Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 110 (1992)

Heft: 32

Artikel: Transparente Isolation: neue Möglichkeiten der Sonnenenergie-Nutzung

Autor: Schneiter, Paul / Wellinger, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77942

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Transparente Isolation

Neue Möglichkeiten der Sonnenenergie-Nutzung

Knapp die Hälfte des schweizerischen Energieverbrauches fliesst nach wie vor in die Raumheizung. Dabei bestehen gerade hier grosse Einspar-Potentiale. Zudem kann vermehrt die Sonnenenergie – passiv und/oder aktiv – zunutze gemacht werden.

VON PAUL SCHNEITER UND K. WELLINGER, HEDINGEN

Grundsätzlich kann man verschiedene Strategien verfolgen, um diese Potentiale zu nutzen und Energie zu sparen, einerseits durch gute Wärmedämmung der Gebäudehülle, andererseits auch durch den Einsatz von modernen Heizsystemen mit hohen Wirkungsgraden.

Eine weitere Möglichkeit von zunehmender Bedeutung ist die Nutzung von Sonnenenergie zu Heizzwecken. In den letzten 15 Jahren wurden zahlreiche Gebäude mit verschiedensten Sonnen-Heizungssystemen gebaut und zum Teil im Detail ausgemessen und ausgewertet.

Bei den *aktiven Systemen* wird die Sonnenenergie mit Hilfe von Sonnenkollektoren in Wärme umgewandelt; diese Wärme wird direkt oder über einen Zwischenspeicher in das Heizsystem eingespiesen. Als Wärmeträger wird entweder eine Flüssigkeit oder Luft verwendet.

Die *passiven Systeme* nutzen die Sonnenenergie direkt durch Fenster, verglaste Balkone oder Wintergärten. Die durch diese Verglasungen eintretende Sonnenstrahlung wird im Gebäude in Wärme umgewandelt und in der Gebäudemasse vorübergehend gespeichert.

Mit neuartigen Materialien, die man als *transparente Isolation* (TI) oder transparente Wärmedämmung bezeichnet, bieten sich grundsätzlich neue Möglichkeiten an, die Sonnenenergie zu nutzen oder auch die bereits bekannten aktiven und passiven Systeme zu verbessern.

TI-Materialien

TI-Materialien weisen zwei charakteristische Merkmale auf: Sie sind thermisch isolierend, weisen also einen tiefen Wärmeleitwert auf und sind – im Gegensatz zur konventionellen, opaken Wärmedämmung – für Licht durchlässig. Als klassische TI-Materialien kann man die Isolier-Verglasungen von Fenstern oder die Glasabdeckungen von Kollektoren bezeichnen. Bei den *neuen* TI-Materialien kann man 4 grundsätzlich verschiedene Typen unterscheiden: absorberparallele und absorbersenkrechte Strukturen, Kammerstruktur und homogene Struktur (Bild 1).

Der Wärmedurchlass-Koeffizient und der Strahlungstransmissionsgrad für verschiedene TI-Materialien mit bestimmten Schichtdicken sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Für die Anwendung von TI-Materialien zur Nutzung der Sonnenenergie ist generell ein möglichst hoher Strahlungstransmissionsgrad und ein möglichst kleiner Wärmedurchlass-Koeffi-

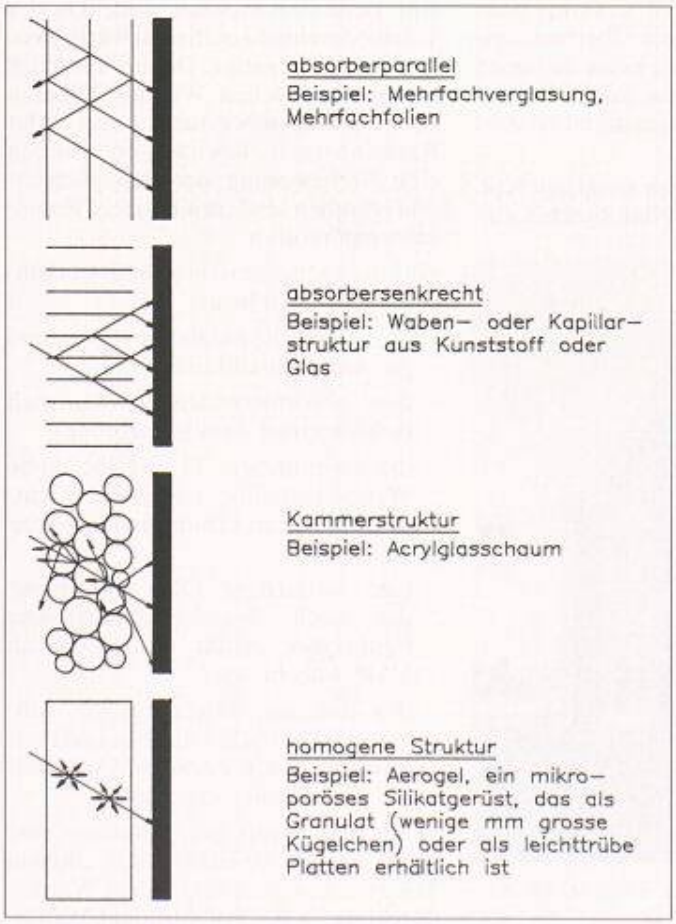


Bild 1. Typisierung von TI-Materialien. Lichteinfall von links oben durch das TI-Material auf den Absorber (Klassifizierung nach [4])

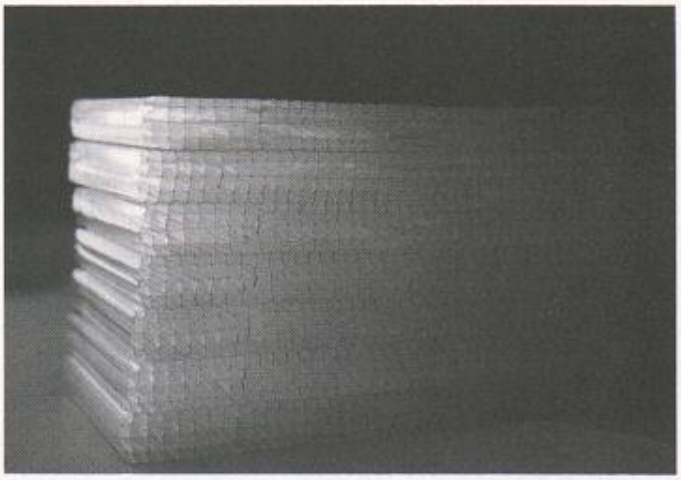


Bild 2. Transparente Isolation aus Polycarbonatwaben

Materialbezeichnung	*Dicke* (mm)	*Wärmedurchlasskoeffizient* Λ (W/m² k)	*Gesamtenergiedurchlassgrad* g (-)	*Quellen*
2fach Wärmeschutzglas mit IR-Beschichtung und Gasfüllung	4+15+4	1,4	0,65	(a)
Polycarbonat-Waben (quadratisch), mit Glasabdeckung	4+100	1,0–1,1	0,82	(b), (c)
Polycarbonat-Kapillaren mit Glasabdeckung	4+96	0,8	0,58	(b)
Aerogel-Körner zwischen Glas	2+40+2	0,5	ca. 0,35	(c), (d)

Tabelle 1: Beispiele von verschiedenen TI-Materialien
(a) Herstellerangaben, (b) TI-Schlussbericht (3), (c) BMFT-Statusseminar (5), (d) ISE 1987 (6)

zient wünschenswert. Die Werte in Tabelle 1 zeigen deutlich die günstigen Eigenschaften der absorbersenkrechten Polycarbonat-Waben auf.

Polycarbonat-Waben und -Kapillaren werden heute bereits in grösseren Mengen hergestellt und sind kommerziell lieferbar; im Gegensatz dazu wird Aerogel zur Zeit erst in Forschungslabors hergestellt und ist nur in kleinen Mengen zu hohen Preisen erhältlich. Bild 2 zeigt ein Muster von Polycarbonat-Waben mit 10 cm Dicke. Polycarbonat ist in einer UV-Strahlung-beständigen Qualität lieferbar. Das Material ist einsetzbar bis zu einer Temperatur von rund 120 °C.

Anwendung von TI-Materialien

Flachkollektoren mit TI

Die heute in aktiven Sonnenenergie-Systemen verwendeten Flachkollektoren weisen in der Regel eine Glasscheibe als Kollektor-Abdeckung auf. Der Luftzwischenraum zwischen Absorber und Glasabdeckung wirkt als Isolator. Wenn nun dieser Zwischenraum mit Polycarbonat-Waben gefüllt wird, verringern sich die konvektiven thermischen Verluste erheblich, während die Strahlungstransmission nur unwesentlich verschlechtert wird. Dadurch verbessert sich die Leistung des Kollektors deutlich. Bei dieser Konstruktion muss allerdings beachtet werden, dass mit selektiven Absorbern die Absorbertemperatur bei Stillstand über 200 °C steigt, die Polycarbonat-Waben aber nur hitzebeständig sind bis 120 °C. Daher muss man einen zuverlässigen Überhitzungsschutz vorsehen, damit keine zu hohen Absorbertemperaturen auftreten und dadurch das Isolationsmaterial zerstört wird.

In der Schweiz wurden derartige Kollektoren bereits in 2 Pilotobjekten eingesetzt. Bei den Niedrig-Energiehäusern in Wädenswil wurden 2 Doppel-Einfamilienhäuser mit insgesamt 132 m² TI-Fassadenkollektoren ausgerüstet [1]. Das zweite Objekt ist das an der Forschungs-Ausstellung HEUREKA gezeigte Nullenergie-Haus (Bild 3). Für dieses Haus wurden 6 werkseitig vollständig vorfabrizierte Fassadenelemente mit integriertem TI-Kollektor gebaut [2]. Der Überhitzungsschutz dieser Kollektoren wird gewährleistet, in dem die im Absorber entstehende Wärme immer – z.T. nach dem Thermosyphon-Prinzip – aus dem Absorber weggeführt und im Heizungsspeicher gespeichert oder – bei gefülltem Speicher – mit Hilfe eines Luftkühlers an die Umgebungsluft abgegeben wird.

Bild 3. Null-Energie-Haus an der Heureka. Die in der Fassade integrierten Kollektoren sind mit 10 cm dicker Transparenter Isolation abgedeckt

TI-Fassaden

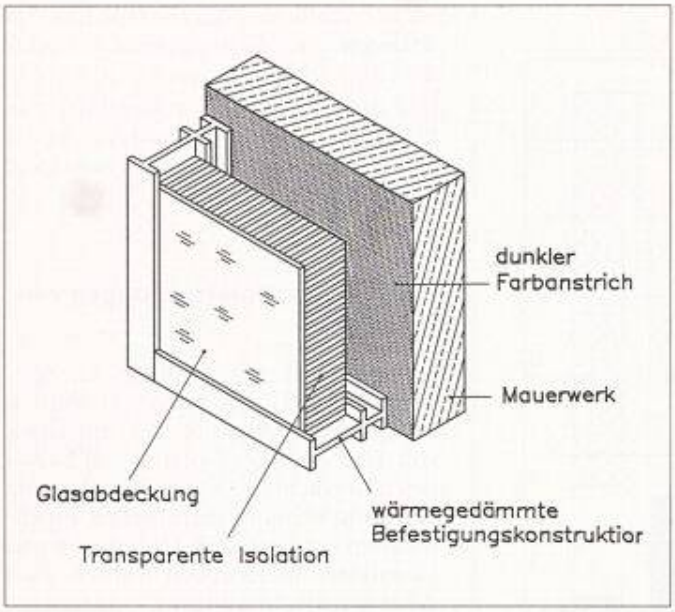
Wenn bei einer Aussenwand eines Gebäudes die aussen liegende Wärmedämmung lichtdurchlässig und die Wand dahinter dunkelfarbig ist, erwärmt sie sich bei Sonnenschein. Wegen der Isolationswirkung kann nur noch ein kleiner Teil der Wärme direkt nach aussen entweichen. Ein grosser Teil der Wärme dringt in die Wand ein und wird auf der Raumseite verzögert wieder abgegeben.

Berechnungen der Energiebilanzen von TI-Fassaden über die Heizsaison zeigen, dass nicht nur der Energieverlust reduziert wird, sondern dass sogar ein Energiegewinn möglich wird; d.h. der Wärmedurchlasskoeffizient wird gewissermassen «negativ». Die im Vergleich zu konventionellen Wänden höheren Oberflächentemperaturen auf der Rauminnenseite bewirken im weiteren eine Verbesserung der Behaglichkeit und erlauben tendenziell tiefere Raumlufttemperaturen.

Auf dem schematischen Bild 4 erkennen wir im einzelnen:

- die Mauer, die möglichst schwer und gut wärmeleitend sein soll
- den absorbierenden Farbanstrich (schwarz oder dunkle Farbtöne)
- die eigentlichen TI, welche hohe Wärmedämmung und hohe Lichtdurchlässigkeit (Transmission) vereinigen sollen
- eine wetterfeste Glas-Abdeckung, die auch brandschutztechnische Funktionen erfüllt und zusätzlich UV-Schutz bietet
- den Rahmen, welcher regen-, luft- und insektendicht sein muss und thermisch von der warmen Wandoberfläche getrennt werden muss.

Wenn bei derartigen Fassaden eine transparente Isolation mit hohem Transmissionsgrad und tiefem Wärmedurchlass, z.B. Polycarbonat-Waben,



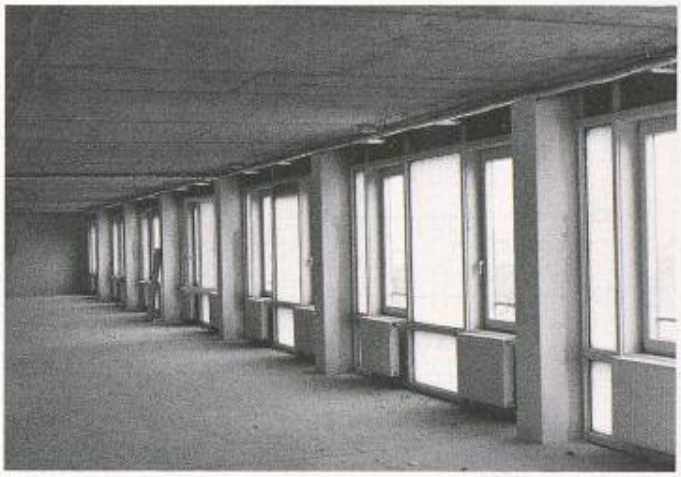


Bild 6. Transparente Isolation zur Tageslichtnutzung im Technologiepark Düsseldorf

Bild 4. Schematischer Aufbau einer TI-Fassade (ohne Überhitzungsschutz)

verwendet wird, ergeben sich auf der absorbierenden Wandoberfläche je nach Farbe und Wandmaterial 80–100 °C. Diese Temperatur ist deutlich tiefer als beim Flachkollektor, da die Absorberfläche nicht selektiv ist und dahinter keine Isolation liegt. Bei diesen Temperaturen sind die Polycarbonat-Waben temperaturbeständig. Allerdings sind diese Temperaturen so hoch, dass sie im Sommer den Komfort in den dahinterliegenden Räumen beeinträchtigen können. Es muss deshalb ein Überhitzungsschutz vorgesehen werden. Dafür eignen sich bewegliche Rollos oder Lamellenstoren. Da diese Beschattungseinrichtungen relativ teuer sind, werden zur Zeit andere Systeme untersucht, z.B. fest installierte Lamellenbleche, deren Geometrie so gewählt wird, dass die tiefstehende Wintersonne eintreten kann und die hochstehende Sommersonne abgehalten wird. Grundsätzlich ist denkbar, dass auf einen Überhitzungsschutz verzichtet werden kann, wenn weniger Strahlungsenergie durch die TI dringt, z.B. bei Verwendung eines Materials mit tiefem Strahlungstransmissionsgrad oder bei nach Norden ausgerichteten Wänden.

Das grösste bisher ausgeführte Objekt mit TI-Fassade befindet sich in Glasgow. Die TI-Fassade umfasst rund 1000 m². Die Planer dieses Objektes waren der Ansicht, dass unter den klimatischen Bedingungen in England eine Beschattung nicht erforderlich ist. Nach den Erfahrungen des ersten Sommers wird das Gebäude nun mit Lamellenstoren nachgerüstet!

Weitere Pilotobjekte wurden in Deutschland ausgeführt. Bei diesen Objekten wird der Überhitzungsschutz mit Rollos gewährleistet, die zwischen dem TI-Material und der Glasabdeckung liegen. Bild 5 zeigt das Objekt Sonnenäckerweg mit 120 m² TI-Fassade.

Der Vorteil der TI-Fassade gegenüber dem TI-Kollektor liegt in der einfachen Anwendung ähnlich wie eine Aussenisolation. Der TI-Kollektor leistet zwar mehr, muss aber mit dem Heizungssystem direkt gekoppelt werden. Im weiteren besteht beim Kollektor das Risiko, dass bei nichtfunktionierendem Überhitzungsschutz das TI-Material beschädigt wird .

Tageslicht-Nutzung

Mit den neuen TI-Materialien sind Fassadenkonstruktionen möglich, die gegenüber den bisher bekannten Konstruktionen eine bessere Nutzung des Tageslichtes erlauben. Dies kann erreicht werden, wenn z.B. Fenster, bei denen der Ausblick nicht wichtig ist (Brüstungen, Oberlichter) ersetzt werden durch TI-Elemente, was vor allem bei tiefen Räumen eine bessere Ausleuchtung mit Tageslicht bewirkt. Im Gegensatz zu konventionellen Verglasungen ist das durch das TI-Material durchdringende Licht diffus, so dass weniger Probleme mit Blendung auf reflektierenden Flächen entstehen und eine gleichmässigere Ausleuchtung der Räume erreicht wird. Durch derartige Lichtelemente kann somit der Energieverbrauch von Innenbeleuchtungen reduziert werden. Bei einer Bautiefe von 10 cm wird ein k-Wert von 0,7 (W/m² K) erreicht. Dieser gute k-Wert bewirkt einerseits einen geringen Energieverbrauch, andererseits aber auch im Vergleich zu normalem Isolierglas hohe Oberflächentemperaturen auf der Rauminnenseite, was sich positiv auf die Behaglichkeit im Raum auswirkt. Je

Bild 5. Mehrfamilienhaus Sonnenäckerweg, Freiburg (BRD) mit 120 m² passiver TI-Fassade (Foto: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg (BRD))

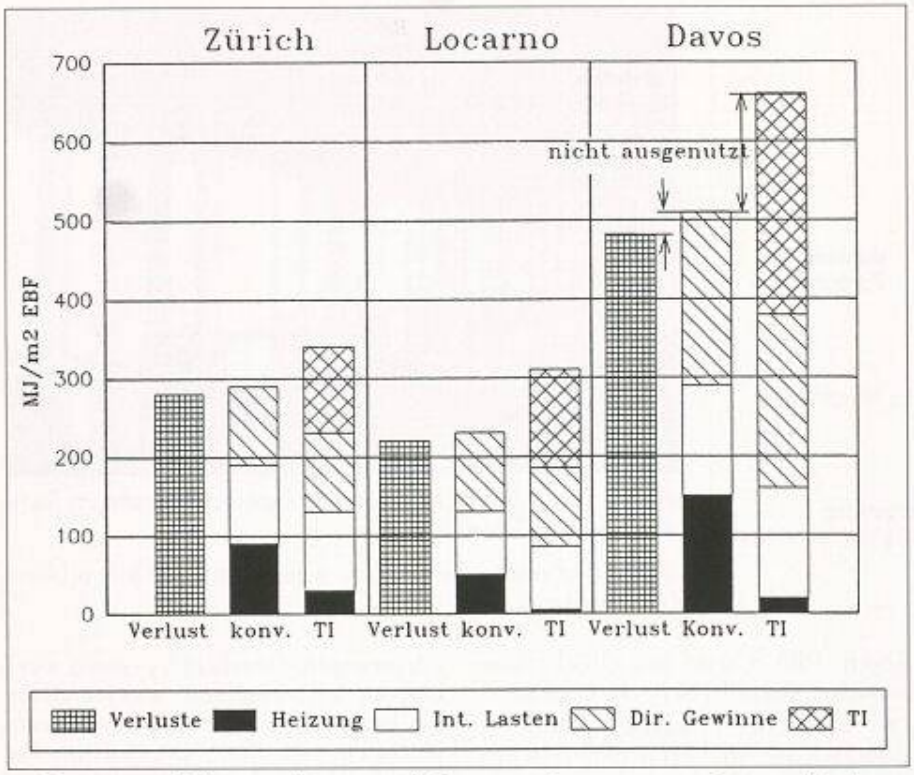


Bild 7. Energiebilanzen (Heizsaison) für einen Büroraum an drei verschiedenen Standorten. Die Südfassade ist aufgeteilt in 60% Fensterfläche und 40% Betonwand (Dicke 15 cm). Dargestellt sind jeweils links die reinen Verluste ohne direkte Gewinne und interne Lasten, in der Mitte (konv.) der konventionelle Fall mit 10 cm Isolation auf der Betonwand und rechts (TI) mit 10 cm Transparenter Isolation anstelle der konventionellen Isolation. Der Raum ist sonst rundum von gleichartigen Räumen umgeben (kein Wärmefluss). Ein Blendschutz reduziert den Strahlungsgewinn auf 40–50%

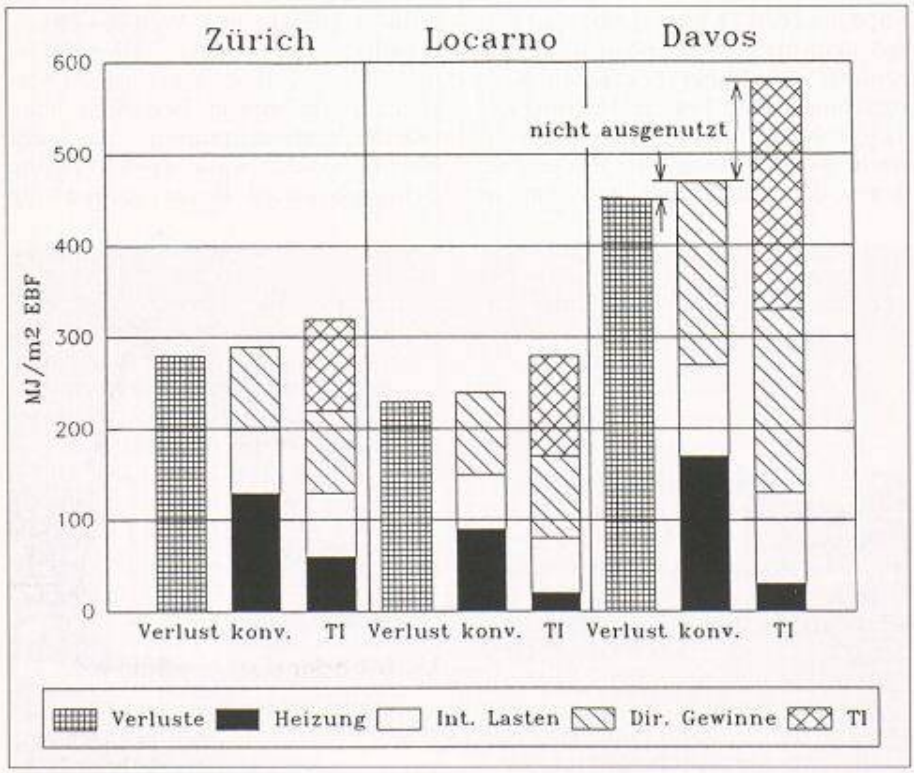


Bild 8. Energiebilanzen wie in Bild 7, jedoch für einen Wohnraum mit 25% Fensteranteil in der Südfassade und 32 cm dicke Backsteinwand. Die konventionelle Isolation ist 8 cm dick. Die Westwand ist eine fensterlose Aussenwand (32 cm Backstein und 8 cm Isolation). Die übrigen Wände, Boden und Decke grenzen an gleichartige Räume an

nach Orientierung der Fassade kann im weiteren ein Wärmegewinn (Direktnutzung) erzielt werden.

Ein Beispiel für die Anwendung von PC-Waben als Tageslicht-Element ist der Technologie-Park in Düsseldorf (Bild 6).

Energetische Untersuchungen von TI-Fassaden

In einem vom Bundesamt für Energiewirtschaft geförderten Projekt wurden verschiedene Aspekte des Einsatzes von Transparenter Isolation auf Fassaden untersucht [3]. Neben der Messung der optischen und thermischen Eigenschaften von einzelnen Materialien und Fassadenkonstruktionen wurden auch Alterungserscheinungen analysiert. Ein zentrales Thema des Projektes war das energetische Verhalten von Gebäuden mit TI-Fassaden. Dazu wurden Reihensimulationen über jeweils eine Heizperiode durchgeführt.

Das dazu verwendete Gebäudesimulationsprogramm HELIOS stammt von der EMPA. Für die Transparente Isolation wurde eine spezielle TI-Subroutine programmiert und mit Freiluftmessungen validiert. Untersucht wurden u.a. ein typischer Büroraum und ein typischer Wohnraum, beide nach Süden ausgerichtet (weitere Details siehe Kasten).

Betrachtet wurden drei typische Klimasituationen, die wie folgt charakterisiert werden können:

	Zürich	Locarno	Davos
Sonnenschein	neblig	sonnig	sonnig
Mittlere Aussentemp. während Heizsaison	+3,5 °C	+4,0 °C	+0,5 °C
Länge der Heizsaison	7 Mt	6 Mt	10 Mt

Resultate der Simulationen

Die Darstellungen in den Bildern 7 und 8 erfolgen in der Einheit Megajoules pro Heizsaison und pro m² Energiebezugsfläche (entspricht etwa der Bruttogeschossfläche). Das entspricht etwa der Energiekennzahl, jedoch muss beachtet werden, dass bei einer «richtigen» Energiekennzahl noch Nord- und Nebenräume dazugehören, sowie Verluste gegen Dach- und Kellerräume, während im Simulationsprogramm nur die Südflächen dem Aussenklima ausgesetzt sind. Der Wohnraum hat zusätzlich eine West-Aussenwand (ohne TI), um der statistischen Tatsache Rechnung zu tragen, dass Wohnhäuser viel kleiner

Literatur

[1] *Kriesi R.:* Null-Heizenergie-Konzept einer Siedlung in Wädenswil, Schweizer Energiefachbuch 1991

[2] *Hartwig H.:* Fassadenkollektor mit transparenter Isolation, Schweizer Energiefachbuch 1992

[3] *Wellinger K., Schneiter P., Schläpfer B.:* Transparente Isolation. Schlussbericht zum Forschungsprojekt 1987–1990, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern, 1990

[4] *Platzer W., Wittwer V.:* Transmittance Characteristics of Transparent Insulation Materials, Proceedings TI-Workshop, Freiburg (BRD) 1986

[5] *Borne A. et al:* BMFT Statusseminar Einsparung und passive Solarnutzung in Gebäuden, Weimar 1991

[6] *Pflüger A., Platzer W., Wittwer V.:* Charakterisierung transparenter Wärmedämmstoffe, ISE, Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg (BRD) 1987

sind als Bürohäuser, so dass im Schnitt jeder Raum zwei nicht beheizte Aussenflächen aufweist, d.h. Flächen gegen Keller, Estrich oder Aussenklima.

Die einzelnen Säulen in den Figuren haben folgende Bedeutung: Die mit «Verluste» bezeichneten Säulen entsprechen den Transmissions- und Lüftungsverlusten eines nach heutigen Vorschriften isolierten Raumes, welcher tagsüber auf 20 °C beheizt und nachts auf 18 °C abgesenkt wird. In der Säule «Konventionell» erscheinen von oben nach unten Direktgewinn, Interne Last und Heizenergie. Der Direktgewinn entsteht, wenn Licht durch die Fenster in den Raum fällt. Im Büro ist dieser Wert trotz der grösseren Fensterfläche nur etwa gleich gross wie im Wohnraum, weil etwa die Hälfte der Strahlung durch die Storen (Blendschutz) abgehalten wird. In beiden Fällen ist der Beitrag, da es sich um Südräume handelt, substantiell, nämlich 1/4 bis über 1/3 der Verluste.

Die Interne Last (Wärme von Beleuchtung, Geräten und Personen) fällt ebenfalls stark ins Gewicht, weil nach heutigen Vorschriften die Verluste viel kleiner sind als bei der verschwenderischen Bauweise, wie sie bis in die 80er Jahre üblich war. Schwarz ist die verbleibende, durch die Heizung zu deckende Energiemenge. Die Summe von Gewinnen (Direktstrahlung und Interne Last) und Heizung ist höher als die Verluste, denn die Gewinne fallen nicht immer so an, dass sie wirklich für die Heizung verwendet werden können. Manchmal steigt die Raumtemperatur auch ohne Heizung über 20 °C, was die Verluste erhöht, und wenn sie über 23 °C steigt, beginnen die Benutzer die Fenster zu öffnen. Wird nun die ganze zur Verfügung stehende Süd-Wandfläche mit TI ausgerüstet, so entstehen die Säulen «TI». Die benötigte Heizenergie sinkt weiter, für Locarno und Davos sogar fast auf Null, aber auch die nicht verwertbaren Überschüsse steigen stark an.

	Büro	*Wohnen*
Grundfläche	19.0 m²	20.0 m²
Süd-Fensterfläche inkl. Rahmen	6.5 m²	2.5 m²
Süd TI-Fläche inkl. Rahmen (10-cm-Wabe)	4.3 m²	7.5 m²
Interne Last	3 kWh/d	1.9 kWh/d
Wochenende	0 kWh/d	1.9 kWh/d
Fenster-Beschattung (als Blendschutz)		
ab 400 W/m² auf Südfläche	ja	nein
Umgebende Räume	gleich	gleich
Aussenwände	Süd	Süd+West
Ablüften von Überwärme oberhalb von	23 °C	23 °C
Nachtabsenkung	ja	ja
Wochenendabsenkung	ja	nein
Flink reagierende Einzelraumregelung	ja	ja

Grundannahmen für die Gebäudesimulation

Wand	*Wabe*	*Kloten Süd*	*SO*	*Ost*	*W*	*NO*	*Nord*
Beton 15 cm	5 cm	134		29			-25
	8 cm	168					0
	10 cm	**184**	151	70	79	37	11
	15 cm	198					22
	20 cm	205		93			36
Backstein 32 cm	5 cm	59		12			-13
	8 cm	84					-1
	10 cm	**98**	81	38	43	20	6
	15 cm	119					17
	20 cm	133		61			24
Länge der Heizsaison		7 Monate (Okt–April)					

Tabelle 2: Bruttoertrag von TI-Wänden unterschiedlicher Orientierung, unterschiedliche TI-Materialdicken (Wabe) und verschiedene Materialien für die innere Wandschale (kWh/m² TI-Fassadenfläche pro Heizsaison)

	Kloten	*Locarno*	*Davos*
Wohnen Wand Backstein (Renovation)	52 – 86	42 – 90	82 – 169
Wohnen Wand Beton (Neubau)	74 – 147	60 – 160	112 – 269
Büro Wand Beton	70 – 96	56 – 88	135 – 202
Vergleich:			
Verlust einer konventionell gedämmten Wand (k=0,3)	– 23	– 17	– 40
Länge der Heizsaison (Monate)	7	6	10

Tabelle 3: Nettoerträge von repräsentativen südorientierten Räumen mit TI für verschiedene Klimaregionen (kWh/m² TI-Fassadenfläche pro Heizsaison)

Um den Einfluss verschiedener Materialdicken der TI, verschiedener Fassadenorientierungen und Materialien der innern Wandschale zu beurteilen, wurde der Bruttowärmeertrag berechnet, der durch einen Quadratmeter Fassadenfläche erzielbar ist. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass sich (wegen der besseren Wärmeabfuhr) Beton wesentlich besser für die innere Wandschale eignet als Backstein. Ebenso wird ersichtlich, dass nordorientierte Fassaden bereits bei einer Isolationsstärke von 8 cm verlustfrei arbeiten.

Wie bereits Bild 7 bzw. 8 zeigt, kann nicht der vollständige Bruttogewinn ausgenutzt werden, da dies zu überhöhten Raumtemperaturen führen würde. Die effektiv ausnutzbaren Wärmegewinne, die Nettoerträge sind in Tabelle 3 aufgeführt. Die Klimaregion Davos bringt die höchsten Nettoerträge, einerseits wegen der Nebelfreiheit und der damit verbundenen langen Sonnenscheindauer im Winter, andererseits auch wegen der langen Heizsaison.

Leichte oder schwere Bauweise?

Kontrollrechnungen ergaben, dass Büros und Wohnbauten in Leichtbauweise nur geringfügig erhöhten Heizwärmebedarf aufweisen. Dies dürfte zwei Gründe haben: Bei gut isolierten Bauten wird die umgesetzte Wärme so klein, dass auch geringe Masse für die Wärmespeicherung genügt. Und: die

verschlechterte Speicherung der Leichtbauten wird zum grossen Teil wettgemacht durch reduzierte Verluste infolge reduzierter mittlerer Raumtemperatur, weil diese nachts schneller den Absenkwert erreicht. Das bedeutet, dass die bei Büros üblichen Hohlböden und abgehängten Decken zulässig sind, wie auch neuartige hochisolierende Leichtbauwände. Trotzdem sollte bei Leichtbauten in der Planungsphase die Behaglichkeit auf Grund von Simulationsberechnungen genau überprüft werden. Die TI-Wände selber sollten auf jeden Fall genügend Speichermasse aufweisen, damit nicht ungemütlich hohe Oberflächentemperaturen entstehen, und damit die Wärmeabgabe so verzögert wird, dass nicht eine zeitgleiche Konkurrenz zum Direktgewinn entsteht.

Schlussfolgerungen

Folgende «Charaktereigenschaften» von TI-Fassaden haben sich herausgeschält:

☐ Eine Wand mit mindestens 8 cm dicker TI aus Polycarbonat-Waben hat in unserem Klima keine Verluste, sondern Gewinne. Das bewirkt innere Oberflächentemperaturen von über 20 °C.

☐ Die Masse der Wand wirkt dämpfend und verzögernd auf den solaren Energiegewinn. Dieser verteilt sich auf mehr als 24 Stunden, so dass das Überschussproblem während des Tages entschärft wird.

☐ Die TI arbeitet so gut, dass schon eine Nordwand, die nie die Sonne sieht, sondern immer nur das diffuse Himmelslicht, im Mittel des Winters verlustfrei ist. Wenn die Aussentemperatur über 3,5 °C liegt (Durchschnittstemperatur der Heizsaison in Zürich), gibt es Gewinne, und erst darunter Verluste.

☐ Eine Wand mit Sonnenbestrahlung liefert im Winter-Mittel hohe Gewinne, welche dazu verwendet werden können, Wärmeverluste zu decken, welche an andern Orten entstehen: an angrenzenden Aussenwänden ohne TI, an Fenstern (vor allem nachts), für den Luftwechsel, in günstigen Fällen auch Verluste angrenzender Räume, insbesondere, wenn eine Lüftungsanlage vorhanden ist, die für die Wärmeverlagerung vorgesehen wurde.

☐ Mit einer TI lässt sich die Länge der effektiven Heizsaison auf wenige Wochen im Jahr senken, im Berggebiet oder Tessin können transparent isolierte Häuser sogar ganz ohne Heizung auskommen bei normalen internen Lasten und geschickter Konzeption.

☐ Für das Gebäudekonzept ist eine frühe Zusammenarbeit von Architekt, Haustechnik-Ingenieur und TI-Fassaden-Hersteller erforderlich, damit von Anfang an korrekte Vorstellungen über die umgesetzten Energiemengen bestehen.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. *Paul Schneiter* und *K. Wellinger*, Dipl.Ing. ETH, E. Schweizer AG, 8908 Hedingen.

Stagniert die Gezeitennutzung?

Eine Standortbestimmung zum 25jährigen Bestehen des Gezeitenkraftwerkes an der Rance

Im «Schweizer Ingenieur und Architekt» Heft 9 vom 27. Februar 1992 wurde der Entwicklungsstand der Wellennutzung skizziert. Eine weitere Möglichkeit, Meeresenergie zu ernten, besteht in der Gezeitennutzung. Bei dieser wird das gezeitenbedingte Auf und Ab der Meeresoberfläche in Strom umgewandelt. Als Wandler dienen Kraftwerke, die einem Niederdruck-Flusskraftwerk gleichen. Was sind die Besonderheiten? Wo steht die Entwicklung heute?

Die Gezeiten

Die Gezeiten entstehen durch die *Massenanziehungskräfte der Sonne und des Mondes* und werden durch die Topographie des Meeres beeinflusst. Dementsprechend unterliegen sie starken örtlichen und zeitlichen Schwankungen.

VON DANIEL L. VISCHER, ZÜRICH

Auf dem offenen Meer liegt der *Gezeitenhub* in der Grössenordnung von 1 m. An einigen Küsten ist er kaum spürbar, an anderen erreicht er infolge von Auflaufeffekten Werte bis 16 m. Je nach Meeresgebiet folgen sich Flut und Ebbe ein- oder zweimal pro Tag. Man spricht deshalb von ein- oder halbtägigen Gezeiten. In einigen Regionen gibt es sogar ein gemischtes Regime in dem Sinne, dass während eines Teils des Monats halbtägige und dann wieder ganztägige Gezeiten vorherrschen.

Aus heutiger Sicht wird ein Gezeitenhub von 5 m und mehr als nutzungsträchtig erachtet. Küsten mit entsprechenden Mittelwerten finden sich auf allen Kontinenten. In Europa sind vor allem die Bucht von St. Michel, der Bristol-Kanal und die Irische See zu erwähnen.

Kraftwerkstypen

Es ist interessant festzustellen, dass es an den oben erwähnten europäischen Küsten bereits im Mittelalter sogenannte *Flutmühlen* gab. Sie lagen an kurzen Kanälen, die vom Meer zur Mühle und von dort wieder zum Meer führten. Mittels Schleusen in Form von selbsttätigen Stemmtoren wurde das Auf und Ab der Gezeiten in eine gleichgerichtete Kanalströmung umgewandelt, die mit Wasserrädern genutzt wurde.

Das Prinzip der Umwandlung des Auf und Ab beziehungsweise des damit verbundenen Hin und Her in eine gleichgerichtete Strömung wird als *Gleichrichterprinzip* bezeichnet. Es ist heute vor allem bei der Wellennutzung verbreitet, findet aber auch bei der Gezeitennutzung eine Entsprechung.

So wie die Flutmühlen seinerzeit eine Abart der Wassermühlen waren, sind heute die Gezeitenkraftwerke eine Variante der Wasserkraftwerke, und zwar jener vom Typ der Niederdruckanlagen. Sie liegen entweder in einer Sperre, die eine Bucht vom Meer abtrennt oder in einer Sperre, die zwischen zwei vom Meer abgetrennten Buchten liegt. Je nachdem spricht man von einem Ein- oder Zweibeckensystem. Man unterscheidet etwa folgende Macharten (Bild 1).

Typ 1: *Einbeckensystem, Einwegnutzung.* Die Sperre ist mit einem Wehr und einem Maschinenhaus versehen. Bei Flut wird das Becken durch das Wehr