidungen ⁽¹⁾	
2.1.1	Gesamtsystem <i>oder</i>	A2; die Oberflächen müssen geschlossen sein, wenn kein Belag vorhanden ist
2.1.2	Einzelkomponenten	
	- Außenschicht	A2
	- Unterkonstruktion	A2
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2; bei Mantelbeton sind Dämmschichten der Klasse B zulässig
2.2	abgehängte Decken	A2-s1, d0
2.3	Wand- und Deckenbeläge	A2-s1, d0
2.4	Bodenbeläge	A2 _{fl} ; Bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 32 m genügt bei Gängen B _{fl} .
2.5	Geländerfüllungen	A2
3 Dächer mit einer Neigung ≤ 60°		
3.1	Dacheindeckung bzw. Bedachung	B _{ROOF} (t1); Dacheindeckung, Lattung, Konterlattung und Schalung müssen der Klasse A2 entsprechen; abweichend davon sind für Lattung, Konterlattung und Schalung auch Holz und Holzwerkstoffe der Klasse D zulässig; Bei Dächern mit einer Neigung < 20° genügt als oberste Schicht auch 5 cm Kies oder Gleichwertiges;
3.2	Dämmschicht bzw. Wärmedämmung in der Dachkonstruktion	A2; Auf allen in REI 90 und A2 hergestellten Dächern mit einer Neigung < 20° sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E zulässig.
4 nicht ausgebaute Dachräume		
4.1	Bekleidung (Fußbodenkonstruktion)	
4.1.1	Gesamtsystem <i>oder</i>	B
4.1.2	Einzelkomponenten	
	- Außenschicht	A2
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2; auf allen in REI 90 und A2 hergestellten Dächern mit einer Neigung < 20° sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E zulässig.
4.2	Bodenbeläge	A2 _{fl} ; Bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 32 m genügt B _{fl} -s1; es sind auch Bodenbeläge in D _{fl} zulässig, wenn die Wärmedämmung bzw. Dämmschicht in A2 ausgeführt wird.
(1) Fehlen in Gängen und Treppenhäusern Wand- bzw. Deckenbeläge, gelten für die Bekleidung (als Gesamtsystem) bzw. die Außenschicht der Bekleidung die Anforderungen für Wand- bzw. Deckenbeläge gemäß Zeile 2.3.		

Abb. 12: Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten der Bauteile von Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m [10]

Anmerkung:

Das Brandverhalten und der Feuerwiderstand von Dämmpaneelen können in der Regel nur durch Brandversuche in brandtechnischen Laboren und Prüfständen festgestellt werden.

2.3. Hochbautechnische Anforderungen

Produktion:

Sandwichpaneele werden, ob mit Dämmkern aus Polyurethanschaum oder Mineralwolle, auf kontinuierlichen Produktionsanlagen gefertigt. Dabei werden zwei parallel geführte Coils aus Metall (zumeist Stahl oder Aluminium) zuerst mittels Rollumformung gefalzt, um schließlich mittels eines eingeklebten Dämmstoffes zu einem Sandwichelement verbunden zu werden. Auf diese Weise können Sandwichpaneele mit Längen bis zu 18 m produziert werden. Jedoch ist das Transportieren und Montieren bei solchen Dimensionen schwierig, weshalb eher kürzere Längen (bis zu 13 m) geplant werden sollten. Um den generellen Vorteil der kostengünstigen Herstellung von Sandwichpaneelen auch für das STAF-Panel weiterhin nutzen zu können, sollten die zuvor mittels Roll-Bonding umgeformten Deckbleche für die Verklebung mit dem Dämmkern (Mineralwolle) in die kontinuierliche Produktionsanlage integriert werden.

Zulassung:

Sandwichelemente gehören zur Gruppe der Verbundelemente. Es handelt sich um ein Bauprodukt, das aus zwei beiderseits eines Kerns angeordneten Metalldeckschichten besteht, wobei der Kern aus einem wärmedämmenden Werkstoff besteht und so kraftschlüssig mit den beiden Deckschichten verbunden ist, sodass die drei Bestandteile bei Belastung gemeinsam wirken. Sandwichpaneele sind Bauprodukte im Sinne der Bauproduktenverordnung (BauPVo) EU 305/2011. Die CE-Kennzeichnung befindet sich jeweils auf der Verpackung bzw. auf den Begleitpapieren. Die ÖNORM EN 14509 ist die harmonisierte Europäische Norm für die Herstellung von „Selbsttragenden Sandwich-Elementen mit beidseitigen Metalldeckschichten – Werkmäßig hergestellte Produkte – Spezifikationen“. Für die Produktspezifikationen und Anforderungen gelten die Bestimmungen der ÖNORM EN 14782, ÖNORM EN 14783 sowie ÖNORM EN 14509.

Die Mindestmaterialdicke der Metalldeckschichten von Sandwichelementen beträgt, unabhängig von den statischen Erfordernissen, im Regelfall 0,50 mm. Bei Materialdicken unter 0,50 mm ist mit verstärkten Well- und Knickbildungen in den Metalldeckschichten zu rechnen. Sandwichelemente mit Metalldeckschichten mit einer Dicke < 0,50 mm sollten daher nur bei Bauteilen ohne optischen Anspruch eingesetzt werden.

Für Materialien wie Bleche für Dach- und Wandanschlüsse, Dachentwässerungen, spenglermäßige Trennlagen, Beschichtungen und dgl. gelten die Bestimmungen der ÖNORM B 3521-1. [11]

Montage:

Prinzipiell können Sandwichpaneele (wie auch das STAF-Paneel) horizontal oder vertikal montiert werden. Beiden Verlegarten ist jedoch gemeinsam, dass im Zuge der Fassadenplanung darauf zu achten ist, dass die Sandwichpaneele nicht unter das Bodenniveau reichen. Eingraben, beschütten mit Kies oder Ähnlichem, einasphaltieren, einbetonieren etc. ist unzulässig.

Vertikalverlegung:

Werden die Paneele vertikal montiert, so ist eine entsprechende Unterkonstruktion aus Stahl- oder Holzprofilen vorzubereiten. Zu beachten ist dabei die erforderliche Auflagerbreite und die Stützweite der Riegel. Die Riegel sind zu überprüfen, ob sie augenscheinlich richtig dimensioniert und befestigt sind (Prüf- und Warnpflicht). Eine stabile und thermisch getrennt ausgeführte Sohlbankkonstruktion ist herzustellen. Ein passgenaues Aneinanderfügen der Paneele ist zu beachten. Die Dehnung des Außenbleches infolge thermischer Dilatation tritt vertikal auf. Der Dehnungsweg muss für das Blech frei sein und darf keinesfalls behindert werden. Ein sauberer Abschluss der unteren Paneelkante ist herzustellen. Auf eine funktionelle Wasserableitung aus dem Raum zwischen Sandwichpaneel und Sohlbank (8-10mm) muss geachtet werden, um Wasser (trotz Längsdehnung des Außenbleches) ungehindert auslaufen lassen zu können.

Horizontalverlegung:

Diese Montageart geht bei guter Organisation wesentlich schneller. Meist sind große Stützweiten von bis zu 6,00 m vorhanden, welche es zu überbrücken gilt. Nicht selten werden die Paneele im statischen Zweifeldträgersystem verlegt. Der Bimetall-Effekt kommt bei dieser Montageart je nach Farbgruppe voll zur Geltung. Es sind konstruktive Möglichkeiten zu schaffen, damit die Paneele einerseits am Baukörper entsprechend fixiert werden und gegebenenfalls die Bewegungen frei ausführen können. Es dürfen nur kurze < 1,20 m breite Fensterelemente direkt (ohne Wechselrahmenkonstruktion) in die Wandbekleidung eingesetzt werden. Des Weiteren ist in den Endbereichen der Paneele hinter den Lisenenblechen darauf zu achten, dass die horizontalen Fugen jeweils bis zum Ende der Lisenenblechkante mit dauerelastischem, transparentem Hybriddichtstoff abgedichtet werden. [11]

Befestigungs- und Verbindungstechnik:

Zur Befestigung und Verbindung von Sandwichpaneelen werden Schrauben und Nieten verwendet. Befestigungselemente in direkt bewitterten Bereichen sind aus nichtrostendem Stahl auszuführen. Dabei sind aufgeschweißte Bohrspitzen aus ferritischem Stahl zulässig. Bei chlorhaltigen oder ähnlichen Raumumgebungen sind Befestigungselemente in geeigneter, höherer Edelstahlgüte zu verwenden.

Die eingesetzten Befestigungs- und Verbindungselemente müssen in ihrem Verwendungszweck geeignet sein und entsprechend der statischen Belastung dimensioniert werden. Die Ausführung auf der Baustelle erfolgt konform dem Verlegeplan. Die Bestimmungen der jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassung für Verbindungselemente sind einzuhalten. Für die Befestigung von Sandwichelementen dürfen ausschließlich Verbindungselemente verwendet werden, die nach einer bauaufsichtlichen Zulassung für Verbindungselemente oder den bauaufsichtlichen Zulassungen für Sandwichelemente der Hersteller geprüft sind.

Für eine einwandfreie Befestigung von Sandwichelementen muss das Verbindungselement so tief eingeschraubt werden, dass die Dichtung unter dem Schraubenkopf eine leichte Verformung aufweist. Dies bedingt gleichzeitig eine leichte Eindrückung der oberen Deckschale des Sandwichelementes, welche bei sichtbarer Befestigung maximal 1 mm tief sein darf. Bei sichtbaren Befestigern dürfen ausschließlich geeignete Stützgewindeschrauben verwendet werden.

Für verdeckte Befestigungen sind Befestigungselemente mindestens aus verzinkten Stahl zu verwenden. Die Schichtdicke der galvanischen Verzinkung muss mindestens 8 µm betragen. [11]

Recyclierbarkeit:

Durch die Verklebung der metallischen Deckbleche mit dem Dämmstoffkern (= Verbundbauteil) ist eine sortenreine Trennung der beiden Materialien nur schwer möglich. Zumeist wird der Dämmstoff nicht herausgelöst, sondern das gesamte Sandwichpaneel geschreddert und danach die metallischen von den nicht-metallischen Teilen in einer Magnettrommel getrennt. Für das STAF-Paneel eine alternative Verbindungsmethode zur Sicherstellung des Schubverbundes zwischen den Aluminiumdeckschichten und dem Dämmkern zu entwickeln und so eine sortenreine Trennung der Materialien sicherzustellen, wäre im Sinne der Nachhaltigkeit ein erstrebenswertes Ziel.

2.4. Architektonische Anforderungen

Ästhetik metallischer Fassaden:

Metall wird in der Gebäudehülle wegen seiner Unveränderlichkeit und Dauerhaftigkeit geschätzt. Dadurch ist es sowohl für Gewerbe- und Industriebauten, die keine besonderen Anforderungen aufweisen und deren Hülle nur beständig sein soll, als auch für Gebäude, die ein gleichbleibendes, qualitativ hochwertiges Erscheinungsbild wie z.B. Wohn- oder Bürobauten aufweisen sollen, interessant.

Oberfläche:

Die Individualisierbarkeit der Oberfläche (Branding) ist von großer Bedeutung, wobei die Farbigkeit und die wiederholte Verwendung gleicher Elemente ein wesentliches Thema darstellt. Der Anteil an Fassaden aus metallisch-silbrigen Elementen („Natur“) ist im Bürobau heutzutage gering. Demnach ist eine Einschränkung in der maschinellen Bearbeitung zur Verhinderung von Bearbeitungsspuren als untergeordnet zu betrachten, so lange sich diese Spuren durch die vergütete/farbige Oberfläche kaschieren lassen.

Oberflächenstruktur:

Die Oberflächenstruktur sichtbarer Fassadenelemente sollte möglichst zurückhaltend sein. Eine wiederkehrende, regelmäßige, kleinteilige geometrische Form wie z.B. bei einem Trapezblech oder einer Welle kann bei flächig gefügten Elementen noch akzeptabel sein. Sie erschwert jedoch in der Regel den Übergang zu Öffnungen (Fenster und Türen). Unveränderbare (systemimmanente) auffällige, unregelmäßige Strukturen sollten vermieden werden, um das System nicht eindeutig identifizierbar zu machen. Dadurch wird (je nach Wunsch der Planer und Bauherren) sowohl die Individualisierung als auch die Anonymisierung des Gebäudes erschwert.

Oberflächenvergütung:

Die Vergütung sollte eine möglichst dauerhafte Beständigkeit und ein unverändertes Erscheinungsbild über die fortlaufende Nutzungsdauer des Gebäudes ermöglichen. Aus Gründen der Recyclingfähigkeit ist die Oberflächenvergütung so zu wählen, dass das Metall in einer gleichwertigen Güte rezykliert werden kann.

Farbe:

Farbe bietet eine einfache Möglichkeit, das Erscheinungsbild zu variieren. Die Produktionsmöglichkeiten sollten vor diesem Hintergrund Einschränkungen in der Farbgebung reduzieren. Auf den Einfluss der Farbgebung (hell/dunkel) auf die Effizienz der solaren Energiegewinnung an der Fassade muss jedoch Rücksicht genommen werden.

Elementraster:

Ein Raster wird von Seiten des Planers häufig als Beschränkung empfunden. Wird ein Raster notwendig, ist für es die Akzeptanz eines Systems wesentlich, dass das Raster mit den aktuell gängigen Maßen z.B. im Bereich Büro- oder Hotelbau korreliert. Beschränkungen durch ein Elementraster sollten möglichst gering sein. Die Kombination variierender Achsmaße innerhalb einer Fassade ist als vorteilhaft für die Entwicklung eines individuellen Fassadenbildes anzusehen. Im Gestaltungskonzept

für die Fassade sollten möglichst große Elemente berücksichtigt werden. Dies steigert die Geschwindigkeit im Bauablauf und reduziert gleichzeitig den Fugenanteil (potentielle Schwachstellen und Kostentreiber). Das Modulgewicht sollte jedoch limitiert bleiben, um das Versetzen mit einem mobilen Kran zu gewährleisten. Außerdem sollten die gängigen Straßentransportmaße berücksichtigt werden.

Öffnungen:

Die Anordnung von Öffnungen (Fenster, Türen) in der Fassade sollte durch das Fassadenelement nicht oder nur in einem geringen Maße eingeschränkt werden. Anzudenken ist, welchen Anteil das System an der Ausbildung der Öffnung übernehmen kann. So wäre es evtl. interessant, wenn das Element selber auch den Fensterrahmen ausbilden oder es zur Lüftung genutzt werden kann.

Geometrie:

In geometrischer Hinsicht ermöglicht die Verwendung von Metall als abschließende Schicht auf der Fassade eine Vielzahl von Designs. Die physikalischen Eigenschaften von Metall gewährleisten eine leichte Formbarkeit des Materials (falten, krümmen). Dadurch ist es möglich, eine Vielzahl verschiedener geometrischer Formen zu erzeugen. Die Fassadenoberfläche kann eben, einfach oder doppelt gekrümmt sein. Einzelne Elemente können einen modularen Charakter aufweisen, oder sie sind Teil der gesamten Fassade und besitzen ein individuelles Merkmal. Darüber hinaus können die modularen Elemente in einer oder mehreren Ebenen angeordnet sein. Durch deren unterschiedliche Schattenwürfe wird die Fassade dreidimensional (plastisch) erlebbar.

Anwendung:

Durch die Variation der Dicke sind prinzipiell sämtliche Möglichkeiten der Anwendung von Sandwichpaneelen in der Fassade denkbar. Als erste Variante ist in diesem Zusammenhang die (selbst)tragende Struktur, welche von Geschoßdecke zu Geschoßdecke spannt, zu nennen. Sie kommt im günstigsten Fall ohne zusätzliche Unterkonstruktion aus und stellt somit die wirtschaftlichste Möglichkeit der Bildung der thermischen Gebäudehülle dar.

Als zweite Möglichkeit wäre der Einsatz des Paneels als Vorsatzschale (Rainscreen) denkbar ohne, dass die Funktion des Energieerntens eingebüßt wird. Dabei werden die Paneele in einem gewissen Abstand zur tragenden Struktur bzw. zur Wärmedämmung montiert. Dieser dient einerseits der Belüftung der Konstruktion andererseits dem Abtransport von Wasserdampf aus dem Gebäudeinneren. Derzeit am Markt befindliche metallische Fassadenbekleidungen sind generell nicht thermisch aktiviert.

Als dritte Möglichkeit des Einbaues des Sandwichpaneels ist dessen Implementierung in herkömmliche Pfosten-Riegel-Fassadensysteme diverser Anbieter zu nennen. Das Paneel ersetzt dabei die üblicherweise transparenten Glaselemente und fungiert als opakes Bauteil überall dort, wo Verschattung der Innenräume und Gewinnung solarer Energie gefordert sind.

Alle drei Varianten sind sowohl für Fassaden von Neubauten als auch zur (thermischen) Sanierung von Bestandsobjekten bestens geeignet.

3. Thermische Betrachtungen

3.1. Wärmetechnische Anforderungen

Das Solarthermisch aktivierte Fassadenpaneel (STAF Paneel) ist den klimatischen Bedingungen des jeweiligen Standortes ausgesetzt, das heißt aus wärmetechnischer Betrachtungsweise unterliegt es der Solaren Strahlung, der Außentemperatur, der Luftfeuchte und dem Einfluss des Windes. In Abhängigkeit der Ausrichtung des Paneels und der Umgebung (Nachbargebäude, Gelände, Vegetation) kommt es zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Tages zu Wärmeeinträgen, die man zur Aufheizung eines Fluides nutzen kann, welches eigens dafür konzipierte Kanäle im Fassadenpaneel durchströmt.

Im Zuge dieses Pflichtenheftes werden nun die wärmetechnischen Anforderungen an solch ein thermisch aktiviertes Fassadenpaneel aufgelistet, mit dem man an der Paneelaußenseite die Energie der Sonne nutzen und über die Paneelinnenseite einen Innenraum thermisch konditionieren kann. Zur Unterstützung und Ausarbeitung der wärmetechnischen Anforderungen wurden zusätzlich einige numerische Simulationen durchgeführt, da in der Literatur über diese Art von Fassadenpaneelen keine Informationen vorzufinden sind. In der Simulation wurde auf die Methode der Computational Fluid Dynamics (CFD) zurückgegriffen, mit der sich die Wärmeübertragungseffekte in Kombination mit den Strömungseffekten bis ins Detail drei dimensional abbilden lassen. In diesem Fall wurde für die Modellierung, Simulation und Ergebnisauswertung ein Software Paket von ANSYS [12] verwendet, die Simulationen wurden mit der Software Fluent ANSYS [13] durchgeführt.

3.2. Funktionsweise des STAF Paneels

Ein Teil der Energie der Solare Einstrahlung wird vom Außenblech des STAF Paneels (Absorber) absorbiert und hauptsächlich mittels Wärmeübertragungsmechanismen der Wärmeleitung und des konvektiven Wärmeübergangs an das Fluid in den Kanälen des Fassadenpaneels übertragen wodurch sich die Temperatur des Fluids bis zum Austritt dieses Paneels merkbar erhöht.

Gleichzeitig kann mit einem Fluid, welches die Kanäle auf der Innenseite des STAF Paneels durchströmt, je nach Bedarf dem Raum dahinter (Wohnraum, Büroraum, etc.) Wärme zugeführt oder entzogen werden (siehe Abb. 13).

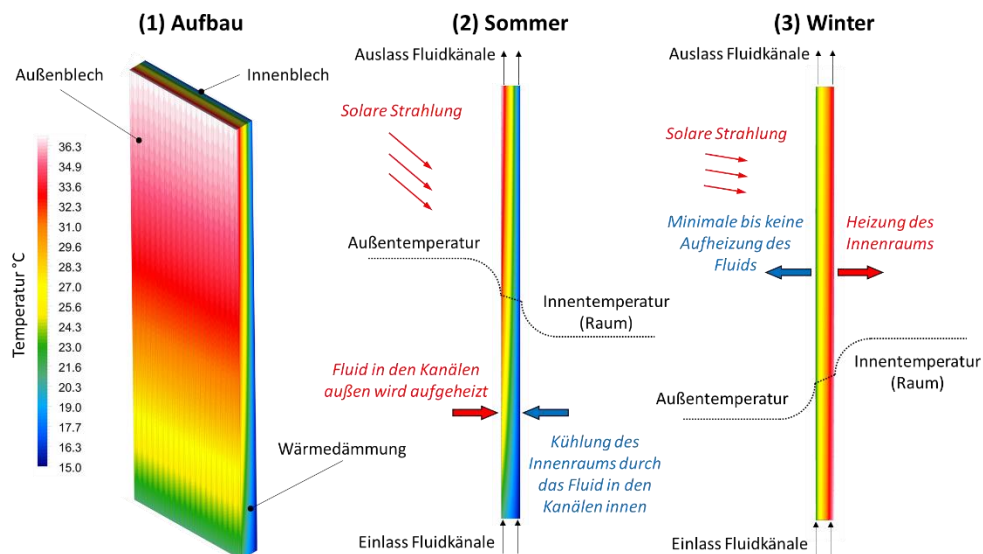


Abb. 13: Darstellung des (1) Aufbaus des STAF Panels, sowie eines Temperaturverlaufs für das Panel im (2) Sommer und im (3) Winter

Aus wärmetechnischer Sicht sollen die nun folgenden Anforderungen möglichst erfüllt werden.

3.3. Spezifikation des Mediums (Fluids)

Als Fluid, welches die Bleche des thermisch aktivierten Fassadepaneels durchströmen, wird in erster Linie Wasser verwendet. Eventuell sind noch diverse Zusätze notwendig, um für die kalten klimatischen Bedingungen das Einfrieren des Fluids und dadurch resultierende Schäden zu vermeiden. Wasser weist bei einer Temperatur von 20 °C eine Dichte von 997.8 kg/m³ auf. Im Vergleich zur Luft (mit einer Dichte von etwa 1.2 kg/m³ bei gleicher Temperatur) ist die Dichte wesentlich höher (832 mal so hoch), zudem ist auch die spezifische Wärmekapazität $c_{p,F}$ um mehr als das 4-fache höher. Da in der Gleichung (Glg. 1) für die Wärmeleistung \dot{Q}_F sowohl die Dichte (im Massenstrom) als auch die spezifische Wärmekapazität enthalten ist, eignet sich in diesem Anwendungsfall Wasser deutlich besser (als Wärmeträger bzw. Fluid).

Glg. 1: Gleichung zur Ermittlung der Wärmeleistung des STAF Panels

$$\dot{Q}_F = \dot{m}_F \cdot c_{p,F} \cdot (T_{F,aus} - T_{F,ein})$$

\dot{Q}_F ... Wärmeleistung des Fluids (J/s, W)

\dot{m}_F ... Massenstrom des Fluids (kg/s)

$c_{p,F}$...spezifische Wärmekapazität des Fluids (J/(kgK))

$T_{F,aus}$...Eintrittstemperatur des Fluids (°C)

$T_{F,ein}$...Austrittstemperatur des Fluids (°C)

In Tabelle 1 sind die Stoffdaten und die aus einem Simulationsszenario ermittelten Fluid Austrittstemperaturen und daraus berechneten Wärmeleistungen zum Vergleich dargestellt. Neben Wasser und Luft wurden exemplarisch auch noch ein paar weitere Fluide in der Simulation getestet (unter anderem auch Methylalkohol, dessen Daten ebenfalls in Tabelle 1 enthalten sind), die besten Ergebnisse erzielte man jedoch unter der Verwendung von Wasser.

Tabelle 1: Vergleich der Wärmeleistung für unterschiedliche Medien in den Fluidkanälen der Außenbleche

		Wasser	Luft bei gleichem Massenstrom	Luft bei gleichem Volumenstrom	Methylalkohol bei gleichem Massenstrom	Methylalkohol bei gleichem Volumenstrom
Dichte des Fluids	kg/m ³	998.2	1.225	1.225	785	785
spezifische Wärme-kapazität des Fluids	J/kgK	4182	1006	1006	2534	2534
Fluidtemperatur am Kanal- austritt	°C	27.82	43.40	51.06	32.84	35.70
Strömungsgeschwindigkeit massengemittelt	m/s	0.05	38.48	0.05	0.06	0.05
Strömungsgeschwindigkeit am Austritt des Kanals	m/s	0.28	227.79	0.27	0.36	0.28
Wärmeleistung	J/s; W	744.57	396.85	0.62	628.02	573.03

In diesem Simulationsszenario wurde ein STAF Paneel mit den Abmessungen 1.75 x 0.5 x 0.15 m betrachtet (das entspricht ca. einem Viertel der Fläche eines Paneels, dass sich über eine Geschosshöhe erstreckt). Dafür wurden eine Außentemperatur von 30 °C, eine Solaren Strahlung von 1000 W/m² bei einem Einstrahlwinkel von 45° und eine Innenraumtemperatur von 20 °C angenommen. Der Wärmeübertragungskoeffizient wurde in der Höhe von 25 W/m² außenseitig und 5 W/m² innenseitig angenommen. Für die Eintrittstemperatur wurde in der Simulation ein Wert von 15 °C festgelegt, der Massenstrom beträgt 50 kg/h und die Solare Strahlungsabsorptionsrate am Blech (durch eine Solarlackbeschichtung) 95%. In dieser Simulationsstudie wurden die Fluidkanäle an der Innenseite nicht von einem Fluid durchströmt.

3.4. Kollektor Wirkungsgrad

Der Kollektor Wirkungsgrad beschreibt die Wärmeleistung (bzw. Nutzenergie) eines Kollektors bezogen auf die auf den Kollektor auftreffende Solare Strahlung und ist somit ein Maß für dessen Effizienz. Durch die Berechnung des Wirkungsgrades bei verschiedenen Betriebszuständen lässt sich in weiterer Folge eine Kollektorkennlinie erstellen. Dadurch können verschiedene Varianten von solar thermische Kollektoren untereinander verglichen werden. In Abb. 14 sind die Kennlinien für verschiedene Kollektoren dargestellt. Die zwei Kennlinien für Flachkollektoren mit selektiven und nicht selektiven Absorbern dienen zum Vergleich mit der Kennlinie eines vertikal ausgerichteten, nicht abgedeckten Absorbers bei Windstille und bei Wind.

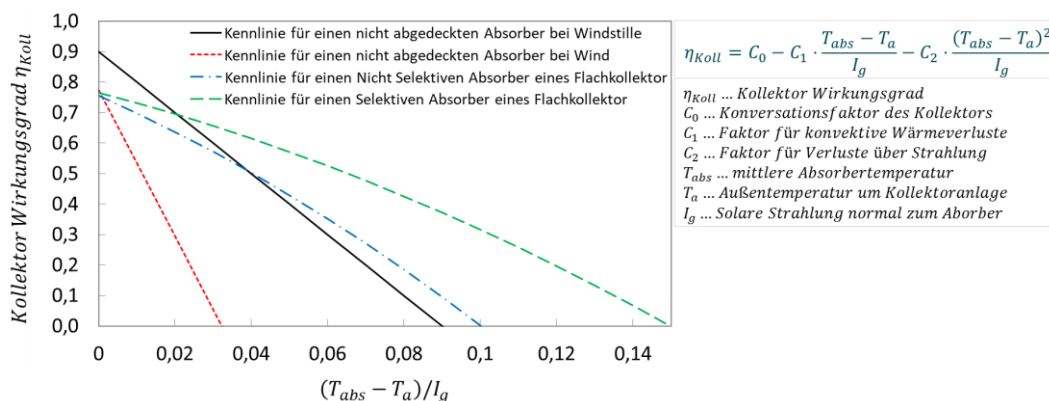


Abb. 14: Vergleich zwischen den Kollektorkennlinien der gängigen solar-thermischen Kollektoranwendungen

Während die beiden Flachkollektoren (Daten stammen aus der Literatur [14], [15]) durch ihre Glasabdeckung annähernd vom Einfluss des Windes unabhängig sind, ist anhand der beiden Kennlinien des nicht abgedeckten Absorbers (Daten stammen vom bereits abgeschlossenen Forschungsprojekt UNAB [16]) eine starke Abhängigkeit vom Wind ersichtlich. Bei Windstille kann der nicht abgedeckte Absorber mit nicht selektiven Flachkollektoren mithalten, jedoch bei einer Windstärke von 1 m/s ist die Effizienz deutlich niedriger. Durch das Vorsetzen einer Glasscheibe kann man diesem Effekt jedoch entgegenwirken. Aus diese Grund muss man im Zuge der Planungsphase die örtlichen Wetterdaten analysieren um unter Berücksichtigung der Nutzungsart entscheiden zu können welche Variante besser geeignet ist.

3.5. Fluidkanalführung und Kanalquerschnitte

Bezüglich des Einflusses der Kanalführung und der Kanalquerschnitte wurden bereits einige Analyse durchgeführt. In der ersten von diesen Analysen wurde lediglich ein Ausschnitt des Außenblechs von 1.5 m Höhe und 1 m Breite betrachtet (siehe Abb. 15). In der Simulation musste man dafür jeweils nur einen Kanal modellieren und die jeweilige Strömungsgeschwindigkeit als Randbedingung einsetzen, ausgehend vom gleichen Massenstrom und unter Berücksichtigung der entsprechenden der Anzahl der Fluidkanäle die auf 1 m Blechbreite jeweils Platz finden. Aus einer Studie des abgeschlossenen Forschungsprojektes UNAB [16] geht aus einer Studie hervor, dass ein sogenannter Wellenrohrquerschnitt sehr gut für die Übertragung der Solaren Energieeinträge auf das Fluid im Absorber geeignet ist. Die Querschnitte der Fluidkanäle der Absorberbleche die von der Firma Talum d.d hergestellt werden, weisen eine sehr ähnliche Form auf. Deshalb wurden im ersten Schritt auch die drei signifikantesten Querschnitte aus dem Repertoire von Talum ausgewählt und einer wärmetechnischen Analyse unterzogen. In der Analyse wurde eine Solare Strahlung von 600 W/m² vertikal auf das Absorberblech und eine Außentemperatur von 30 °C angenommen. Die Wassereintrittstemperatur wurde mit 20 °C angenommen bei einem über die Fluidkanäle aufsummierten Massenstrom in der Höhe von 50 kg/h. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Tabelle 2 aufgelistet.

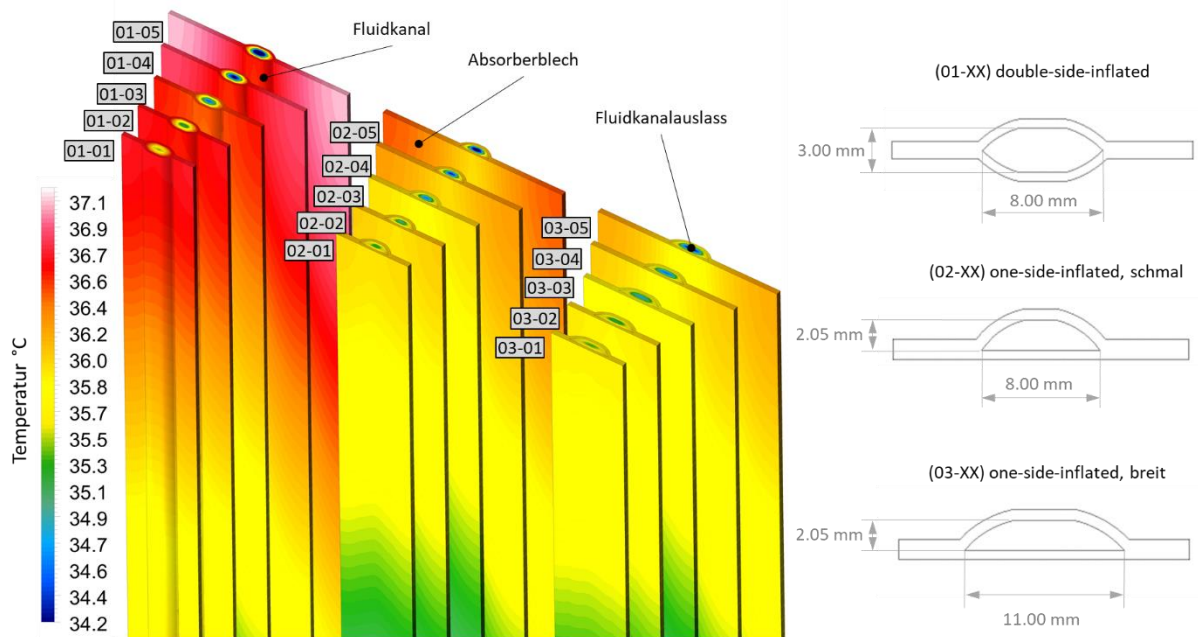


Abb. 15: Einfluss der Kanalbreite und des Kanalabstandes des Talum Kanalquerschnitts auf die Wasseraustrittstemperatur

Tabelle 2: Ergebnisse der Wärmetechnischen Analyse der Fluidkanalquerschnitte von Talum d.d

Querschnitts- bezeichnung	Fluidkanal- abstand	Anzahl der Fluidkanäle auf 1m Blechbreite	Wasseraustritts- temperatur	Temperatur- differenz zwischen Ein- und Auslass	Strömungs- geschwindigkeit im Fluidkanal	Maximale Temperatur am Absorberblech	Mittlere Temperatur am Absorberblech	Flächeinhalt des Fluidkanal- querschnitts	Umfang des Fluidkanal- querschnitts	hydraulischer Durchmesser	Reynolds- zahl	Druckdifferenz zwischen Ein- und Auslass
	mm	-	°C	K	m/s	°C	°C	m ²	m	m	-	Pa
1-1	20	49	36.1	16.1	0.0157988	36.7	29.0	1.80E-05	0.018	0.0040	64	44
1-2	25	39	35.9	15.9	0.0198497	36.7	29.1	1.80E-05	0.018	0.0040	80	55
1-3	30	32	35.6	15.6	0.0241919	36.6	29.1	1.80E-05	0.018	0.0040	97	68
1-4	40	24	35.4	15.4	0.0322558	36.9	29.4	1.80E-05	0.018	0.0040	130	91
1-5	50	19	35.2	15.2	0.0407442	37.1	29.6	1.80E-05	0.018	0.0040	164	114
2-1	20	49	35.6	15.6	0.0239287	36.1	29.1	1.19E-05	0.018	0.0027	64	131
2-2	25	39	35.5	15.5	0.0300643	36.1	29.3	1.19E-05	0.018	0.0027	81	165
2-3	30	32	35.3	15.3	0.0366409	36.0	29.3	1.19E-05	0.018	0.0027	98	201
2-4	40	24	35.2	15.2	0.0488545	36.3	29.7	1.19E-05	0.018	0.0027	131	267
2-5	50	19	35.0	15.0	0.0617110	36.5	30.0	1.19E-05	0.018	0.0027	166	339
3-1	20	49	35.7	15.7	0.0165872	36.0	29.7	1.71E-05	0.023	0.0030	49	83
3-2	25	39	35.6	15.6	0.0208403	36.0	29.8	1.71E-05	0.023	0.0030	61	105
3-3	30	32	35.4	15.4	0.0253991	35.9	29.9	1.71E-05	0.023	0.0030	75	128
3-4	40	24	35.3	15.3	0.0338655	36.1	30.3	1.71E-05	0.023	0.0030	99	170
3-5	50	19	35.1	15.1	0.0427775	36.3	30.7	1.71E-05	0.023	0.0030	126	215
3-6	70	13	34.4	14.4	0.0625210	36.4	30.1	1.71E-05	0.023	0.0030	184	315
3-7	90	10	34.1	14.1	0.0812772	37.0	31.5	1.71E-05	0.023	0.0030	239	411
3-8	110	8	33.6	13.6	0.1015966	37.6	30.8	1.71E-05	0.023	0.0030	298	514
3-9	130	6	32.2	12.2	0.1354621	37.5	31.8	1.71E-05	0.023	0.0030	398	687

Die Auswertung ergab, dass die Wasseraustrittstemperatur mit abnehmendem Fluidkanalabstand zunimmt. Die höchsten Wasseraustrittstemperaturen und geringsten Druckverluste wurden für den Querschnitt 01 (double side inflated) erzielt, gefolgt vom Querschnitt 03 (one side inflated, breit) und dem Querschnitt 02 (one side inflated, schmal). Aus architektonischer Sicht sind jedoch die Auswölbung nach außen unerwünscht, sodass ein one side inflated Querschnitt verwendet werden soll, der eine möglichst große Kanalquerschnittsbreite aufweist.

In einer weiteren Studie wurde ein Absorberblech mit den Abmessungen von 1.75 x 0.5 m analysiert. In dieser Analyse wurden nochmals die beiden Querschnitte 01 und 02 bei unterschiedlichen Fluidkanalabständen (35 mm und 50 mm) miteinander verglichen. Die Randbedingungen waren

dieselben wie zuvor, mit Ausnahme des Massenstroms der auf 6.75 kg/h verringert wurde. Die Ergebnisse sind hier in der Form von Temperaturkonturen in Abb. 16 und den Wasseraustrittstemperaturen sowie den daraus berechneten Wärmeleistungen Tabelle 3 präsentiert.

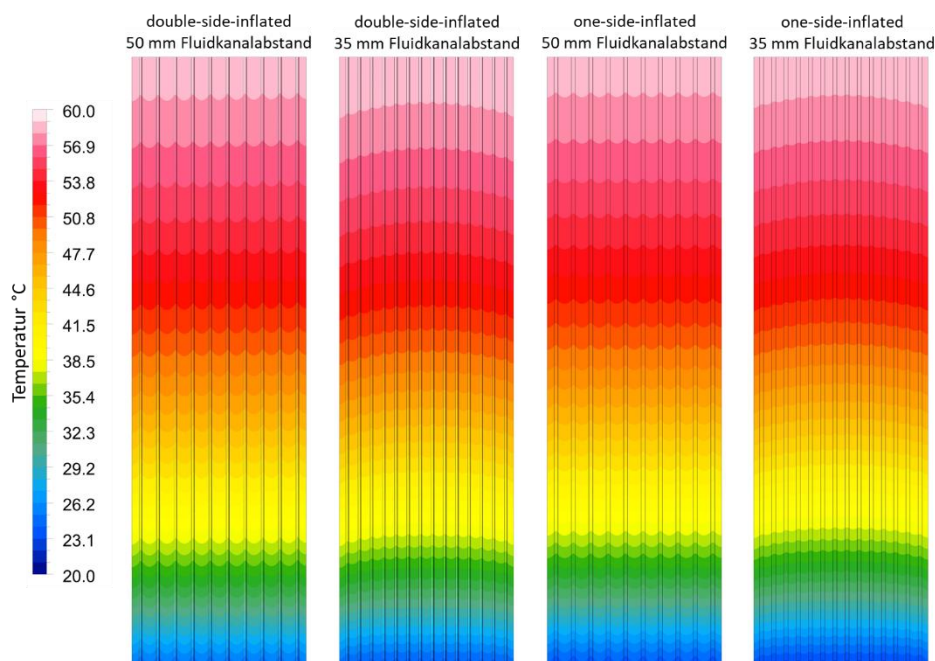


Abb. 16: Vergleich der Temperaturkonturen am Außenblech eines STAF Paneels von 1.75 x 0.5 m bei unterschiedlichen Fluidkanalquerschnitten und -abständen

Tabelle 3: Ergebnisse der Wärmetechnischen Analyse

		double side inflated	double side inflated	one side inflated	one side inflated
		50 mm Kanalabstand	35 mm Kanalabstand	50 mm Kanalabstand	35 mm Kanalabstand
Temperatur des Fluids am Austritt	°C	58.2	58.6	58.3	58.5
Wärmeleistung für ein 1.75 x 0.5 m Paneel	J/s; W	316.7	319.3	317.6	318.9

Das Fluid wurde in dieser Simulationsvariante fast bis auf 60 °C aufgeheizt, was zur Beladung eines Warmwasserspeichers ausreicht. Der Einfluss des Fluidkanalquerschnitts ist hier sehr gering (0.1 K), die Wassertemperatur ist bei einem Kanalabstand von 35 m höher als bei 50 mm.

In der letzten Analyse wurde ein STAF Paneel (bestehend aus Außenblech, Innenblech und Wärmedämmung) mit den Abmessungen 1.75 x 0.5 x 0.15 m wärmetechnisch analysiert, wobei nur die Fluidkanäle außen von Wasser durchströmt wurden. In dieser Analyse (siehe Abb. 17) wurden die gleichen Randbedingungen angenommen, wie in der Analyse des Einflusses des Fluids in den Kanälen (siehe Kapitel: Spezifikation des Mediums (Fluids)). Als Fluid wurde in der Analyse Wasser verwendet, das mit einem Massenstrom von 50 kg/h die Kanäle des Absorberblechs durchströmt.

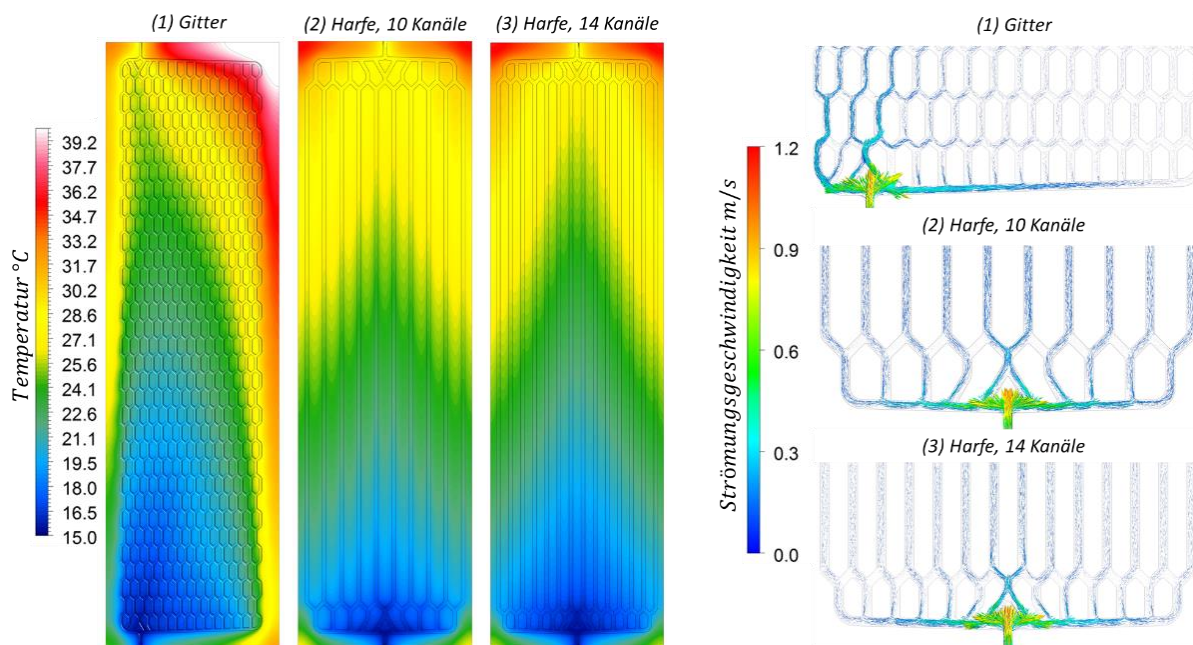


Abb. 17: Vergleich der Temperaturkonturen am Außenblech eines STAF Paneels bei (1) gitterförmiger Fluidkanalführung, (2) harfenförmiger Fluidkanalführung mit 10 vertikalen Kanälen und (3) Fluidkanalführung mit 14 vertikalen Kanälen

In Tabelle 4 werden für unterschiedliche Fluidkanalführungen Temperaturen, Druckdifferenz zwischen Ein- und Auslass der Fluidkanäle, Strömungsgeschwindigkeiten sowie Wärmeleistung verglichen.

Tabelle 4: Vergleich von Temperaturen, Druckdifferenz, Strömungsgeschwindigkeit und Wärmeleistung bei unterschiedlichen Fluidkanalführungen.

		double side inflated	one side inflated	one side inflated
		Gitter Talum	Harfe 10 Kanäle	Harfe 14 Kanäle
Temperatur des Fluids am Austritt	°C	27.8	27.7	27.9
Maximal auftretende Temperatur am Panel	°C	42.8	35.6	35.9
Mittlere Temperatur des Außenblechs	°C	25.1	24.4	24.0
Wärmeleistung	J/s; W	744.6	739.9	750.3
Druckdifferenz zwischen Ein- und Austritt	Pa	1056.3	1599.5	1423.7
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit	m/s	0.05	0.09	0.07
Maximal auftretende Strömungsgeschwindigkeit	m/s	1.02	1.16	1.16

Ausgehend von der Variante (1), einem Absorber mit gitterförmiger Kanalführung und einem double side inflated Querschnitt, wurden zwei weitere Varianten (2), (3) mit breiten one side inflated Fluidkanälen. Aus der Auswertung geht hervor, dass die Harfengeometrie mit 14 Kanälen am besten abschneidet, obwohl der gitterförmige Absorber den aus wärmetechnischer Sicht optimaleren Fluidkanalquerschnitt besitzt. Anhand der dargestellten Strömungsvektoren ist zu dem noch feststellbar, dass die Geometrie zur Fluidaufteilung auf die einzelnen Kanäle im Fluideintrittsbereich noch optimiert werden kann.

3.6. Beschichtungen für den Absorber des STAF Paneels

Da die blanken Metallpaneele eine sehr niedrige Solare Absorptionsrate aufweisen, ist für das STAF Panel eine zusätzliche Beschichtung notwendig um die Absorptionsrate (Absorptionskoeffizient α_{Sol}) zu erhöhen. Um die Wärmeverluste durch Strahlung vom Absorber zu reduzieren, weisen diese Beschichtungen eine möglichst niedrige Emissionsrate (Emissionskoeffizient ε_{Heat}) auf. Es gibt drei gängige Varianten zur Erhöhung der Absorptionsrate [17] durch Beschichtung, das Auftragen einer (nicht selektiven) Lackschicht und die Beschichtung von Metalloberflächen mittels Galvanisierungs- oder Aufdampfungsverfahren [18] (Vakuum-Sputtertechnik).

Die Solarlackbeschichtung (=ein spezieller Lack auf der Basis von Mischpolymerisaten [19]) ist eine sehr günstige und auch umweltfreundliche Variante, und kann zudem auch selbst einfach aufgetragen werden. Dabei liegt der Absorptionskoeffizient bei ca. 0.95, der Emissionskoeffizient bei ungefähr 0.85. Durch das Aufbringen einer Schwarzschrömschicht durch galvanisieren liegt der Absorptionskoeffizient zwar auch bei 0.95 (wie beim Solarlack), aber der Emissionskoeffizient von etwa 0.15 ist im Vergleich dazu wesentlich geringer. Durch das Aufdampfen einer speziellen Beschichtung (blau statt schwarz) kann sogar ein Emissionskoeffizient von 0.05 realisiert werden. Eine allgemeine Empfehlung einer dieser Varianten ist allerdings nicht möglich, das hängt sehr stark vom Anwendungsbereich ab.

3.7. Abdeckungen für den Absorber des STAF Paneels

Aus der Literatur [14], [15] und auch aus dem Diagramm mit dem Kollektorwirkungsgrad (in Abb. 14) geht eindeutig hervor, dass die Effizienz durch eine transparente Abdeckung des Kollektors steigt, wenn die Umgebungstemperatur unter der mittleren Absorbertemperatur liegt. Dies ist auf die konvektiven Wärmeverluste zurückzuführen, die durch eine Abdeckung verringert werden. Der optimale Abstand zwischen der transparenten Abdeckung und dem Absorberblech liegt dabei zwischen 40 und 100 mm [16].

3.8. Ausrichtung des STAF Paneels

Die Absorberbleche sind grundsätzlich in der Fassadenebene eingebettet, das heißt vertikal zum Grund ausgerichtet. Dies führt dazu, dass bei niedrigeren Sonnenständen (morgens und abends in westlicher und östlicher Orientierung oder im Winter und südlicher Ausrichtung) der Einstrahlwinkel optimaler ist. Grundsätzlich ist eine Ausrichtung der Absorberbleche in der Fassade möglich, ob dies Sinn macht hängt jedoch von der Art und dem Zeitpunkt der Nutzung der Solaren Energie ab.

Es besteht theoretisch auch die Möglichkeit dieses STAF Paneel (in modifizierter Version) auch als Dachabdeckung zu verwenden wodurch sich je nach Dachwinkel und Orientierung des Dachs auch entsprechend der Solare Energieeintrag ändert.

3.9. Maximaler Wärmeunterschied

In den Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB-Richtlinie [20]) unter Energieeinsparung und Wärmeschutz steht: *„Schädliche Kondensation an der inneren Bauteiloberfläche bzw. im Inneren von Bauteilen ist zu vermeiden. Bei Neubau und größerer Renovierung von Gebäuden ist die ÖNORM B 8110-2 einzuhalten. Allfällige negative Wirkungen von Wärmebrücken sind unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Möglichkeiten weitestgehend zu reduzieren.“*

Fürs erste gilt die Annahme, dass die Temperatur des Fluids (sowohl innen- als auch außenseitig in den Fluidkanälen) am Eintritt in die Blechkonstruktion eine Temperatur von 15 °C nicht unterschreiten soll. Allerdings besteht durchaus die Möglichkeit mit Hilfe von Kondensatabläufen das kondensierte Wasser abzuleiten und somit die Bildung von Schimmel oder anderen Folgeschäden zu vermeiden. Unter diesen Umständen sind durchaus auch Temperaturen unter 15 °C andenkbar.

3.10. Integration von Photovoltaik (hybride Anwendung, PV/T)

Das Kombinieren von solarthermischen Kollektoren mit Photovoltaikzellen wurde auf wissenschaftlicher Ebene bereits sehr umfangreich behandelt und man findet diesbezüglich eine Vielzahl an Forschungsarbeiten (ScienceDirect: [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27]). In wie fern eine kombinierte solare Nutzung für das STAF Paneel einen Sinn ergibt, wird im Zuge des Projekts noch genauer untersucht. Es war im Zuge der Recherche allerdings keine Literatur zu vorzufinden, in der auch ein thermisch aktiviertes Sandwichpaneel vorkommt.

3.11. Anwendungsbereiche

Das STAF Paneel kann grundsätzlich sehr umfangreich eingesetzt werden, am Dach und in der Fassade im Büro- und Wohnbau als Wärmedämmung, zur Warmwassererzeugung und/oder zur Raumkonditionierung (Heizung, Kühlung). Für Heizungszwecke und -unterstützung ist wahrscheinlich eine relativ große Fläche am Gebäude notwendig, die mit STAF Paneelen ausgestattet ist. Zur Warmwasseraufbereitung für Einfamilienhäuser würden bereits ein paar wenige Paneele ausreichen, die handelsübliche Solarthermische Kollektoren auf den Dächern ersetzen könnten.

Theoretisch ist auch das Einspeisen in ein Wärmenetz (Fernwärme) denkbar, dafür könnten in der Nähe befindliche Werkshallen, Gebäude, etc. mit STAF Paneelen ausgestattet werden. Für die Übergabe an das Wärmenetz muss jedoch eine Übergabestation konzipiert werden um die Temperaturen des Fluids entsprechend den Anforderungen des Wärmenetzes anzuheben.

Als eine weitere Anwendung für das STAF Paneel wäre die Nutzung der generierten Energie zur Saisonalen Speicherung (z.B. Erdreich oder Eisspeicher). Dadurch kann man den Überschuss an Energie aus dem Sommer in den Übergangszeiten zum Winter und im Winter selbst zum Heizen oder zur Warmwasseraufbereitung nutzen.

Das STAF Paneel eignet sich auch gut für den Bereich der reinen Raumkühlungsanwendung. Das betrifft unter anderem auch Kühlhäuser oder Lagerhäuser für leicht entflammbare Materialien in denen die Raumtemperaturen einen bestimmten Wert nicht überschreiten darf.

4. Umformtechnische Betrachtungen

Ziel des „INTERREG ABS-Network SIAT 125“ Projekts ist die Entwicklung eines Prototyps für ein thermisch aktives Panel einer Gebäudeaußenhülle. In diesem Panel wird durch den Einsatz von Fluid-Kanälen die Energie der Sonne energetisch genutzt. Gleichzeitig kann durch das Panel die Innenseite des Raums entweder gekühlt oder geheizt werden.

Auf Basis der vorangegangenen Betrachtungen werden in der Folge die für die Fertigung des STAF-Panels geplanten Prozessschritte beschrieben. Nach umgehender Recherche und Diskussionen unter den beteiligten Projektpartnern werden geeignete Fertigungsverfahren und damit verbundene Berechnungsmethoden ausgewählt um einen realen Demonstrator herstellen zu können. Insbesondere die Fertigung der Aussenhüllen des solarthermisch aktivierten Fassadenpanels erfordert eine fundierte technische Auslegung, welche mittels moderner FEM-Berechnungsmethoden durchgeführt wird.

In Abb. 2 ist das Konzept des STAF-Panels dargestellt. Die Aussen- und Innenhülle des Panels bestehen aus zwei miteinander mittels der Roll-Bonding Technologie verbundener Bleche, welche im Anschluss durch die Wirkung eines gasförmigen Mediums in zuvor bestimmten Bereichen aufgeweitet werden. Es entsteht ein Kanal durch welchen mittels eines Fluids Wärme aufgenommen bzw. abtransportiert werden kann. Das innere Blech beinhaltet die Hohlräume die als Kanäle genutzt werden, das äussere Blech dient als Deckblech zum Abdichten und ist die Aussenfläche des Panels.

Aus den Vorgaben der thermischen bzw. bautechnischen Betrachtungen und den Einschränkungen durch die Projektpartner (diese ergeben sich aus den maschinentechnischen/materialtechnischen Verfügbarkeit bei den Projektpartnern) werden vorerst folgende Parameter für die Herstellung der Paneele festgelegt:

- Maximale Paneellänge: 1750mm
- Maximale Paneelbreite: 500mm
- 2 verfügbare Materialien: Al99.5 (AL 1050) und AlZr (AL 1230) - siehe Abb. 18
- Max. Ausgangsblechstärke für das RollBonding max. 1.5 mm

Material	Direction	A (%) repture	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	E (MPa)
1050	longitudinal	47.5	56	76	57 742
1050	transversal	48	55	70	68 300

1230	longitudinal	44.4	66	91	59 495
1230	transversal	31.486	57	83	60 383

Abb. 18: Materialkennwerte Al99.5 und AlZr

4.1. Prozessbeschreibung – Roll-Bonding

Das Verfahren „Roll-Bonding“ ist bekannt für die Herstellung von Wärmetauschern in Flachkollektoren bzw. bei Kühlgeräten. Der Vorteil des Verfahrens ist, dass man die Kühlkanäle optimal formen kann und der Fügeprozess mit dem Walzprozess einhergeht. Das Verfahren des Roll-Bondings ist in Abb. 19 dargestellt. Zwei Blechcoils werden durch einen Abwickler abgerollt und anschließend durch ein geeignetes Rollengerüst ausgerichtet. Bevor die Bleche mittels Siebdruck-Verfahrens mit einem Graphitmuster bedruckt werden erfolgt noch eine genaue Reinigung der Bleche. Das aufgedruckte Graphitpulver-Muster beschreibt die Geometrie der späteren Kanäle. Der Einsatz des Graphits dient als Trennmittel, dadurch können sich die zwei Platinen in diesen Bereichen nicht dauerhaft miteinander verbinden. Nach dem Siebdruck werden die Coils erhitzt und dann durch Walzen mit hohem Druck miteinander verpresst. Hierbei werden die beiden Ausgangsbleche mit einer jeweiligen Blechdicke von ca. 1,5mm auf insgesamt 1,5mm gewalzt. Abschließend findet noch eine Wasserkühlung und das Ablängen der Bleche auf die gewünschte Länge statt.

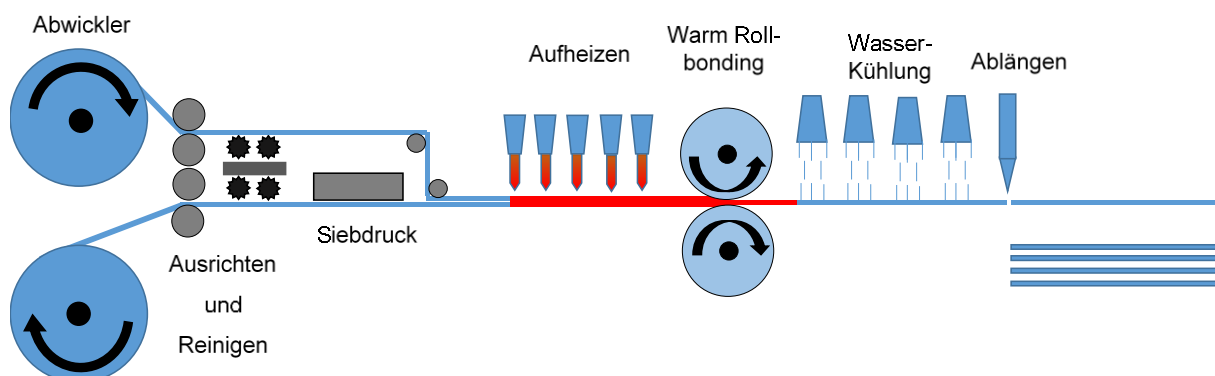


Abb. 19: Verfahrensprinzip Roll-Bonding (Quelle: Talum, Tovarna aluminija d. d.)

In Abb. 20 ist das Prinzip der Fertigung der Kanäle dargestellt. Die zuvor produzierten Roll-Bonding Platinen kommen in eine spezielle Umformanlage. Hier werden mittels eines gasförmigen Fluids jene Bereiche, welche zuvor mit dem Graphitpulver bedruckt worden sind, mit Druck beaufschlagt bis sich die gewünschte Umformung zu einem Kanal ausreichender Größe ergeben hat. Hierbei kann durch das Siebdruckverfahren die Geometrie sehr variabel gestaltet werden. Die große Herausforderung ist es hier genügend Innendruck für die Umformung bereitstellen zu können. Typischerweise sind hier Drücke bis 140 bar realistisch. Das Verfahren ist bekannt aus der Produktion von Wärmetauschern. Hierbei werden zwei Bleche mit gleichem Werkstoff und Blechstärke beidseitig aufgeblasen (wie in Abb. 20 dargestellt). Für die Produktion des STAF-Panels ist es jedoch aus architektonischen Vorgaben notwendig eine Seite eben zu belassen. Die kann durch einen Materialmix mit unterschiedlichen Materialeigenschaften und einer Variation der Blechdicken realisiert werden. Die optimale Auslegung der zu fügenden Platinen und die Kalkulation der Prozessparameter werden ein Hauptpunkt der umformtechnischen Betrachtungen in diesem Projekt sein.

Außerdem wird die Möglichkeit der Umformung (z.B. durch Tiefziehen) der fertig aufgeblasenen „Roll-Bonding“ Platinen untersucht werden. Es gilt die Eignung des Verfahrens für die Herstellung von dreidimensional gebogenen Fassaden zu betrachten.

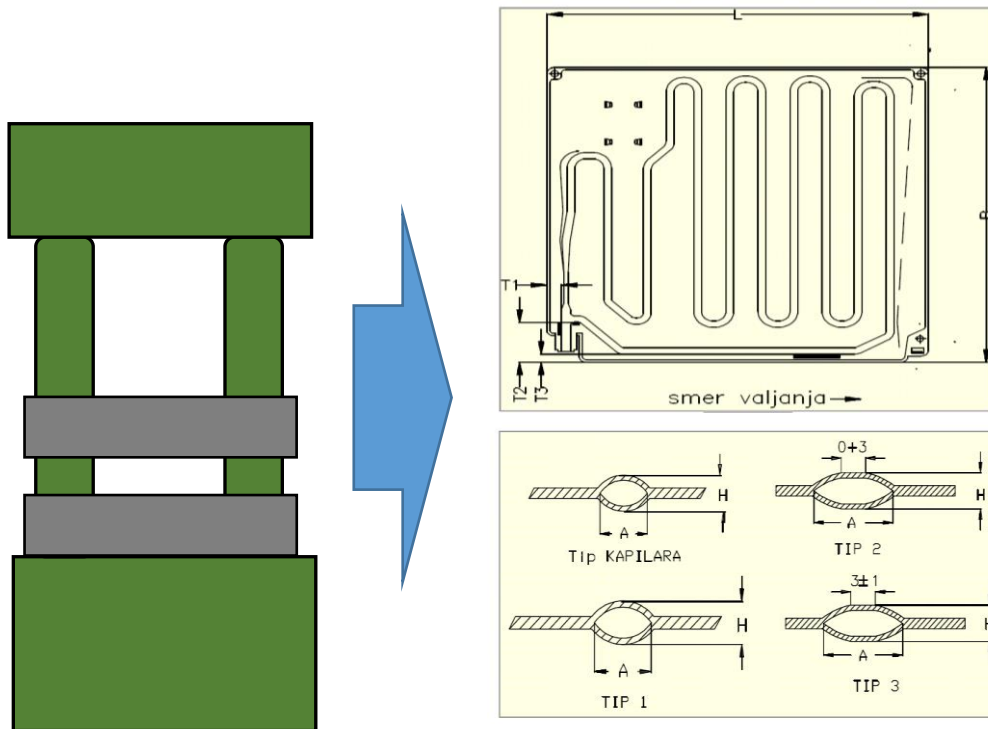


Abb. 20: Wirkmedienbasiertes Aufblasen der Kanäle bei Roll-Bonding Platinen (Quelle: Talum, Tovarna aluminija d. d.)

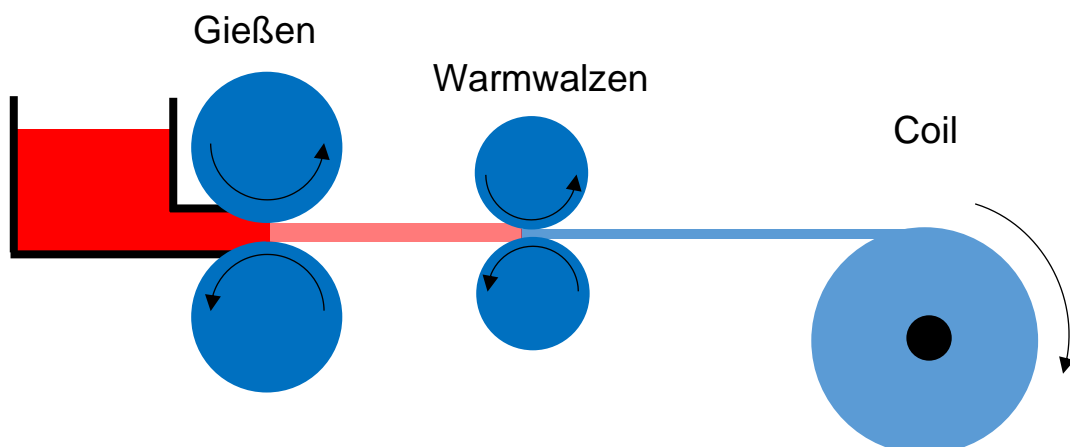


Abb. 21: Prinzip: Endlosgießen – Warmwalzen – Aufrollen zum Coil (Quelle: Talum, Tovarna aluminija d. d.)

Die Prozessschritte für die Herstellung der aufgeblasenen Doppelplatten können wie folgt zusammengefasst werden:

- Endlosgießen (6mm Dicke) – siehe Abb. 21
- Warmwalzen (bis 1 mm Dicke) – siehe Abb. 21
- Aufbringen des Graphit-Kanalmusters per Siebdruckverfahren - siehe Abb. 19
- Roll-bonding - siehe Abb. 19
- Wärmebehandlung
- Ausrichten und Ablängen
- Aufblasen der Kanäle (Drücke > 100 bar) - siehe Abb. 20
- Folgeoperationen (Stanzen, Ausrichten, Löten der Anschlüsse, ...)

4.2. Aufbau / Entwicklung eines geeigneten FEM-Modells

Die virtuelle Produktentwicklung des Panels, insbesondere das Aufblasen der Fluidkanäle in den Aluminium-Außenwänden, wird durch eine FEM-Simulation abgesichert. Das realitätsnahe Aufblasen der Fluidkanäle ist kein Standard-Umformsimulations-Prozess und ist in kommerziellen „Special Purpose“ FEM-Umformsimulationsprogrammen nicht standardmäßig implementiert. Dadurch ist es erst notwendig ein für den speziellen Prozess geeignetes FEM-Modell aufzubauen.

In einer Vorstudie wurde ein Modell mit der Software ESI PamStamp2G [28] aufgebaut, welches das Aufblasen der Kanäle grundsätzlich ermöglicht. Die Bleche wurden mit Volumenelementen definiert. Das obere Blech und das untere Blech wird an den Kontaktflächen fix miteinander verbunden. In den Bereichen, in denen später der Kanal aufgeblasen wird, erfolgt keine Verbindung der Elementknoten. In den Bereichen der Kanäle wird eine zusätzliche Fläche mit Schalenelementen vernetzt. Diese Schalenelemente sind notwendig für die Aufbringung des Innendrucks welcher das aktive Wirkmedium repräsentiert – siehe Abb. 22.

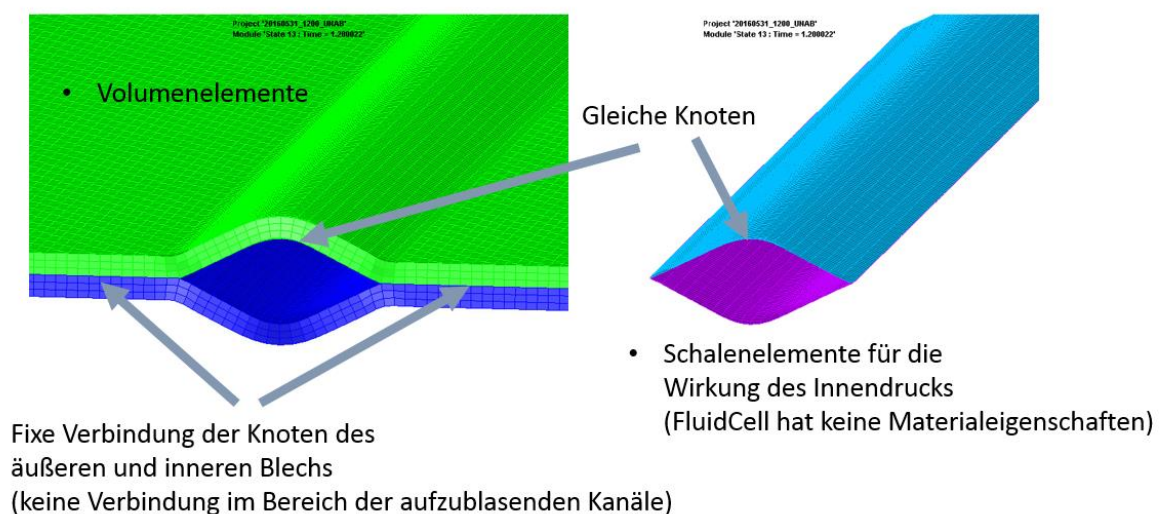


Abb. 22: FEM-Modell ESI PamStamp – Aufblasen von Kanälen

Nachteil dieser Methode ist, dass der Druck über die gesamte Fläche der Kühlkanäle gleichzeitig wirkt und dadurch das reale Verhalten während des Aufblasens nicht abgebildet werden kann. Ein zeitabhängiges Aufblasen der Kanäle ist zwar möglich (siehe Abb. 23), dafür muss man jedoch den Fortlauf der Umformung im Vorhinein wissen. Dies ist im Allgemeinen aus der Natur der Sache aber nicht bekannt.

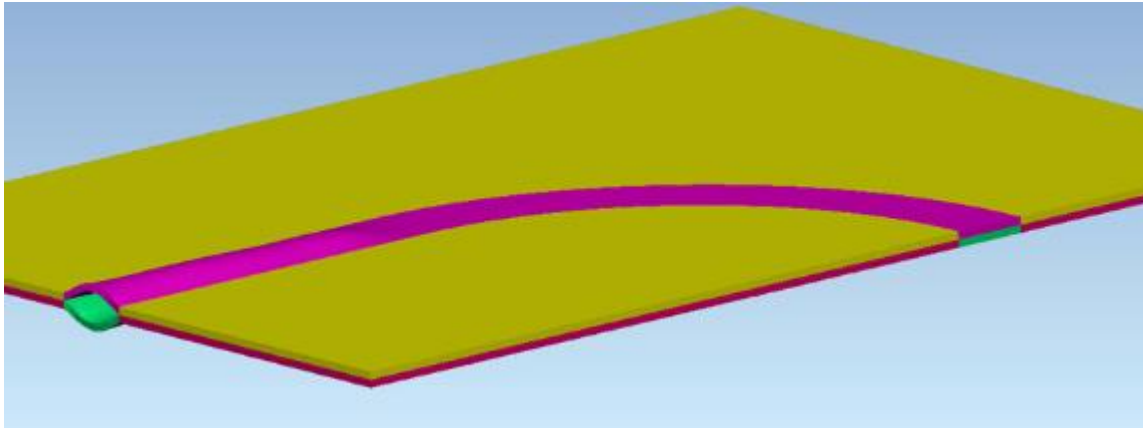


Abb. 23: FEM-Modell ESI PamStamp – zeitabhängiges aufblasen von Kanälen

Für die Simulation des Aufblasen der Kühlkanäle wird ein realitätsnäheres FEM-Modell aufgebaut. Hierzu wird versucht die Möglichkeiten des „General purpose“ Simulationsprogramms „LS-DYNA“ zu nutzen in welchem Programmmodule aus dem Bereich „Passive Sicherheit“ zur Verfügung stehen, insbesondere die Airbag-Simulation. Diese Module werden mit der klassischen Umformtechniksimulation verbunden um damit das Aufblasen der Kühlkanäle besser abbilden zu können.

4.3. Ermittlung Materialkennwerte für die Umformsimulation

Um eine Umformsimulation möglichst realistisch berechnen zu können, ist es erforderlich die Materialkennwerte, der in der Simulation verwendeten Materialien, möglichst genau zu bestimmen. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Ergebnisse der Simulation mit den realen Bauteilen übereinstimmen. Für die Simulation eines Blechumformprozesses (Kaltumformung) sind folgende Materialkennwerte erforderlich:

- Dicke des Materials (Thickness)
- E – Modul (Young`s modulus E)
- Poisson`s Zahl μ (Poisson`s coefficient)
- Dichte ρ (density)
- Walzrichtung des Bleches (Rolling direction)
- Fließkurve (Hardening curve = stress - plastic strain curve):
 - Achtung: nicht (!!!) Spannungs-Dehnungs-Kurve (Sigma-Epsilon = bezogen auf Ausgangslänge) sondern „echte“ Fließkurve (bezogen auf momentane Länge = Fließspannung k_f – Umformgrad ϕ)
 - Bei mehreren vorhandenen Fließkurven ist eine Durchschnittskurve empfehlenswert (Mittelung der Kurven aus 0°, 45° und 90°)
 - Eine Abschätzung des Verlaufes der Fließkurve bei Materialien mit wenig Formänderungsvermögen mittels Extrapolation bis Umformgrad $\phi = 1$
 - Zur Extrapolation der Fließkurve bis zu einem Umformgrad $\phi = 1$ werden die Parameter eines Fließgesetzes bestimmt (z.B. Ludwik, Swift, Ghosh, Hockett-Sherby, ...)
- r – Werte (anisotropy coefficients)
 - r_0 0° zur Walzrichtung
 - r_{45} 45° zur Walzrichtung
 - r_{90} 90° zur Walzrichtung
- Grenzformänderungskurve (Forming Limit Curve)
 - Alternativ bei low carbon steels (mild and HSLA) kann das Keeler Law angewendet werden - Achtung: nicht geeignet für DP und IF – Stähle
- Empfehlung für die Fließortkurve (z.B. Hill 48, Hill 90, Barlat,...)

Für die Bauteilauslegung werden die Materialkennwerte der zwei aktuell verfügbaren Materialien (Aluminium AL1050 und AL1230) mittels Versuchen ermittelt. Diese Daten werden in eine Materialdatenkarte des verwendeten Simulationsprogramms implementiert. Es ist sehr wichtig die Materialkennwerte vom Zustand direkt vor dem Aufblasen zu ermitteln, da dies der initiale Startpunkt für das Simulationmodell sein wird.

Für einen Ausblick hinsichtlich Serienbauteil bzw. möglicher Optimierungsanalysen werden Materialkennwerte aus der Literatur bzw. aus Materialdatenbanken unterschiedlicher Simulationssoftwareprogramme herangezogen.

4.4. Bauteilauslegung STAF-Paneel

Mithilfe des entwickelten FEM-Simulationskonzepts werden die beiden Aussenhüllen des Paneels berechnet und optimiert. Durch unterschiedliche Variantenrechnungen wird ein optimales Bauteil definiert und es erfolgt die Ermittlung der benötigten Prozessparameter für die reale Fertigung. Darüber hinaus erfolgen in der Simulation Berechnungen in Hinblick auf die Auslegung eines späteren Serienbauteils (insbesondere momentan noch nicht zur Verfügung stehende Bauteildimensionen bzw. Materialien werden betrachtet). Bei der Suche nach alternativen Materialmöglichkeiten müssen diese äußerst widerstandsfähig, gleichzeitig aber möglichst leicht sein und eine gute Wärmeleitfähigkeit besitzen.

Der nächste Schritt der Bauteilauslegung ist die Dimensionierung der Dämmung. Aufgrund der Tatsache, dass Fluide zwischen den Blechen fließen und die aufgenommene Wärme weitertransportieren, kommt es zu unterschiedlichen Temperaturzonen im Blech. Die Wärmedämmung muss die Bildung von Kondenswasser weitestgehend verhindern und es dürfen sich dadurch weder Schimmel oder Algen bilden. Eine Möglichkeit dies zu realisieren ist der Einsatz eines Schaumglaskerns. Dieses anorganische Material kann in beliebige Formen geschnitten werden und ist gegenüber Algen bzw. Schimmelbefall unempfindlich. Der Einsatz alternativer Dämmmaterialien muss untersucht werden.

Für die Erbringung des Nachweises der geforderten Festigkeit des Panels werden Festigkeitsberechnungen durchgeführt. Hierbei muss für Bauteile aus Aluminium insbesondere die Normen EN 1999 Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken berücksichtigt werden. „EN 1999 gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Bauwerken und Tragwerken aus Aluminium.“ [29]

„Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von kompletten Tragwerken und Bauteilen, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen.“ [29]

In dieser Norm [29] finden sich auch Listen von Aluminium-Werkstoffen, welche für Bauwerke und Tragwerke empfohlen werden. Hier muss überprüft werden, inwieweit die für das STAF-Paneel vorgesehenen Werkstoffe dieser Norm entsprechen bzw. welche alternativen Werkstoffe verwendet werden sollen.

Ein weiterer Ansatz, um die Berechnung der Festigkeit des fertigen Panels zu optimieren, ist es, die „Umformhistorie“ aus der Umformsimulation an die nachgestellte Festigkeitsberechnung weiterzugeben.

Ein abschließendes Arbeitspaket wird die Überprüfung der Umformbarkeit von bereits aufgeblasenen Blechen darstellen. Da bei Gebäudehüllen auch gekrümmte Oberflächen erwünscht sein können, muss die Eignung der Umformbarkeit des STAF-Paneels betrachtet werden. Hierzu werden die FEM-Simulationen des Aufblasens mit anschließenden Standard-Umformsimulationen erweitert. Hier ist zu überprüfen, ob durch eine spätere Umformung der Querschnitt der Kanäle verändert bzw. verschlossen wird und dadurch die Funktion des Panels nicht mehr gegeben ist.

Literaturverzeichnis

- [1] Amtsblatt der Europäischen Union, *Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates*, 9. März 2011.
- [2] „OIB Austrian Institute of Construction Engineering,“ [Online]. Available: <https://www.oib.or.at/en/node/150196>.
- [3] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, *Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*, 16. Dezember 2002.
- [4] Amtsblatt der Europäischen Union, *Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*, 19. März 2010.
- [5] R. Mikulits, „Das Konzept der leistungsorientierten bautechnischen Vorschriften,“ *OIB Aktuell*, 02/2013.
- [6] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz*, März 2015.
- [7] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB-Richtlinie 5 - Schallschutz*, März 2015.
- [8] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB-Richtlinie 2 - Brandschutz*, März, 2015.
- [9] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB-Richtlinie 2.1 - Brandschutz bei Betriebsbauten*, März, 2015.
- [10] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB-Richtlinie 2.3 - Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m*, März, 2015.
- [11] Brucha Gesellschaft m.b.H., *Gebäudehüllen aus Sandwichpaneelen - Leitfaden zur Verarbeitung*, 2016.
- [12] Fluid Dynamics software “ANSYS Fluent 17.0.0”, ANSYS Inc., Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, <http://www.ansys.com>, Release 17.0 (2017).
- [13] ANSYS Fluent 17.0. Userguide/Theoryguide.
- [14] J. Duffie und W. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*, second edition, a Wiley-Interscience Publication: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- [15] W. Streicher, *Sonnenergienutzung (Vorlesungsskriptum)*, Institut für Wärmetechnik: Technische Universität Graz.

- [16] UNAB - Umsetzung nachhaltigen Bauens durch optimierte Projektsteuerungsprozesse und integrale Gebäudehüllen, Technische Universität Graz, 2016.
- [17] <http://www.mahnecke.de/Black300-Forum/thread.php?board=28&thread=23>.
- [18] <https://www.solarserver.de/wissen/lexikon/s/selektive-beschichtung-absorber.html>.
- [19] <https://www.trubadu.de/shop/sartikel.php?aid=50>.
- [20] https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_26.03.15.pdf.
- [21] I. Adnan, Y. O. Mohd, H. R. Mohd, M. Sohif und S. Kamaruzzaman, „Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 15, Nr. 1, pp. 352-365, 2011.
- [22] P. G. Charalambous, G. G. Maidment, S. A. Kalogirou und K. Yiakoumetti, „Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review,“ *Applied Thermal Engineering*, Bd. 27, Nr. 2-3, pp. 275-286, 2007.
- [23] R. Daghigh, M. H. Ruslan und K. Sopian, „Advances in liquid based photovoltaic/thermal (PV/T) collectors,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 15, Nr. 8, pp. 4156-4170, 2011.
- [24] A. M. Elbreki, M. Alghoul, A. N. Al-Shamani, A. A. Ammar, B. Yegani, A. M. Aboghrara, M. H. Ruslan und K. Sopian, „The role of climatic-design-operational parameters on combined PV/T collector performance: A critical review,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 57, pp. 602-647, 2016.
- [25] V. V. Tyagi, S. C. Kaushik und S. K. Tyagi, „Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 16, Nr. 3, pp. 1383-1398, 2012.
- [26] J. M. Jee, S. Iniyar und G. Ranko, „Flat plate solar photovoltaic–thermal (PV/T) systems: A reference guide,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 51, pp. 62-88, 2015.
- [27] M. S. Buker und S. B. Riffat, „Building integrated solar thermal collectors – A review,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 51, pp. 327-346, 2015.
- [28] ESI Group, PamStamp 2015.1 User Guide, www.esi-group.com, 2015.
- [29] Austrian Standards Institute, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*, 1020 Wien: Austrian Standards plus GmbH, 2014.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Sandwichpaneel mit Fluidkanälen zur Energieernte an seiner Außenseite und Konditionierung der Innenräume an seiner Innenseite.	2
Abb. 2: Aufbau Sandwichpaneel (vier Bleche): jeweils ein ebenes und ein umgeformtes Deckblech bilden die Fluidkanäle aus	2
Abb. 3: Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile [6]	7
Abb. 4: Höchstwerte für Wohngebäude bei Nachweis der Anforderungen über den Heizenergiebedarf [6]	8
Abb. 5: Höchstwerte für Wohngebäude bei Nachweis der Anforderungen über den Gesamtenergieeffizienz-Faktor [6]	8
Abb. 6: Höchstwerte für Nicht-Wohngebäude bei Nachweis der Anforderungen über den Heizenergiebedarf [6]	9
Abb. 7: Höchstwerte für Nicht-Wohngebäude bei Nachweis der Anforderungen über den Gesamtenergieeffizienz-Faktor [6]	9
Abb. 8: Mindestwerte des Schalldämmmaßes für Außenbauteile von Wohngebäuden, -heimen, Hotels u. dgl. [7]	12
Abb. 9: Mindestwerte des Schalldämmmaßes für Außenbauteile von Verwaltungs-, Bürogebäuden u. dgl. [7]	13
Abb. 10: Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten der Baustoffe bzw. Bauteilschichten [8]	15
Abb. 11: Allgemeine Anforderungen an den Feuerwiderstand von Bauteilen [8]	16
Abb. 12: Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten der Bauteile von Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m [10]	17
Abb. 13: Darstellung des (1) Aufbaus des STAF Paneels, sowie eines Temperaturverlaufs für das Paneel im (2) Sommer und im (3) Winter	24
Abb. 14: Vergleich zwischen den Kollektorkennlinien der gängigen solar-thermischen Kollektoranwendungen	26
Abb. 15: Einfluss der Kanalbreite und des Kanalabstandes des Talum Kanalquerschnitts auf die Wasseraustrittstemperatur	27
Abb. 16: Vergleich der Temperaturkonturen am Außenblech eines STAF Paneels von 1.75 x 0.5 m bei unterschiedlichen Fluidkanalquerschnitten und -abständen.....	28
Abb. 17: Vergleich der Temperaturkonturen am Außenblech eines STAF Paneels bei (1) gitterförmiger Fluidkanalführung, (2) harfenförmiger Fluidkanalführung mit 10 vertikalen Kanälen und (3) Fluidkanalführung mit 14 vertikalen Kanälen.....	29
Abb. 18: Materialkennwerte Al99.5 und AlZr	32
Abb. 19: Verfahrensprinzip Roll-Bonding (Quelle: Talum, Tovarna aluminija d. d.)	33
Abb. 20: Wirkmedienbasiertes Aufblasen der Kanäle bei Roll-Bonding Platinen (Quelle: Talum, Tovarna aluminija d. d.).....	34
Abb. 21: Prinzip: Endlosgießen – Warmwalzen – Aufrollen zum Coil (Quelle: Talum, Tovarna aluminija d. d.)	34
Abb. 22: FEM-Modell ESI PamStamp – Aufblasen von Kanälen	35
Abb. 23: FEM-Modell ESI PamStamp – zeitabhängiges aufblasen von Kanälen.....	36