

Integration und Nutzarmachung solarthermischer Systeme in industriell herstellbare Sandwichbauteile aus Stahlblech zur Gebäudetemperierung

Projektleiter
Prof. Dr.
Helmut Hachul

Kontakt
Prof. Dr.
Helmut Hachul
Fachbereich Architektur
Fachhochschule
Dortmund
Emil-Figge-Straße 40
44227 Dortmund
Tel.: (0231) 755-6888
E-Mail: helmut.hachul@fh-dortmund.de

1. Ausgangssituation

Angesichts der aktuellen Diskussion über Nachhaltigkeit und Energieeinsparung besteht ein globaler Handlungsbedarf zur CO₂-Reduktion, zu dem auch die Architektur einen sinnvollen Beitrag leisten kann. Der Ausstoß schädlicher Gase kann unter anderem dadurch reduziert werden, indem die anfallende Strahlungsenergie der Sonne auf Dach- und Wandflächen von Gebäuden mit zur Energieerzeugung herangezogen wird (Abb. 1.1)¹.

Auch der Industrie- und Wirtschaftsbau mit seinen großen Gebäudevolumen und Fassadenflächen kann hierzu einen wichtigen Beitrag leisten. Die Dämmung dieser meist metallischen Gebäudehüllen ist derzeitiger Stand der Technik. Zur Energiegewinnung werden die Dach- und Fassadenflächen hingegen noch nicht planmäßig genutzt.



Abb. 1.1: Übersicht über die jährliche mittlere Sonneneinstrahlung (kWh/m²) in Deutschland



Abb. 1.2: Ansicht einer typischen Gewerbehalle mit metallischer Hülle aus Trapezprofilen

tetem Stahlblech verwendet (Abb. 1.2). Produkte wie Trapez- und Kassettenelemente² haben sich wirtschaftlich durchgesetzt, weil sie Eigenschaften wie Tragsystem und Gebäudehülle in sich vereinen, wirtschaftlich herstellbar und schnell montierbar sind. Die artverwandten Sandwichelemente besitzen darüber hinaus den Vorteil einer integrierten Wärmedämmung.

Bedingt durch den Erfolg bisheriger Bausysteme für Bauelemente in Dach und Wand bietet sich hier die Chance, bestehende Produkte zu optimieren und zusätzlich mit solaren Systemen auszustatten. Die Großflächigkeit in der Anwendung begünstigt zudem einfache solare Systeme, die wegen der Größe der Außenflächen auch mit kleineren Wirkungsgraden eine sinnvolle Energiegewinnung ermöglichen könnten. Bisherige Produkte wie Sandwichelemente bieten nur sporadische Ansätze zur Nutzarmachung von Sonnenenergie, Entwicklungsansätze zur Integration von Fotovoltaik finden sich im Bereich kaltgewalzter Profilbleche (z. B. Thyssen-Krupp-Solartec). Planmäßige Untersuchungen zur grundsätzlichen Integration solarthermischer Systeme in industriell herstellbare Sandwichelemente aus Stahlblech haben bisher nicht stattgefunden.

2. Stand der Bautechnik

2.1 Photovoltaik

Photovoltaikanlagen wandeln über Solarzellen die Strahlungsenergie der Sonne direkt in elektrische Energie um. Sie werden hauptsächlich auf Dach- und Freiflächen installiert, die gewonnene Elektrizität kann vor Ort genutzt, in Akkumulatoren gespeichert oder in Stromnetze eingespeist werden. Die Wirkungsgrade marktüblicher Solarmodule liegen bei 6–18 Prozent (Dünnschichtmodul auf Siliziumbasis / monokristalline Module)³. Neben den hohen Herstellungskosten sind die niedrigen Wirkungsgrade als Hauptkriterium aufzuführen. Die Anwendungsgebiete von Photovoltaiksystemen liegen hauptsächlich im privaten Bereich (Abb. 2.1)⁴. Trotz einzelner Versuche zur Integration in Büro- und Industriefassaden (Abb. 2.2) ist eine großflächige und planmäßige Nutzung in diesen Bereichen nicht sichtbar.



Abb. 2.1: Photovoltaikanlage der Fa. Schüco im Bereich privater Wohnnutzung

Bei der konstruktiven Ausbildung von Gebäudehüllen im Industrie- und Wirtschaftsbau werden im großen Umfang industriell hergestellte Bauelemente für Dach und Wand aus bandbeschicht-

¹ www.solarbusiness.de

² Hoesch Bausysteme GmbH (2000)

³ RWE Handbuch (2004)

⁴ www.schüco.de



Abb. 2.2: Photovoltaikpaneel System ThyssenKrupp-Solartec

2.2 Solarthermie

Das Prinzip der Solarthermie beruht auf der Umwandlung von kurzwelliger Sonnenstrahlung in langwellige Wärmestrahlung. Die auf die Absorberfläche auftreffende Strahlung wird durch Solarkollektoren absorbiert und in nutzbare Wärme umgewandelt. Über ein Wärmeträgermedium wird die Wärmeenergie in einen Wärmespeicher geleitet. Sie wird hauptsächlich zur Unterstützung der Warmwasserversorgung und auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt.

Im Sommer erreichen solarthermische Anlagen Wirkungsgrade zwischen 60 und 70 Prozent, während in sonnenarmen Jahreszeiten weniger Energie gewonnen wird. Solarthermische Anlagen können auch sinnvoll mit Langzeitspeichern und Absorptionskältemaschinen zur Kühlung von Gebäuden kombiniert werden.

2.3 Kollektortypen

Hochwertige solare Systeme wie gedämmte und verglaste Flach- und Röhrenkollektoren haben sich seit Jahren im privaten Hausbau etabliert (Abb. 2.3)⁵. Diese Systeme werden additiv auf bestehende Dachkonstruktionen aufgesetzt und stellen so genannte Inselfsysteme dar. Neue Entwicklungen wie der im Dachsystem integrierte Niedertemperaturkollektor der Fa. Rheinzink sollen als gebäudeintegrierte Systeme den energetischen Ertrag eines unverglasten Kollektors mit dem architektonischen Anspruch einer hochwertigen Dachfläche vereinen (Abb. 2.4)⁶. Durch die fehlende Glasabdeckung ist der Wirkungsgrad geringer.



Abb. 2.3: Flachkollektorsystem „Vitosol“ der Fa. Viessman. Es findet eine Heizungsunterstützung durch solare Warmwassererzeugung statt



Abb. 2.4: „Quick-step“, unverglaster Sonnenkollektor der Fa. Rheinzink

Im Unterschied zur privaten Nutzung wird die Solartechnik im Wirtschaftsbau nur ansatzweise thematisiert und erforscht. Für klassische, kaltgewalzte Profile gibt es erste Ansätze zur thermischen Nutzbarmachung (z. B. ThyssenKrupp Solaps, Abb. 2.5), welche einen ersten Schritt zur Energiegewinnung aus industriell hergestellten Fassaden darstellen⁷. Sandwichelemente hingegen sind zurzeit unerforscht, bieten aber ein ähnliches, wenn nicht höheres Potential, da sie bereits über eine integrierte Wärmedämmung verfügen.

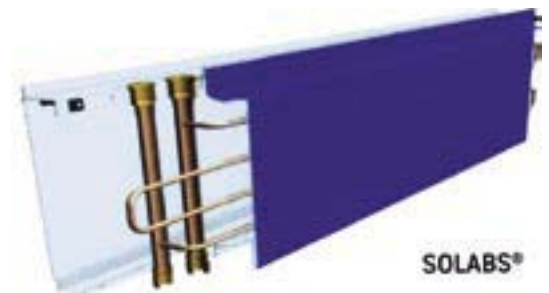


Abb. 2.5: Solaps – Integrationsvorschlag zur energetischen Aufwertung der Gebäudehülle, ThyssenKrupp Steel – Oberflächenzentrum Dortmund

2.4 Sandwichtechnologie

Die Entwicklung der Sandwichelemente begann bereits Anfang 1940er Jahre⁸. Ursprünglich für die Anwendung im militärischen Bereich entwickelt, wurde bald die Anwendung im Bauwesen erprobt. Bis in die 1960er Jahre hinein herrschte immer noch eine aufwändige Stückfertigung vor, bis die Firma Hoesch eine kontinuierliche Fließbandfertigung einführte (Abb. 2.6). Damit war eine Produktion auch wirtschaftlich möglich. Bei der Herstellung können mittlerweile Produktionsgeschwindigkeiten von 4–8 m/min erreicht werden¹⁰.

Sandwichelemente gehören zu den Bauelementen, die nach dem Prinzip des Verbundes funktionieren. Die im Bauwesen verwendeten Elemente besitzen eine Haut aus Metallblech und im Kern eine Dämmung aus PU-Schaum oder Mineralwolle (Abb. 2.7)⁹. Durch diesen Schichtaufbau sollen

⁵ www.viessmann.de

⁶ www.rheinzink.de

⁷ Thyssen Bausysteme GmbH (2000)

⁸ SIZ Dokumentation 558 (2000) S. 28

⁹ Haironville (2000)

¹⁰ Burkhardt (2000) S. 2f.

gleichzeitig die Wärmedämmung und das Tragverhalten gesteigert werden. Heutige Einsatzgebiete sind vor allem Dach- und Wandindeckungen im Industrie- und Verwaltungsbau.



Abb. 2.6: Einbringen des flüssigen PU-Kunststoffes in die untere Blechlage. Darüber wird das obere Blech geführt

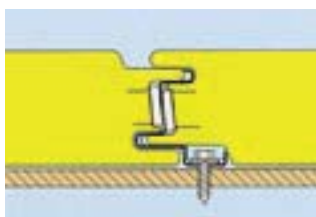


Abb. 2.7: Ausgereifte Fügeverfahren garantieren eine hohe Regendichtigkeit und einen guten Wärmeschutz

2.4.1 Verwendung

Die meist ein Meter breiten, 4–20 cm hohen und bis zu 20 m langen Elemente vereinen viele Vorteile in sich. Sie sind in begrenzten Spannweiten selbsttragend, weisen eine gute Wärmedämmung auf, haben passgenaue Fugen und können schnell und einfach verlegt werden. Sie können zudem vertikal, horizontal und teilweise diagonal¹¹ verbaut werden und sind in vielen Farben und Profilierungen erhältlich. Auch gekrümmte oder gelochte Elemente finden sich im Angebot der Hersteller¹². Verzinkter und beschichteter Stahl, Edelstahl, Aluminium oder sogar Kupfer¹³ verschaffen dem Planer zusätzliche Alternativen im Materialausdruck. Positiv sind ferner die vielfältigen Verbindungsmöglichkeiten, die nicht nur eine versteckte Ausführung, sondern auch thermisch optimierte Fügungen garantieren (Abb. 2.7). Derartige Verschraubungen prädestinieren die Elemente auch für thermisch hochsensible Bereiche.

2.4.2 Tragverhalten

Die heute üblichen Elemente werden vor allem auf Biegung beansprucht. Dabei haben die Deckschalen aus Metall (übliche Materialdicke 0,4–1 mm¹⁴, meist Stahl) die Aufgabe, Druck und Zugkräfte

aufzunehmen, während die Füllung die Schubkräfte überträgt. Von diesen beiden Parametern hängt die Qualität des Elementes ab. Einen Kompromiss stellt die Kernlage dar, die vor allem dem Wärmeschutz Rechnung trägt. Sie lässt sich über die Bauteilhöhe gut einstellen, weniger gut hingegen stellen sich mechanischen Eigenschaften gängiger Kerne dar. Besonders ungünstige Werte weisen die Füllungen mit Mineralfasern auf. Obwohl dicht zusammengepackt, haben die Fasern in sich ein eher loses, amorphes Gefüge. Die Schubfestigkeit muss als gering eingestuft werden. PU-Hartschäume weisen hier bessere Eigenschaften auf. Es ist ferner vorteilhaft, dass sie sich auch in nicht ebene Bleche schäumen lassen und beispielsweise den Vertiefungen des Trapezes folgen können (Abb. 2.8). Daneben weisen sie ein homogenes Gefüge aus kleinen geschlossenen Zellen auf. Dies verhindert nicht nur die Wasseraufnahme, sondern ergibt auch bessere Festigkeitswerte. Verglichen mit den Deckschalen weisen sie dennoch eine geringe Festigkeit auf und sind der Schwachpunkt der Konstruktion.



Abb. 2.8: Biegebelastung: Die rechte Oberschale kann Druckkräfte besser ableiten als das glatte Profil

2.4.3 Bemessung

Sandwichelemente sind nicht genormt, ihre Verwendung erfordert eine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBT) in Berlin. Wie auch bei Trapez- und Kassettenprofilen liefern die Hersteller Typblätter zu den Elementen mit allen zur Planung relevanten Daten¹⁵. Die Bemessungstabellen für Dach- und Wandelemente geben Auskunft zu maximalen Stützweiten und den maximalen Belastungen, allerdings sind bei ungleichen Stützweiten und besonderer Beanspruchung Einzelnachweise erforderlich¹⁶. Ferner ist der Nachweis zur Auflagerpressung notwendig, da die Druckfestigkeit der Kernschicht nicht überschritten werden darf. Zu beachten ist ferner, dass bei Sonneneinstrahlung Temperaturspannungen zwischen den Bauteilseiten entstehen können. Die Tabelle mit dem Absorptions- bzw. Reflexionsvermögen (Abb. 2.9)

¹¹ Hoesch Siegerlandwerke (2000)

¹² Hoesch Bausysteme (2000)

¹³ Koschade (2000) S. 147

¹⁴ SIZ Dokumentation 558 (2000) S. 30

¹⁵ Hoesch Siegerlandwerke (1999)

¹⁶ Koschade (2000) S. 216 ff.

zeigt dabei anschaulich, dass helle Farben diese Problematik entschärfen können.

3. Problemstellung

Die technologische Herausforderung besteht darin, die Vorzüge der solaren Energiegewinnung über die vorhandene Bauteiloberfläche in das ausgereifte Produkt Sandwichelement zu übertragen. Dabei müssen die konstruktiven und energetischen Parameter der bisherigen, kleinmaßstäblichen Lösungen in den komplexen Kontext der industriellen Großserienfertigung gebracht werden. Die besondere Schwierigkeit liegt hier im kontinuierlichen, ununterbrochenen Herstellungsprozess der Sandwichelemente, welche eine nachträgliche, separate Beschickung des Bauteils unmöglich machen. Hier sind u. a. folgende Fragen zu klären:

- Wie kann ein Wärmeträger in das Element simultan im Produktionsprozess eingebracht werden?
- Welches ist das dafür energetisch/konstruktiv richtige Produkt?
- Wie kann der Wärmeträger an der Deckschale befestigt werden?
- Welche Konsequenz ergibt sich für das Tragverhalten?

Nr.	Farbton	Farbgruppe	Helligkeitswert
1000	grünbeige	II	72
1002	sandgelb	II	68
1006	maisgelb	II	63
1015	hellelfenbein	I	81
1020	olivgelb	II	53
2002	blutorange	III	38
5007	brillantblau	III	33
5012	lichtblau	II	46
6011	resedagrün	II	43
6019	weißgrün	I	84
6020	chromoxidgrün	III	23
7016	anthrazitgrau	III	21
8011	nußbaum	III	22
9001	cremeweiß	I	84
9002	grauweiß	I	81
9006	silbermetallic	II	62
9010	reinweiß	I	93

Abb. 2.9: Farbtabelle mit unterschiedlichen Helligkeitswerten: dunkle Farben absorbieren viel Strahlung und führen zu einer großen Bauteilausdehnung

- Welches ist die richtige Oberfläche unter energetischen, konstruktiven und auch architektonischen Gesichtspunkten?
- Wie kann die Energieübergabe an das nächste Bauteil erfolgen?
- Wie hoch ist der tatsächliche Wirkungsgrad?
- Kann der geringere Wirkungsgrad durch die größere Fläche kompensiert werden?
- Wie wirtschaftlich ist die neue Bauweise?

4. Forschungsziel

Ziel ist die Untersuchung der Integration solarer Systeme mit flüssigen Medien in industriell herstellbare Bausysteme aus Sandwichelementen und Vorschläge zur Weitergabe und Nutzbarmachung des Mediums. Die Problematik der Integration eines energiesammelnden Wärmeträgermediums in den kontinuierlichen Herstellungsprozess der Sandwichelemente wurde unter 3. beschrieben. Die sich daraus ergebenden Fragestellungen sollen wie folgt untersucht werden:

4.1 Wärmeträger

Untersuchung des passenden Materials unter der Berücksichtigung eines optimalen Wärmeübertrags. Hierbei ist besonders die Problematik der Kontaktkorrosion zwischen der Deckschale und einem anderen Spannungspotential der Rohrleitung (z. B. Kupfer) zu beachten.

Ebenso von Bedeutung sind Querschnittsfläche und Querschnittsform, die hinsichtlich der Wärmeübertragung untersucht werden müssen (Abb. 4.1).

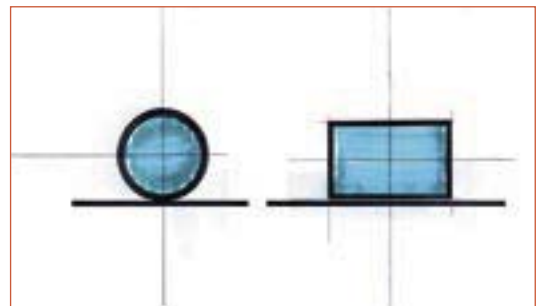


Abb. 4.1: Der geläufige, runde Querschnitt muss nicht zwangsläufig der bessere sein, ein rechteckiger Querschnitt bietet eine größere Fläche zum Wärmeübertrag

4.2 Befestigung

Neben der Materialwahl der Leitungen ist zu klären, wie diese an der Deckschale befestigt werden können. Die Einfachheit der Befestigung (z. B. Klebung) könnte diametral zum Wärmeübergang stehen.

Von besonderer Bedeutung ist der Vorschlag zur fertigungsgerechten Einbringung. Der kontinuierliche Prozess bedingt eine permanente Nachführung und Anbringung der Wärmeträgerleitungen, welche den Produktionsprozess nicht beeinträchtigen dürfen.

4.3 Beschichtungen

Die Farbe der Beschichtung unterliegt energetischen, statischen und ästhetischen Parametern. Diese müssen analysiert und im Kontext bewertet werden (Abb. 4.2). Ziel ist eine gute energetische Ausnutzung, gleichzeitig muss sich die Hülle verträglich in den städtebaulichen und landschaftlichen Kontext einfügen.

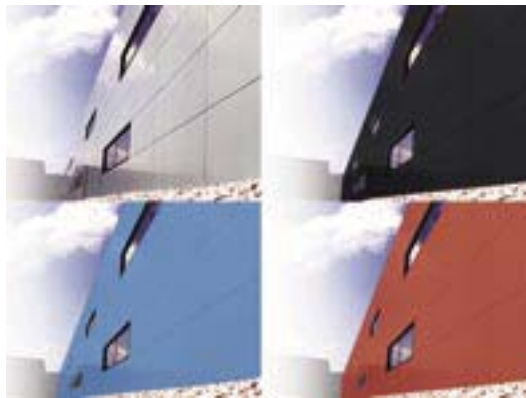


Abb. 4.2: Die energetisch optimale Fläche ist schwarz, architektonisch aber schlecht vorstellbar. Hier gilt es eine Farbigkeit zu prüfen, welche energetisch noch auf einem hohen Niveau liegt

4.4 Oberflächen

Ausgehend von existierenden Profilgeometrien muss eine Analyse und Bewertung der jeweiligen Himmelsrichtungen erfolgen. Vor dem Gesamtzusammenhang eines Niedertemperaturkollektors müssen darauf aufbauend Oberflächenszenarien für die jeweilige Himmelsrichtung und Sonnenstand entwickelt werden (Abb. 4.3 und 4.4).

Durch das Falten und Kanten der Bauteiloberfläche kann auf die unterschiedlichen Sonneneinfallswinkel reagiert und eine effiziente Ausnutzung der Sonnenenergie erreicht werden. Hier sind auch alternative Fertigungsmethoden (z. B. Hydroforming) zu untersuchen, da sich mit ihnen eine genauere Justage der Oberfläche durchführen lässt.



Abb. 4.3 und 4.4 Verschiedene Vorschläge zur Beschichtung und Positionierung eines Sandwichelementes mit Wellprofil

4.5 Statik

Sandwichelemente stellen mit ihren gesamten Komponenten und Oberflächenstrukturen genau aufeinander abgestimmte Systeme dar. Die Einbringung von Wärmeträgerleitungen innerhalb des Schaumverbundes verändert den Haftverbund unterhalb der Deckschale. Hier ist sowohl in Simulation als auch in praktischen Versuchen die Beeinflussung des Tragverhaltens für die jeweilige Alternative zu untersuchen.

Da durch die Einbringung eines Wärmeträgermediums das Gesamtgewicht des Bauteils erhöht wird, ist der statische Nachweis bezüglich der Verankerungselemente zu prüfen.

4.6 Energiehandling

Die Schnittstellen zur angegliederten Haustechnik sind zu definieren, die technischen Parameter in die Bauteilkonzeption einzuarbeiten. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass die vermehrt im Sommer auftretende Erhitzung durch geeignete Technologien in Kälte transferiert werden könnte. Diese Systeme sind zu analysieren und bezüglich Nutzbarkeit zu prüfen.

Quellenangaben

- Burkhardt, S.: Sandwichelemente mit wassergetriebenem PU-Hartschaumkern; IFBS Aktuell 2/00, Düsseldorf (2000)
- Haironville: Bauen für die Zukunft, Firmenveröffentlichung, München (2001)
- Hoesch Bausysteme GmbH: Das große Hoesch Bauteil Programm, Siegen (2000)
- Hoesch Siegerlandwerke: Hoesch isowand vario, Firmenveröffentlichung, Siegen (2000)
- Koschade, R.: Die Sandwichbauweise; Ernst und Sohn, Berlin (2000)
- RWE Handbuch Technischer Ausbau, 13. Auflage, VWEW Energieverlag, Frankfurt a. M. (2004)
- (SIZ) Stahl-Informations-Zentrum: Dokumentation 558, Bausysteme aus Stahl für Dach und Fassade, Düsseldorf (2000)
- Thyssen Bausysteme GmbH: Thyssen-Solartec – Das energieerzeugende Dach; Dinslaken (2000)
- ThyssenKrupp Solaps, Firmenveröffentlichung, Duisburg (2007)
- www.rheinzink.de/172.aspx (15.05.08)
- www.schueco.com/web/de/privatkunden/produkte/solar-systeme (15.05.08)
- www.solarbusiness.de (11.05.08)
- www.viessmann.de/de/products/Solar-Systeme.html (15.05.08)

Abbildungsverzeichnis

- Abb 1.1 Solarbuisness.de
- Abb 1.2 Archiv Lehrgebiet Architektur + Metallbau
- Abb.2.1 Schüco
- Abb.2.2 Thyssen-Solartec (2000)
- Abb.2.3. Viessmann
- Abb.2.4 Rheinzink
- Abb.2.5 Firmeninfo ThyssenKrupp (2000)
- Abb.2.6 ThyssenKrupp Solaps (2007)
- Abb. 2.7 Hoesch Bausysteme GmbH (2000)
- Abb. 2.8 Koschade S. 198
- Abb. 2.9 SIZ Dokumentation 558 (2000) S. 33
- Abb. 4.1 Archiv Lehrgebiet Architektur + Metallbau
- Abb. 4.2 Archiv Lehrgebiet Architektur + Metallbau
- Abb. 4.3 Archiv Lehrgebiet Architektur + Metallbau