



Schlussbericht 7. Dezember 2009

IEA SHC Task 37: Solarfassade für Wohnbau - Erneuerungen mit tiefstem Energieverbrauch

- die bauphysikalischen, energetischen und
architektonischen Potentiale

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Fent Solare Architektur
Rudenzburg
CH-9500 Wil
www.fent-solar.com

Autoren:

Eric Nelson, MoSc. MoArch, Lucido® Solar AG, Eric.Nelson@fent-solar.com
Giuseppe Fent, Architekt HTL, Lucido® Solar AG, Giuseppe.Fent@fent-solar.com

Taskleader:

Robert Hastings, University Professor emerit., AEU GmbH, Robert.Hastings@AEU.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153310 / 101968

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

INHALTVERZEICHNIS

ABSTRAKT (DEUTSCH)	5
ABSTRACT (ENGLISH)	6
1 EINLEITUNG	8
2 SOLARFASSADEN FÜR HÄUSER MIT NIEDRIGSTEM ENERGIEVERBRAUCH	9
2.1 Nutzung passiver Sonnenenergie in der Architektur	9
2.2 Solare Wärmedämmung	10
2.3 Lucido® - eine Solarfassade aus Holz und Glas.....	10
3 FUNKTION DER SOLARFASSADE	11
3.1 Winter.....	12
3.2 Sommer	13
3.3 Frühling/Herbst.....	14
4 BAUPHYSIK SOLARFASSADE	15
4.1 Solargläser	15
4.2 Absorber Wärmespeicherung	17
4.3 Dampfdiffusion	17
4.4 Wärmedämmung / innerer Wandabschluss.....	18
5 DYNAMISCHER WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT	18
5.1 U-Werte, U-Effektivwerte.....	18
5.2 Strahlungsdaten	18
5.3 Simulationsprogramm	19
5.4 Wärmebrücken.....	20
5.5 Dämmwerte Schweiz.....	21
6 ÖKOLOGIE	21
6.1 Einleitung	21
6.2 Materialkreislauf	22
6.3 BauEcoIndex.....	24

6.4	Entwicklungen	26
7	LUCIDO® FÜR BAUERNEUERUNGEN.....	27
7.1	Vorteile für die Bauerneuerung.....	27
7.2	Investitionskosten	28
8	SCHLUSSFOLGERUNG	28
9	DARSTELLUNG VON REALISIERTEN BEISPIELEN	30
9.1	Sanierung EFH Bühler, Lanterwil TG (2005/06).....	30
9.2	Sanierung EFH Bühlmann, Mörschwil SG (2004-09)	33
9.3	Sanierung RFH Bleisch, Flawil SG	34
9.4	Sanierung MFH König, Degersheim SG (2004/05)	35
9.5	Sanierung DFH Cappelli, Rossrüti TG.....	36
9.6	Sanierung DFH Fries, Riehen	38
9.7	Zusammenfassung.....	39
	PUBLIKATIONEN	40
	Anhang A - Berechnungsgrundlagen für Ueff.....	41
	Anhang B - Technische Auskunft zum EMPA-Prüfbericht Nr. 880'054-2, 2004	42
	Anhang C - U _{eff} Berechnungen für Schweizer Städte	45

ABSTRAKT (DEUTSCH)

Die heutige Klimakrise und die absehbare Erschöpfung der nicht erneuerbaren Energieträger zwingen uns unsere „alten Wege“ neu zu überdenken und innovative Lösungen zur Reduktion des CO₂ Ausstosses und der Bewahrung unserer Rohstoffe zu suchen. Dabei stellen Erneuerungen mit tiefstem Energieverbrauch von existierenden Altbauten eine der grössten Herausforderungen dar. Ein Neubau, das mit einer konventionell (Mineralwolle oder Holzfaserdämmplatten) gedämmten Fassade gebaut wird, kann schnell einmal 50 bis 60 cm dick werden, sollte aber ein Altbau auf einen ähnlichen Standard hin erneuert werden, ergeben sich bei Dämmstärken von 30 bis 40 cm bautechnische Probleme. Da bietet das Lucido® System, das auf einem anderen physikalischen Prinzip basiert, eine effiziente Alternative. Lucido® ist ein innovatives System, das sich durch die Absorption und Speicherung der Solarenergie in der Gebäudehülle diese zu Nutze macht und somit eine thermische Pufferzone bildet. Eine konventionelle Dämmschicht ist nach wie vor notwendig, jedoch in einer wesentlich reduzierten Masse. Das Lucido® System besteht hauptsächlich aus einer transparenten Glashülle mit einem Luftspalt und einem lamellenförmigen Massivholzabsorber, das der normalen Dämmschicht vorgehängt wird. Die lamellenartige Geometrie ist dafür verantwortlich, dass die thermodynamische Wirkungsweise im Sommer anders ist als im Winter. Im Sommer ergibt sich durch die Lamellenstruktur eine Eigenverschattung des Holzabsorber, was somit die Energieaufnahme minimiert und die Innenräume vor Überhitzung schützt, und im Winter absorbiert der Holzabsorber mit seiner grossen Absorptionsfläche viel mehr Energie und verhindert somit die extreme Auskühlung der Fassade. Die Stärken der Fassade überzeugen durch ihre Leichtigkeit und Systemeffizienz im Sommer wie auch im Winter, aber auch durch die optimale Nutzung von hochwertigen Materialien. Die Reduktion im Materialaufwand und die gezielte Anwendung von hochgradigen Materialien erfüllen die Ziele nachhaltiger Baukultur. Mit dieser Entwicklung hat die Bauindustrie ein wichtiges „Tool“ mehr, um einen Schritt näher ans Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft zu gelangen.

ABSTRACT (ENGLISH)

The current climate crisis and depletion of our non-renewable energy resources are forcing us to rethink our “old ways” and come up with new innovative solutions to reduce our CO₂ emission and save our non-renewable energy sources. The renovation of existing “energy-wasting” buildings is hereby one of our great challenges, where the insulation of the building envelope is the key issue discussed in this paper. In new-construction traditional insulation methods (mineral wool or wood fibre) can produce walls easily 50 to 60 cm thick, however renovating an old building to equally high standards becomes a lot more difficult. The Lucido® solar facade is a highly efficient insulation system based on a different physical principle proving to be an ideal alternative. This new innovative system absorbs the solar radiation and stores it as heat in the outer layer of the facade thus reducing the amount of conventional insulation needed. The basic components are a protective, transparent glass surface with an air gap and a solid wood absorber followed by a layer of regular insulation. The lamellae-shape geometry of the wood absorber has a key role in evoking a different thermodynamic behaviour of the Lucido® system during the summer versus the winter. During the summer the lamellae act as a shading device reducing the impact of the sun thus preventing overheating, while in the winter the lamellae acts more like a sponge enhancing the absorption of the solar radiation thus preventing the a cooling out. By actively engaging, resp. disengaging the sun, a thermal buffer zone is created in the outer layer of the building envelope which reduces the daily temperature extremes. The efficiency lies not only in the enhanced insulation qualities but also in the minimal use of raw materials keeping the walls thin while reducing the carbon footprint significantly. The Lucido® solar facade system excels in all aspects and proves to be an excellent choice of insulation system in renovating old buildings in order to achieve the goals of the 2000-Watt-society.

Danksage

BFE:

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

Energie-Berater/Bauphysiker:

Bosco Bühler, Institut für Baubiologie SIB, www.gibbeco.org

Andreas Buchner, IB Buchner, www.ib-buchner.de

Gesamtaskleiter:

Robert Hastings, AEU GmbH, CH-8304 Wallisellen



1 EINLEITUNG

In der heutigen Diskussion des Klimawandels befindet sich die Bauindustrie in ihrer wohl wichtigsten Rolle. Die Klimaproblematik hat sich auf allen Ebenen rapid zugespitzt. Weltweit arbeiten Politiker daran gesetzliche Grundlagen für die Senkung des Energieverbrauchs sowie die Reduktion des CO₂ Ausstosses zu erstellen. In der Schweiz wurde das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft, geführt von der Gruppe ‚Novatlantis‘ an der ETH Zürich und Lausanne, als Leitkonzept für die industrielle und gesellschaftliche Entwicklung erarbeitet. Das Konzept besteht darin, den jährlichen pro Kopf Energieverbrauch von 6400 Watt (heute) auf 2000-Watt zu reduzieren, ohne an Lebensqualität einzubüssen. Dieses Leitkonzept wird in der Schweiz von einer breiten Basis unterstützt, u. a. auch vom Bundesamt für Energie. Als erste Gemeinde der Schweiz hat die Stadt Zürich in der Volksabstimmung vom 30. November 2008 die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft in ihrer Gemeindeordnung verankert. Die Nachhaltigkeit und speziell die nachhaltige Entwicklung im Bereich des Hochbaus ist eng mit der Energiefrage verknüpft. Die Energiefrage – oder genauer gesagt das Problem des stetig zunehmenden Energieverbrauchs – steht dabei symptomatisch für sich erschöpfende Ressourcen und die zunehmende Belastung des Lebensraumes mit Abfallstoffen aller Art, insbesondere dem klimarelevanten CO₂ aus fossilen Brennstoffen.

Es reicht nicht mehr sich mit einer Effizienzsteigerung in der Betriebsenergie zufrieden zu geben. Die Frage der Energie muss für den gesamten Lebenszyklus des Baumaterials gestellt werden, d.h. Abbau, Transport, Herstellung, Verarbeitung, Betrieb, Entsorgung, Erneuerung, Recycling und so weiter. Die Herkunft der aufgebrauchten Nutzenergie, die Primärenergie, ob atomar, fossil oder solar erzeugt, erneuerbar oder nicht erneuerbar, spielt

eine wesentliche Rolle im Klimaschutz. Und schliesslich auch die Frage des CO₂-Ausstosses und anderer Klimaschadstoffe. Das Problem besteht aber darin, dass noch eine grosse Unerfahrenheit herrscht und es noch zu wenig umfangreiche, standardisierte Grundlagen gibt, diese Ökobilanzen effektiv zu quantifizieren. Zusätzlich erschwert das globale Ausmass, sowie marktwirtschaftliche und politische Überlegungen dieses Unterfangen um ein Vielfaches. Nichtsdestotrotz, ist es unsere Aufgabe diese Fragen in aller Härte zu stellen und die gewonnenen Erkenntnisse konsequent in der Bauindustrie in anzuwenden.



Im Neubau lassen sich bereits heute die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft umsetzen. Der Minergie-P Eco Standard bietet dabei die besten Voraussetzungen. Bei Bauerneuerungen, dagegen, ist es viel schwieriger diese Ziele zu erreichen, weil zu oft die Voraussetzungen dafür dermassen schlecht sind, dass eine erfolgreiche Sanierung zu einem zukunftssträchtigen Standard nur mit sehr hohen Kosten verbunden ist, so dass der Eigentümer nicht mehr

gewillt ist, etappiert oder nicht, oder gar unfähig ist, diese Investition zu machen. Gesetzliche Grundlagen und Förderprogramme sind noch unzureichend, sodass die weitverbreitete Mentalität besteht, dass ein bisschen mehr Isolation immer noch besser ist als gar nichts und somit allen gedient ist, dem Portemonnaie und dem Klima. Der Ernst der Situation aber erfordert ganze Lösungen, wo halbwertige, hingegen, das Problem nur weiter aufschieben und somit uns und dem Klima noch mehr schaden. Es Bedarf neuer Lösungen, die von Grund auf auf den Axiomen des Klimaschutzes entwickelt worden sind. Dies ist bei manch bewährten Baumaterialien und –Techniken nicht der Fall, die entwickelt wurden als Klimaschutz noch kein Thema war. Leistung und Herstellungsprozesse können optimiert werden, aber der Rohstoffaufwand bleibt in etwa gleich. Neue Innovationen haben den Vorteil, dass sie basierend auf den heutigen Umwelt- und Energieverhältnissen konzipiert wurden.

Diese Arbeit stellt eine neue Generation von Dämmungssystemen im Fassadenbau vor, als Alternative zu einer konventionell gedämmten Fassade, die **Solarfassade**.

2 SOLARFASSADEN FÜR HÄUSER MIT NIEDRIGSTEM ENERGIEVERBRAUCH

2.1 Nutzung passiver Sonnenenergie in der Architektur

Der aktuelle Trend in der Architektur bis vor kurzem ist die komplette Abschottung der Innenräume vom Aussenklima. Alles wird dicht gemacht: Luftdicht, Schalldicht, Wasserdicht etc. Vor vielen Jahren gab es keine „Superdämmplatten“ oder „Silikondichtung“ etc., die Architektur war an die klimatischen Verhältnisse angepasst, um die physikalischen Prinzipien der Natur möglichst auszunützen. Diese klimagerechte Architektur ist in weitem Sinne verloren gegangen. Hochisolierte Bauten, ausgestattet mit einem hochentwickelten Lüftungssystem, können auf allen Breitengraden gleichermassen gebaut werden, egal in welcher architektonischen Form. In der heutigen Zeit, wo plötzlich „Energie sparen und Ressourcen schonen“ gross geschrieben werden, schaut man wieder vermehrt in Richtung Natur für Ideen. Es wird Zeit wieder „klimagerecht“ zu bauen, was bedeutet Sonne, Wind, Wasser und Erde nützlich ins Haus zu binden, besonders mit der unendlichen solaren

Energie ist noch eine grosse Wertschöpfung möglich. Mit der Solarfassade, ist ein neues Prinzip entstanden, das die Sonnenenergie in der Gebäudehülle nutzt.

2.2 Solare Wärmedämmung

Solare Wärmedämmungen bieten eine Alternative zu konventionellen Dämmungen durch die Nutzung der Strahlungsenergie im Gebäudemantel. Sie gehören zur Kategorie der transparenten Wärmedämmung (TWD). TWD sind Wärmedämmungen mit hoher Lichtdurchlässigkeit und lassen sich in 2 Kategorien unterteilen: *Transluzente Fassaden* und *solare Wärmedämmungen*.

Beim ersteren geht es vor allem darum möglichst viel Tageslicht (und Energie) zu gewinnen und direkt dem Innenraum zuzuführen und beim letzteren, mithilfe der Sonnenenergie eine thermische Wärmehülle um das Gebäude zu bilden, welches den Temperaturunterschied von der Aussen- zur Innentemperatur minimiert.

2.3 Lucido® - eine Solarfassade aus Holz und Glas

Das Lucido® System ist ein solares Wärmedämmsystem aus verschiedenen Einzelteilen mit je einer spezifischen Funktion und wird seit 1999 bei Häusern mit niedrigstem Energieverbrauch eingesetzt. Der Aufbau, von Aussen nach Innen, sieht wie folgt aus:

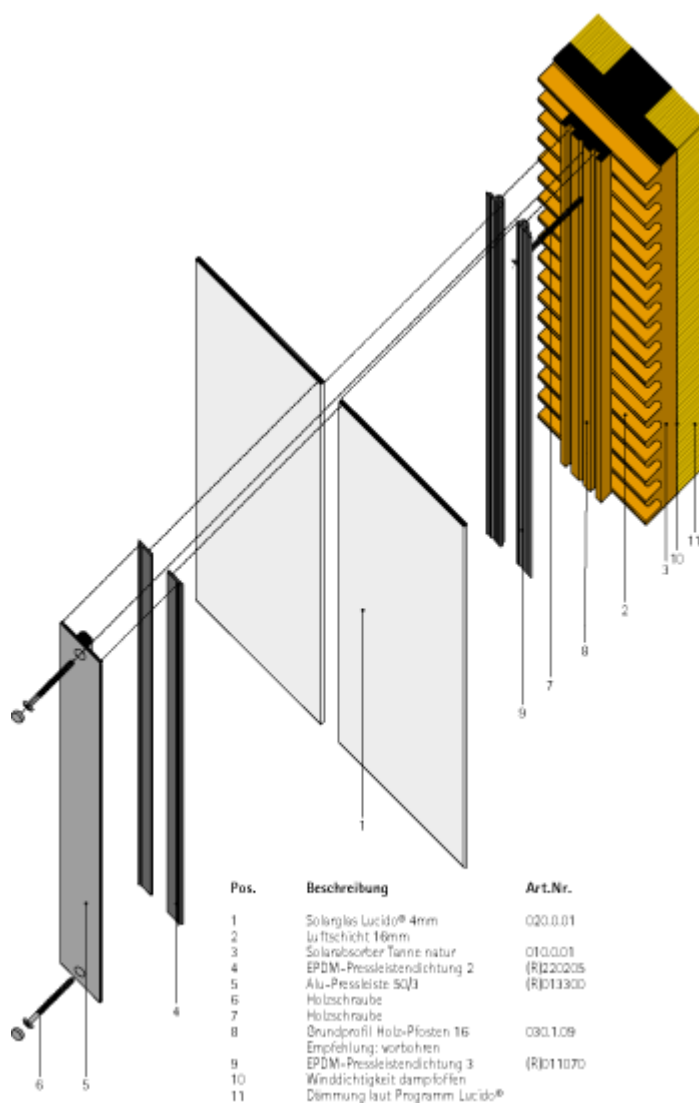


Bild 1: Lucido® Isometrie

1) Solarglas: Der äussere Abschluss bildet ein 4 mm (typisch) Solarglas von hoher Qualität um einen möglichst hohen Lichttransmissionsgrad zu haben. Dieser erzeugt eine Luftpufferzone dahinter und schützt zusätzlich den Holzabsorber vor Verwitterung.

2) Luftspalt: Ein 16 mm (typisch) Luftspalt mit Öffnungen oben und unten des Absorbers erlauben der Fassade zu „atmen“. Der thermische Auftrieb der Luft ist je nach Sonneneinstrahlung und Temperatur verschieden gross. Die Hinterlüftung verhindert zudem die permanente Bildung von Kondensat.

3) Absorber | Speicher: Charakteristisches Kernstück der Solarfassade ist der horizontal gegliederte Absorber aus feinen Holzlamellen. Der Absorber wird aus massivem, FSC - zertifiziertem Tannen- oder Lärchenholz gehobelt. Er ist 40 mm stark und wird aus keilgezinkten, rift-halbriften Holzbohlen gefertigt, welche 12cm hoch sind und in Längen von 5m oder 6m-Latten produziert werden. Die einzelnen Absorber-Bohlen werden mit Nut und Kamm verbunden und in die Tragstruktur der Fassade geschraubt. Der

Absorber ist ein architektonisches Gestaltungsmittel. Das Design der Fassade besteht aus naturbelassenem Holz, wird lasiert oder deckend eingefärbt. Es ist kein Holzschutz erforderlich. Das Holz wird nicht grau, weil es durch die Glassfassade vor Verwitterung geschützt ist.

4-8) Glashalterungen: Die Gläser werden mit Glashalterungen mechanisch gehalten. Das Halterungssystem besteht aus einer Kombination von Aluleisten und Dichtungen (TPE). Für eine - auch über die ganze Lebensdauer der Fassade – ausreichende Energiegewinnung ist es wichtig, dass die Gläser für Reparaturen und Unterhaltszwecke einzeln demontiert werden können.

10, 11) Winddichtigkeit und Dämmung: Das System muss mit einem Windpapier hinterlegt sein und muss auch eine minimale Dämmung aufweisen. Die Dämmung ist ein Teil des Systems um seine Funktionsweise zu garantieren. Diese ist jedoch wesentlich schlanker als bei einer konventionell gedämmten Fassade. Die ganze Konstruktion ist dampffoffen, somit wird keine Dampfbremse eingebaut.

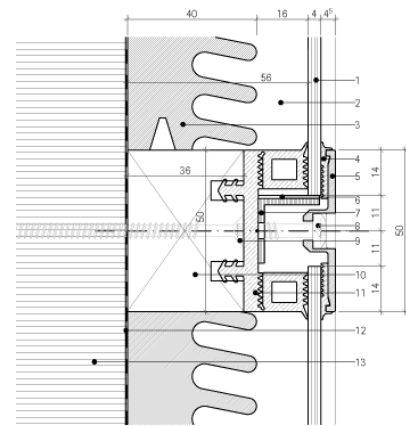


Bild 2: Lucido® Systemschnitt:

- | | |
|---------------------------|---------------------------------|
| 1. Solarglas Lucido® 4mm | 8. Holzschraube |
| 2. Luftschicht 16mm | 9. Holzschraube |
| 3. Solarabsorber Tanne | 10. Grundprofil Holz-Riegel |
| 4. Presseleistendichtung | 11. Gummiprofil |
| 5. Alu-Pressleiste | 12. Winddichtigkeit dampffoffen |
| 6. Klotzbeilage | 13. Dämmung |
| 7. Glasaufleger Aluwinkel | |

3 FUNKTION DER SOLARFASSEADE

Die Lucido® Solarfassade ist wie eine „atmungsaktive Gebäudehaut“, die die eigene Fassadentemperatur reguliert, und funktioniert demzufolge sehr anders als eine konventionelle Fassade, die lediglich versucht, den Transmissionswärmefluss durch die Wand mit möglichst starker Dämmung zu unterbinden. Die funktionsweise der Solarfassade basiert im Wesentlichen auf einem thermodynamischen Zusammenspiel (1) der Sonneneinstrahlung und der Aussentemperatur mit (2) dem Solarglas und dem Holzabsorber, und (3) der zur Folge in Kraft tretende, thermische Auftrieb der Luft im Luftspalt (Bild 3). Die Solarstrahlung wird tagsüber durch das Solarglas von den Holzlamellen absorbiert und im massiven Holzkern als Wärme gespeichert. Der Luftstrom im Luftspalt beschleunigt sich bei stärkerer Einstrahlung um die Hitze schneller abzuführen und kühlere Luft anzusaugen und vermindert somit eine Überhitzung des Systems. Bei einer Temperatursenkung, verlangsamt sich der Luftstrom und verringert dabei den Wärmeabfluss durch Konvektion. Die nun stagnierende Luft wirkt als eine Dämmung. Die gespeicherte Wärme wird somit nicht mehr durch die Aussenluftzirkulation entzogen, sondern bleibt erhalten, um diese dann, verzögert, in den nächtlichen Stunden an die Innerräume abzustrahlen. Die Wärme, gespeichert in der äusseren Hülle, hat zur Folge, dass der Temperaturunterschied zwischen Aussen- und Innenluft, verringert wird und somit auch die Transmissionswärmeverluste, was zu einer markanten Reduktion der Heiztage führt.

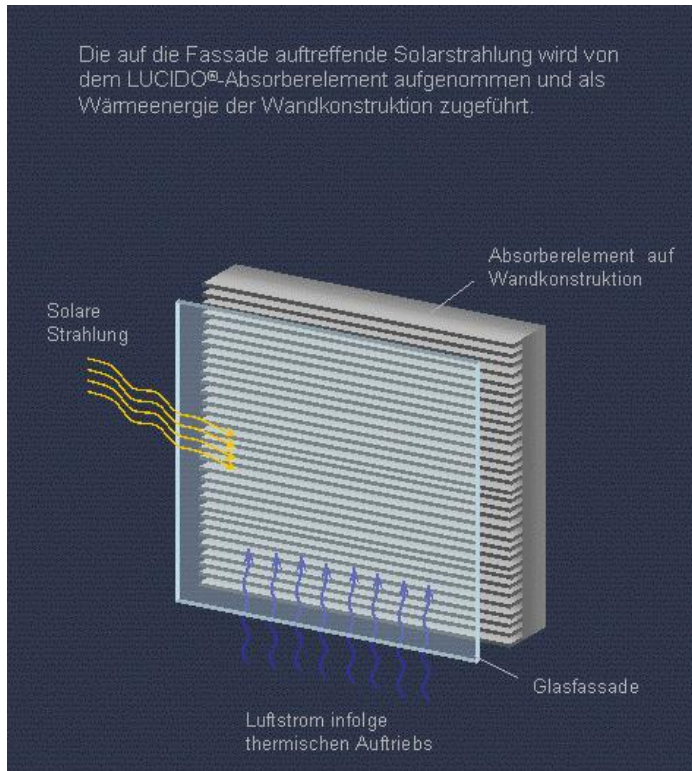


Bild 3: Funktion Lucido® (Buchner, 2004)

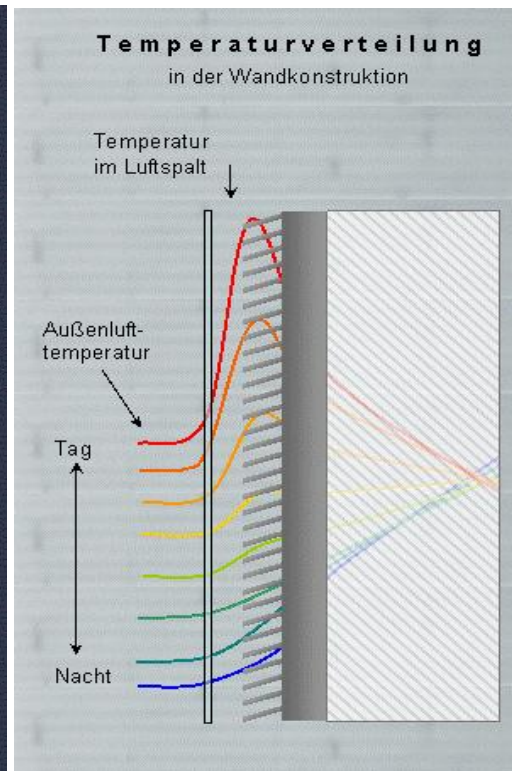


Bild 4: Kanaltemperatur im Luftspalt (Buchner, 2004)

Die spezielle Geometrie der Holzlamellen und die Speicherkapazität des Holzkerns, sowie die Schnittfläche des Luftkanals sind so berechnet und optimiert, dass sie im Winter sowie auch im Sommer gegen Extremtemperaturen eine entgegengesetzte Pufferwirkung haben (Bild 4). Durch die abgewinkelten Lamellen ergibt sich ein differenziertes Absorptionsverhalten zwischen den kalten Wintertagen und den warmen Sommertagen. Man kann also sagen, dass die Lucido® Solarfassade „atmungsaktiv“ ist, die gezielt durch „schnelles atmen“ sich vor Überhitzung schützt und durch „langsames atmen“ sich vor Unterkühlung schützt.

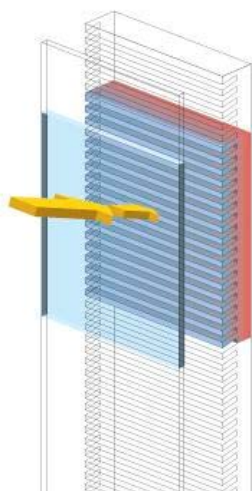


Bild 5: Die flache Wintereinstrahlung dringt tief in die Lamellenstruktur ein.

3.1 Winter

Die Oberfläche des Absorbers ist durch seine Lamellenstruktur 325% grösser, als die Oberfläche einer traditionell „flachen“ Fassade. Die Strahlen der tiefstehenden Wintersonne dringen dabei tief in die Lamellen hinein und werden vom Holzkern viel effizienter absorbiert. Das Solarglas hat neben der Funktion als „Klimahülle“ die Aufgabe, die Absorberfläche vor Wind und somit schneller und starker Abkühlung zu schützen. Nach dem Sonnenuntergang kühlt sich die Luft im Luftkanal soweit ab, so dass sie kaum mehr einen Auftrieb erfährt und somit als statische Luft dämmend wirkt. Die gespeicherte Wärme im Absorber bleibt somit viel länger erhalten. Die damit höhere Fassadentemperatur verringert den Wärmeverlust von innen nach aussen. An sonnigen Tagen wird mehr Wärme dem Innenraum zugeführt als verloren geht. In der strahlungsarmen Zeit – im Besonderen in den Monaten Dezember und Januar – schützt die Wärmedämmung das System zusätzlich vor Wärmeverlusten.

Durch eine gute Abstimmung zwischen dem Fenster- und Solarfassadenanteil entstehen wirksame Synergien. Tagsüber wird der

Innenraum mit Sonnenenergie durch das Fenster erwärmt, nachts minimiert die abstrahlende Wärme des Absorbers den Energieverlust.

Durch die Speicherung der Tagesenergie für den nächtlichen Gebrauch entsteht der entscheidende Vorteil der Solarfassade, welcher in bilanzierten U_{eff} Werten nur rudimentär

zum Ausdruck kommt, in der Praxis aber im Zusammenspiel mit der passiven Sonnenergienutzung durch die Fenster zu einem guten Hausklima beiträgt. Messungen am Objekt Mosimann (Bild 6) veranschaulichen den Wärmestrom der Wandoberfläche innen im Februar. Dabei sieht man, dass bis zu 7 Stunden nach Sonnenuntergang noch Wärme von der Innenwandfläche strahlt. Während der Absorber sich den Tag durch wieder auflädt, wird die Energie durch die Fenster gewonnen. Damit wird im Winter über 2/3 des Tages hinweg Wärme an die Innenräume zugeführt.

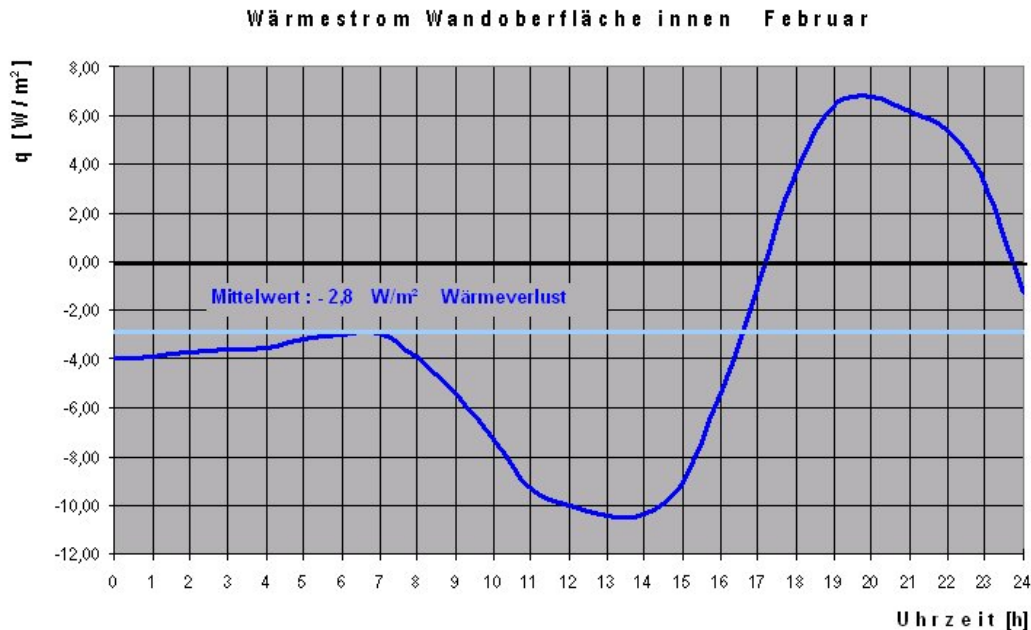


Bild 6: Messungen Objekt Mosimann: Der durchschnittliche Wärmeverlust einer Solarfassade sagt über deren Charakteristik wenig aus. Interessant ist der Wärmeeintrag nach Sonnenuntergang von rund 7 h Dauer. Der Verlust zwischen 8h bis 16h kann mit passiver Energienutzung über die Fenster wettgemacht werden. Zusammen ergäbe sich bei optimaler Abstimmung eine positive Energiebilanz über mehr als 2/3 des Tages. (IB Buchner, 2003)

3.2 Sommer

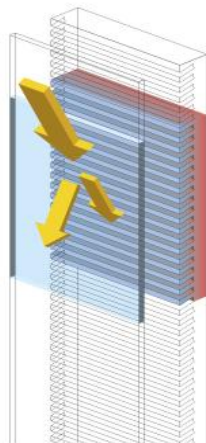


Bild 7: steile Sommereinstrahlung wird teils reflektiert und teils absorbiert.

Im Sommer verschattet sich die Fassade im Prinzip selbst. Durch den höheren solaren Einfallswinkel der Sommersonne verringert sich der Lichtdurchlassgrad des Solarglases und reduziert somit die solare Einstrahlung auf den Holzabsorber. Eine reduzierte Solarstrahlung gelangt auf die Lamellenspitzen des Absorbers und wird von diesen teils wegreflektiert, teils in Wärme umgewandelt. Die in die Tiefe eingehobelten Absorber-Lamellen verschatten den massiven Absorber-Kern, was die Aufnahme der Solarenergie vermindert, und somit sich der Absorber nicht wesentlich mehr erwärmt als im Winter. Die, schräg nach unten gestellten Lamellen, bilden einen wirksamen Überhitzungsschutz. Im Sommer übernimmt der Luftspalt zwischen Absorber und Solarglas eine andere Funktion als im Winter. Die an den Lamellenspitzen entstehenden hohen Temperaturen erwärmen die Luft und erzeugen somit einen Auftrieb. Dabei entweicht die heiße Luft durch die Öffnungen an der Oberseite der Konstruktion und saugt somit kühlere Luft durch die Öffnungen an der Unterseite an. Die Wärmedämmung unterstützt in der heißen Jahreszeit den sommerlichen Wärmeschutz.

sommerlichen Wärmeschutz.

Der Winkel der Lamellenstruktur ist besonders im Sommer wichtig, dass er während der heißesten Tageszeit die gewünschte Verschattung erzeugt. Die Neigung der Lamellenstruktur liesse sich auf die verschiedenen Himmelsrichtungen exakt einstellen, wo man für ganz heiße Klimaverhältnisse die Lamellenspitzen mit einer stark reflektierenden Farbe oder Metallspeigel für die Reflektierung ausstatten könnte. Die Berechnung dazu würden sich dabei verkomplizieren, sowie auch die Logistik der Produktion und Montage,

was das System verteuern würde. Zudem sind diese Massnahmen im mitteleuropäischen Klima nicht unbedingt nötig.

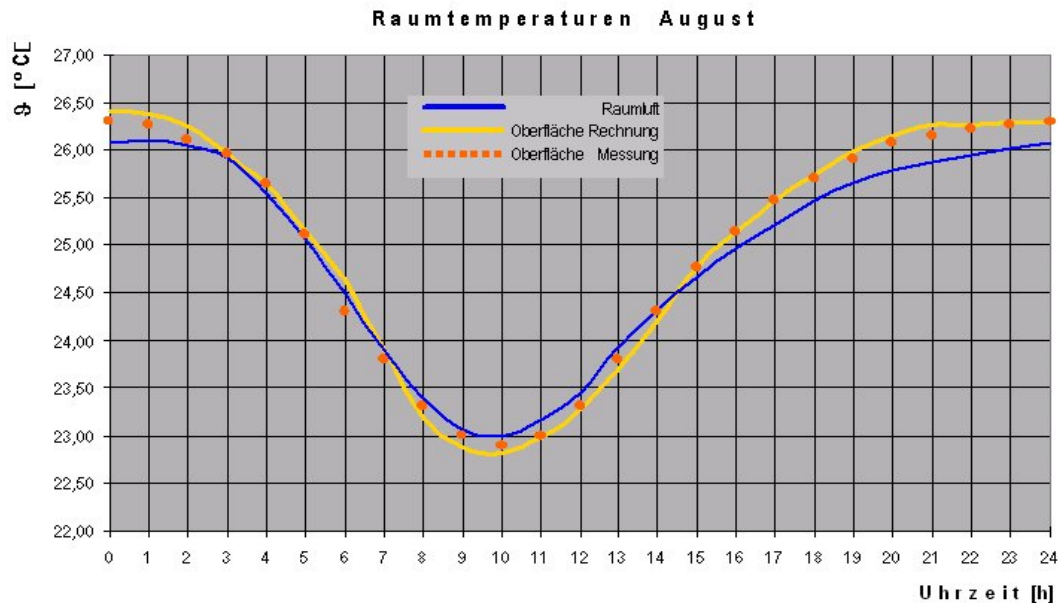


Bild 8: Innenraumtemperatur an einem typischen Tag im August im Vergleich mit der Wandoberflächentemperatur. Wandoberfläche wird nachts um weniger als 0,5°C wärmer als die Innentemperatur (Messung im Dachraumzimmer Objekt Mosimann) (IB Buchner, 2003)

3.3 Frühling/Herbst

Diese Jahreszeiten zeichnen sich durch starke Schwankungen der Tag- und Nachttemperatur, aber auch durch Temperaturen im Bereich der Heizgrenze aus. In dieser Zeit kommen die Vorzüge der Solarfassade ganz besonders zu tragen. Die Sonnenstrahlung in der Zeit der Tag/Nacht-Gleiche ist genügend, auch bei tieferen Aussentemperaturen, ein Komfortklima ohne Fremdwärmezufuhr zu erzeugen. - Die tagsüber aufgenommene Wärme wird - je nach Intensität - in den Abendstunden, den Innenräumen zugeführt und vermag ein komfortables Innenklima zu erzeugen. - Messungen zeigen, dass die Wandoberfläche in den Abendstunden angenehm um wenig höher ist als die Innentemperatur. In der Übergangszeit wird die Solarfassade dadurch zur „Heizung“.

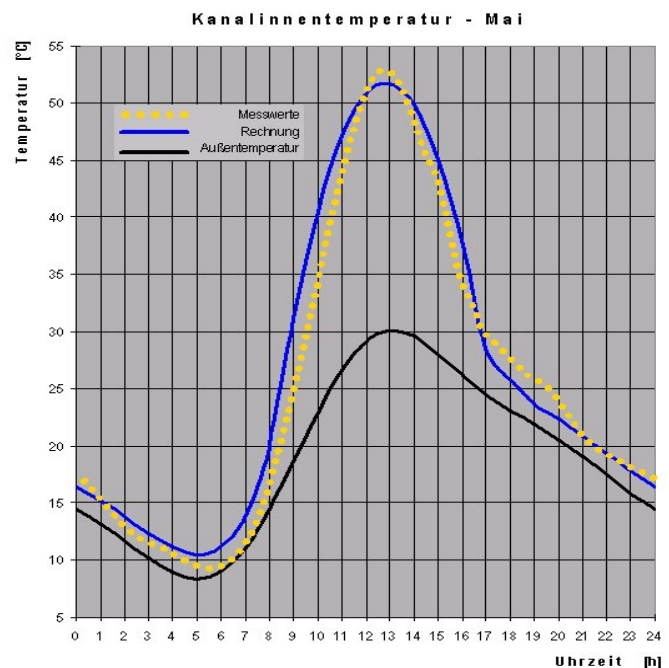


Bild 9: Kanaltemperatur im Mai (Messwerte und Rechenwerte Simulationsprogramm: Die Kanaltemperatur ist nachts wärmer als die Aussentemperatur und erwärmt sich stark durch die Absorption der Strahlungsenergie. Obwohl die Lamellen feingliedrig sind, wird die Wärme nur langsam aufgenommen. Die geringe Leitfähigkeit von Holz bewirkt zwar tagsüber hohe Kanaltemperaturen, nachts aber eine verzögerte Wärmeabgabe. (IB Buchner, 2003)



4 BAUPHYSIK SOLARFASSADE

Die Solarfassade ist bauphysikalisch einfach aufgebaut. Sie ist dampfdicht, wind- und luftdicht. Es werden keine problematischen Materialien eingebaut, die Teile sind auf wenige natürliche Baustoffe beschränkt.

4.1 Solargläser

Das Solarglas bildet die Systemgrenze und ist ein fast eisenfreies ($< 5\text{‰}$), leicht strukturiertes Gussglas, das durch seine hohe Transparenz fast die gesamte Sonnenenergie auf den Absorber überträgt. Die gleichen Gläser werden für Photovoltaik genutzt. Aus ästhetisch physikalischen Gründen werden visuell vollkommen weisse Gussgläser mit einer feinen Prisma- oder Silkstruktur auf der einen Glasseite verwendet. Die strukturierte (prismierte) Seite der Gläser wird beim Einbau aussen angeordnet. Ein gläserner Ausdruck wird so vermieden und der Absorber kommt besser zur Geltung. Der Schmutz ist dabei weniger sichtbar und kann auch gut abgewaschen werden. Die neusten Gläser haben eine strahlungsaktive Mikrostruktur im Glas.

Die rasante Entwicklung in der Solarzellen-Industrie erzeugt auch für Solarfassaden verbesserte Gläser. Gläser der neusten Generation sind mit verschiedenen Antireflex-Schichten ausgestattet. Sie werden so gänzlich entspiegelt und visuell sehr attraktiv. Im Übrigen steigen die Transmissionswerte Richtung 100%!

Glasstatik

Normalerweise wird 4 mm Glas benutzt, welche nach dem Zuschnitt gehärtet werden, um so höhere mechanische Belastungen auszuhalten. Der verantwortliche Planer/Unternehmer muss die Glasstatik für jedes Projekt berechnen, da Winddruckverhältnisse in verschiedenen geographischen Lagen anders sind. Die Solargläser können grössere Dimensionen aufweisen, nämlich 200 x 300cm, als eine Standard Berechnung (80 x 250cm) für ein solches Glas erlauben würde, denn ein grosses Solarglas steht bei hohen

Winddruckverhältnissen an den Absorber an und erfährt deshalb nicht dieselbe Spannung um zu einem Bruch zu führen. Darum sind die Glasdimensionsgrenzen primär durch die Sogberechnung gesetzt.

Bei der Firma Schmidlin wurden im Prüfstand Druckmessungen durchgeführt. Die verwendeten Solargläser haben einen Winddruck von 500 Pa problemlos ausgehalten, was der Windstärke von 102km/h eines Orkans entspricht (Beaufort -Skala11).

Winkelfaktoren der Solargläser

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit interessierten uns die strukturierten Oberflächen auch energetisch:

- Wie wirkt sich die Oberflächenstruktur auf die Energiegewinnung aus?
- Ist die Anordnung der prismierten Oberfläche Aussen richtig?
- Wie verhält sich die Solarfassade bei seitlich mit flachem Winkel auftreffender Solarstrahlung?

Dazu wurden am Institut für Solartechnik in Rapperswil verschiedene Gläser geprüft. Geprüft wurden der Strahlungs- und Lichttransmissionsgrad und die Winkelfaktoren der solaren Transmission.

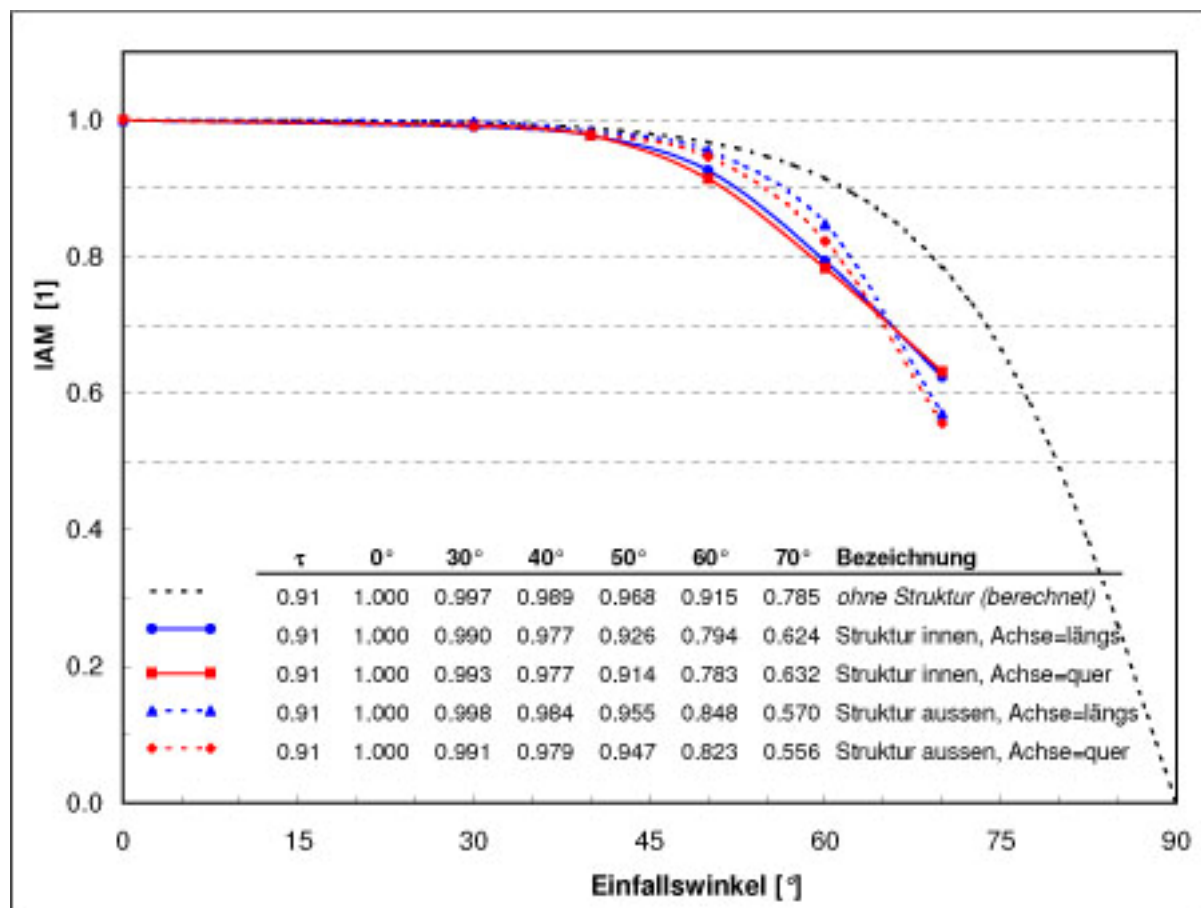


Bild 10: Messungen des Lichtdurchlassungsgrad eines Solarglases bei variierenden solaren Einfallswinkel und verschiedener Auslegung des Glases. (SPF – Institut für Solartechnik, Rapperswil)

Bei der Auswertung ist zu sehen, dass die Brechungseigenschaften der Prismierung auf der Aussenseite einen höheren Lichttransmissionsgrad aufweist als auf der Innenseite. Zudem werden die Prismen entlang der Längsachse angeordnet was dem heutigen Einbaustandard der Gläser entspricht. Bei bis zu 60° Einfallswinkel ist der Lichtverlust noch relativ gering (ca. 15%), wonach die Verluste sich rapid vergrössern (Bild 10).

	T_{D65}	T_{SOL}	0°	30°	40°	50°	60°	70°
Glas 1	0.903	0.871	1.0	0.992	0.976	0.931	0.723	0.43
Glas 2	0.904	0.9	1.0	0.99	0.966	0.899	0.678	0.449
Glas 3	0.915	0.912	1.0	0.998	0.984	0.955	0.848	0.57
Glas 4	0.919	0.914	1.0	0.993	0.986	0.964	0.907	0.754

Tabelle 1: Messvergleich verschiedener Solargläser mit der Glasstruktur aussen, Achse = längs. (SPF – Institut für Solartechnik, Rapperswil gemacht.)

Im direkten Vergleich (Tabelle 1) verschiedener Solargläsern sind markante Unterschiede zu sehen besonders bei grösseren Einfallswinkeln. Bei 50° liegen die Unterschiede noch unter 7%, jedoch sind die Unterschiede bei 60°, bereits bis zu 25% und bei 70° sogar bis zu 50%. Es zeigt sich also, dass, bei steil einfallendem Licht, Absorber auf der nordöstlich oder nordwestlich gerichteten Fassade mit qualitativ besseren Gläsern bedeutend höhere Energieeinträge verbuchen können.

Verschmutzung

Berechnungen haben ergeben, dass ein theoretischer Lichttransmissionsverlust von 30% durch Verschmutzung in den Wintermonaten lediglich eine U-Wert-Verschlechterung von 0.01 W/m²K ausmacht. Demzufolge weist das System, bei normaler Verschmutzung und Reinigung durch Regen, auch nach 20 Jahren nur unwesentliche Leistungseinbussen auf.

4.2 Absorber Wärmespeicherung

Grundsätzlich sind verschiedene Materialien für den Absorber anwendbar. Versuche wurden mit Keramik und Holzabsorbern gemacht, Holz mit verschiedener Masse und Struktur. Aus Gründen der ausgewogenen Werte zwischen Wärmeleitung- und Speicherung, aber auch aus Gründen der Nachhaltigkeit, erwies sich Holz als das ideale Absorbermaterial. Verschiedene Holzarten haben verschiedene Speichermassen. Ein Holzabsorber aus Tannenholz, kann tagsüber ca. 65Wh/m² aufnehmen, wenn er durch Strahlung auf durchschnittlich 20 Grad über Aussentemperatur aufgewärmt wird. Ein Absorberelement aus Tannenrippen und Eichenholzspeicher, kann dahingegen 150Wh/m² aufnehmen. Das Potential besteht also mit gezielter Abstimmung der Speichermasse durch die Anwendung verschiedener Holzarten und –Dicken das System gemäss der klimatischen Situation weiter zu optimieren. Ein Gegenbeispiel zeigt: Eine 0.3 W/m²K opak, gedämmte Wand verliert im Januar ca. 6W/m². In der 16 Stunden langen Winternacht sind das rund 96Wh/m². Die Speichermasse des Absorbers kann nun so ausgelegt werden, dass sie diese Wärmeverluste vollends einschränken könnte. Aus Berechnungs- und Planungsgründen wird dies jedoch in der Praxis noch nicht gemacht. Bei der Holzwahl wird schlussendlich aus Kostengründen meistens Tanne gewählt. Lärchenholz wäre aber aufgrund seiner Masse energetisch zu bevorzugen.

Die Farbe des Absorbers hat einen wichtigen Einfluss auf die Leistung des Systems. Auch da gilt, wie generell beim ganzen System, den Winter, wie auch den Sommer, gleichmässig zu berücksichtigen. Deshalb sind Farben, welche einen Schwarz/Weiss-Anteil von etwas über 50% haben sehr gut. Die Farbe des naturbelassenen Lärchenholzes ist dabei ideal.

4.3 Dampfdiffusion

Die Solarfassade wird in der Regel dampfopen aber wind- und luftdicht ausgeführt. Im Weiteren wird eine sorptionsfähige Wärmedämmung eingebaut. Darunter verstehen sich natürliche Dämmmaterialien wie Holzwohle, Zellulose, Hanf etc. Diese Materialien können Baufeuchte aufnehmen, ohne zu kondensieren. Vor allem bei Bauerneuerungen mit sehr unterschiedlichen und oft nicht idealen Aufbauten ist die Dampfopenheit eine wichtige Eigenschaft weil die Konstruktion so „fehlertolerant“ wird.

Anfänglich gab der höhere Dampfwiderstand des Holzabsorbers auf der Wandaussenseite Anlass für Messungen und Untersuchungen. Es hat sich aber gezeigt, dass die Solarfassade

an den der Sonne zugewandten Seiten (S_O_W) auch in der kalten Jahreszeit gut austrocknet. (Information IB Buchner)

4.4 Wärmedämmung / innerer Wandabschluss

Hinter dem Holzabsorber Speicherelement sind eine Winddichtung und eine konventionelle Wärmedämmung angeordnet. Die Wärmedämmung hat eine ausgleichende Aufgabe für strahlungsarme Tage in der kalten Jahreszeit und als zusätzlicher Schutz gegen die sommerliche Überhitzung. Das Material soll schwer, ca. 60-100kg/m³ und sorptionsfähig sein, damit eindringender Wasserdampf aufgenommen und mit solarer Erwärmung durch den Speicher wieder nach Aussen diffundieren kann. Die Wärmedämmung soll so zusätzlich als „Reservoir“ für Wasserdampf dienen. Die Dämmstärke beträgt ca. 6 bis 14 cm, je nach Himmelsrichtung und klimatischen Verhältnissen.

Der innere Wandabschluss ist bei Bauerneuerungen in der Regel bestehend. Bei massivem Mauerwerk dient die Masse als sekundärer Speicher bei Holzbauten ist zu untersuchen, inwieweit die alte Wand bauphysikalisch tauglich ist (Dampfsperren, Undichtigkeiten etc.).

5 DYNAMISCHER WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT

5.1 U-Werte, U-Effektivwerte

Da die Funktionsweise der Solarfassade von der solaren Strahlung abhängig ist, ist es nicht möglich den Dämmwert durch einen einzigen U-Wert anzugeben. Stattdessen wird das Dämmverhalten durch einen „effektiven“ U-Wert beschrieben, der sich dynamisch an die lokalen Klimabedingungen anpasst. Zudem wird dieser U_{eff} separat für die vier Fassadenorientierungen berechnet. Obwohl sich das Wetter fortwährend verändert, basieren die U_{eff} Berechnungen auf Monatsmittelwerte gemäss dem SIA Standard zur Berechnung von Transmissionswärmeverluste und –Gewinne.

Die U-Werte der Wandkonstruktionen können annäherungsweise mit den Schichtdaten gemäss EN ISO 6964 nach folgender Formel berechnet:

$$U = (1/h_i + \sum R_i + 1/h_e)^{-1}, \text{ in } W/(m^2K)$$

mit Wärmeübergangskoeffizienten $h_i = 7.7 W/(m^2K)$, $h_e = 25.0 W/(m^2K)$
Wärmedurchlasswiderstände $R_i = d_i / \lambda_i$, m²K/W
Schichtdicken d_i , m
Schichtwärmeleitfähigkeiten λ_i , W/(mK)

Der U-Effektivwert berücksichtigt die Reduktion des Wärmeverlusts durch Solargewinne. Sie bestimmen sich im Prinzip aus der Beziehung

$$U_{\text{eff}} = U * (1 - f_f * g * R_e * I_{\text{solar}} / \Delta T), \text{ in } W/(m^2K)$$

mit Verschattungs-/Verschmutzungsfaktor f_f
Gesamtenergiedurchlassgrad Lucido® -Element $g = 0.63$
Aussenwiderstand $R_e = 0.22 m^2K / W$ (Absorber-Aussenluft)
Solareinstrahlung I_{solar} ; W/m² (Monatsmittelwert)
Temperaturdifferenz ΔT , °C (Monatsmittelwert)

5.2 Strahlungsdaten

Strahlungsdaten werden für jedes Objekt neu berechnet, da diese sehr ortsspezifisch sind und die Gebäude unterschiedliche Himmelsausrichtungen haben. In einem Tal, beispielsweise, können zwei Objekte an einem Nord- bzw. Südhang, obwohl nur ein paar hundert Meter auseinander voneinander, merkliche Unterschiede in der Strahlungsbilanz aufweisen. In der Berechnung gelten die monatlichen vertikalen Globalstrahlungen für jede

Fassadenseite und die Temperaturmittelwerte als Standard Eingabeparameter um die „effektiven“, monatlichen U-Werte zu ermitteln. Die situative Verschattung durch den Horizont und umliegende Gebäude ist mit zu berücksichtigen.

Referenzklima : St.Gallen, SG, mit Horizont

solare		Strahlungsdaten											
Strahlung [W/m ²]	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahresmittel
● Osten	27.0	47.0	67.0	96.0	132.0	135.0	141.0	112.0	78.0	46.0	25.0	20.0	77
● Süden	80.0	105.0	117.0	116.0	103.0	100.0	108.0	114.0	109.0	96.0	57.0	60.0	97
● Westen	35.0	55.0	83.0	100.0	106.0	118.0	120.0	115.0	86.0	60.0	30.0	26.0	78
● Norden	19.0	29.0	41.0	50.0	67.0	80.0	76.0	58.0	43.0	25.0	18.0	14.0	43

aussenluft		Temperaturdaten											
Temperatur [°C]	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahresmittel
	0.20	1.40	5.10	8.20	13.30	16.60	17.20	17.80	13.40	9.60	3.90	1.00	6.98

Tabelle 2: Strahlungseingabedaten am Beispiel St. Gallen. Oben sind die Werte der Strahlungsmenge, die auf eine senkrecht stehende Fassadenfläche aufprallen. Diese Werte werden für alle vier Fassadenseiten angegeben. Unten sind die Monatsmittel der Aussenlufttemperaturen.

Für eine Energieberechnung laut SIA 380/1 werden die monatlichen U_{eff} Werte, anstelle des statischen U-Wertes einer konventionellen Fassade, als Energieverluste und -Gewinne eingetragen.

5.3 Simulationsprogramm

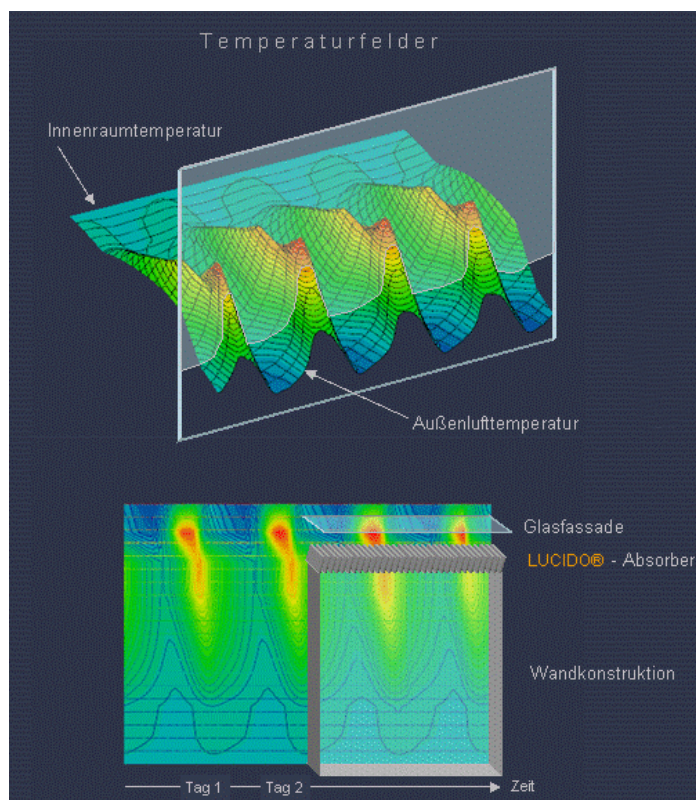


Bild 11: Temperaturfelder. IB Buchner, 2004

Die thermodynamische Simulation der Lucido® - Absorberfassade erfolgt mit einem analytischen Berechnungsprogramm für instationäre Temperaturfelder bei beliebigen Randbedingungen. Das Programm beinhaltet die Kopplung zur Simulation der hinterlüfteten Glasfassade mit dem Lucido® – Absorber und der sich anschliessenden Wandkonstruktion. Dabei erfolgt die Bestimmung der Temperatur im Luftspalt des Absorbers aus der Lösung der Energiebilanz des Luftraumes vor und zwischen den Absorber Lamellen. Die Wärmeübergangskoeffizienten der Oberflächen werden in Abhängigkeit der thermischen Auftriebsgeschwindigkeit, sowie der Oberflächen – und Lufttemperaturen variabel bestimmt.

Holzständerkonstruktion

Lucido® Wandaufbau:

- Innenputz:	10 mm
- Gipsbauplatte:	15 mm
- Homatherm:	180 mm
- Lucido® Absorber:	40 mm
- Luftspalt:	16 mm
- Solarglas:	4 mm
Total:	265 mm

effektiver Wärmedurchgang mit Lucido® [stationär]		[W/(m²K)]												Heizperioden- mittel
		Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	
● U _{Lucido}	o	0.16	0.14	0.09	0.00	-0.27	-0.77	-0.51	-0.46	-0.12	0.07	0.16	0.17	0.11
● U _{Lucido}	s	0.11	0.07	0.02	-0.03	-0.19	-0.57	-0.38	-0.49	-0.21	-0.03	0.11	0.12	0.05
● U _{Lucido}	w	0.15	0.13	0.06	-0.01	-0.20	-0.68	-0.43	-0.50	-0.14	0.04	0.15	0.16	0.10
● U _{Lucido}	n	0.18	0.16	0.12	0.08	-0.08	-0.45	-0.24	-0.21	0.00	0.12	0.17	0.18	0.14

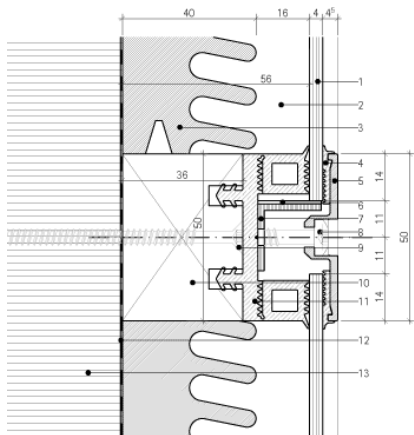
Tabelle 3: Zur Berechnung des effektiven U-Wertes der Lucido® Konstruktion wurde ein U-Wert von 0.25 W/m²K eingegeben, welcher von der gesamten Tragkonstruktion resp. –wand, inklusive der Dämmung, aber ohne dem Lucido® System (Absorber, Luftspalt und Solarglas) berechnet wurde. Bei einer Holzfaserdämmung ($\lambda = 0.038$ W/mK) entspricht das einer Dämmstärke von 18 cm, d. h. die Wandkonstruktion mit Lucido® ist 26.5 cm stark.

Die Ergebnisse einer U_{eff} Berechnung in der Tabelle 3 weisen in den kalten Monaten Transmissionswärmeverluste (positive Werte) auf und Transmissionswärmegewinne (negative Werte) in den warmen Monaten. Wie in der Funktionsweise in Kapitel 3 beschrieben ist, setzt sich der Tag-Nacht-Zyklus aus Wärmegewinnen und –Verlusten zusammen (Bild 6), wobei der tägliche Durchschnitt, bzw. Monatschnitt die netto Gesamtbilanz aufzeigt. Die relevanten Werte dieser Berechnung ergeben sich durch den Durchschnitt der Heizperiode (Oktober – April) und lassen sich mit einem statischen U-Wert einer konventionell gedämmten Fassade vergleichen. Es ist dabei zu sehen, dass eine Holzständerkonstruktion mit nur 18 cm Holzfaserdämmung und einer Lucido® Fassade U_{eff} -Werte zwischen 0.05 – 0.14 W/m²K hat. Eine konventionelle Holzständerkonstruktion mit Verputz derselben Wandstärke würde dagegen nur einen U-Wert von 0.21 W/m²K haben. Das Berechnungsprogramm ist eine wertvolle Hilfe in der Umsetzung von Bauten mit Solarfassaden. Sie sind aber nur eine Annäherung an die realen Bedingungen. Deshalb sind Kontrollmessungen gebauter Objekte wichtig.

Bei der Solarsiedlung am Hofberg (Wärmedämmung 12 cm), bei welcher erstmals das Rechenprogramm eingesetzt wurde und welche allesamt Minergie-P zertifiziert sind, haben Energiemessungen gezeigt, dass die rechnerisch angenommenen Werte stimmen. Bei einer Parallelmessung zweier Einfamilienhäuser lag der Unterschied der verbrauchten Wärmeenergie im Bereich von 3 Promillen.

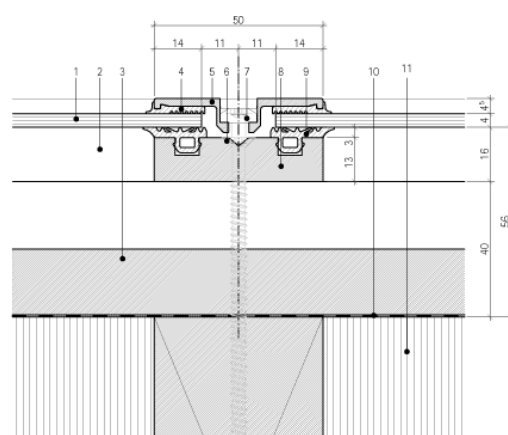
5.4 Wärmebrücken

Wärmebrücken wurden von der Prüfstelle EMPA berechnet (Prüfbericht Nr. 449'172, 2008).



$$\psi_{\text{Pfosten}} = 0.0203 \text{ W/mK}$$

Bild 12: 1. 4 mm Solarglas, 2. 16 mm Luftspalt, 3. Holzabsorber, ..., 10. Holz-Riegel, ..., 12. Windpapier, 13. Dämmung.



$$\psi_{\text{Riegel}} = 0.0001 \text{ W/mK}$$

Bild 13: 1. 4 mm Solarglas, 2. 16 mm Luftspalt, 3. Holzabsorber, ..., 8. Holz-Pfosten, ..., 10. Windpapier, 11. Dämmung.

5.5 Dämmwerte Schweiz

Die folgende Tabelle 4 zeigt die effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten (U_{eff}) der Lucido® Südfassade an verschiedenen Ortschaften der Schweiz. Die Werte für die Ost-, West- und Nordfassade sind im Anhang C zu sehen. Die *Temperatur* und *mittlere vertikale Globalstrahlung Süd* sind die jährlichen Monatsmittelwerte, und die berechneten U_{eff} *Süd-Werte* sind die gemittelten Monatswerte der Heizperiode (Oktober - April).

In der Tabelle ist ersichtlich, dass Lucido® in allen Regionen der Schweiz, Flachland und alpinen Gebieten, ausgezeichnete Werte erreichen kann, wo Regionen mit kälteren Temperaturen mehr Solarstrahlung haben. Die resultierenden, dynamischen U_{eff} -Werte sind, bei gleicher Dämmstärke deutlich besser als der statische U-Wert einer konventionell gedämmten Fassade. Je nach Zielsetzung der Planer kann die Dämmstärke angepasst werden, wobei eine typische Lucido® Konstruktion im Neubau mit 12 – 18 cm (Holzfaser) gedämmt wird. Diese U_{eff} -Werte sind mit einer konventionellen Fassade aus bautechnischen Gründen kaum erreichbar. Solche Werte könnten bei einer konventionell gedämmten Fassade nur einer erheblichen Zusatzdämmung erreicht werden, wobei die U_{eff} -Werte einer Lucido® Südseite aus bautechnischen Gründen gar nicht erreichbar sind.

Ort	Höhe über Meer	Durchschnittliche Temperatur	Ueff süd, mit Horizont	mittlere Globalstrahlung vertikal süd, mit Horizontverschattung	Klimaregion
Bellinzona	227 m	13.2 °C	-0.04 W/m2K	106 W/m2	Alpensüdseite
Lugano	273 m	12.5 °C	-0.03 W/m2K	115 W/m2	Alpensüdseite
Sion	518 m	10.4 °C	-0.02 W/m2K	132 W/m2	Alpentäl
Lausanne	526 m	10.9 °C	0.01 W/m2K	111 W/m2	Westschweiz
St. Moritz	1838 m	5.3 °C	0.02 W/m2K	152 W/m2	Hochalpin
Chur	590 m	10.0 °C	0.02 W/m2K	108 W/m2	Alpentäl
Bern	540 m	10.7 °C	0.02 W/m2K	104 W/m2	Mittelland
Genf	379 m	10.9 °C	0.02 W/m2K	103 W/m2	Westschweiz
Basel	270 m	11.5 °C	0.02 W/m2K	99 W/m2	Mittelland
Brig	681 m	9.6 °C	0.03 W/m2K	112 W/m2	Alpentäl
Zermatt	1616 m	5.0 °C	0.04 W/m2K	135 W/m2	Hochalpin
Davos	1556 m	3.2 °C	0.05 W/m2K	140 W/m2	Hochalpin
St. Gallen	670 m	9.0 °C	0.05 W/m2K	97 W/m2	Mittelland
Zürich	413 m	9.9 °C	0.05 W/m2K	97 W/m2	Mittelland
Schaffhausen	402 m	9.8 °C	0.05 W/m2K	96 W/m2	Mittelland
Neuenburg	438 m	10.4 °C	0.05 W/m2K	94 W/m2	Westschweiz
Luzern	436 m	10.1 °C	0.05 W/m2K	89 W/m2	Mittelland
Andermatt	1441 m	4.5 °C	0.07 W/m2K	117 W/m2	Hochalpin

Ustat = 0.25 Kanalhöhe = 2.5 m

Tabelle 4: Alle Standorte wurden mit demselben Wandaufbau hinter dem Lucido® Element und einem U-Wert von 0.25 W/m2K gerechnet. Der Luftkanal wurde bei 2.5 m angenommen, was der Höhenunterschied zwischen Luft-Einlass und Luft-Auslass beschreibt. Der U_{eff} -Wert ist der monatliche Durchschnitt der Heizperiode (Oktober – April) der Südfassade. Die mittlere, vertikale Globalstrahlung der Südfassade.

6 ÖKOLOGIE

6.1 Einleitung

Dieses Thema ist wichtiger als je zuvor, und deshalb finden wir es sinnvoll das Konzept „Ökologie“ für den weiteren Verlauf dieser Arbeit ein bisschen näher zu betrachten. Der Begriff Ökologie kommt vom griechischen und heisst soviel wie ‚Lehre vom Haushalt‘. Sie ist eine Teildisziplin der Biologie, welche die Beziehungen zwischen Organismen untereinander und ihrer Umwelt beschreibt. Das Wort „Ökologie“ hat im populären, umweltpolitischen Gebrauch ihren neutralen naturwissenschaftlichen Sinn verloren und eine stark positive Konnotation angenommen und ist zum Teil gleichbedeutend wie umweltverträglich, sauber, rücksichtvoll, gut oder gar richtig (Wikipedia). Auf ein Produkt bezogen, wird es schnell sehr schwierig, wirklich zu quantifizieren, was umweltverträglich oder sauber heisst. Trotz der sehr losen Definition des Ausdrucks „Ökologie“, oder kurz „Öko“, wird er oft als Marketing Tool missbraucht, um einem Produkt einen zusätzlichen Glanz zu verabreichen. Heutzutage gibt es eine ganze Reihe von populären „Öko-“ Begriffen wie „nachhaltig“, „wenig graue

Energie“, „CO₂-Neutral“, „Nullenergie“ etc., deren Kriterien und Grundlagen, wenn man genau hinschaut, oft willkürlich gewählt werden und wir deshalb anraten diese noch mit Vorsicht zu geniessen. Mit dieser kritischen Haltung wollen wir nicht unbedingt den Nutzen und die positiven Anwendungen dieser Begriffe in Frage stellen, sondern eher unser kritisches Verhalten gegenüber dem Thema, und unser Bewusstsein das in der Lucido® Systementwicklung steckt unterstreichen.

Die Lucido® Fassade wird fortwährend nach dem Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft weiterentwickelt, wie auch schon der Ursprung des Lucido® Konzepts vor der Formulierung der 2000-Watt-Gesellschaft nach solchen nachhaltigen Zielen entwickelt wurde. Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft fasst die Ideen von Umwelt- und Klimaschutz in allen Lebensbereichen zusammen und formuliert ein Ziel, ausgedrückt in pro Kopf Energieverbrauch oder CO₂ Ausstoss. Der 2000-Watt Zielwert wird von dem Primärenergieverbrauch gerechnet. Je nach Energieträger und Energiequelle sind unterschiedlich viele Prozessschritte notwendig, um von Primärenergie (z.B. Erdölvorkommen in Norwegen) über die Endenergie (z.B. Heizöl im Keller) auf Nutzenergie (z.B. Heizwärme, die nach der Verbrennung in der Ölfeuerung und deren Speicherung und Verteilung zur Verfügung steht) zu kommen. Jede Umwandlung bedeutet immer auch Verluste: Sie ist abhängig von der Effizienz von Umwandlungssystemen. Ein weiteres Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft ist, dass von den 2000-Watt, drei-viertel aus erneuerbaren Energiequellen stammen müssen. Dies limitiert den Gebrauch von fossiler Energie massiv auf 500-Watt pro Person, was ungefähr 1 Tonne CO₂ pro Person pro Jahr entspricht. Gemäss den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft nimmt der Wohnbaubereich alleine, mit 840 Watt/Person, 42% des gesamten Energieverbrauchs auf, dies entspricht einem auf die Energiebezugsfläche bezogener Energieverbrauch von 440 MJ/m²a. Die restlichen 1160 Watt fallen dabei auf Landwirtschaft, Industrie, Freizeit etc. an. Man erkennt dabei die Wichtigkeit des nachhaltigen Wohnbaus. Der Wohnenergieverbrauch wird weiter auf 5 Themenbereiche aufgeteilt (Tabelle 5), nämlich Baumaterial, Raumklima, Warmwasser, Licht und Apparate und Mobilität, wo es zwischen Neubau und Umbau Differenzen im Baumaterial und Raumklima gibt. Beim Umbau wird die, für ein existierendes Gebäude (meistens die Tragstruktur) aufgewendete Graue Energie, mit 0 bilanziert. Umbauten und Sanierungen erhalten damit ein bisschen Spielraum, da die im Themenbereich Raumklima gesetzten Ziele nur mit grossem Aufwand erreichbar sind. (Information aus Dokumentation SIA D 0216: SIA Effizienzpfad Energie)

Primärenergie		
	Verbrauch NEUBAU in MJ/m ² a	Verbrauch UMBAU in MJ/m ² a
Baumaterial (Graue Energie)	PE _{ge} = 100	PE _{ge} = 60
Raumklima (Betriebsenergie)	PE _h = 45 PE _{hil, lü} = 25	PE _h = 85 PE _{hil, lü} = 25
Warmwasser (Betriebsenergie)	PE _{ww} = 40	PE _{ww} = 40
Licht + Apparate (Betriebsenergie)	PE _{el} = 130	PE _{el} = 130
Mobilität (Mobilitätsenergie)	PE _{mob} = 100	PE _{mob} = 100
Zielwert „A“ Wohnen 440 MJ/m²a (100%)		

Tabelle 5: Aus SIA Effizienzpfad Energie, 2006 (Dokumentation SIA D 0216). In der 2000 Watt Gesellschaft macht der Wohnbereich 840 W/Pers., was 440 MJ/m²a entspricht. Das Wohnen ist in 5 Themenbereiche unterteilt: Baumaterial, Raumklima, Warmwasser, Licht + Apparate und Mobilität. Zielwert A sind die Werte um die 2000 Watt pro Person zu erreichen, im Gegensatz zu Zielwert B (hier nicht beschrieben), der eine Annäherung (125%) ist.

6.2 Materialkreislauf

Die Solarfassade wird in einer Einzelteil-Montage in der Werkstatt oder am Bau sorgfältig montiert. Auf eine Vorfertigung, bei welcher Klebstoffe verwendet werden, wird bewusst verzichtet. Die Inhaltsstoffe der Baumaterialien der Solarfassade sind einfach überschaubar und unbedenklich.

Die einzelnen Teile sind demontierbar und sollen nach dem Ende der Nutzungsdauer wieder in den Materialkreislauf zurückgeführt werden können. Die geringe Materialvielfalt, die einfache, trennbare Konstruktion und die hohe Qualität der Rohstoffe bilden einen ökonomischen und ökologischen Wert am Ende der Nutzungsdauer:

Solarglas

- *Material:* hochqualitatives, eisenarmes Gussglas
- *Lebensdauer:* Gussglas „fließt“ und hat, im Gegensatz zu Naturstein, eine begrenzte Lebensdauer, sie liegt im Bereich von 80 bis 100 Jahre.
- *Rezyklierbarkeit:* Das Altglas wird zu 100% als Rohstoff für diverse neue Produkte stehen, denn das Solarglas besteht aus hochwertigem Rohstoff. Zurzeit wird Altglas für die Glasproduktion und für Dämmmaterialien genutzt. Die ökologischen Vorteile sind nicht unbedeutend: Für 1 m³ Primärrohstoff müssen 7 m³ Gestein abgebaut werden. Der Einsatz von gebrauchten Glasverpackungen reduziert den Bedarf an Primärrohstoffen und schont Naturraum. Gebrauchte Glasverpackungen brauchen zum Schmelzen niedrigere Temperaturen und daher weniger Energie als das Gemenge an Primärrohstoffen (Quarzsand, Kalk, Dolomit und Soda). Dies hat auch eine Reduktion der CO₂-Emissionen zur Folge. Die Energieeinsparung beträgt ca. 25%. (info wikipedia)
- *Entsorgung:* unbedenklich

Holzabsorber

- *Material:* getrocknete Fichte oder Lärche, unbehandelt, lasiert oder gestrichen
- *Lebensdauer:* Der Massiv-Holzabsorber ist hinter Glas geschützt. UV-Licht vermag zwar Holz abzubauen, eine Verdünnung der Lamellen wäre aber energetisch und visuell nicht nachteilig. Die Lebensdauer schätzen wir auch im Bereich des Gussglases.
- *Rezyklierbarkeit:* Die naturbelassenen Absorber können als Altholz der Klasse A1, unbehandelte Hölzer, als Sekundärmaterial in Spanplatten wiederverwendet werden oder für Wärme oder Stromerzeugung CO₂-Neutral verbrannt werden. Die lasierten und gestrichenen Absorber können als Altholz der Klasse A2, behandelte Hölzer ohne Halogenorganische Beschichtungen, in Öfen aller Grössen schadstofffrei verbrannt werden.
- *Entsorgung:* Bei der Entsorgung entstehen keine Umweltlasten

Wie die untenstehende Grafik zeigt, ist das Holzbausystem ökologisch sehr vorteilhaft, da sie mit zu der CO₂-Senke beitragen, welche unser Wald bildet.

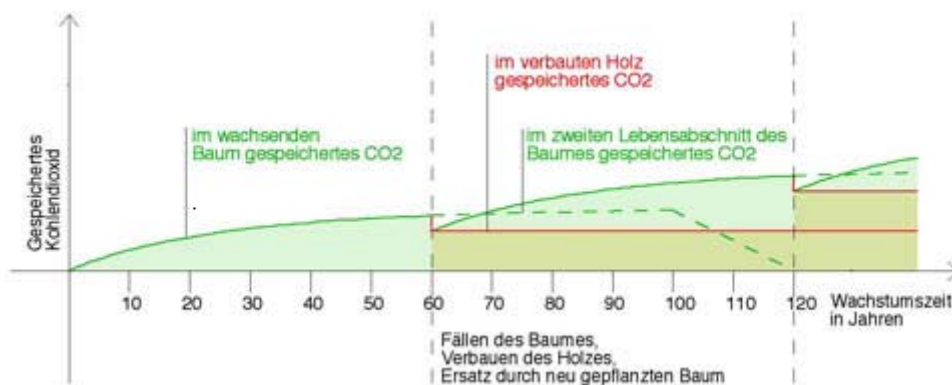


Bild 14: Ein Baum speichert über seinen Lebenszyklus CO₂ in seinem Stamm, Ästen und Blättern. Während ein junger Baum im Wachstum noch viel CO₂ aufnehmen kann, erreicht ein ausgewachsener Baum mit dem verlangsamten Wachstum eine Sättigung. Der Baum wird gefällt, verarbeitet und schliesslich verbaut, wobei das CO₂ im Holz gespeichert bleibt. Ein neuer Baum wird gepflanzt, der dann von neuem CO₂ speichert bis dieser wiederum bereit zum Fällen ist. In einem normalen Lebenszyklus stirbt der Baum und verwest langsam, wobei der gespeicherte CO₂ wieder frei wird. Wird der Baum aber verbaut, so bleibt das CO₂ so lange im Holz gespeichert, wie das Holzelement im Gebäude besteht.

Alu Glashalterung

- *Material:* Das Rohmaterial für die Halterungen kann aus 100% Primäraluminium, 100% Sekundäraluminium (rezykliert) oder ein Gemisch davon bestehen. Fakt ist, dass im Durchschnitt mehr Sekundäraluminium als Primäraluminium verarbeitet wird. Der Anteil von Sekundäraluminium ist je nach Verfügbarkeit verschieden gross.
- *Lebensdauer:* Die Aluminium - Glashalterungen sind stabil und bekommen an der Luft eine „natürliche“ und äusserst feste Oxidschicht, die Lebensdauer wird in der Literatur zwischen 30 bis 60 Jahren angegeben.
- *Rezyklierbarkeit:* Glashalterungen aus Aluminium können sehr leicht wiederverwertet werden. Alu kann nach dem Gebrauch ohne jegliche Qualitätseinbusse rezykliert werden und somit auch beliebig oft wieder eingeschmolzen werden. In der Baubranche beträgt die Recycling Quote 90%. Für die Produktion dieses "Sekundäraluminiums" sind nur etwa 5% der Energie erforderlich, die für die Primärproduktion benötigt wird. Zur Produktion von Primäraluminium braucht es heute 13 kWh/kg Nutzenergie.
- *Entsorgung:* nicht notwendig, da 100% rezyklierbar ist.

Gummidichtung

- *Material:* Thermoplastik (TPE)
- *Lebensdauer:* Ca. 30 Jahre (ähnlich wie EPDM) Gummidichtungen der sollten mit dem Unterhalt, Demontage der Gläser zur Reinigung, alle 20 bis 30 Jahren ersetzt werden.
- *Rezyklierbarkeit:* Im Gegensatz zu EPDM können Produktionsabfälle zurück in den Produktionskreislauf in Mengen von 10 – 30% geführt werden.
- *Entsorgung:* Verbrauchtes Material kann nicht mehr rezykliert werden und wird Halogen-frei, ohne Schadstoffbelastung verbrannt.

Dämmung

- *Material:* Holzfaser oder Cellulose
- *Lebensdauer:* Die Wärmedämmung ist konstruktiv dauerhaft wind- und luftdicht; trocknet durch die Solarstrahlung immer wieder aus und verliert so kaum an Dämmwirkung. Die Lebensdauer wird im Bereich des Gussglases liegen.
- *Rezyklierbarkeit:* Unbeschädigte Platten können wiederverwendet werden. Vollständig und problemlos rezyklierbar, z.T. kompostierbar, kann auch für Wärme- oder Stromgewinnung verbrannt werden.
- *Entsorgung:* unbedenklich

Die Solarfassade hat eine für Häuser mit niedrigstem Energieverbrauch sehr hohe Materialeffizienz. Der Rohstoffeinsatz bringt durch die Nutzung der Sonnenenergie einen hohen energetischen Wert bei kleinem Materialverbrauch. Die Produktion bedarf wenig Transportenergie. Die Fertigung von der örtlichen Unternehmung ist positiv für die Ökobilanz des Systems. Die Wertschöpfung für das lokale Gewerbe ist hoch. Die Dämmwand einer Bauerneuerung mit einer Solarfassade besteht aus 6 bis 12 cm Holzfaserdämmung, hergestellt in der Schweiz oder in Deutschland.

Zusammengefasst kann für die Hauptbestandteile von einer Lebensdauer von 50 bis 100 Jahren ausgegangen werden.

6.3 BauEcoIndex

Für unsere Analyse der Grauen Energie des Bauelementes berufen wir uns auf das Programm gibbeco®. Die Graue Energie beschreibt die Ressourcenintensität, wozu die Energie für den Abbau der Rohstoffe, deren Transport zwischen Produktionsstandorten und die kumulierten Herstellungsenergien bis zum Endprodukt (bis Fabrikator) gehört. Die

Entsorgungsenergie ist nicht inbegriffen, da es noch zu wenig Angaben gibt. Das Programm gibbeco® berechnet einen BauEcoIndex von allen Einzelteilen eines Bauteils. Dieser BauEcoIndex gibt die Baustoffdaten (Dicke, Rohdichte, Masse etc.), Umweltlast als CO₂ und SO₂ equivalent in gCO₂/kg resp. gSO₂/kg, Nutzzeit, Umweltwirkung (gCO₂eq/m²a, resp. gSO₂eq/m²a), und die Primärenergie-Inhalt PEI (MJ/m²a) aufgeteilt in nicht erneuerbar und erneuerbar an. Die Umweltlasten lassen sich auf die Gesamtenergieaufwand berechnen oder besser über die geschätzte Lebensdauer des Materials hin. Ein Material, dass einen doppelten Primärenergieaufwand hat als ein anderes, ist energetisch immer noch günstiger, wenn es die vierfache Lebensdauer hat, als das Produkt das mit halb soviel Energie erzeugt wurde.

KONSTRUKTION BauEcoIndex BERECHNUNG Europa UCTE										KNr E4.371 LucidoFassade IEA Sanierung		BEI UCTE					
E4.371 LucidoFassade IEA Sanierung										1Konstr_Nr E4 Aussenwände über Terrain		Lucido®:lichtaktive Fassade, Holzabsorber, Holzplatte, Cellulose, Holzplatte					
BauEcoIndex UCTE										Umweltlast		Umweltwirkung		Primärenergie-Inhalt PEI		HINWEISE oder Kommentar zu Anwendung, Entsorgung usw.	
Alle Daten mit Strommix Europa UCTE										Herstellung pro kg		Herstellung und Erneuerung m2		Herstellung pro kg		Herstell.+Erneuern	
17 Folge a-z	148_1Produkt / MaterialNr	148_2 Materialname	148_3 Dicke cm	148_14 Rohdich kg/m3	148_4 Effekt Masse kg/m2	148_20 CO2eq gCO2/kg	148_21 SO2 eq gSO2/kg	148_9 Nutzzeit nach AB Jahre	148_24 gCO2eq/m2a	148_25 gSO2eq/m2a	148_22 nicht erneuerb MJ/kg	148_23 erneuerb MJ/kg	148_26 nicht erneuerb MJ/m2a	148_27 erneuerb MJ/m2a	148_30 Hinweise		
a1	3.215.502	Gras	0,4	2500	10,00	2130	15,30	60	266	1,91	42,7	2,5	5,33	0,21	Sonargras gekurzt		
a2	0.02	Luftschicht	1,6	1,15											Luftspalt		
b1	4.221.401	Aluminiumrahmen		2700	0,214	20961	152,08	60	74	0,54	410	20	1,46	0,08	Alurolste Pfosten/Riegel, Glasaufleger		
b2	7.225.05	Gummischichtung synthetisch EPDM		1000	,5	2440	18,19	30	40	0,30	87	2,6	1,45	0,04	EPDM Pfosten/Riegel		
c	5.02.2	Holzschalung CO2n		450	4,6	338	1,95	60	1	0,01	3,6	25,1	0,02	0,14	Holzankerkonstruktion Tanne		
d	5.02.2	Holzschalung CO2n	4	450	12,8	338	1,95	60	03	0,30	3,6	25,1	0,06	3,95	Lucido®-Absorber Tanne		
e	8.225.005	Windschichtung aus Papier 0.22 mm	,66	1000	,5	894	3,35	60	5	0,02	15,0	19,4	0,09	0,11			
f1	5.02	Holzplatten		450	1,35	338	1,95	60	5	0,03	3,6	25,1	0,06	0,42	Roggenstreu (3%)		
f2	9.08.60	Celluloseflocken 60kg/m3	10	60	5,82	112	1,4	60	8	0,10	2,8	0,9	0,20	0,06	Dämmung (97%)		
g	253.23	Chromstahl V4A			,35	4500	21,5	60	19	0,09	64,5	2,75	0,28	0,01	Schrauben und Nägel		
TOTAL			16 mm			31,7 kg/m2		K_36	471	3,3	K_37	K_38	9,45	5,12	K_39		
1418Edat 18.03.05 142RDat 18.10.09 1488Eab dat										gCO2eq/m2a		gSO2eq/m2a		MJ/m2a		MJ/m2a	

Tabelle 6: Fassade Variante I: 10cm Celluloseflockendämmung mit Lucido® System (gibbeco®).
U_{eff} = 0.09 W/m²K, Wandstärke = 16 cm.

KONSTRUKTION BauEcoIndex BERECHNUNG Europa UCTE										KNr E4. konventionelle Fassade 1/4 gedämmt mit Aussenp		BEI UCTE					
E4. konventionelle Fassade 1/4 gedämmt mit Aussen										1Konstr_Nr E4 Aussenwände über Terrain		Holzständer Konstruktion mit Verputz					
BauEcoIndex UCTE										Umweltlast		Umweltwirkung		Primärenergie-Inhalt PEI		HINWEISE oder Kommentar zu Anwendung, Entsorgung usw.	
Alle Daten mit Strommix Europa UCTE										Herstellung pro kg		Herstellung und Erneuerung m2		Herstellung pro kg		Herstell.+Erneuern	
17 Folge a-z	148_1Produkt / MaterialNr	148_2 Materialname	148_3 Dicke cm	148_14 Rohdich kg/m3	148_4 Effekt Masse kg/m2	148_20 CO2eq gCO2/kg	148_21 SO2 eq gSO2/kg	148_9 Nutzzeit nach AB Jahre	148_24 gCO2eq/m2a	148_25 gSO2eq/m2a	148_22 nicht erneuerb MJ/kg	148_23 erneuerb MJ/kg	148_26 nicht erneuerb MJ/m2a	148_27 erneuerb MJ/m2a	148_30 Hinweise		
a	2.01	Verputz aussen konventionell	2	1800	,36	195	0,71	25	280	1,02	1,5	0,1	2,16	0,14			
b	5.271.01	Holzwebleplatten magnesitgebunden	2	400	8	833	2,85	60	111	0,38	5,4	8,2	0,72	1,09			
c	5.031	Brettschichtholz CO2n		450	12,42	820	4,81	60	169	0,99	11,4	38,8	2,35	8,03	Holzständer (12%)		
d	9.08.60	Celluloseflocken 60kg/m3	24	60	12,67	112	1,4	60	23	0,29	2,8	0,9	0,59	0,19	Dämmung (88%)		
e	5.02.2	Holzschalung CO2n		450	13	338	1,95	60	73	0,42	3,6	25,1	0,78	5,43			
f	14.25.03	Stahl verzinkt		7500	1,5	3833	17,74	60	95	0,44	96,55	1,95	1,41	0,04			
g	253.23	Chromstahl V4A			,9	4500	21,5	60	67	0,32	64,5	2,75	0,96	0,04			
TOTAL			28 mm			84,4 kg/m2		K_36	818	3,86	K_37	K_38	8,97	14,96	K_39		
1418Edat 28.10.09 142RDat 24.11.09 1488Eab dat										gCO2eq/m2a		gSO2eq/m2a		MJ/m2a		MJ/m2a	

Tabelle 7: Fassade Variante II: Konventionell gedämmte Fassade mit Verputz und 24cm Dämmung (gibbeco®).
U = 0.2 W/m²K, Wandstärke = 28 cm.

KONSTRUKTION BauEcoIndex BERECHNUNG Europa UCTE										KNr E4. konventionelle Fassade mit Aussenputz		BEI UCTE					
E4. konventionelle Fassade mit Aussenputz										1Konstr_Nr E4 Aussenwände über Terrain		Holzständer Konstruktion mit Verputz					
BauEcoIndex UCTE										Umweltlast		Umweltwirkung		Primärenergie-Inhalt PEI		HINWEISE oder Kommentar zu Anwendung, Entsorgung usw.	
Alle Daten mit Strommix Europa UCTE										Herstellung pro kg		Herstellung und Erneuerung m2		Herstellung pro kg		Herstell.+Erneuern	
17 Folge a-z	148_1Produkt / MaterialNr	148_2 Materialname	148_3 Dicke cm	148_14 Rohdich kg/m3	148_4 Effekt Masse kg/m2	148_20 CO2eq gCO2/kg	148_21 SO2 eq gSO2/kg	148_9 Nutzzeit nach AB Jahre	148_24 gCO2eq/m2a	148_25 gSO2eq/m2a	148_22 nicht erneuerb MJ/kg	148_23 erneuerb MJ/kg	148_26 nicht erneuerb MJ/m2a	148_27 erneuerb MJ/m2a	148_30 Hinweise		
a	2.01	Verputz aussen konventionell	2	1800	,36	195	0,71	30	351	1,27	1,5	0,1	2,70	0,18			
b	5.271.01	Holzwebleplatten magnesitgebunden	2	400	8	833	2,85	60	111	0,38	5,4	8,2	0,72	1,09			
c	5.031	Brettschichtholz CO2n		450	31,32	820	4,81	60	428	2,51	11,4	38,8	5,95	20,25	Holzständer (12%)		
d	9.08.60	Celluloseflocken 60kg/m3	58	60	30,6	112	1,4	60	57	0,71	2,8	0,9	1,42	0,45	Dämmung (88%)		
e	5.02.2	Holzschalung CO2n		450	13	338	1,95	60	73	0,42	3,6	25,1	0,78	5,43			
f	14.25.03	Stahl verzinkt		7500	4	3833	17,74	60	255	1,18	96,55	1,95	3,77	0,13			
g	253.23	Chromstahl V4A			,2	4500	21,5	60	150	0,71	64,5	2,75	2,15	0,09			
TOTAL			62 mm			124,9 kg/m2		K_36	1425	7,18	K_37	K_38	17,49	27,62	K_39		
1418Edat 28.10.09 142RDat 23.11.09 1488Eab dat										gCO2eq/m2a		gSO2eq/m2a		MJ/m2a		MJ/m2a	

Tabelle 8: BauEcoIndex: Fassade Variante III: Konventionell gedämmte Fassade mit Verputz und 58 cm Dämmung (gibbeco®). U = 0.09 W/m²K, Wandstärke = 62 cm.

Der BauEcoIndex wurde für drei Fassadensanierungsvarianten berechnet, eine Lucido® Variante (I) und zwei konventionell gedämmte Varianten (II + III). Bei dieser Sanierung wurde davon ausgegangen, dass es sich um eine Erneuerung mit tiefstem Energieverbrauch handelt und das bestehende Gebäude nur minimal gedämmt war. Die Lucido® Variante I

besteht aus 10 cm Celluloseflockendämmung und dem Lucido® System. Die konventionell gedämmte Variante II besteht aus 24 cm Dämmung mit Aussenputz, was typisch ist bei Sanierungen heute. Die konventionell gedämmte Variante III besteht aus 58 cm Dämmung mit Aussenputz und hat denselben U-Wert wie die Lucido® Variante I auf der Südseite. Dabei sieht man schnell, dass es bautechnische Probleme geben würde, sollte man eine solch starke Zusatzdämmung an eine existierende Wand installieren. Hier sieht man wie effizient die Lucido® Fassade ist.

In der Auswertung ist zu sehen, dass die Lucido® Fassade im Aufbau und in jeder Hinsicht überzeugt. Die hohe Effizienz der Lucido® Fassade erlaubt für eine viel geringeren Materialaufwand, was die Wand schlanker und leichter macht, zugleich sind die eingesetzten Materialien langlebiger. Die Umweltbelastung wird auch dementsprechend geringer, wo zwar der nicht erneuerbare Anteil etwa gleich gross ist wie bei der konventionell gedämmten Fassaden Variante II, der erneuerbare Anteil dafür fast 3 Mal so gross ist. Es ist zu verstehen, dass erneuerbar nicht unbedingt verfügbar heisst, da ein Holz als erneuerbar gilt, aber erst nach vielen Jahren Wachstum wieder verfügbar wird. Der gesamte Primärenergieaufwand der Lucido® Fassade beträgt aber nur etwa 60% der aufgewendeten Energie einer konventionellen Fassade. Würde man eine Südfassade gleichgut dämmen wie eine entsprechende Lucido® Fassade, müsste man dabei fast über drei Mal soviel Energie aufwenden, was natürlich umwelttechnisch und auch bautechnisch gar keinen Sinn macht. Deswegen beschränken wir uns für weitere Vergleiche in einem praktischen Bereich.

BauEcolIndex UCTE	Baustoffdaten		Umweltwirkung Herstellung + Erneuerung /m ² gCO ₂ eq/m ² a	Primärenergie-Inhalt PEI Herstellung + Erneuerung	
	Wandstärke cm	Gewicht Kg/m ²		Nicht erneuerbar MJ/m ² a	Erneuerbar MJ/m ² a
Fassaden- erneuerung					
Lucido® 10 cm gedämmt	16	31.7	471	9.45	5.12
Konventionell 24 cm gedämmt	28	84.4	818	8.97	14.96
Konventionell 58 cm gedämmt	62	124.9	1425	17.49	27.62

Tabelle 9. Graue Energie dreier Fassadenvarianten gemäss BauEcolIndex von gibbeco®. Europäischer Strommix (UCTE) wurde dafür angenommen.

Der geringe Energieaufwand macht die Lucido® Fassade ein ideales Mittel um die Ziele der 2000 Watt Gesellschaft zu erreichen. Wie in Tabelle 5 beschrieben, ist der Zielwert einer Erneuerung 60 MJ/m²a (EBF). Der BauEcolIndex gibt aber den Primärenergieaufwand der Lucido® Fassade in Energie pro Fassadenfläche an, darum muss man diesen Wert noch auf die EBF umrechnen, bevor er in die Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft eingesetzt werden kann. Da spielt wiederum die Gebäudehüllzahl eine Rolle. Wie man weiss, können grosse Gebäude viel effizienter gebaut werden als kleine. Bei einem kleinen Gebäude entspricht die Fassadenfläche (ohne Dach) ungefähr der Energiebezugsfläche. Bei einem grossen Gebäude hingegen ist die Fassadenfläche nur noch etwa halb so gross von der EBF. D.h., dass der Primärenergieaufwand der Lucido® Fassade auf die EBF bezogen, zwischen 7.5 und 15 MJ/m²a ist, was etwa 13 – 25% der erlaubten Energie eines Umbaus ausmacht. In einem Neubau wird die Primärenergie der Fassade auf grob 15% der gesamten Konstruktion geschätzt. Beim Umbau dagegen, wird dieser auf ca. 25% Anteil der gesamten Sanierung geschätzt. Dabei sieht man, dass Lucido® dem Zukunftsbild der 2000-Watt-Gesellschaft entspricht.

Der energetische Aufwand für den Unterhalt und Komponentenersatzteile über die Lebensdauer der Lucido® Fassade wurde in diesem Bericht nicht behandelt.

6.4 Entwicklungen

Systementwicklungen werden fortwährend angestrebt um den Primärenergieverbrauch zu senken und die Systemeffizienz zu steigern, sowie auch die mechanischen Bestandteile zu vereinfachen. Als Beispiel sind die Glashalterungen, wo Punkthalterungen das Leistungssystem ersetzen sollen, um an Rohstoffen einzusparen. Nebenbei kann auch die

starke orthogonale Teilung der Fassade aufgelöst werden. Im Markt sind Punkthalterungen für grossflächige Gläser erhältlich, welche aber zu 10-15 mm dicken Gläsern führen. Aus ökologischen und energetischen Gründen sind dünne Scheiben vorteilhaft. Es wurde deshalb eine Entwicklung für Punkthalterungen mit dünnen Gläsern angestossen. Die Tests haben gezeigt, dass die geforderte Wasserdichtigkeit auch bei starken Windkräften gewährleistet ist. Weitere Fortschritte, u. a. werden auch in der Reduktion des Gummi-Anteils angestrebt.

7 LUCIDO® FÜR BAUERNEUERUNGEN

Bauerneuerungen sind oft sehr komplex und teuer. Wichtig dabei sind flexible Lösungen, welche dauerhaft den Energieverbrauch stark reduzieren und wenig Rohstoffe verbrauchen. Die Ziele sollten an die Grenzen der Möglichkeiten stossen, ohne in absurde Kosten zu geraten, um eine hohe Energieeffizienz und Öko-Standard zu erreichen. Nur so kann vermieden werden, dass die ausgeführte Sanierung nicht verfrüht wieder sanierungsbedürftig wird. Bauerneuerungen sollen gezielt und professionell geplant werden und können natürlich auch über mehrere Jahre hinweg etappiert werden. Auch ist eine professionelle Beratung sehr wichtig um Sanierungen effizient zu planen, die richtigen Lösungen zu finden um somit Synergien optimal auszunützen. Dadurch können unnötige Investitionen vermieden werden und Kosten über lang und kurz eingespart werden. Oft sind die alten Konstruktionen nicht bekannt, weshalb bauphysikalisch einfache Lösungen gesucht werden müssen. Das Lucido® System bietet dabei eine ideale Lösung und verhilft alten Gebäude die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft zu erreichen.

7.1 Vorteile für die Bauerneuerung

Bauphysik

Durch die Nutzung der solaren Energie entsteht ein hochwertiges Dämmsystem, welcher in den kalten Monaten verwertbare Wärmegewinne verzeichnet, die die Zahl der Heiztage wesentlich verringern. Das Bauphysikalische Prinzip ist sehr einfach und fehlertolerant, das heisst, dass auch wenn nicht 100% dicht gedämmt wird, was bei Erneuerungen von Altbauten der Fall sein kann, keine gravierenden Wärmebrücken entstehen. Durch die hohe Effizienz braucht es viel weniger Baumaterial um ausgezeichnete U-Werte zu erreichen. Dies hat eine schlanke, leichte Fassade zur Folge. Die schlanke Fassade ermöglicht sanftere Übergänge und vereinfacht die Anschlüsse an Dach und Fenster, sowie zu nicht sanierten Nachbarbauten. Fensterlaibungen werden dadurch auch weniger tief und gewähren somit den Einlass von mehr natürlichem Tageslicht. Ein schlanker Aufbau kann u.a. auch baurechtliche Probleme vermeiden, die durch die verminderten Grenzabstände hervorgerufen werden können. Eine Lucido® Sanierung ist eine langfristige Lösung.

Material und Konstruktion

Es werden hauptsächlich nur ökologisch, natürliche Rohmaterialien (Glas, Holz und Aluminium) benutzt, die alle eine lange Lebensdauer haben und mit geringer Grauen Energie hergestellt wurden. Die Systemkomponenten werden mit mechanischen Halterungen einzeln montiert, was den Rückbau in die Bestandteile für den Unterhalt vereinfacht. Die Demontage aller Gläser für eine Generalreinigung und zum auswechseln der Dichtungen wird auf alle 20 bis 30 Jahren empfohlen. Die Glashülle ist sonst unterhaltsarm. Verschmutzungen am Glas werden meistens vom Regen wieder weggespült und stärkere Verschmutzungen können mit herkömmlichen Mitteln einfach gereinigt werden. Die Komponentenkonstruktion lässt sich gut mit existierenden oder anderen opaken Dämmsystemen verbinden. Grosse Flächen sind besonders geeignet, die eine regelmässige Fenstereinteilung haben. Sämtliche Komponenten können entweder problemlos in den Materialkreislauf zurückgeführt werden, oder zur Energiegewinnung schadstofffrei verbrannt werden. Die Lucido® Komponenten lassen einfach auswechseln und mit Neuentwicklungen aufwerten.

Design

Die Lucido® Solarfassade besticht mit ihrem modernen und doch naturnahem „Look“. Der naturbelassene Absorber wird vom Solarglas vor Verwitterung (Vergrauen) geschützt, so dass die natürliche Wärme und Schönheit des frischgeschnittenem Holzes über die Lebensdauer erhalten bleibt und so zur Schau gestellt werden kann. Die Glaspanellen sind in ihrer Dimension beschränkt, was zu einer gewissen Rasterabhängigkeit führt, und somit zu einem starken Kontrast gegenüber dem klassischen Aussehen einer opaken Fassade führen kann.

Für eine Sanierung ist das Lucido® System die optimale Lösung für die Zukunft. In einzelnen Fällen ist es aber möglich, dass die Verschattungssituation dermassen ungünstig ist, so dass die Systemeffizienz zu viel darunter leiden würde und somit die Wirtschaftlichkeit in Frage gestellt werden muss. Dies kann durch eine starke Verschattung von Nachbarbauten geschehen oder von speziellen topographischen, bzw. vegetativen Verhältnissen. Das Mehrkomponenten System erfordert eine grössere Anforderung an die Planungs- und Ausführungskräfte, wobei der Unternehmer beim Einbau Kenntnisse von Zimmermannarbeiten und Metallverarbeitung braucht. Mittlerweile existieren verlässliche Erfahrungen in der Planung, Berechnung und Ausführung von Häusern mit niedrigstem Energieverbrauch, welche mit Solarfassaden ausgeführt wurden. Bis heute sind keine gravierenden Probleme aufgetreten, was sicher auch auf die grosse Fehlertoleranz des Systems zurückzuführen ist.

7.2 Investitionskosten

Die Solarfassade wird zwar mit einem schlanken und günstigen Herstellungs- Marketing- und Vertriebsnetz verkauft, die Fassadenkosten mit Fr. 500.- bis 600.-/m² (inkl. Dämmung und Unterkonstruktion) sind aber durch die hochwertigen Materialien und die Einzelteil-Montage vergleichsweise hoch. Die Investition wird erst durch die Kostenberechnung innerhalb des Lebenszyklus und der Energieeinsparungen realistisch und preiswert.

Sämtliche Materialien sind aus hochwertigen, ökologischen Produkten und haben dadurch eine lange Lebensdauer. Die wetterfeste Glasfassade schützt die wirkenden Systemkomponenten vor Verwitterung. Der Unterhalt ist sehr gering, wonach Empfehlung die Gläser alle 20 – 30 Jahre entfernt werden sollten zur Reinigung und die Auswechslung der Gummidichtungen. Durch die mechanischen Halterungen ist eine Demontage und Ersetzen der Dichtungen einfach möglich.

Durch die schlanken Konstruktionen entstehen, verglichen mit konventionellen hoch wärmegeämmten Konstruktionen Raum- resp. Landgewinn. Diese sind in der Regel bei Bauerneuerungen ökonomisch nicht nutzbar, da die Aussenwände ja bestehen bleiben und die gesetzlichen Bestimmungen meistens so sind, dass die Mehrausnützung durch die dickeren Wände nicht zu berücksichtigen ist. Wenn ein Ausnützungsbonus für hocheffiziente Gebäude gewährt wird, kann dieser Bonus durch schlanke Wände finanziell von Vorteil sein.

8 SCHLUSSFOLGERUNG

In der jetzigen Zeit, wo die ökologischen Aspekte von Baumaterialien ebenso wichtig sind wie ihre Leistung, liegt der Fokus in der Ausnützung und Optimierung von Energien, wie Primärenergie, Sekundärenergie, Solarenergie usw. und der Reduktion des CO₂-Ausstosses. Dabei scheint es Paradox, dass man, mit der heutigen Baumentalität, noch immer versucht mit grossem energetischen Aufwand - Graue Energie der Dämmwand - (Sonnen-) Energie zu vernichten, im Sommer wie auch im Winter. Sonnenenergie ist gratis und daher ist es unverständlich, dass ausgerechnet die grösste Fläche eines Bauteils, die Fassade die solaren Gewinne nicht zu Nutze macht. Passive Solargewinne durch die Fenster reichen nicht aus. Die solaren Gewinne müssen aktiv bewirtschaftet werden, besonders von den grossflächigen Bauteilen wie Dach und Fassade. Genau diese aktive Solarnutzung zeichnet

das Lucido® System aus. Die Hülle muss atmen, schwitzen, Wärme aufnehmen und wieder abgeben können. Nur mit solchen Eigenschaften lassen sich noch mehr Ressourcen und Energie einsparen. Die Lucido® Solarfassade repräsentiert dabei eine neue Generation von Fassadendämmung, die wie eine „atmungsaktive Gebäudehaut“ auf das Aussenklima reagiert. Dieser dynamische Prozess lässt sich gleichermassen im Neubau, wie Bauerneuerungen anwenden. Die hohe Effizienz wird mit ganz einfachen Mitteln erreicht, völlig unabhängig von Sensoren und Computerchips. Sie ist eine Low –Tech Fassade, die die Energie des Aussenklimas zu Gunsten des erwünschten Innenklimas nutzt. Die Stärken der Fassade überzeugen durch ihre Leichtigkeit und Effizienz des Systems, aber auch durch die optimale Nutzung von hochwertigen Materialien. Die Reduktion im Materialaufwand und die gezielte Anwendung von hochgradigen Materialien erfüllen die Ziele nachhaltiger Baukultur. Mit dieser Entwicklung hat die Bauindustrie ein wichtiges „Tool“ mehr, um einen Schritt näher ans Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft zu gelangen.

9 DARSTELLUNG VON REALISIERTEN BEISPIELEN

In den folgenden Beispielen werden Sanierungsobjekte dargestellt, die eine Solarfassade einbauten. Diese Sanierungen mit Lucido® wurden teils von erfahrenen Planern, aber auch teils von den Hausbesitzern geplant und auch ausgeführt. Diese Beispiele dienen primär nicht zur Veranschaulichung von Berechnungen und erzielten Energieeinsparungen, dazu fehlen meist die Nachfolge Messungen, aber zum Aufzeigen von Anwendungen sowie mit dem Feedback von den Eigentümern. Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Vor- und Nachteile sind von den Kommentaren der Hauseigentümer zusammengestellt und werden somit faktisch nicht belegt oder widerlegt.

9.1 Sanierung EFH Bühler, Lanterswil TG (2005/06)



Die Hausbesitzerin wollte eine Sanierung vornehmen und zugleich mehr Wohnraum schaffen. Dabei lag ihr viel daran, dass die Sanierung vollumfänglich ist und zugleich den höchsten Standard anstreben sollte. Sie wurde durch den Planer auf die Solarfassade als alternative zur konventionellen opaken Dämmung hingewiesen. In der Erwägung zwischen der konventionellen Fassade und Lucido® Fassade, viel der Entscheid für die Lucido® Fassade aus auf Grund der schlankeren Wandstärke. In 2005 wurde das Bühler Haus für 300'000.- saniert.

Dabei wurde ein neues Bad/WC angebaut und das Dachgeschoss in die warme Gebäudehülle einbezogen. Das Gebäude hatte damals einen sehr hohen Energieverbrauch von 15'000 kWh auf 95 m² EBF.

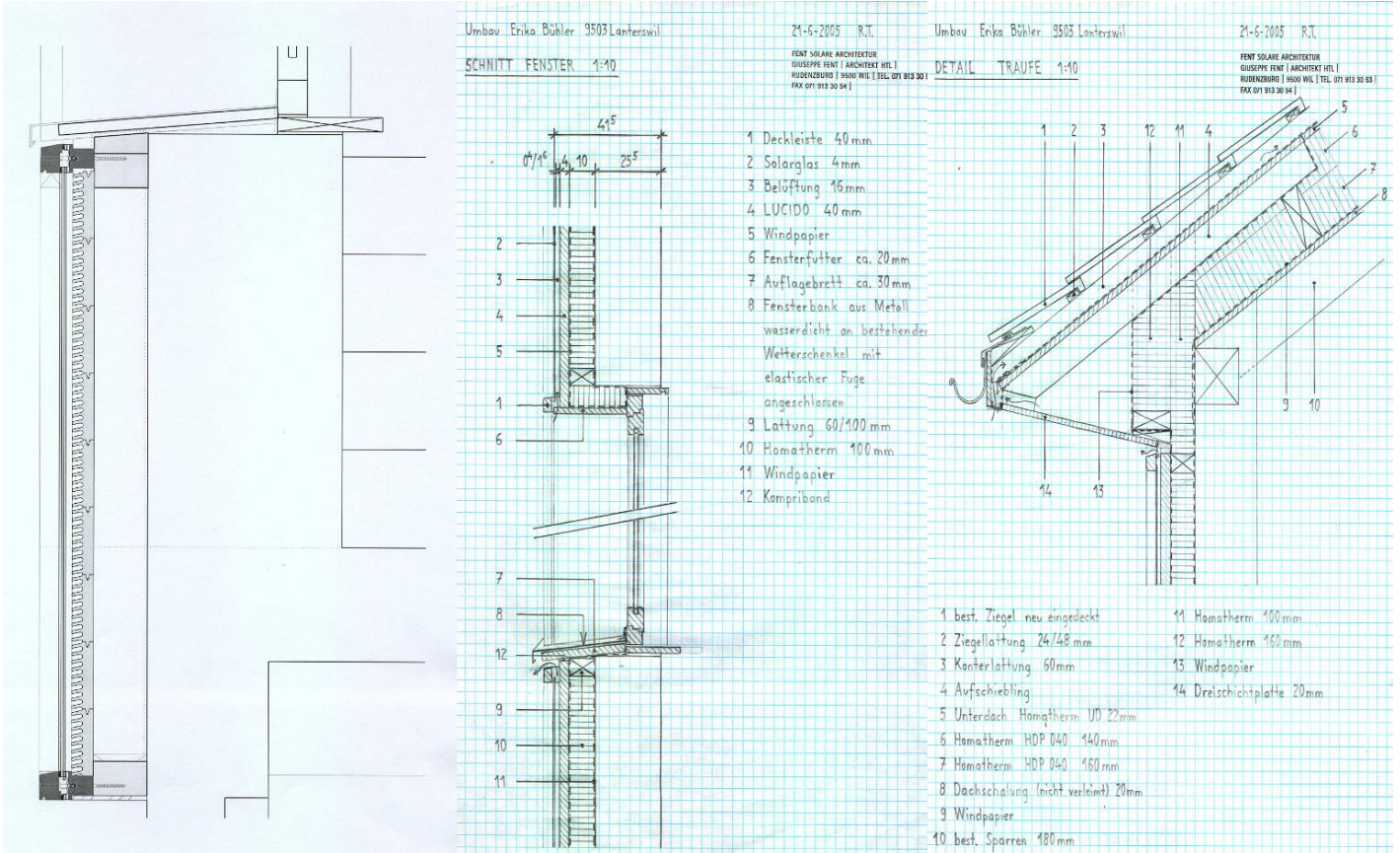
Massnahmen

- Die alte Fassade wurde mit einer Lucido® Solarfassade ersetzt wobei eine Dämmung von lediglich 100 mm Homatherm installiert wurde. Der U-Wert der existierenden Fassade vor der Sanierung war 1.5 W/m²K (Lehmriegelwand). Nach der Sanierung durch eine zusätzliche Dämmschicht von 100 mm Homatherm und einer Lucido® Fassade wurden darauf folgende Werte berechnet. Die U_{eff} Werte sind auf die Heizperiode Oktober bis April gemittelt:

U _{eff} S:	0.07 W/m ² K
U _{eff} O:	0.14 W/m ² K
U _{eff} W:	0.14 W/m ² K
U _{eff} N:	0.19 W/m ² K



- Das Dach wurde mit total 320 mm Homatherm nachisoliert und wurde somit in die warme Gebäudehülle miteinbezogen.
- Eine Photovoltaikanlage (20 m²) wurde in 2005 montiert und 2009 um 15 m² erweitert mit einer Gesamtfläche von 35 m² und einer Gesamtleistung von 4.9 kWp.
- Neue Ersatzluftanlage
- Erdregister



Sanierung EFH Bühler Messungen	Vor Sanierung	Nach Sanierung 05/06 (*)	Nach Sanierung 06/07
Energieverlust Gebäudehülle/Lüftung:	148 kWh/m ² a (14100 kWh/a 95 m ² EBF)	35.5 kWh/m ² a (7060 kWh/a 256 m ² EBF)	28 kWh/m ² a (7060 kWh/a 256 m ² EBF)
Energieverbrauch Wärmepumpe:	4331 kWh/a	2662 kWh/a	1894 kWh/a
Energieproduktion PV-Anlage:		2467 kWh/a	2567 kWh/a
Energiekosten pro Jahr:	Fr.598.-/a	-Fr.63.8.-/a (Gutschrift)	-Fr.184.-/a (Gutschrift)
Nutzfläche:	83.96 m ²	134.68 m ²	134.68 m ²
Sanierungskosten:	n/a	Fr.305'000.-	
Wertsteigerung:			
Extra Nutzfläche (50.72 m ²):		Fr.213'024.-	
10% Wertsteigerung Minergie®		Fr.56'280.-	
Wertsteigerung Gebäudehülle		Fr.30'000.-	
Mehrwert total		Fr.299'304.-	

(* Boden gegen unbeheizt noch nicht saniert.)

Nach den Sanierungsmassnahmen wurden Energiemessungen gemacht. Im ersten Jahr (2006) konnte der Energieverlust durch die Gebäudehülle um über 80% vermindert werden. Der Energieverbrauch für die Wärmepumpe konnte um fast die Hälfte verringert werden bei einem Nutzflächengewinn von über 50%. Im Folgejahr wurde noch der Boden gegen unbeheizt saniert, so dass der Energieverbrauch für die Wärmepumpe noch weiter sank. Dieser Energieverbrauch kann nun durch die Stromproduktion der Photovoltaik zu genügend kompensiert werden, sodass es keine Energiekosten mehr gibt, im Gegenteil, ein geringer Gewinn kann damit verbucht werden. Die gesamte Sanierung kostete Fr.305'000.-. In diesem Projekt hat der Mehrwert, der erreicht wurde durch den zusätzlichen Flächengewinn und in der Wertsteigerung des Gebäudes die Investition auf Anheb bezahlt gemacht.



9.2 Sanierung EFH Bühlmann, Mörschwil SG (2004-09)

Diese energetische Sanierung wurde 2004 in Auftrag gegeben und in verschiedenen Etappen ausgeführt, die letzte 2009. Nach einer genauen Gebäudeanalyse liess sich der theoretische Energieverbrauch im „Ist“ Zustand berechnen. Dieser Betrag 4'513 l/a Ölverbrauch auf einer EBF von 213.7 m². Eine Sanierungsstrategie wurde entwickelt, welche den theoretischen Ölverbrauch auf 748 l/a senken würde, was einer Energieeinsparung von 83% bedeutet.



Massnahmen:

- Eliminierung von so vielen Wärmebrücken wie möglich im Keller, ums Haus, an den Fensteranschlüssen, den Rollladenkästen etc.
- Montage einer Lucido® Fassade
- Holzbau im Dach würde zusätzlich mit 20 cm Isolation gedämmt
- Dachrker erhielt eine zusätzliche Innendämmung von 8 cm.
- Boden und Wände zusätzlich gedämmt, Wände mit Lucido® versehen.
- Im EG wurden hocheffiziente Solarfenster (3-fach Verglasung) eingebaut
- PV – Anlage
- Pelletofen



Vorteile:

- natürliches Holzdesign, bleibt farbengetreu wegen Verwitterungsschutz des Glases
- Unterhaltsarm, Holz muss nicht mehr gestrichen werden
- Behagliche Winter- und Sommertemperaturen im Wohnraum

Nachteile:

- Kostenintensiv

9.3 Sanierung RFH Bleisch, Flawil SG

Diese Sanierung wurde über mehrere Etappen gemacht. Der Eigentümer kannte das Prinzip der Trombe Wand, dem Vorgänger der TWDs, und war dadurch inspiriert eine Solarfassade zu bauen. Die Wahl der Lucido® Fassade wurde auf die Südfassade limitiert, einerseits aus Kostengründen und andererseits auch aus bautechnischen Gründen.

Massnahmen:

- Nord- und Westseite: Zusatzdämmung mit einer Eternitfassade.
- Südseite: Lucido® Fassade mit zusätzlich 4 cm Schafswolle Dämmung.
- Innenwände wurden zusätzlich mit 6 cm Schafswolle gedämmt.
- PV Anlage auf dem Dach
- Anbau von einem WC/Bad



Vorteile:

- Durch die schlanke Wandstärke des Lucido® Systems konnte der Fassadenvorsprung zum Nachbarn minimal (5-6 cm) gehalten werden.
- Vollflächige Anwendung der Lucido® auf der Südfassade.
- Energetische Effizienz
- Design
- Keine sommerlichen Überhitzung
- Wenige Heizztage im Winter

Nachteile:

- Wegen der geringeren Leistungskraft auf der Nordseite wurde aus Kostengründen eine Eternitfassade bevorzugt.
- Wegen der Verschachtelung der Westfassade wurde aus bautechnischen und Kostengründen eine Eternitfassade bevorzugt.
- Aufwendig beim Ersetzen eines kaputten Glases

Der Eigentümer sah sich nach ein paar Jahren sehr zufrieden mit seinen Entscheidungen, ausser dass er die Handhabung der Solarfassade als aufwendig betrachtete und diesbezüglich Verbesserungen in der Zukunft erwarte. Dieses Beispiel weist eine gezielte Anwendung der Solarfassade aus, wo sie am meisten Sinn machen würde.



9.4 Sanierung MFH König, Degersheim SG (2004/05)

Dieses MFH mit 4 Wohnungen wurde komplett saniert und zugleich um ein Vollgeschoss und ein Dachgeschoss auf 7 Wohnungen ausgebaut.



Folgende Massnahmen wurden getroffen:

- Aufstockung im Holzelementbau mit einem Giebeldach.
 - Lucido® Fassade auf der Ost-, Süd- und Westseite.
 - Mineralisch verputzte Aussenwärmedämmung mit 20 cm Holzfaserdämmplatten auf der Nordseite und im EG.
 - Neue 3-fach verglaste Fenster
 - Balkonanbau
- 40 m² Solaranlage
 - 4'500 l Speicher und eine Spitzendeckung mit einem Erdgaskessel
 - Komfortlüftung für alle Wohnungen
 - Eine Regenwasseranlage zur Einsparung von Trinkwasser

Die Energiekennzahl vor der Sanierung belief sich auf etwa 220 kWh/m², nach der Sanierung nur noch etwa 36 kWh/m².



9.5 Sanierung DFH Cappelli, Rossrüti TG

Bei den beiliegenden Bildern wird sehr schnell klar, dass der Bauherr einen eher speziellen Bezug zum nachhaltigen Bauen hat. Als selbsternannter Fan von alternativer Energie war es keine Frage, ob er eine Solarfassade bauen sollte oder nicht. Darüber hinaus war er bestens informiert über jegliche Fördergelder und Kredite die für ein solches Unterfangen bereit stehen. Die Initialzündung zur Lucido® Fassade wurde an einer Baumesse gegeben, wo er sich zum ersten Mal sich mit dem Prinzip vertraut machte. Sämtliche Planung und Ausführung wurde vom Bauherrn durchgeführt.



(Das Bild ist keine „vorher-nachher“ Photomontage)

Massnahmen:

- Komfortlüftung (frühere Sanierung)
- Zusatzdämmung mit Lucido® Solarfassade
- Zusätzliche Innendämmung
- PV Anlage
- Fenster mit 2-fach Verglasung (frühere Sanierung)

Vorteile:

- natürliches Holzfassade vor der Witterung geschützt.
- Energetische Effizienz
- Warme Abluft wird für Frischluftherwärmung genutzt

Nachteile:

- Kostenintensiv



Der Eigentümer hat das Lucido® System mit einer Zusatzfunktion umgebaut, so dass die im Luftspalt erzeugte Warmluft nicht ins Freie entweicht, sondern gesammelt und durch eine Leitung ins Innere geführt wird, wo diese dann durch einen Wärmetauscher die Frischluft der Lüftungsanlage erwärmt.

Zurzeit stehe der Stromverbrauch für die Wärmepumpe inklusive Warmwasserzubereitung bei ca. 3'000 kWh und der Gesamtenergieverbrauch bei ca. 6'200 kWh bei einer nutzbaren Wohnfläche von etwa 150 m². Eine Solaranlage produziert ca. 5'000 kWh, welche in einem nächsten Schritt expandiert wird um den gesamten Stromhaushalt zu versorgen.

9.6 Sanierung DFH Fries, Riehen

Bei dieser Sanierung handelt es sich nur um eine Teilsanierung, wo der Bauherr mit bestimmten Eingriffen die Schwachstellen des Gebäudes verbessern wollte. Dabei waren vor allem die Kosten, sowie das Strassenbild wichtig. Somit wurde die Lucido® Fassade nur auf der Südseite angebracht, wo es die grösste Fläche ausmachen würde. Auf der Ostseite, die den grössten Fensteranteil hat, wurden lediglich nur die Fenster ersetzt. Auf der Westseite war dagegen das Strassenbild massgebend und daher entschloss man sich diese so zu belassen.

Massnahmen:

- Neue Fenster auf der Ost- und Südfassade
- Zusatzdämmung mit Lucido® auf der Südfassade
- Neue Wärmepumpe mit Erdsonde

Vorteile

- Der schlanke Wandaufbau vermeidet einen Ausbau des Dachüberhangs
- Energetische Effizienz
- Gestalterische Freiheit
- Keine sommerlichen Überhitzungsgefahr

Nachteile

- Schwer in das Nachbarschaftsbild integrierbar
- Kosten höher als erwartet.
- Unternehmer hat Montagezeit und kosten unterschätzt.

Die schlanke Natur der Lucido® Fassade ermöglichte es, die Südfassade zu dämmen ohne aber den Dachüberhang auf der Stirnseite ausbauen zu müssen.

Schwierigkeiten sah der Bauherr vor allem bei den Schnittstellen der Gewerbe zwischen dem Zimmermann und dem Metallarbeiter, da die Lucido® Fassade eine Komposition von Holz, Glas und Alu ist. Leider hat der Holzverarbeiter, der das gesamte System montierte, sich in diesen Schnittstellen verkalkuliert und somit einen grösseren Arbeitsaufwand gehabt als vorgesehen. Für diesen Unternehmer war dieses Geschäft ein Verlust. Dies zeigt auf, dass viele Unternehmer noch wenig, bis zu nichts wissen über die Montage von Solarfassaden. Darum ist es wichtig die richtige Wahl von Fachkräften zu treffen.



9.7 Zusammenfassung



In den realisierten Sanierungsprojekten gab es verschiedene Beweggründe für die Bauherren sich für eine Solarfassade zu entscheiden. Dies spricht für die vielseitigen Qualitäten die ein solches System mit sich bringt. Die einen wollten einen schlanken Wandaufbau, die anderen waren von der Ökologie überzeugt, während wiederum andere vom „Look“ sich angesprochen fühlten. Aber das gemeinsame bei den Eigentümern war, dass sie den Wert der Fassade erkannten.

Die Solarfassade setzt einen neuen Standard in der Dämmtechnik. Es zeigt sich klar, dass die Zukunft nicht unbedingt in „Superisolatoren“ ist, sondern im geschickten Gebrauch der Solarenergie. Natürlich gibt es immer wieder Situationen, besonders in der Detailplanung wo keine Solarstrahlung vorhanden ist, oder einfach die Fläche zu klein ist, wofür Hochwärmeprodukte immer wieder Anwendung finden. Jedoch ist, auf der Ebene des Fassadenneubaus und –Erneuerungen, die grossflächige Anwendung von der Solarfassade zweifelsohne die optimale Wahl. Die erzielbaren Dämmwerte bei einer Wandstärkeinsparung von 25-70% setzen ein definitives Zeichen für einen neuen Trend, wo die Wände nicht mehr dicker werden, sondern schlanker.

Das System ist gereift wo es nun ein kompetentes Netzwerk von Fachplanern gibt, die neue Kunden qualifiziert beraten können und die Solarfassade auch effizient umsetzen können. Das Potential der solaren Wertschöpfung ist noch lange nicht erschöpft, im Gegenteil, die Einbindung der klimatischen Kräfte in die Baukultur ist die Zukunft.

PUBLIKATIONEN

Fent, G.: „Lucido® Solarfassade“, Wärme-, Sonnen- und Feuchtschutz im Holzhausbau, *Tagungsband 40. Fortbildungskurs 2008, SAH, S. 227 – 235.*

Fent, G.: „Transparente Wärmedämmung mit Holzfassaden“, Gebäudehülle in Holz: Holzfassaden – Aussenwände, Tagungsband 36. Fortbildungskurs 2004, SAH, S. 192 – 202.

Fent, G.; de Fries, J.R.: „Lichtaktive Holz-Glas-Hülle „Lucido®““ *Schlussbericht: Fonds zur Förderung der Wald – und Holzforschung, 2002, 57 S.*

De Fries, J.R.: „Neuerungen im Bereich der Bauteile / Solararchitektur in Holz mit Lucido®“, *Verbände des Bayerischen Zimmerer- und Holzbaugewerbes, Seminar, 9. Forum Holzbau-Ausbau 2000, 18 S.*

Fent, G.; de Fries, J.R.: „Die lichtaktive Glas-Holz Fassade „Lucido®““, *4 Internationales Holzbau-Forum, 1998 by SH-Holz, CH-2504 Biel, 8 S.*

Fent, G.: „Messprojekt: Lichtaktive Fassaden mit Kartonwaben – Haus Fent Hosenruck“, *Pilot- + Demonstrationsprojekte (P + D), Bundesamt für Energie*

Anhang A - Berechnungsgrundlagen für U_{eff}

Die EMPA CH-Dübendorf hat die Wirkungsweise einer frühen Bauart der Lucido® -Fassade (2001/02) in einem kalorimetrischen Prüfstand unter realen Klimabedingungen getestet (Prüfbericht Nr. Nr. 880'054-2) Im weiteren wurde die erste Bauart einer Solarfassade beim Haus „Mosimann“ in Winterthur über zwei Jahre ausgemessen (1999/01), dies im Zusammenhang mit einem Forschungsprojekt des BUWAL. (eidg. Fortdirektion, Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung, Projekt 98.16).

Trotz Bemühung vieler Sachverständiger konnte anfänglich kein schlüssiges Berechnungsprogramm für zukünftige Projekte hergeleitet werden. Die Anwender waren vor allem auf Erfahrungen der ersten Bauten angewiesen. In den Jahren 2002/03 haben die beiden Thermodynamiker Dr. Ing. M. Mahler und dipl. Ing. A. Buchner im Auftrage der Lucido® solar AG ein Verfahren aufgestellt, mit dem das ursprünglich vorhandene System anhand der Messdaten als mathematisch-physikalisches Modell definiert und die Eigenschaften im Computer nachgebildet werden konnte. Dieses dynamische Rechenprogramm gab die Messergebnisse mit hoher Genauigkeit wieder. Mit diesem Instrument wurde in den Jahren 2004/05 das System weiterentwickelt, im Besonderen die Verhältnisse im Strömungskanal wurden verbessert.

Für die Berechnung der Solarfassade waren uns Rechenresultate wichtig, welche mit denjenigen von konventionellen Wärmedämmsystemen vergleichbar sind, weshalb die Resultate in der Form eines U_{eff} ausgedrückt wurden.

In der Folge wurde ein vereinfachtes Programm entwickelt, mit welchem die effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten ausgerechnet werden können.

Dieses Programm wurde von der EMPA geprüft und eine gute Übereinstimmung mit einem vereinfachten und genaueren Berechnungsmodell festgestellt (Prüfbericht Nr. 880'054-2 und Technische Auskunft zu Prüfbericht Nr. 880'054-2, siehe Anhang B).

Die EMPA hat in einem weiteren Bericht festgehalten, dass die Strahlungsdaten nach Meteonorm für die Berechnung um 10% verschlechtert werden sollen, damit ein Verschmutzungsanteil und geringe Verschattungsannahmen berücksichtigt werden können. Mit einem Programmupdate wurde dem Einwand Rechnung getragen.



Technische Auskunft zum EMPA-Prüfbericht Nr. 880'054-2

g-Wert und effektiver U-Wert einer Aussenwand mit Lucido-Fassade

Ausgangslage

Die Lucido-Fassade wird auf eine opake Holz- oder Massivwand montiert und besteht im Prinzip aus einer Holzlamellenschicht mit vorgehängter, schwach hinterlüfteter Glasabdeckung (leicht strukturiertes 1-fach Weissglas) und einer Tragkonstruktion. Die Konstruktion bildet eine transparente Wärmedämmung (TWD) der Aussenwand. Die solaren Wärmegewinne können gemäss SIA 380/1 bzw. EN 832 für die Berechnung des Heizwärmebedarfs eines Gebäudes berücksichtigt werden. Gemessene und berechnete Ergebnisse für die Lucido-Fassade werden im Folgenden kurz zusammengestellt und verglichen.

Messergebnisse

Im EMPA-Prüfbericht Nr. 880'054-2 werden Messungen des energetischen Verhaltens einer Lucido-Fassade in Kombination mit einer wärmedämmten Aussenwandkonstruktion ($U_{\text{total}} = 0.26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) in Holzrahmenbauweise dokumentiert. Hauptergebnis ist der mittlere Gesamtenergiedurchlassgrad g_{total} , d.h. der Anteil der genutzten Solarwärme bezogen auf die Einstrahlung auf die transparente Fläche, im Aussenklima in Dübendorf:

- $g_{\text{total}} = 2.8 \%$ im Winter (Messperiode Februar)
- $g_{\text{total}} < 1.0 \%$ im Sommer (Messperiode August)

Diese Ergebnisse hängen neben der Jahreszeit hauptsächlich von den Eigenschaften der Lucido-Fassade und dem U-Wert der Massivwand ab. Einen geringeren Einfluss haben auch der Standort, die Fassadenorientierung (EMPA: süd-südwest) und die Klimabedingungen während der Messung.

Vereinfachte Berechnung, effektiver U-Wert

Für eine unbeschattete, verglaste Fläche (Rahmenfaktor $F_F = \text{Transparentfläche} / \text{Gesamtfläche}$) unter Solarstrahlung I_s (in W/m^2) ist der solare WärmegeWINN stationär oder über eine hinreichende Zeitdauer gemittelt näherungsweise (vgl. EN 832):

$$q_{\text{solar}} = g_{\text{total}} I_s = U_{\text{total}} R_{\text{TWD}} F_F g_{\text{TWD}} I_s \quad (1)$$

R_{TWD} ist der Wärmedurchlasswiderstand zwischen Absorber und Aussenluft. g_{TWD} ist näherungsweise das Produkt des solaren Transmissionsgrads τ der Verglasung und des Absorptionsgrads α des Absorbers:

$$g_{\text{TWD}} = \tau \alpha \quad (2)$$

Mit $\tau_{\text{Weissglas}} = 0.92$, $\alpha_{\text{Absorber}} = 0.68$, $R_{\text{TWD}} = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$, $U_{\text{total}} = 0.26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und $F_F = 1$ wird

$$g_{\text{total,Modell}} \approx 2.8 \% \quad (3)$$

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt ■ Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche ■ Laboratorio federale di prove dei materiali e di ricerca ■ Institut federal de controla de material e de natscherligas ■ Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research

EMPA Überlandstrasse 129 CH-8600 Dübendorf Telefon +41 1 823 55 11 Fax +41 1 821 62 44

■ www.empa.ch

Der Absorptionsgrad der Lamellenstruktur ($\alpha_{\text{Oberfläche}} = 0.50$) wurde mit einem Strahlungsaustauschmodell für Diffusstrahlung berechnet, R_{TWD} für Luftspalt + Verglasung + Wärmeübergang aussen mit $(0.125 + 0.005 + 0.04) \text{ m}^2\text{K/W}$ eingesetzt. Messung und Berechnung lassen sich also mit plausiblen Bauteilkennwerten in Übereinstimmung bringen.

Der relativ kleine, gleichmässig anfallende Solargewinn kann als Verlustverminderung oder Reduktion des U-Werts interpretiert werden. Aus der zeitlich gemittelten Wärmeverlustr Bilanz einer Aussenwand

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{Transmission}} + Q_{\text{solar}} = U_{\text{total}} (\Delta T + F_{\text{F}} g_{\text{TWD}} R_{\text{TWD}} I_s) \quad (4)$$

kann ein klimaabhängiger 'effektiver U-Wert'

$$U_{\text{effektiv}} = Q_{\text{total}} / \Delta T = U_{\text{total}} (1 + F_{\text{F}} g_{\text{TWD}} R_{\text{TWD}} [I_s / \Delta T]) \quad (5)$$

berechnet werden, der die solaren Wärmegewinne enthält. In U_{effektiv} geht neben den Bauteileigenschaften die standort- und orientierungsabhängige Klimagrösse $I_s / \Delta T$ ein, d.h. der Quotient von gemittelter Solarstrahlungsintensität und Temperaturdifferenz. Diese Klimagrösse kann für den Standort und die Fassadenorientierung aus gemessenen oder bekannten Klimadaten für die Heiztage ermittelt werden. Bei bekannten Heizgradtagen (HGT) und entsprechenden Solarstrahlungseinträgen $G_{\text{S,E,W,N}}$ (in kWh/m^2) ist

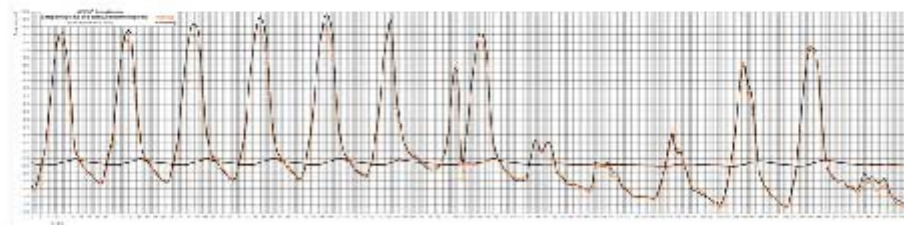
$$I_s / \Delta T = G_{\text{S,E,W,N}} \times 1000 / (\text{HGT} \times 24), \text{ in } \text{W}/(\text{m}^2\text{K}) \quad (6)$$

Die folgende Tabelle enthält diese Klimadaten für das Beispiel Zürich SMA (HGT 14/22 = 4486 K d).

Orientierung	Globalstrahlung G kWh/m^2	Klimagrösse $I_s / \Delta T$ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Süd	1098	5.32
West	748	3.34
Ost	724	3.20
Nord	352	1.56

Detaillierte Modellierung

In einem genaueren dynamischen Berechnungsmodell für den Wärmestrom durch die Aussenwand (Firma IB Buchner, D-44795 Bochum) werden die von der Elementhöhe abhängige Luftströmung im Luftspalt, Winkelleffekte der Strahlungsabsorption, die Temperaturabhängigkeit von Materialeigenschaften usw. berücksichtigt. Die Modelle sind in verschiedenen Dokumenten beschrieben und zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messdaten der EMPA (Grafik IB Buchner: Gemessene und berechnete Temperaturen im Luftspalt und auf der Innenoberfläche der Testwand).



Im Bericht "Wirkungsweise der Lucido-Solarfassade" (IB Buchner) wird gezeigt, dass die berechneten U_{effektiv} ? Werte gut durch linearisierte Funktionen $U_{\text{effektiv}}(I_s / \Delta T)$ angenähert werden können. Für die ursprüngliche und eine optimierte Version des Lucido-Absorbers (15 mm Luftspalt und Ausströmöffnung oben, EMPA-Element: 30 mm Luftspalt) werden linearisierte Funktionen $U_{\text{effektiv}}(I_s / \Delta T)$ für die Elementhöhen 2 m, 2.5 m und 3 m angegeben.

Die oben beschriebene vereinfachte Berechnung stimmt mit den linearisierten U_{effektiv} ? Werten des genaueren Modells überein, wenn der TWD-Wärmedurchlasswiderstand für $h = 2$ m auf $R_{\text{TWD}} = 0.225 \text{ m}^2\text{K/W}$ und für $h = 3$ m auf $R_{\text{TWD}} = 0.20 \text{ m}^2\text{K/W}$ gesetzt wird. Der Wärmedurchlasswiderstand gegen aussen ist somit etwas höher als beim EMPA-Element, was durch den reduzierten Wärmeverlust im Luftspalt plausibel ist.

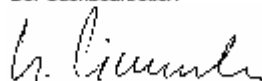
In der folgenden Tabelle sind mit dem linearisierten Modell (5) berechnete U_{effektiv} ? Werte für verschiedene Wärmedurchgangskoeffizienten U_W der Massivwand (ohne äusseren Wärmeübergang) kombiniert mit der optimierten Lucido-Fassade (15 mm Luftspalt, Elementhöhe $h = 2$ m, Annahme $F_F = 0.9$, keine Verschattung) für die Klimadaten des Standorts Zürich SMA (Heiztage 14/22) dargestellt.

Orientierung	U_{effektiv} für Zürich SMA, in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$		
	$U_W = 0.2$	$U_W = 0.3$	$U_W = 0.4$
Süd	0.06	0.08	0.10
West	0.10	0.14	0.18
Ost	0.10	0.14	0.18
Nord	0.14	0.19	0.25
Ohne Solarwärme	0.17	0.24	0.31

Schlussfolgerungen

Messungen, vereinfachte und genauere Berechnungen ergeben ein konsistentes Bild. Durch die Lucido-Fassade wird der mittlere Wärmeverlust einer Aussenwand während der Heizperiode durch Solargewinne reduziert, erwartungsgemäss am deutlichsten in Südorientierung. Diese Gewinne können in der Heizperiode meist voll genutzt werden (kleine Beträge, langsame Änderung der Wärmeabgabe, Phasenverschiebung gegen den Abend). Die Berücksichtigung der Gewinne durch einen standort- und orientierungsabhängigen U_{effektiv} ? Wert (= Verlustminderung) kommt somit der realen Situation nahe. Die getrennte Berechnung des Solarwärmegewinns durch die Fassade und dessen Berücksichtigung in der Summe aller Wärmegewinne, die durch einen Ausnutzungsgrad η gemäss SIA 380/1 bzw. EN 832 abgemindert wird, ist für dieses Bauteil weniger zutreffend.

Dübendorf, 27. August 2004
EMPA Abteilung Bauphysik
Der Sachbearbeiter:



Dr. Hans Simmler

Anhang C - U_{eff} Berechnungen für Schweizer Städte

Ost

Ort	Höhe über Meer	Durchschnittliche Temperatur	U _{eff} Ost, mit Horizont	mittlere Globalstrahlung vertikal Ost, mit Horizontverschattung	Klimaregion
Lugano	273 m	12.5 °C	0.06 W/m ² K	83 W/m ²	Alpensüdseite
Sion	518 m	10.4 °C	0.07 W/m ² K	96 W/m ²	Alpental
Bellinzona	227 m	13.2 °C	0.07 W/m ² K	65 W/m ²	Alpensüdseite
Lausanne	526 m	10.9 °C	0.08 W/m ² K	91 W/m ²	Westschweiz
Genf	379 m	10.9 °C	0.08 W/m ² K	86 W/m ²	Westschweiz
Basel	270 m	11.5 °C	0.08 W/m ² K	79 W/m ²	Mittelland
Brig	681 m	9.6 °C	0.09 W/m ² K	86 W/m ²	Alpental
Bern	540 m	10.7 °C	0.09 W/m ² K	84 W/m ²	Mittelland
St. Moritz	1838 m	5.3 °C	0.10 W/m ² K	109 W/m ²	Hochalpin
Neuenburg	438 m	10.4 °C	0.10 W/m ² K	77 W/m ²	Westschweiz
Luzern	436 m	10.1 °C	0.10 W/m ² K	74 W/m ²	Mittelland
Chur	590 m	10.0 °C	0.10 W/m ² K	70 W/m ²	Alpental
Davos	1556 m	3.2 °C	0.11 W/m ² K	100 W/m ²	Hochalpin
Zürich	413 m	9.9 °C	0.11 W/m ² K	78 W/m ²	Mittelland
St. Gallen	670 m	9.0 °C	0.11 W/m ² K	77 W/m ²	Mittelland
Schaffhausen	402 m	9.8 °C	0.11 W/m ² K	75 W/m ²	Mittelland
Andermatt	1441 m	4.5 °C	0.12 W/m ² K	89 W/m ²	Hochalpin
Zermatt	1616 m	5.0 °C	0.13 W/m ² K	84 W/m ²	Hochalpin

U_{stat} = 0.25 Kanalhöhe = 2.5 m

West

Ort	Höhe über Meer	Durchschnittliche Temperatur	U _{eff} West, mit Horizont	mittlere Globalstrahlung vertikal West, mit Horizontverschattung	Klimaregion
Bellinzona	227 m	13.2 °C	0.04 W/m ² K	82 W/m ²	Alpensüdseite
Lugano	273 m	12.5 °C	0.05 W/m ² K	86 W/m ²	Alpensüdseite
Sion	518 m	10.4 °C	0.06 W/m ² K	97 W/m ²	Alpental
Lausanne	526 m	10.9 °C	0.07 W/m ² K	88 W/m ²	Westschweiz
Genf	379 m	10.9 °C	0.08 W/m ² K	84 W/m ²	Westschweiz
Bern	540 m	10.7 °C	0.08 W/m ² K	81 W/m ²	Mittelland
Basel	270 m	11.5 °C	0.08 W/m ² K	80 W/m ²	Mittelland
St. Moritz	1838 m	5.3 °C	0.09 W/m ² K	107 W/m ²	Hochalpin
Chur	590 m	10.0 °C	0.09 W/m ² K	79 W/m ²	Alpental
Brig	681 m	9.6 °C	0.09 W/m ² K	86 W/m ²	Alpental
Zürich	413 m	9.9 °C	0.10 W/m ² K	79 W/m ²	Mittelland
Zermatt	1616 m	5.0 °C	0.10 W/m ² K	91 W/m ²	Hochalpin
St. Gallen	670 m	9.0 °C	0.10 W/m ² K	78 W/m ²	Mittelland
Schaffhausen	402 m	9.8 °C	0.10 W/m ² K	80 W/m ²	Mittelland
Neuenburg	438 m	10.4 °C	0.10 W/m ² K	74 W/m ²	Westschweiz
Luzern	436 m	10.1 °C	0.10 W/m ² K	72 W/m ²	Mittelland
Davos	1556 m	3.2 °C	0.10 W/m ² K	108 W/m ²	Hochalpin
Andermatt	1441 m	4.5 °C	0.11 W/m ² K	93 W/m ²	Hochalpin

U_{stat} = 0.25 Kanalhöhe = 2.5 m

Nord

Ort	Höhe über Meer	Durchschnittliche Temperatur	Ueff Nord, mit Horizont	mittlere Globalstrahlung vertikal Nord, mit Horizontverschattung	Klimaregion
Bellinzona	227 m	13.2 °C	0.11 W/m2K	39 W/m2	Alpensüdseite
Lugano	273 m	12.5 °C	0.12 W/m2K	43 W/m2	Alpensüdseite
Genf	379 m	10.9 °C	0.13 W/m2K	44 W/m2	Westschweiz
Sion	518 m	10.4 °C	0.13 W/m2K	46 W/m2	Alpental
Lausanne	526 m	10.9 °C	0.13 W/m2K	46 W/m2	Westschweiz
Basel	270 m	11.5 °C	0.13 W/m2K	44 W/m2	Mittelland
Bern	540 m	10.7 °C	0.13 W/m2K	44 W/m2	Mittelland
St. Gallen	670 m	9.0 °C	0.14 W/m2K	43 W/m2	Mittelland
Zürich	413 m	9.9 °C	0.14 W/m2K	42 W/m2	Mittelland
Chur	590 m	10.0 °C	0.14 W/m2K	40 W/m2	Alpental
St. Moritz	1838 m	5.3 °C	0.14 W/m2K	52 W/m2	Hochalpin
Davos	1556 m	3.2 °C	0.14 W/m2K	56 W/m2	Hochalpin
Schaffhausen	402 m	9.8 °C	0.14 W/m2K	42 W/m2	Mittelland
Brig	681 m	9.6 °C	0.14 W/m2K	42 W/m2	Alpental
Luzern	436 m	10.1 °C	0.14 W/m2K	41 W/m2	Mittelland
Neuenburg	438 m	10.4 °C	0.14 W/m2K	39 W/m2	Westschweiz
Andermatt	1441 m	4.5 °C	0.15 W/m2K	50 W/m2	Hochalpin
Zermatt	1616 m	5.0 °C	0.15 W/m2K	47 W/m2	Hochalpin

Ustat = 0.25 Kanalhöhe = 2.5 m