

Solarthermie

Solarthermie wird seit jeher zur Heizung von Gebäuden genutzt. Schlüsselkomponente der Solarthermie ist der Kollektor, der die solare Wärme absorbiert und an ein Trägermedium abgibt. Die ersten Solarthermieanlagen nutzten als Absorberfläche schwarz gestrichene Rohre. Die Farbe nimmt aufgrund ihrer sehr geringen Reflektion Wärme gut auf und erwärmt so das durchlaufende Wasser, gibt sie aber ebenso schnell wieder ab. Deshalb wurden Absorber mit einer selektiven Beschichtung ausgestattet, die einen hohen Adsorptionsgrad für das Strahlungsspektrum der Sonne besitzt, aber zugleich die Abstrahlung infraroter Strahlung minimiert und damit den Absorber deutlich effizienter macht.

Klassischerweise wird der Solarkollektor von Wasser oder einem ähnlichen Trägermedium durchströmt. Es gibt aber auch luftdurchströmte Kollektoren. Auch ein Fassadenzwischenraum oder eine transparente Wärmedämmung kann als Luftkollektor wirken. Luftkollektoranlagen arbeiten im Gegensatz zu den herkömmlichen Solarwärmeanlagen bereits bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen, denn die Temperatur im Kollektor muss lediglich über der Lufttemperatur in dem zu erwärmenden Raum liegen. Solarerwärmte Luft kann entweder direkt einer Luftheizung zugeführt, zur Vortemperierung der Außenluft für kontrolliertes Lüften oder eine Klimaanlage genutzt oder einer Wärmepumpe z.B. zur Warmwasserbereitung zugeführt werden. Genauso kann solarerwärmtes Wasser entweder direkt oder mittels Wärmetauscher bzw. Wärmepumpe genutzt werden.

Am effizientesten arbeitet ein Solarkollektor bei geringem Temperaturunterschied zwischen Kollektorinnerem und Umgebung. Je höher die Temperaturen im Kollektorinneren, desto mehr Wärme wird auch an die Umgebung wieder abgegeben. Die Effizienz kann durch die Absorberbeschichtung und die Dämmung des Kollektors gesteigert werden. Die hochdämmende Vakuum-schicht eines Vakuumröhrenkollektors, die zwischen der wasser- bzw. luftführenden und einer umliegenden Röhre gebildet wird, verhindert die Konvektion innerhalb der Röhre, so dass kaum Wärmeverluste an der Außenwand des Kollektors entstehen. Die Effizienz eines Kollektors hängt auch davon ab, wie gleichmäßig seine Kanäle vom Träger-

medium durchströmt werden und wie hoch dabei der Druckverlust ist (Energiebedarf der Pumpe). Ziel sollte es sein, mehr Wärme zu produzieren, als Strom für die Umwälzung des Wärmeträgermediums benötigt wird. In Anlehnung an verzweigte Strukturen aus der Natur werden deshalb zurzeit Modelle für Solarkollektoren und andere Wärmetauscher entwickelt, die eine möglichst gleichmäßige und geringen Umlenkungen unterworfenen Durchströmung ermöglichen.

Der Wirkungsgrad von Sonnenkollektoren liegt heute bei etwa 60–70 %. Während die Photovoltaik hinsichtlich der Integration in Gebäude interessante Fortschritte gemacht hat, führte die Solarthermie lange ein gestalterisches Schattendasein als schwarzer Kasten auf dem Dach. Inzwischen gibt es jedoch farbige Absorberbeschichtungen, "unsichtbare" Kollektoren als Zinkdach, die sich besonders für denkmalgeschützte Bauten eignen und fassadenintegrierte Kollektoren, die gleichzeitig Sonnenschutzfunktionen übernehmen.

Interessant ist auch die Kombination solarthermischer Kollektoren mit Photovoltaikmodulen. Solarzellen wandeln nur zirka 7–16 % der Sonnenstrahlung in Strom um, der Rest wird in Wärme umgewandelt. Dies führt zur Erwärmung der PV-Module und dadurch zu Einbußen beim elektrischen Ertrag. Das Trägermedium im direkt mit den PV-Modulen verbundenen Kollektor kann den Hitzestau auf den PV-Modulen abtransportieren und ihn an einem anderen Ort sinnvoll einsetzen. Die Zellen arbeiten dadurch effizienter.

Der Wärmegewinn durch Solarthermie ist im Sommer am größten, zu einem Zeitpunkt also, der am wenigsten gewinnbringend erscheint. Heizen ist zu dieser Jahreszeit meist nicht nötig, Brauchwassererwärmung für Dusche und Waschmaschine dagegen wird genutzt. Es kann also vorkommen, dass die Anlage mehr produziert, als umgesetzt werden kann. Durch den Einsatz von Wärmespeichern ist es möglich, die gewonnene Energie für einen begrenzten Zeitraum zu konservieren. Die Effizienz des Wärmespeichers ist allerdings stark von der Dämmung des Speicherelementes und dessen Material abhängig. Speicherelemente sind beispielsweise Gesteinsspeicher (Rockbed), Hypo- und Murokausten, aber auch massive Bauteile wie Kanäle, Kamine und so-

genannte Trombewände (solare Energiegewinnung über die Fassade). Die Forschung beschäftigt sich derzeit mit der Verbesserung von Speichermöglichkeiten in neuen Verfahren.

Kühllasten und eine hohe Solareinstrahlung treten normalerweise gleichzeitig auf. Ein neueres Anwendungsgebiet der Solarthermie ist daher die Nutzung solar erzeugter Niedrigtemperaturwärme (unter 90 Grad) zur Klimatisierung von Gebäuden. Völlig neu ist das solare Kühlen aber nicht: Solarerzeugte Thermik wurde in traditionellen Anlagen vor allem in arabischen Ländern zum Kühlen genutzt. Sie entsteht, wenn Sonneneinstrahlung auf erdnahe Luftschichten trifft und diese erwärmt. Die erwärmte Luft steigt auf. Durch die entstehende Konvektion fällt kalte Luft aus oberen Luftschichten nach unten, wo sie wiederum durch die Sonneneinstrahlung und deren Reflektion vom Erdboden erwärmt wird. Dieser thermodynamische Kreislauf kann genutzt werden, um mittels Luftkanälen, Windfängen oder auch Kuppel- und Turmbauten einen Luftstrom zu erzeugen, der die Temperaturen innerhalb des Gebäudes absenkt.

Technisch generierte solare Kühlung funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank. Ein Kühlmittel wird durch Solarwärme erhitzt. Beim Verdampfen entzieht das Kühlmittel der Umgebung Wärme, die entstehende Kälte kann zur Raumkühlung eingesetzt werden. Es kommen geschlossene Systeme wie Ad- und Absorptionskältemaschinen oder offene Kühl- und Entfeuchtungsverfahren (sorptionsgestützte Klimatisierung) zum Einsatz. In geschlossenen Verfahren wird die Luft mit einer Absorptionskältemaschine gekühlt, diese kommt mit dem Sorbens nicht in Berührung. Übliche Kältemittel sind Gemische aus Ammoniak und Wasser, seltener Salzlösungen wie Lithiumbromid. Eine Entfeuchtung der Zuluft ist wie bei Kompressionskältemaschinen durch Kühlen unter den Taupunkt und anschließendes Wiedererwärmen möglich. Bei der offenen Sorption wird die Zuluft durch Kontakt mit wasserziehenden Substanzen (z.B. Silicagel, Zeolith A) getrocknet. Anschließend wird Wasser versprüht, das beim Verdunsten die Luft kühlt. Das Sorbens wird dann durch Hitze getrocknet.

Schwerpunkt der Forschung ist derzeit die Entwicklung einer Systemtech-

nik und Einzelkomponenten zu solar-gestützten Klimatisierungen. Es gibt heute allerdings nur zentrale Anlagen dieser Art, dezentrale Systeme z.B. für den Wohnungsbau werden noch nicht genutzt. Für Anlagen mit größerem Leistungsbereich eignen sich effiziente Kollektoren wie Vakuumröhrenkollektoren der Parabolrinnenanlagen.

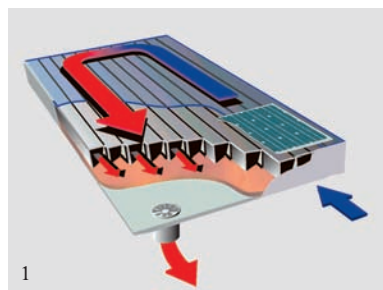
Ein weiteres neues Einsatzgebiet der Solarthermie sind Anlagen zur Meerwasserentsalzung. Im Vordergrund steht dabei die Wasserversorgung in den Ländern des Mittleren Ostens und Nordafrikas, in denen Trinkwasserknappheit herrscht, gleichzeitig aber Meerwasser und Sonne im Überfluss vorhanden sind.

Die einfachste und schon seit Ende des 19. Jahrhunderts genutzte Entsalzungsanlage ist die Solardestille, ein Bottich mit schwarzem Boden, in dem das Meerwasser nach dem Gewächshaus-Prinzip verdunstet und an einer Glasscheibenabdeckung kondensiert. Inzwischen werden solarbetriebene kompakte Meerwasser-Entsalzungsanlagen mit Abwärmenutzung angeboten. Das kleinste Modell, das 1.000 Liter pro Tag schafft, passt in einen 5-Fuß-Container.

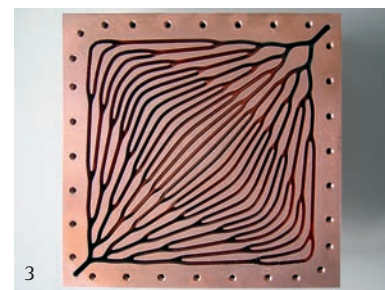
Die Forschung im Bereich der Solarthermie ist vor allem von Bedeutung für Länder mit einer ganzjährig hohen Sonnenscheindauer. Hier kann das System oft auch ohne die Zwischenschaltung eines Speichers voll ausgenutzt werden, weil die Möglichkeit besteht, die Strahlungsenergie in elektrische Energie umzuwandeln. Sonnenwärmekraftwerke bündeln die solare Strahlung und damit auch die darin enthaltene Energie durch Spiegel auf einen Brennpunkt. Die Temperatur liegt dort bei etwa 1.300 Grad. Die im Brennpunkt erreichte Energie lässt sich durch ein Dampfkraftwerk oder einen Stirlingmotor zunächst in mechanische, dann durch einen Stromgenerator in elektrische Energie umwandeln. Dies ist die kostengünstigste Form solarer Stromerzeugung. Im haustechnischen Bereich der Forschung beschäftigt man sich neben der solaren Kühlung mit der Verbesserung von Absorberkollektoren und Speichermöglichkeiten. Dazu kommen auch Bemühungen um die Effizienzsteigerungen der Wärmeübertrager.

**Julia von Mende
Marion Soldan**

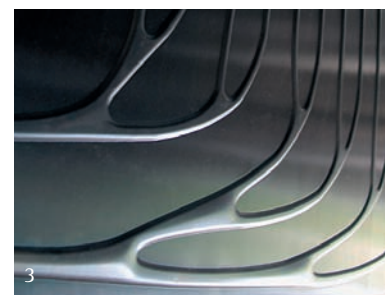
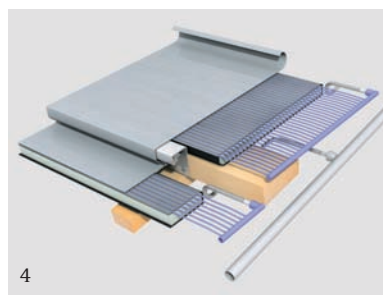
1 Luftkollektorschema: Die kalte Luft erwärmt sich in den Kanälen des Rippenabsorbers und wird dann z.B. einem Heizsystem zugeführt. www.grammer-solar.de



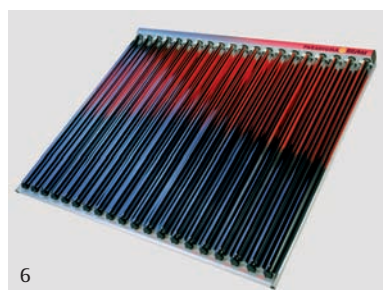
2 Sorptionsklimaanlage mit solaren Luftkollektoren: Die Abwärme der Produktionshalle wird nach draußen geleitet und solar getrocknete, verdunstungsgekühlte Frischluft zugeführt. Hochschule für Technik Stuttgart, www.zafh.net



3 FracTherm: Optimierung der Durchströmung von Solarkollektoren und anderen Wärmetauschern mit einem fraktalen Algorithmus. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, www.ise.fraunhofer.de



4 Der modulare Niedertemperaturkollektor QUICKSTEP®-SolarThermie ist Dachabdeckung und Kollektor in einem. Unsichtbar an der Unterseite der Titanzink-Basisprofile befestigte Fluidträger speisen die Wärme in die Haustechnik ein. Im Gegensatz zu klassischen Solarkollektoren arbeitet QUICKSTEP®-SolarThermie mit direkter und diffuser Solarstrahlung, der Temperatur der Umgebungsluft und dem Feuchtegehalt der Luft als Wärmequelle. RHEINZINK GmbH & Co KG, www.rheinzink.de



5 Farbige Beschichtung für Absorber, welche in ihrer Leistungsfähigkeit nahe an die bisher am Markt erhältlichen Absorberbeschichtungen herankommt. Corona Solar GmbH, www.corona-solarsysteme.com



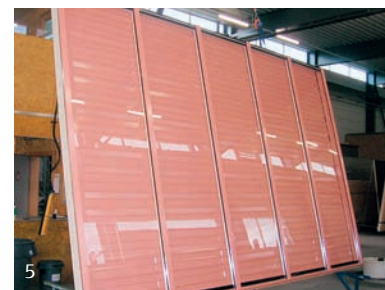
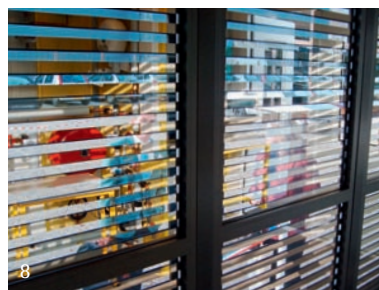
6 Vakuumröhrenkollektor CPC Allstar zur Warmwasserbereitung kleiner Einfamilienhaushalte. Paradigma Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG, www.paradigma.de



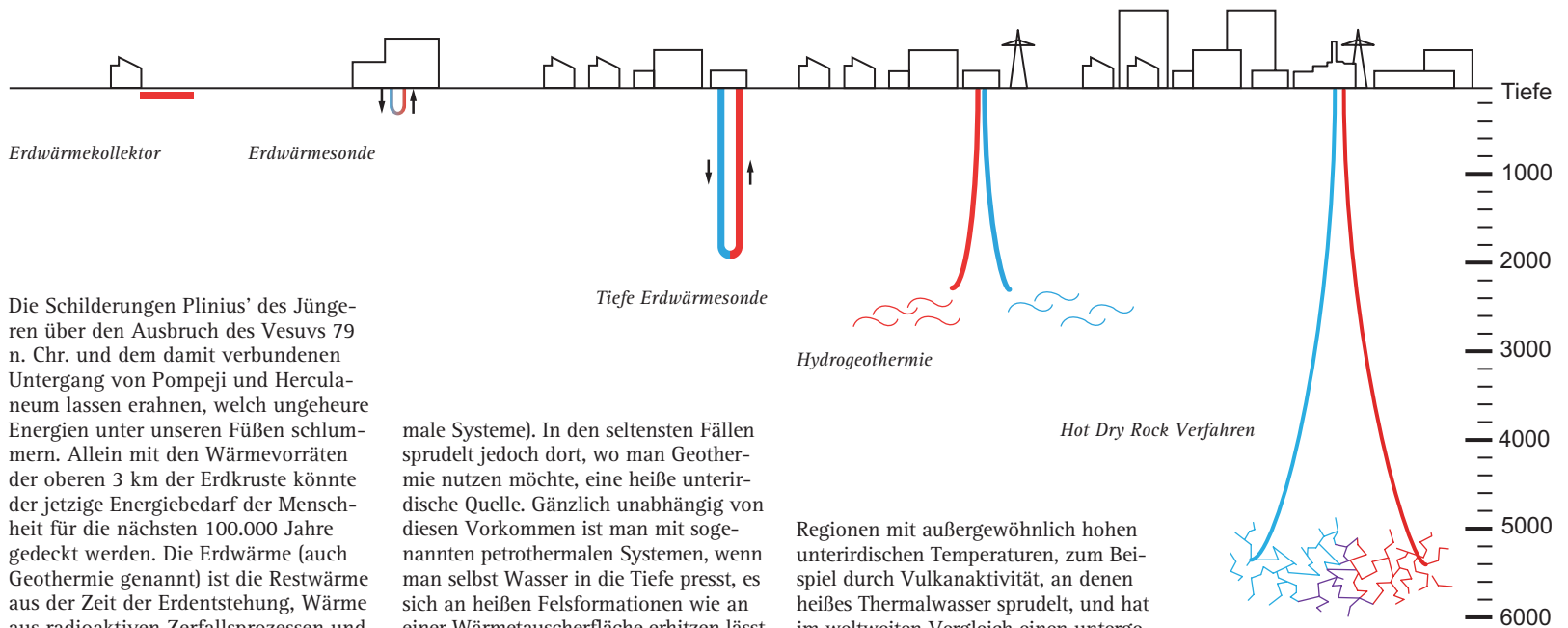
7 Der Einsatz von Röhrenkollektoren muss sich nicht auf die Anbringung an Wänden oder Dächern beschränken. Als Vorbauten oder freistehende Konstruktionen dient ihre Lamellenstruktur als Beschattungselement. www.viessmann.com



8 In den Scheibenzwischeraum eingebrachte, wasserführende Kupferserpentinen nehmen die solaren Gewinne aus der Fassade auf und spenden gleichzeitig Schatten. ROBIN SUN Solarglas, www.robinsun.com



Geothermie



Die Schilderungen Plinius' des Jüngeren über den Ausbruch des Vesuvs 79 n. Chr. und dem damit verbundenen Untergang von Pompeji und Herculaneum lassen erahnen, welch ungeheure Energien unter unseren Füßen schlummern. Allein mit den Wärmeverräten der oberen 3 km der Erdkruste könnte der jetzige Energiebedarf der Menschheit für die nächsten 100.000 Jahre gedeckt werden. Die Erdwärme (auch Geothermie genannt) ist die Restwärme aus der Zeit der Erdentstehung, Wärme aus radioaktiven Zerfallsprozessen und Wärme aus Sonneneinstrahlung in oberflächennahen Schichten. Sie steht tages- und jahreszeitenunabhängig zur Verfügung und ist im Gegensatz zur Solar- oder Windenergie dann wenig flächenintensiv, wenn sie punktuell aus dem Erdreich und nicht über flächige Kollektoren an der Erdoberfläche gewonnen wird. Tatsächlich zugänglich und somit nutzbar ist davon heute nur die im oberen Teil der Erdkruste in Gestein oder Wasser gespeicherte Wärme. Sie kann entweder indirekt über Wärmeübertragung (Wärmetauscher) oder direkt gewonnen werden. Je nach Tiefe der Wärmeentnahme unterscheidet man zwischen oberflächennaher und tiefer Geothermie.

Die oberflächennahe Geothermie bewegt sich in einer Tiefe bis ca. 400 m. Bereits in 5 bis 10 m Tiefe herrscht entsprechend dem lokalen Jahresmittel eine konstante Temperatur (in Deutschland bei 8-10°C), die – je nach Jahreszeit – zum Kühlen oder Heizen genutzt werden kann. Um sie zu fördern, werden mit einem Wärmeträgermedium gefüllte Sonden vertikal in den Boden getrieben oder Wärmetauscher in Bauteile wie z.B. Gründungspfähle oder -platten integriert. Direkt unter der Oberfläche kann sie mit horizontal eingelegten Erdwärmekollektoren gesammelt werden. Mit der sogenannten tiefen Geothermie kann man wesentlich höhere Temperaturen aus bis zu 5.000 m Tiefe entnehmen. Je nach Bodenbeschaffenheit werden dazu unterschiedliche Verfahren angewendet.

Thermalwasservorräte können direkt angezapft werden, um das heiße Wasser an die Oberfläche zu holen (hydrother-

male Systeme). In den seltensten Fällen sprudelt jedoch dort, wo man Geothermie nutzen möchte, eine heiße unterirdische Quelle. Gänzlich unabhängig von diesen Vorkommen ist man mit sogenannten petrothermalen Systemen, wenn man selbst Wasser in die Tiefe presst, es sich an heißen Felsformationen wie an einer Wärmetauscherfläche erhitzen lässt und man dann das Wasser wie aus einem Wasserkocher dem Erdboden wieder entnimmt. Damit das Wasser im Untergrund zirkulieren kann, müssen künstliche Risse im Gestein erzeugt werden. Dies ist – wie die jüngsten Vorkommnisse in Basel belegen – kein ungefährliches Unterfangen, weil dabei Erdbeben ausgelöst werden können. Weniger riskant scheint dagegen die Wärmeentnahme über eine 2.000 bis 3.000 m tiefe Bohrung, in die eine Erdwärmesonde eingebracht wird. Innerhalb der u-förmigen oder coaxialen Sonde zirkuliert ein Wärmeträgermedium, das die Hitze aus der Tiefe an die Oberfläche transportiert. Dabei ist die Wärmeübertragungsfläche gegenüber offenen Systemen in vergleichbarer Tiefe relativ gering, weshalb das Verfahren weniger ertragreich ist. Jedoch ist diese Art der Wärmeentnahme im Prinzip an jedem Standort möglich.

Während Thermalwasser seit Jahrtausenden zu balneologischen Zwecken und schon im 14. Jahrhundert in Zentralfrankreich (Chaudes-Aigues) mittels Fernwärmenetz zum Heizen genutzt wurde, entdeckte man es zu Beginn des 20. Jahrhunderts auch für die Stromerzeugung. Dabei werden über ein Wärmeträgermedium Turbinen angetrieben. Zur wirtschaftlichen Nutzung sind Temperaturen von über 100°C erforderlich, Entsprechend arbeitet das erste geothermische Kraftwerk (400 MW), das 1913 im toskanischen Lardorello errichtet wurde, mit vulkanischem Wasserdampf. Zur Optimierung von geothermischen Kraftwerken bietet sich die Kraft-Wärme-Kopplung an. Die geothermische Stromproduktion konzentriert sich auf

Regionen mit außergewöhnlich hohen unterirdischen Temperaturen, zum Beispiel durch Vulkanaktivität, an denen heißes Thermalwasser sprudelt, und hat im weltweiten Vergleich einen untergeordneten Stellenwert. Die bisher insgesamt existierenden 300 geothermischen Kraftwerke erbringen zusammen lediglich die Leistung eines einzigen Atomreaktors (8.900 MW).

Größere Bedeutung kommt der Geothermie zu Heizzwecken zu, die sich mit einer Gesamtwärmeleistung von 100.000 MW in den letzten 10 Jahren verdreifacht hat. Zum Heizen lassen sich wesentlich niedrigere Temperaturen als zur Stromerzeugung nutzen. Die Wärmepumpe, die die Temperaturen anhebt, ist dabei der Dreh- und Angelpunkt. Mit diesem Hilfsmittel kann das Erdreich auch als saisonaler Wärmespeicher wechselweise zum Heizen oder Kühlen genutzt werden. In einem solchen System wird zum Beispiel im Winter mit Wasser aus einem unterirdischen Wasservorkommen (Aquifer) geheizt. Dabei kühlt sich das gespeicherte Wasser soweit ab, dass damit im Sommer gekühlt werden kann. Während des Kühlvorgangs erwärmt sich das Wasser wiederum für den Winter. Im Idealfall halten sich beide Energiemengen die Waage.

Was bei saisonalen Speichern nützlich ist, kann bei größeren geothermischen Anlagen, die dem Erdreich dauerhaft Wärme entnehmen, problematisch sein. Zumindest ist derzeit nicht eindeutig absehbar, wie lange ein ausgekühlter Erdkörper braucht, bis sich die natürlichen Temperaturverhältnisse durch Nachströmen der Energie aus dem Erdinneren wiedereinstellen. Die Wirtschaftlichkeit der Nutzung von Geothermie, hängt im Wesentlichen von den Investitionskosten, den Unterhaltskosten und der Nut-

zungsdauer ab. Besonders effizient erscheinen Projekte, die Restprodukte des Tunnelbaus (30 bis 34°C warmes Wasser) oder stillgelegter Bergbauanlagen (60 bis 120°C heißes Formationswasser) einer geothermischen Nutzung zuführen.

Grundsätzlich gilt für Geothermie: Je höher die Temperatúrausbeute, desto tiefer muß man bohren, und umso teurer und riskanter wird die Unternehmung. Wir wissen über die Hölle 500 m unter unseren Füßen weit weniger als über den Himmel über uns. Je nach Bodenverfügbarkeit kann ein flach verlegter Erdwärmekollektor mit niedriger Temperatúrausbeute sinnvoller sein als eine Tiefenbohrung mit unsicherem Ausgang. Im innerstädtischen Bereich dagegen kann sich die Investition einer Tiefenbohrung lohnen. Bei der Vorstellung von Hochhäusern, die eng an eng ihre Fühler ins Erdreich stecken, stellt sich allerdings die Frage, in welchem Umfang man der Erde Wärme entziehen kann, ohne dabei die Temperatur des Nachbargrundstücks zu beeinflussen. Bei dichteren Bebauungen kann die im Erdboden gespeicherte Wärmemenge knapp werden. Andererseits wird gerade in Ballungsgebieten dem Untergrund wieder neue nutzbare Energie zum Beispiel durch die Verkehrsinfrastruktur zugeführt. Derzeit konzentriert sich der Markt der Geothermieanlagen auf Einfamilienhäuser.

Julia von Mende

Photovoltaik

Mit Solarzellen lassen sich die Sonnenstrahlen in Strom umwandeln. Energetisch nutzbare Sonneneinstrahlung steht auch in unseren Breitengraden ohne große regionale Unterschiede mehr als ausreichend zur Verfügung. Je exponierter die Solarfläche zur Sonne steht, desto höher die Energieausbeute. Die aus energetischer Sicht günstigste Position in unseren Breiten ist eine Ausrichtung nach Süden bei einer Neigung von ca. 30 Grad. Doch auch an West- oder Ostfassaden erreichen Photovoltaikmodule noch akzeptable Energieerträge.

Durch die finanziellen Anreize des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) amortisieren sich Photovoltaikanlagen nach rund 10 bis 15 Jahren. Die energetische Rücklaufzeit, d.h. die Spanne zur Rückgewinnung der bei der Modulproduktion eingesetzten Energie beträgt durchschnittlich 3 bis 5 Jahre.

Herstellung

Solarzellen werden überwiegend aus Silizium in Wafertechnologie hergestellt. Dabei wird das Silizium geschmolzen und aus den kristallin erstarrten Blöcken in dünne Scheiben ("Wafer") gesägt. Der Wirkungsgrad der Solarzellen liegt bei rund 11 bis 20 %, daraus ergeben sich Modulwirkungsgrade von etwa 10 bis 18 %.

In einem alternativen Verfahren zur Wafertechnologie werden die Silizium-solarzellen in dünnen Bändern ("Ribbons") kontinuierlich produziert und abgeschnitten. Gegenüber der Wafertechnologie bedeutet das weniger Produktionsschritte, geringen Materialverbrauch und weniger Herstellungskosten. Der Modulwirkungsgrad liegt hier bei rund 13 %.

Die Dünnschichttechnologie eröffnet neue Perspektiven für das architektonische Gestalten mit Solarzellen. Bei diesem recht neuen Verfahren, Solarzellen herzustellen, wird ein Halbleitermaterial auf einen Träger, meist eine Glasscheibe in Größe des endgültigen Solarmoduls, aufgedampft. Die Schichten von 3 Mikrometer Stärke sind rund hundert Mal dünner als ein herkömmlicher Wafer.

Wird Silizium in Dünnschichttechnologie auf eine Trägerglasscheibe aufgedampft, entstehen amorphe Strukturen und die entstehende Schicht wirkt rötlich (burgunderrot, dunkelrot). Das Verfahren benötigt zwar wenig Ausgangsmaterial, hat aber auch einen Nachteil: Die Solarmodule bringen es bisher nur auf einen Wirkungsgrad von 6 bis 8 %. Alternative Halbleiter in der Dünnschichttechnologie erreichen ähnlich hohe Wirkungsgrade wie Siliziumwafer.

Ein neues Herstellungsverfahren ist das sogenannte Crystalline Silicon on Glass (CSG). Dabei wird eine äußerst dünne Siliziumschicht von weniger als 2 Mikrometer direkt auf eine Glasscheibe aufgebracht und durch Erhitzung kristallisiert. Die mit dieser Technologie erzeugten Module weisen Wirkungsgrade um 8 % auf.

Farbstoffsolarzellen wandeln Sonnenlicht – ähnlich wie bei der Photosynthese – mit Hilfe eines organischen Farbstoffes in elektrisch angeregte Ladungsträger um. Transparenz und Farbe sind variabel herzustellen. Diese Zellen sind jedoch noch nicht marktreif.

Neben Glas als Trägermaterial für Solarzellen in Dünnschichttechnologie kommen auch andere Materialien in Frage, die die hohen Aufdampftemperaturen bis um 500 Grad vertragen. Als alternative Trägerschicht eignen sich Edelstahlfolien z.B. aus Titan, bestimmte Polymerfolien oder Keramikplatten. Die industrielle Umsetzung dieser Produkte ist jedoch noch nicht erreicht.

Zellfarben

Die Farbigkeit von Solarzellen ist – unabhängig von der Herstellungsweise – aus physikalischen Gründen eingeschränkt. Je dunkler die Farbe, desto höher die Absorption des Lichtes und desto höher die Energieausbeute: Photovoltaikmodule mit kristallinen Siliziumzellen liegen standardmäßig im blauen Farbspektrum. Photovoltaikmodule mit amorphen Siliziumzellen sind rötlichbraun. Solarzellen aus alternativen Halbleitern sind meist schwarz, bei Cadmium-Tellurid mit einem grünlichen Schimmer oder bei Kupfer-Indium-Diselenid mit einem bräunlichen Schimmer. In der Dünnschichttechnologie sind Farbvariationen je nach Qualität der Absorberschicht prinzipiell möglich.

Bei kristallinen Siliziumzellen reichen die technologisch machbaren Farben von blaugrün über goldgelb bis magentarot. Graue Zellen sind ebenfalls möglich, wenn man wie bei den anderen nicht-blauen Zellen Ertrags-einbußen in Kauf nimmt: Je heller die Absorberfläche, desto mehr Licht wird reflektiert und kann nicht zur Energieerzeugung verwendet werden.

Modulaufbau

Da der Ertrag einzelner Solarzellen nur gering ist, wird eine große Zahl von Zellen in sogenannten Modulen elektrisch verschaltet. Dazu werden sie zwischen Gläsern oder Folien eingebettet (laminiert). Die Lamination dient dem mechanischen Schutz der empfindlichen

Solarzellenschicht. Der Herstellungsprozess ist ähnlich wie in der Verbundglastechnologie.

Kontaktbändchen führen bei kristallinen Siliziumzellen von einer Zelle zur nächsten und am Ende der Kette zur Anschlussdose. Bei den Dünnschichtmodulen verbindet eine elektrisch leitende Schicht die einzelnen Zellstreifen, so dass nur zwei Kontaktbändchen am Modulrand für die Verbindung zur Anschlussdose nötig sind.

Auch die Leistung eines einzelnen Moduls reicht meist nicht zum Betrieb eines elektrischen Verbrauchers. miteinander verschaltet ergeben mehrere Module einen Solargenerator, der den Strombedarf von elektrischen Geräten decken oder zumindest unterstützen kann. Eine Anlage mit einer Nennleistung von einem Kilowatt liefert in unseren Breitengraden einen Jahresertrag zwischen 700 und 800 Kilowattstunden. Oder anders ausgedrückt: ein Quadratmeter Generatorfläche – bei einem Systemwirkungsgrad von 10 % und optimaler Generatorausrichtung – 100 Kilowattstunden.

Sonnenschutz und Blendschutz

Da ein großer Teil der solaren Einstrahlung von den Zellen absorbiert wird, ist der Gesamtenergiedurchlasswert (g-Wert) von Verbundgläsern mit einer Solarzellenschicht geringer als bei herkömmlichen Verbundgläsern. Die Gläser eignen sich daher hervorragend zum Sonnen- und Blendschutz. Je nach Abstand der Zellen können die Paneele zur Tageslichtnutzung eingesetzt werden. Der Lichtdurchlassgrad muss mit der Wirksamkeit des Moduls abgestimmt werden, denn je höher die Transparenz, desto geringer die elektrisch wirksame Fläche. Die Photovoltaikmodule werden zum Lichtfilter, der – je nach den optischen Eigenschaften der Abdeckscheiben – farbneutrales Licht durch die Zellzwischenräume ins Rauminnere lässt.

Kristalline Siliziumzellen liegen im allgemeinen in einem Abstand von 2–5 mm. Dies erzeugt eine Art Karo-Muster mit expressiven Licht-Schatten-Spielen im Rauminneren. Ein Standardmodul, in dem die 150 x 150 mm² großen Siliziumzellen im Abstand von 2–3 mm verlegt sind, hat eine Lichttransmission von rund 10 %. Das genügt, um Bereiche ohne besondere Tageslichtanforderungen, z.B. Treppenhäuser oder Foyers, partiell ausreichend zu belichten.

Dünnschichtzellen sind flexibler in den geometrischen Abmessungen. Die Zellen bestehen aus 4–20 mm breiten Streifen im Abstand von 0,2–0,3 mm.

Der kaum sichtbare Zellabstand bewirkt, dass ab einem Abstand von 2 Metern die Fläche optisch zu einem einheitlichen Ganzen verschmilzt.

Die Dünnschichtmodule eignen sich deshalb besonders gut für einen wirk-samen Blendschutz. Je nach erforderlicher Transparenz werden kleine Bereiche der elektrisch aktiven Beschichtung entfernt. Die dabei entstehenden Muster sind sehr fein mit einer Lochgröße im Millimeterbereich oder schmalen, durch-sichtigen Streifen. Die Belichtung im Rauminneren wird kontrastarm, blendfrei und homogen.

Neue Entwicklungen

Mit der Solarzelle ist ein neues Bauma-terial (aus der Halbleiterphysik) und ein neues Bauprodukt (die Module) in die Architektur eingezogen. Besonders die neuen Entwicklungen in der Dünnschichttechnologie versprechen vielfältige Gestaltungspotenziale, da Texturen und Strukturen dem baulichen Kontext angepasst werden können.

Das Erscheinungsbild der Module hängt von Oberfläche und Struktur des Deckglases ab. Um eine hohe Moduleffektivität zu erreichen, ist eine gute Transmission bis auf die Zelloberfläche nötig. Die dunkle Oberfläche der Module resultiert aus der optischen Kopplung von Zellen und Glas, selbst wenn farbige Deckgläser verwendet werden. Dies kann durch eine Luftschicht vermieden werden. Dann wird die Modulfarbe von der Kombination der Zellfarbe und dem Deckglas bestimmt. Ist das Glas zudem rau und texturiert, reduziert das die bislang störende Reflektion. Raumseitig entstehen neue Farben, wenn sich das Grau der Zellrückseite mit einem farbigen Glas mischt, das rückseitig auf das Trägerglas auf laminiert wird oder wenn auf dem Trägerglas eine hauchdünne Schicht aufgedampft wird, welche über Interferenz einen Farbeindruck erzeugt.

Zur Verbesserung des Wirkungsgrads wird an neuartigen Zellkonzepten wie billigen amorphen Multispektralzellen ("Tandemzellen" oder "Tripelzellen") gearbeitet. Mehrere Zellschichten werden bei diesem Herstellungsprozess aufeinander "gestapelt", wodurch eine hohe Lichtausbeute und Modulwirkungsgrade von mehr als 12 % erzielt werden. Langfristig erscheint es sogar denkbar, die Zellen noch dünner zu machen. Flexible Substrate und noch dünnere Schichten eröffnen weitere neue Anwendungsmöglichkeiten im Bereich von Mobilität und Architektur.

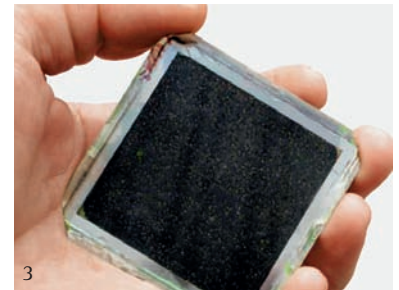
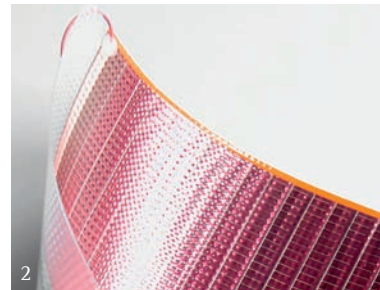
Susanne Rexroth

Solarzellen

1 Flexible Dünnschichtsolarzelle aus kristallinem Silizium, Wirkungsgrad 20 %. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme Freiburg (ISE), www.ise.fraunhofer.de



2 Laminat aus 2 ETFE-Folien mit dazwischenliegenden Solarzellen aus amorphem Dünnschicht-Silizium. SolarNext AG, www.solarnext.de



3 Solarzelle aus 0,2 mm kleinen Glaskügelchen mit Kupfer-Indium-Disulfid Beschichtung. Bisheriger Wirkungsgrad: 5 %, Labor-muster der Fa. Scheuten Solar. www.scheuten.com



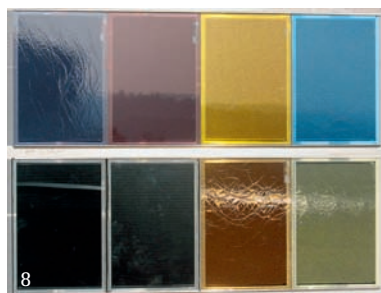
4 Kupfer-Indium-Disulfid auf Kupferband zur Weiterverarbeitung z.B. im Kunststofflaminat für stromproduzierende Taschen, Membrankonstruktionen o.ä. Odersun, www.odersun.de



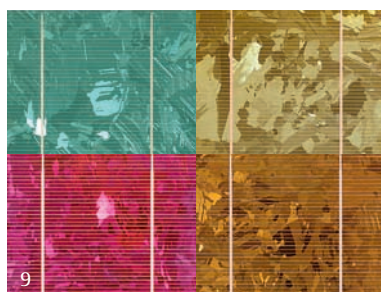
5 Halbtransparente Module aus kristallinem Silizium mit gelasener Lochstruktur. Sunways AG, www.sunways.de



6 Verbindung von transparenten Solarzellen mit Hochleistungs-LEDs in einem Paneel. Tagsüber produziert das transluzente Paneel den Strom für die nachts leuchtenden LEDs. Sharp Electronics Europe GmbH, www.sharp.de



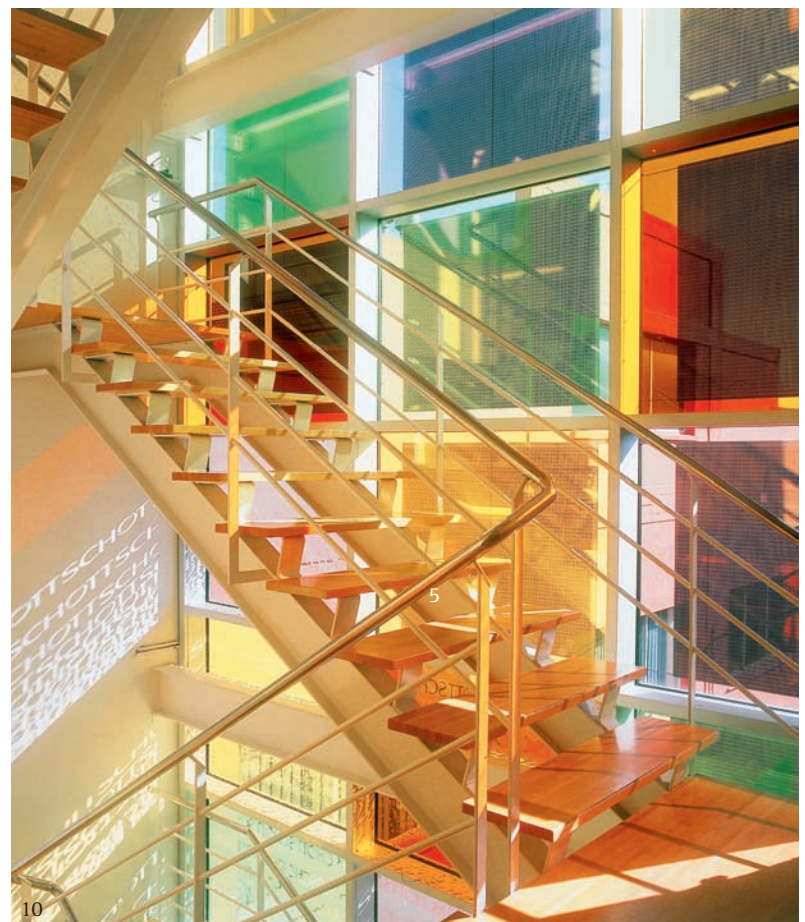
7 Weiterentwicklung der in den 90iger Jahren von Grätzel entdeckten Farbstoff-Solarzelle. Im Labor wurden Wirkungsgrade bis zu 8 % erreicht. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme Freiburg (ISE), www.ise.fraunhofer.de

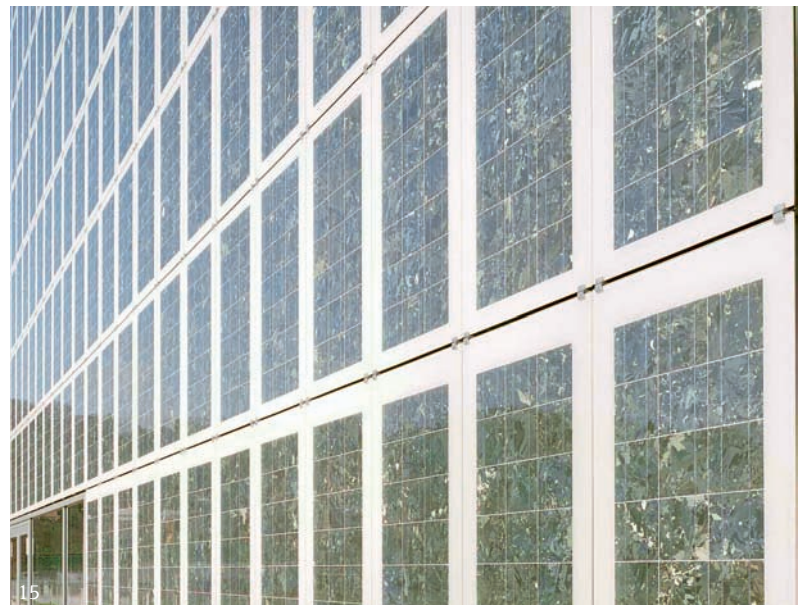
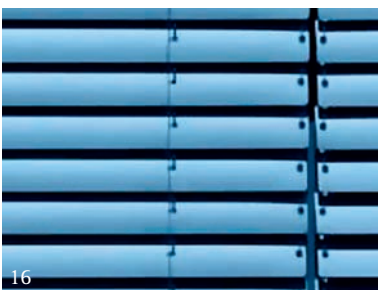
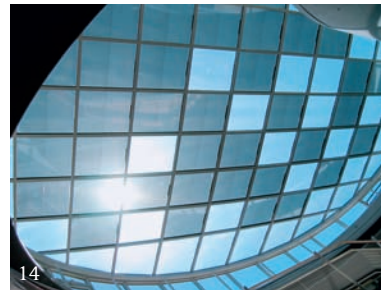
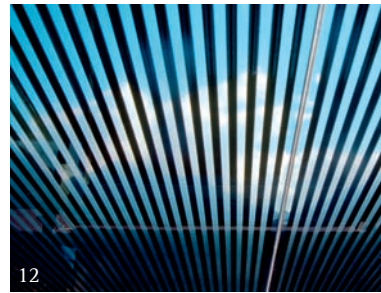


8 CIS-Zellen mit farbigen Deckgläsern. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW), www.zsw-bw.de

9 Farbige multikristalline Siliziumzellen. Sunways AG, www.sunways.de

10 Photovoltaikmodule aus der Kombination semitransparenter Module mit Farbglas im Isolierglasverbund. SCHOTT Iberica SA, www.schott.com





11 Sporthalle Burgweinting, Regensburg, Tobias Ruf, 2004. An die Himmelsrichtung angepasste Glasfassade. Norden: Standard-Isolierverglasung, Ost-/Westseite: lichtstreuende Isolierverglasung Okalux-K mit Kunststoffhohlfasern und Glasvlies im Scheibenzwischenraum, Süden: lichtstreuende PV-Fassade aus multikristallinen Solarzellen. OKALUX GmbH, www.okalux.de

12 Verwaltungsgebäude der Würth Holding, Chur, D. Jüngling + A. Hagmann, 2002. Kombinierte Beschattungs- und Photovoltaikanlage. Die Oberlichter aus teiltransparenten Photovoltaikmodulen sind mit einer verstellbaren Storeanlage versehen. Die Lichttransmission der gestreiften CIS-Module liegt bei 50 %. Würth Solar GmbH & Co. KG, www.wuerth-solar.de

13 Modulares System für das geneigte Dach aus Solarkollektoren, Photovoltaikmodulen und Wohndachfenstern. Roto Bauelemente Vertriebs-GmbH, www.roto-frank.com

14 Grundschule an der Markgrafenstraße, München, Krug und Partner, 2002. Isolierglaselemente im Wechsel mit teiltransparenten Dünnschichtmodulen in Überkopfverglasung. Schott AG, www.schott.com

15 TüArena, Tübingen, Allmann Sattler Wappner, 2004. Die Süd-Westfassade liefert mit grün gefärbten Solarmodulen knapp 30.000 KWh Strom jährlich. Sunways AG, www.sunways.de

16 Studie zu Sonnenschutzlamellen mit integrierten Dünnschichtsolarmodulen: Wenn die Jalousien heruntergefahren sind, wird Strom produziert. www.sunthink.de

17 Gemini Haus, Weiz, E. Kaltenegger, 2001. Beweglicher Glaslamellenvorhang mit monokristallinen transparenten Solarzellen und Hologrammfolie zur Wirkungsgradsteigerung Sunways AG, www.sunways.de

18 EWE-Arena, Oldenburg, Arat, Siegel, Schust, 2005. Mit Photovoltaikmodulen bestücktes Sonnensegel. Colt International GmbH, www.colt-info.de

19 Stromerzeugende flexible Kunststoff-Dachbahn mit drei amorphen Siliziumzellenschichten, die jeweils unterschiedliche Wellenlängen des Sonnenlichts nutzen. Die Solarzellen sind transparent verkapselt. alwitra Flachdach-Systeme GmbH & Co., www.alwitra.de

20 Aluminiumtafeln mit photovoltaischem Laminat. Corus Bausysteme GmbH, www.kalzip.com

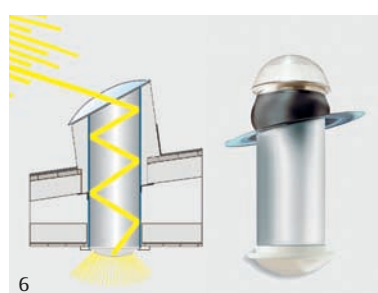
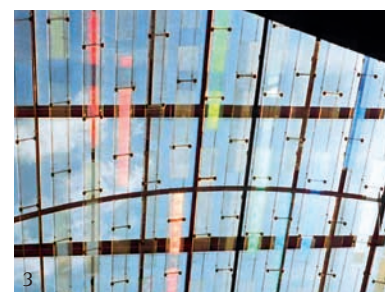
Sonnenschutz / Lichtlenkung

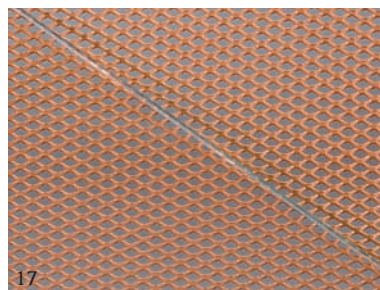
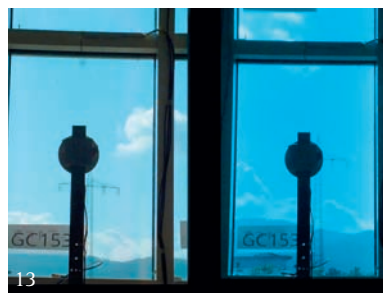
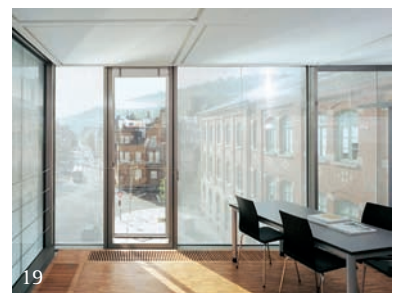
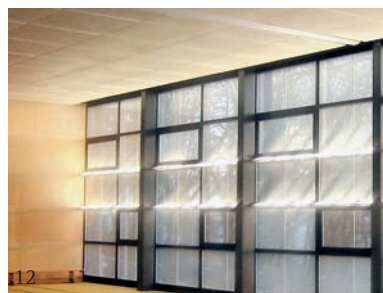
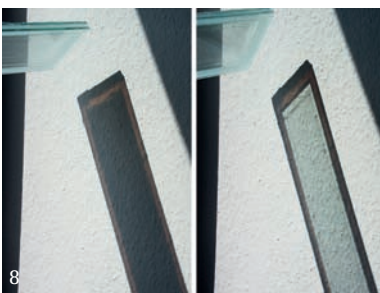
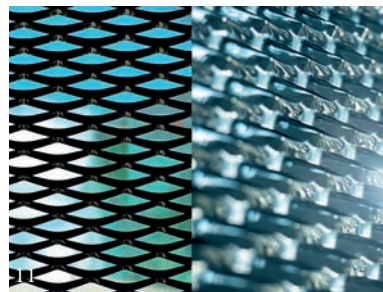
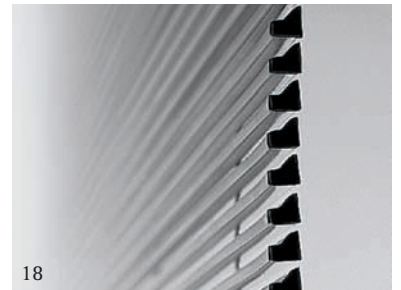
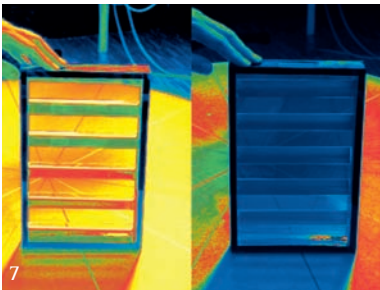
Ein neues Allheilmittel gegen erhitzen Sonnenstrahlen gibt es nicht. Es scheint, als wäre die effizienteste Methode immer noch der außenliegende Sonnenschutz. Jedoch wird darauf häufig aus formalen oder konstruktiven Gründen – schließlich muss der Sonnenschutz an Hochhausfassaden enormen Windgeschwindigkeiten standhalten – verzichtet. Entwicklungsschwerpunkt sind neben stabilen und möglichst feingliedrigen außenliegenden Systemen die Integration von Sonnenschutz in die Glasebene und die Kombination mit Lichtlenksystemen.

Lichtlenksysteme, z.B. der Sonne nachgeführte Heliostaten, können Licht durch Spiegelung ins dunkle Gebäudeinnere lenken, so dass dort auf elektrisches Licht verzichtet werden kann. Dies ist in kleinerem Maßstab auch mit verspiegelten Röhren möglich: Miro Lightpipe lenkt z.B. mit Hilfe eloxierter PVD-beschichteter MIRO-SILVER® Aluminiumbänder Tageslicht auch bei niedrigem Sonnenstand durchs Dach in den Innenraum. Auch Kapillarröhrchen können Tageslicht tief in den Raum hinein streuen. Im Scheibenzwischenraum bieten sie gleichzeitig Sonnen- und Blendschutz und ermöglichen zusätzliche solare Energiegewinne. Die Befüllung des Scheibenzwischenraums hochisolierender Doppel- und Dreifachverglasungen mit funktionalen und dekorativen Einlagen eignet sich sowohl zur Lichtlenkung als auch zum Sonnenschutz. Für die Bibliothek in Des Moines entwickelte OKALUX eine Dreifach-Isolierverglasung mit Kupfer-Streckmetalleinlage, die als Sonnen- und Blendschutz dient. Insbesondere bei hohen Sonnenständen im Sommer schirmt das Streckmetall aufgrund seiner Geometrie die Sonne ab. Sogar Lamellen können in Isoliergläser eingebracht werden. Im Landesdenkmalamt in Esslingen reflektieren Spiegel in fresnelscher Anordnung auf mikrostrukturierten Lamellenoberflächen die Sonneneinstrahlung nach draußen. Durch Rotation der Lamellen im Scheibenzwischenraum dringt das Licht in unterschiedliche Raumtiefen ein.

Einen konstruktiv unsichtbaren Sonnenschutz bieten beschichtete bzw. prismatisch strukturierte Gläser oder elektrochrome und gasochrome Verglasungen, die sich auf Knopfdruck dunkel verfärben. Ihre Sonnenschutzwirkung soll vergleichbar sein mit einem außenliegenden Sonnenschutzsystem.

1 Falls Leisure Centre, Belfast, McKnight, Fitzgerald & Ass., 2004, Isolierverglasung mit Kapillarröhrchen im Scheibenzwischenraum, Okalux GmbH, www.okalux.de
 2, 3 Hologramme: Besucherzentrum Solarfabrik, Shell AG, Gelsenkirchen, Innenhof Rathaus Pforzheim, Holotec GmbH, www.holotec.de
 4 King Saud Moschee, Jeddah, Saudi Arabien, 1988
 5 Heliostat, FH Rhein-Sieg, Rheinbach, 1998, beide Projekte: Bomin Solar GmbH, www.bomin-solar.de
 6 Miro Lightpipe ALANOD Aluminium-Veredlung GmbH & Co.KG, www.alanod.de, www.mirosolar.com, Foto rechts: P. Bartenbach
 7 Fassadenelement mit metallisch bedampften Glaslamellen, P. Dreher, TU Mün.
 8 Prismatischer Sonnenschutz SOPRI, ZAE Bayern, www.zae-bayern.de
 9 Am Kaiser's Turm, Heilbronn, müller.architekten, 2005, selbstreinigendes Sonnenschutzglas Pilkington Activ Suncool, Pilkington Deutschland AG, www.pilkington.de
 10 CombiSol Sonnen- und Blendschutzraster, Siteco Beleuchtungstechnik GmbH, www.siteco.de
 11 Isolierglasverbundtechnik mit dreidimensionaler Streckmetalleinlage, Eckelt Glas GmbH, www.eckelt.at
 12 Lindenparkschule, müller. architekten, 2004, Köster Lichtplanung, www.koester-lichtplanung.de
 13 Elektrochrome und gasochrome Verglasungen. www.eu-swift.de
 14 LC-Verbundglas ipaview CF, Interpane Glas Industrie AG, www.interpane.de
 15 Makrostrukturierte Tageslicht-Retrolamelle
 16 Mikrostrukturierte Tageslicht-Retrolamelle, beides Köster Lichtplanung
 17 Bibliothek, Des Moines, Iowa, USA, D. Chipperfield, 2005, Dreifach-Isolierverglasung mit Kupfer-Streckmetalleinlage, OKATECH, Okalux GmbH, www.okalux.de
 18 Externer Sonnenschutz, s_en, clauss markisen Projekt GmbH, www.s-en.com
 19 Landesdenkmalamt, Esslingen, O. Reutter, Fassaden- und Tageslichtplanung H. Köster, 2003, Lichtlenksystem OKASOLAR RETRO, Okalux GmbH, www.okalux.de





Eine neue Generation von Dämmstoffen

Fasziniert von entmaterialisierten Ikonen der Moderne jagen wir beim Dämmen einem Schlankeitswahn hinterher. Angesichts der in die Jahre kommenden Bauten und erhöhter Anforderung an Gebäudehüllen werden im Folgenden Dämmsysteme vorgestellt, die nicht nur Möglichkeiten für den Neubau, sondern auch für die energetische Sanierung als nachträgliches mehrschaliges Dämmen eröffnen.

Ziel einer Dämmung ist es, die Abgabe thermischer Energie von Räumen oder Gegenständen an ihre Umgebung zu verhindern, d.h. die Dämmung sollte unterbinden, dass sich Teilchen (Moleküle bzw. Atome) gegenseitig in Schwingung versetzen und dadurch ihre Energie weitergeben. Dies kann auf zweierlei Arten erreicht werden: Entweder durch Einschränkung des Bewegungsraums der Teilchen, indem die Luft in Form von Luftkissenfolien, Fasern oder feinporigen Schäumen in möglichst kleine Portionen verpackt wird, oder durch Verbannung der Teilchen aus der Dämmung, indem man die Luft einfach aus dem Dämm-Material herausaugt oder durch ein besser geeignetes Gas ersetzt.

Einen Sonderfall stellt die Transparente Wärmedämmung (TWD) dar. Sie kombiniert Dämmung mit solarer Strahlungsenergie und erzielt dadurch einen energetischen Vorsprung gegenüber den kalten Außentemperaturen. Als Temperaturpuffer reicht bereits eine Glas-scheibe, mit Abstand vor der Fassade angebracht. Die Luft hinter der Glas-scheibe erwärmt sich, die Wärme wird in der Wand gespeichert und zeitverzögert an den Innenraum abgegeben. In der Siedlung Hofberg konnte eine Einsparung von 80 % der Heizenergie aus der Kombination einer Solarpufferwand und Spezialfenstern erreicht werden.

Üblicherweise besteht TWD aus einer transparenten Kunststoffwaben- bzw. Faser- oder Porenstruktur und einem dahinterliegenden Absorber. Aus ästhetischen Gründen wird häufig auf den Absorber verzichtet, so dass die TWD sich auf ein gut gedämmtes transluzentes Bauteil reduziert oder eine opake Wabe als Absorber wirkt. Je feinporigere eine Dämmung, desto höher ihr Dämmwert. Ab einer bestimmten Größe ist einfach kein Platz mehr für die Teilchen, um zu schwingen. Besonders interessant für TWD sind daher transluzente Aerogele. Silicia-Aerogele enthalten mehr als 95 % Luft, die in Poren von ca. 20

Nanometern ruht. Dabei wird eine Wärmeleitfähigkeit von 0,018 W/mK bei gleichzeitiger Lichtstreuung erreicht.

Thomas Herzog baute bereits 1994 in einem Atelierhaus in Bayern Glaspaneele mit Aerogelfüllung ein, wodurch ein U-Wert von 1,0 W/m²K erreicht wurde. Inzwischen werden aerogelgefüllte Glaselemente (Okalux) oder Kunststoffplatten auf dem Markt angeboten. Aerogele werden derzeit auf ihre Tauglichkeit für Sanierung geprüft (IPEG Institut Paderborn). Im Versuch wurde das Aerogelgranulat ähnlich wie bei einer Kerndämmung in eine Giebelwand eingeblasen. Reduziert man nicht nur den Bewegungsraum der Teilchen, sondern saugt ihn auch noch weitgehend leer, könnte man die Dämmeigenschaften von Aerogelen noch steigern. Möglich ist dies mit einer zusätzlichen Evakuierung eines granulatgefüllten Scheibenzwischenraums (Jan Cremers).

Die anfangs erwähnte Entmaterialisierung muss nicht im Widerspruch zum Dämmen stehen, schließlich ist das Nichts der beste Dämmstoff, und das ist bekanntlich unsichtbar. Die Schwierigkeit besteht nur darin, das Nichts sichtbar zu machen und ihm mit einem geeigneten Gefäß beizukommen, das dem Luftdruck standhält. Bei einer zylindrischen Thermoskanne bietet die Form bereits ausreichend Stabilität. Schwieriger wird es bei einem flächigen Paneel. Um zu verhindern, dass es in sich zusammensackt, muss entweder die Hülle entsprechend stabil sein oder durch Abstandshalter in der Fläche stabilisiert werden. Bisher bewährt haben sich hochdruckfähige (10 t/qm) Schäume oder offenporige Materialien ohne chemische Ausdampfung, die in hochdichten Folien eingeschlossen und evakuiert werden. Angeboten werden verschiedene Varianten der sogenannten Vacuum-Insulation-Panels (VIPs) vom Fassadenbauteil aus Glas mit VIP-Kern über Sandwichpaneele mit unterschiedlicher Kaschierung bis zur Betonfertigwand mit VIP-Kern. Sinnvoll erscheint der Einsatz von VIPs, wenn bei geringster Aufbauhöhe ein größtmöglicher Dämmwert erzielt werden soll wie z.B. bei mobilen Kleinsträumen, oder wenn die Dimensionierung des Innenraums keine großen Aufbauhöhen für Dämmung mehr erlaubt.

Grundsätzliche Probleme der VIPs sind ihre leichte Verletzbarkeit, die verhältnismäßig großen Wärmebrücken an den Stoßfugen und die Bindung an vor-

gefertigte Maße. Mehrlagige Matten mit Vakuum-Päckchen ähnlich Eisbeutel- oder Luftpolsterfolien wären dagegen vor Ort anpassbar. In seiner Dissertation "Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle" hat Jan Cremers eine nichttragende membranartige Fassadenkonstruktion entwickelt. Jeweils 2 Matten mit quadratischen evakuierten Zellen werden zueinander versetzt angeordnet, um die Wärmebrücken an den Siegelnähten zu minimieren. Stabilisiert wird die Wand durch eine vorgespannte Stahlseilnetzkonstruktion. Zu erwarten sind U-Werte bis zu 0,1 W/m²K. Das System wäre grundsätzlich auch mit transluzenten/transparenten Vakuumdämmsystemen z.B. aus evakuiertem Aerogel denkbar, solche Dämmsysteme sind aber derzeit noch nicht verfügbar.

Eine mattenartige Dämmung mit evakuierten Glasfaserkissen wurde bereits für Heißwassertanks, Kühltürme oder für Kleidung und Isomatten entwickelt (Chip-Vacua). Unklar ist jedoch, wieviel Wärme über die Siegelnähte verloren geht und inwieweit die Folie und insbesondere die gepressten Fugen einem Innendruck von 0,1 mbar auf Dauer standhalten. Eine andere Möglichkeit den festgelegten VIP-Formaten zu entkommen, wäre ein Evakuieren von Kapseln, die man in Wandzwischenräume einfüllen oder als Zuschlagstoff verwenden könnte. Derzeit wird die Möglichkeit erforscht, millimeterkleine Glaskügelchen zu evakuieren.

Ebensowenig neu wie Aerogele oder VIPs sind Vakuum-Isolations-Gläser (VIGs). Jedoch bieten bisher nur ein japanisches (Nippon Sheet Glass Co. Ltd.) und ein chinesisches Unternehmen (Qingdao Hengda Industry Co. Ltd.) ein VIG mit einem bescheidenen U-Wert von etwa 1,1 W/m²K an. Der atmosphärische Druck auf evakuierte Flachgläser ist mit 10 t/qm gewaltig, und nur ein dauerhaftes Vakuum garantiert einen guten Wärmeschutz. Jedoch wäre ein VIG gegenüber einem 3-Scheiben-Aufbau mit Edelgasfüllung (U-Werte von 0,5 bis 0,7 W/m²K) leichter und schlanker. Im VIG-Verbundprojekt wurde ein Glas mit einer dauerhaften Vakuumdichte entwickelt, das U-Werte von etwa 0,5 W/m²K erzielt. Glasnoppen dienen als Stützen zwischen den Glasscheiben. Die Markteinführung ist für 2009 geplant.

Julia von Mende

1 Solares Fassadensystem Lucido®. Die Wärmeeinstrahlung wird in der Pufferzone hinter dem Glas von den Holzlamellen absorbiert und in der Wand gespeichert. Die Horizontallamellen verschatten den Absorber im Sommer und verhindern die Überhitzung. Links: Solar-siedlung Hofberg in Wil mit Lucido Fassade, Schweiz, Fent Solare Architektur, 2004-2009. Lucido® Solar AG, www.lucido.ch

2 Lichtdurchlässige gesponnene Glasfasern im doppel-schaligen U-Profilglas: U-Wert von bis 1,1 W/m²K. Das Glasgespinst weist eine niedrigere Lichtdurchlässigkeit auf als wabenförmige Strukturen, besitzt aber eine wesentlich stärkere Lichtstreuung. Wacotech GmbH & Co.KG, www.wacotech.de

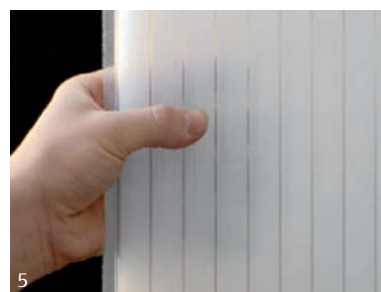
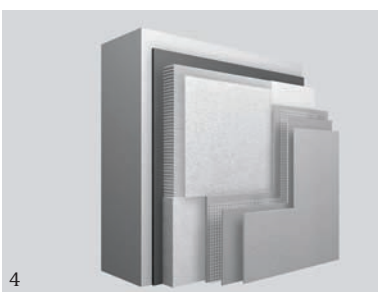
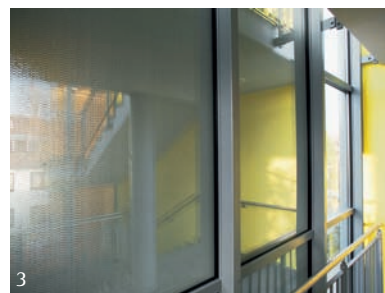
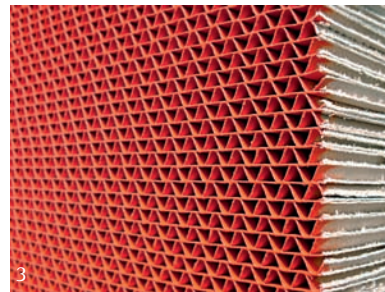
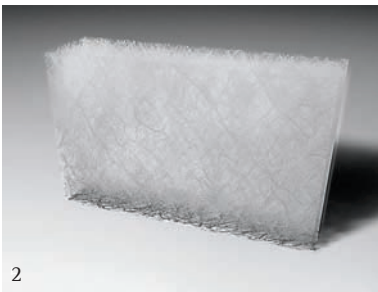
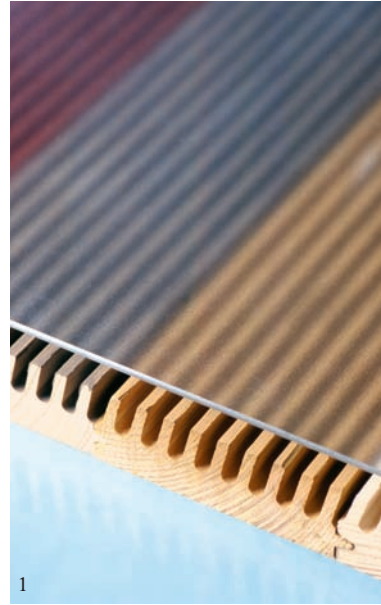
3 Gap-Solarfassade: Zellulosewabe mit hinterlüfteter Schutzverglasung. Die flache Wintersonne erwärmt die Wabenstruktur auf bis zu 80°C. An der Außenseite der Wand bildet sich eine warme Zone, die den Temperaturunterschied ausgleicht. Möglich sind U-Werte von 0,02–0,08 W/m²K. gap-solar GmbH, www.gap-solar.at

4 Sto Solar-Fassadenelement: Die lichtdurchlässige Kapillarplatte mit transparentem Glasputz wird als Ökoornament in die Fassade integriert. Sto AG, www.sto.de

5 LEXAN® THERMOCLEAR® Paneel mit Nanogel®-Füllung. Die UV-beständigen Polycarbonat-Stegdoppelplatten lassen sich ohne Vorformung kalt in enge Radien biegen. Foto: J. Cremers, GE Plastics, www.geplastics.com

6 OKAGEL: Der Zwischenraum des Isolierglases ist mit transluzentem Nanogel® gefüllt. Je nach Scheibenaufbau lassen sich Ug-Werte von mindestens 0,3 W/(m²K) und hervorragende Schalldämmwerte erzielen. Okalux GmbH, www.okalux.de

7 Aerogelgefüllte, faserverstärkte Kunststoffpaneele, High Crest School, High Wycombe, UK. Cabot Corporation, www.cabot-corp.com



Dämmstoffe

8 Schaltbare Wärmedämmung mit evakuiertem, verpresstem Glasfaserkern, der gasdicht eingeschlossen ist. Eine metallhydridgefüllte Kapsel im Inneren wird kurz aufgeheizt und dabei gebundener Wasserstoff freisetzt. Dieser diffundiert durch den Glasfaserkern und erhöht den Druck von unter 0,01 mbar auf ca. 50 mbar, der Wärmedämmwert steigt auf 10,0 W/m²K an. Beim Abkühlen der Kapsel wird der Wasserstoff resorbiert und der Druck verringert sich wieder, so daß der Wärmedämmwert bis auf ca. 0,3 W/m²K sinkt. ZAE-Bayern, www.zae-bayern.de Architekt: M. Volz, Obernburg, Foto: D. Leistner

9 Polycarbonatlamelle vor der Befüllung mit Aerogel-Granulat als temporärer Wärmeschutz. Die Anordnung der Stege wurde nach dem Wärmeﬂuß optimiert. Abbildung: Jan Cremers

10 Membranartige Fassadenkonstruktion aus evakuierten Zellen. Die Unter- und Überspannung verhindert, dass die Matten an den druckbelasteten Punkten durchdrungen werden müssen. Unten rechts: Stabilisierung der Konstruktion mittels beidseitiger "aufgebuckelter Membran" nach Frei Otto. Abbildungen aus: Jan Cremers: Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle, technologische, bauphysikalische und architektonische Aspekte München 2007

11 VIP mit hochdisperser Kieselsäure. Porextherm Dämmstoffe GmbH, www.porextherm.de

12 VIP mit schützender Polystyrolkaschierung für Wand- und Bodenverlegung. Porextherm Dämmstoffe GmbH, www.porextherm.de

13 Vorgeformte Vakuumisolation für Rohre. va-Q-tec AG, www.va-q-tec.de

14 Vakuum-Dämmmatte "Chip-Vacua" aus evakuierten glasfasergefüllten Kammern. Matsushita Electric, Panasonic, www.panasonic.co.jp

15 Kirche in Wernfeld, Architekturbüro Werner Haase, 2003. Aus denkmalpflegerischen Gründen war eine konventionelle Dämmung nicht möglich. Mit den VIPs konnte die Aufbauhöhe entsprechend verringert werden. va-Q-tec AG, www.va-q-tec.de

16 Zweifamilienhaus in Massivholzbauweise, München, Florian Lichtblau, 2002. Außenwanddämmung aus vorgefertigten Vakuumisulationspaneelen. Der Fassadenaufbau erlaubt ein Austauschen von beschädigten VIPs. Die Gesamtwanddicke beträgt weniger als 20 cm bei einem U-Wert von 0,14 W/m²K.

17 Trittschalldämmung mit evakuiertem Kern. Die aktuelle Anforderung an eine Geschossdecke gegenüber einer Fremdwohnung von U = 0,35 W/m²K kann bei einer Schichtdicke von 2,3 cm gegenüber einem herkömmlichen Bodenaufbau von 14 cm erfüllt werden. Polywert GmbH und Porextherm Dämmstoffe GmbH, www.polywert.de, www.porextherm.de

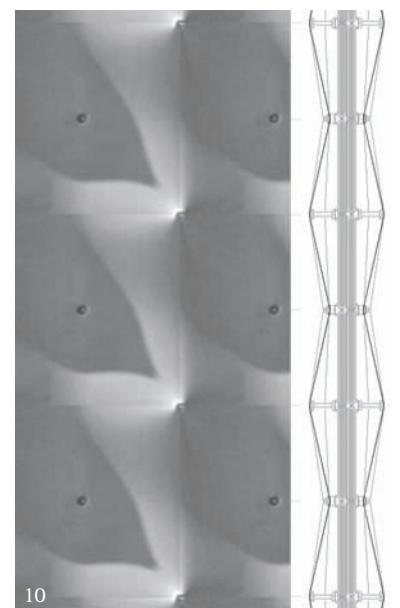
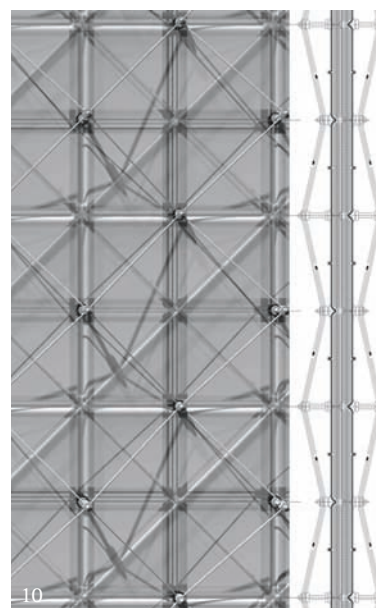
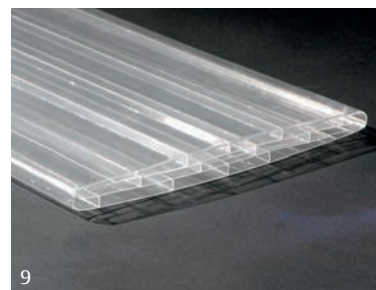
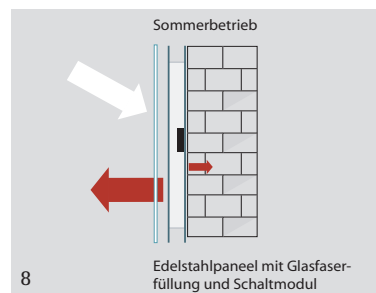
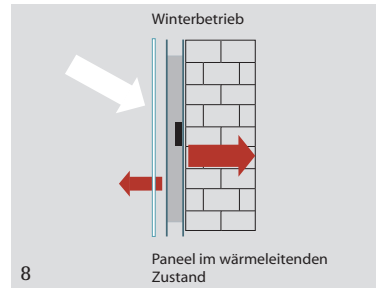
18 Entwicklung eines variablen, passivhaustauglichen Komfort-Raummoduls für Wohn- und Verwaltungsgebäude. VARIOTEC GmbH & Co. KG, www.variotec.de

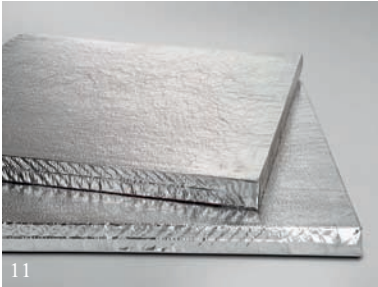
19 Nullenergiehaus Voggenthal: Die Fertigteile-Betonwände wurden mit VIPs gedämmt. VARIOTEC GmbH & Co. KG, www.variotec.de

20 Vorgefertigte Holzelemente mit integrierten Vakuumisulationspaneelen. VARIOTEC GmbH & Co. KG, www.variotec.de

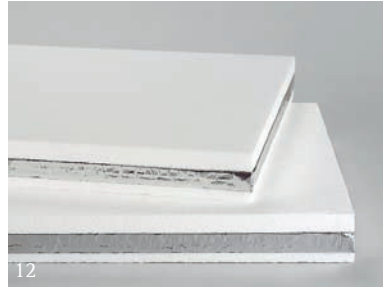
21 Vakuum-Verglasung Spacia mit Evakuieranschluss und gläsernen Abstandshaltern zwischen den beiden Glasscheiben. Nippon Sheet Glass Co., Ltd. www.nsg-spacia.co.jp, Foto: Jan Cremers

22 Vakuumisulationsgläser auf der GlasTec 2007. VIG-Verbundprojekt, www.vig-info.de





11



12



13



14



15



16



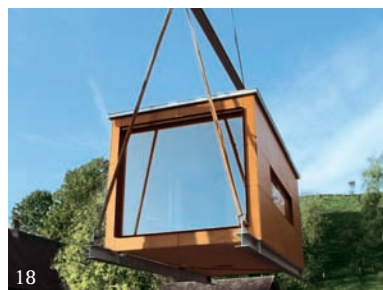
19



21



17



18



20

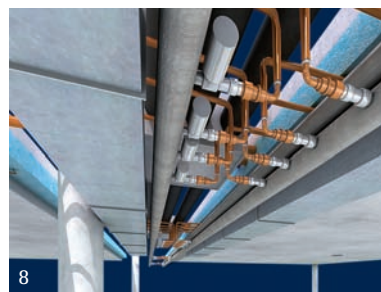
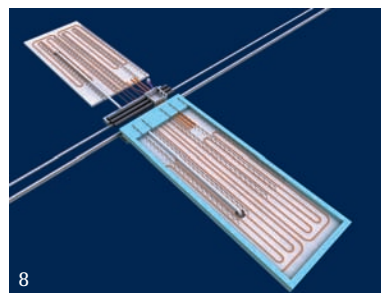
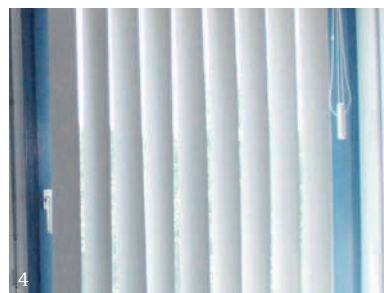


22

PCM

Der Einsatz von Latentwärmespeichern zum Ausgleich fehlender Speichermasse in Gebäuden ist nichts Neues (siehe archplus 172). Überraschend vielfältig gestaltet sich jedoch das Baustoffsortiment mit Phase Change Materialien (PCMs). Neben Einzelprodukten wie Putzen, Gipsbauplatten, Paneelen oder Betonsteinen werden auch Systemkomponenten wie Kühldeckenelemente oder Kühlgeräte mit PCMs angeboten. Interessant ist der Einsatz von PCMs zur Gebäudetemperierung im Zusammenhang mit Flächenkühlung oder -heizung und Möglichkeiten der Speicherentladung unter Ausnutzung regenerativer Energien wie Geo- oder Solarthermie. Berechnungsmodelle und Computerprogramme zur dynamischen Gebäudesimulation mit PCM-Systemen sind in der Entwicklung.

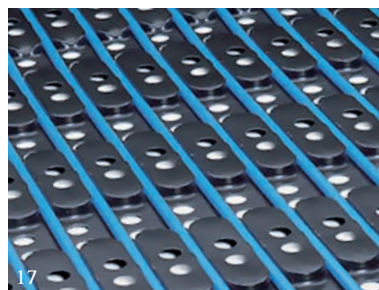
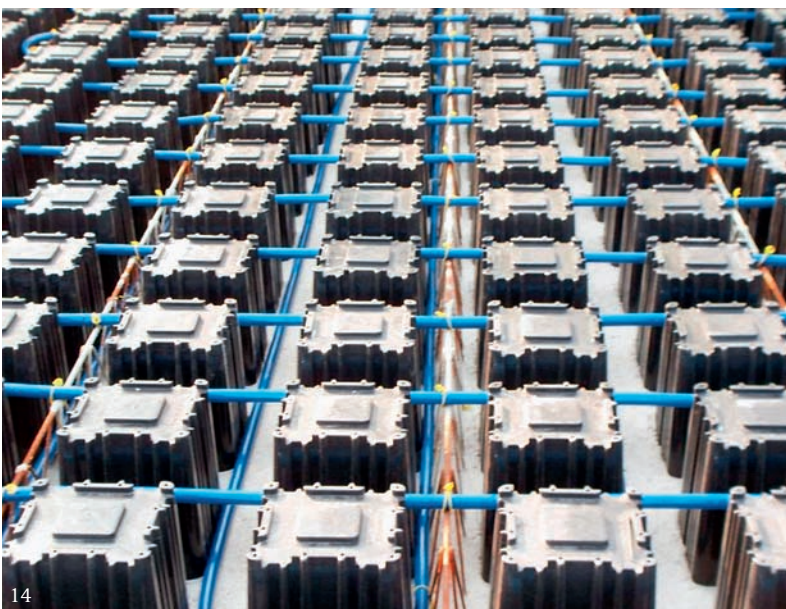
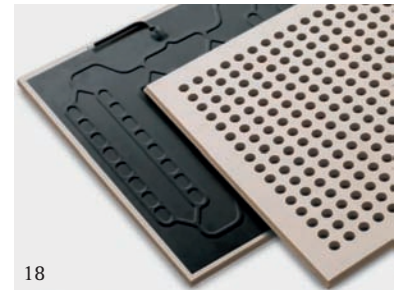
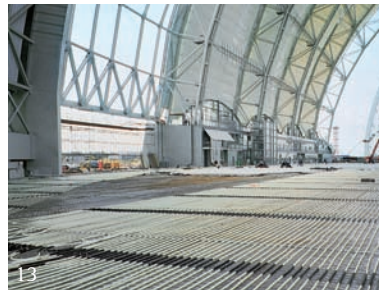
- 1 Aluminiumlaminiertes PCM, www.dupont.com
- 2 Das Lüftungsgerät lädt seine PCM-Akkus nachts auf, um damit tagsüber Spitzentemperaturen auszugleichen. Emco Bau- und Klimatechnik GmbH & Co. KG, www.emco.de
- 3 PCM-gefüllte Holzständerwand
- 4 PCM-beschichtete Jalousie, www.zae-bayern.de
- 5 In Kettenbeuteln verpackte PCMs auf abgehängten Decken. In Versuchsräumen wurde mit DELTA®-COOL 24 eine Temperatursenkung von bis zu 6°C erreicht. Dörken GmbH & Co. KG, www.doerken.de
- 6 Porenbetonstein mit integriertem mikroverkapseltem Latentwärmespeichermaterial. www.hplush.de



Bauteilaktivierung

Nutzt man die Gebäudemasse zur Temperaturregulierung, erfolgt die Energieübertragung zwischen den Nutzern und den aktivierten Flächen überwiegend durch Strahlung, was u.a. wegen der Zugluftvermeidung als behaglich empfunden wird. Die im Vergleich zu Heizkörpern großen Flächen, die bei der Bauteilaktivierung erwärmt werden, ermöglichen niedrigere Vorlauftemperaturen als bei herkömmlichen Heizsystemen. So kann Solar- oder Geothermie in Kombination mit Wärmepumpen eingesetzt werden. Um Bauteile als Übertragungs- und Speichermasse thermisch zu aktivieren, werden heute wasserführende Kunststoffrohrleitungen direkt in die Bauteile eingelegt. Bei der Betonkernaktivierung werden die Rohrleitungen im Rohbau in die Stahlkörbe der Stahlbetonbauteile integriert.

Inzwischen gibt es Fertigdecken mit eingelegten Rohrregistern oder Mauerwerkssysteme mit vorgefertigten Hohlräumen für Rohrleitungen. Im Sanierungsfall können auch nur die oberen Schichten eines Bauteils mit vorgefertigten Leitungssystemen oder Kapillarrohrenmatten aktiviert werden. Betonkernaktivierung eignet sich zur Kombination mit Geothermie. In erdberührte Bauteile eingelegte Rohrleitungen nehmen die Erdenergie auf, um damit das Gebäudeinnere je nach Jahreszeit zu kühlen oder zu wärmen. Kapillarrohrenmatten wirken – direkt in die Erde eingelegt – sogar wie ein Hochleistungs-Wärmetauscher. Bei der Verwendung von Kapillarrohrenmatten als Erdwärmekollektoren reduziert sich die Entzugsfläche auf dem Grundstück gegenüber herkömmlichen Single-Rohr-Flächenkollektoren um bis zu 50 %.



7 Kalksandsteinmauerwerk mit vorgefertigten Installationskanälen. Bauen mit System KS-QUADRO e.V., www.ks-quadro.de
8 Stahlbetonfertigteiledecken mit integrierter Installationsführung für Lüftung, Heizung und Kühlung. CON4 AG, www.con4.ag
9 Solarzellenbeschichtetes Betonfertigdach mit integrierten Absorberrohrleitungen. Die Effizienz der PV-Module

steigt durch die Kühlung über die wasserführenden Rohre. iRoof® / iWall®, HeidelbergCement AG
10 Thermoaktive Decken als Stahlbetonfertigteile. ENERCRET Nägele Energietechnik GmbH & Co, www.enercret.com
11 Integration von Kunststoffrohren mit zirkulierender Absorberflüssigkeit in Fundamentbauwerke. Die Flüssigkeit transportiert die

Energie aus dem Erdreich in die Gebäudetechnik-Zentrale. ENERCRET s.o.
12 Im Armierungskorb eingebundene Kunststoffschläuche eines Stahlbetonbauteils. ENERCRET s.o.
13 Mit der Flächenheizung konnte die ehemaligen Cargo-lifter Halle zum Freizeitbad umgenutzt werden. Tropical Island, Brandenburg, Roth Isocore, ROTH WERKE GMBH, www.roth-werke.de

14 In zwei Richtungen tragendes thermisch aktiviertes Deckensystem aus einer Schalungsplatte, die von einem Roboter mit gewichtsreduzierenden Hohlkörpern besetzt wird. Marmorith, www.airdeck.be
15 Flächenheiz- und Kühlsystem mit einer geringen Aufbauhöhe von 24,5 mm für oberflächige Verwendung. Roth Noppen-System, ROTH WERKE GMBH, www.aquatherm.de

16 Industrienoppenplatte für den Einsatz von Flächenheizungen in Objekten mit erhöhten Belastungsanforderungen. Die doppelreihig ineinander greifenden Noppen bieten gute Voraussetzungen für den Einsatz von Fließestrich. Das Heizrohr wird einfach mit dem Fuß in die Noppen eingedrückt. Roth Noppen-System, ROTH WERKE GMBH, www.roth-werke.de

17 Wasserführende flexible Kunststoff-Kapillarrohrmatten mit Röhrchendurchmesser von bis zu 3,4 x 0,55 mm. Unten rechts: Kapillarrohrmatten als Erdwärmekollektor. Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH, www.clima.de
18 Akustikdeckenpaneel mit integrierten Kapillarrohren zur Deckenkühlung. Climacoustic, fantoni group, www.fantoni.it

werk, bauen + wohnen

Jahresabonnement (10 Ausgaben, inkl. MwSt. und Versand)

Schweiz: Fr. 200.– | Studenten Fr. 140.–

Ausland: € 135.–/Fr. 220.– | Studenten € 95.–/Fr. 145.–

Probeabonnement (3 Ausgaben, inkl. MwSt. und Versand)

Schweiz: Fr. 50.– | Studenten Fr. 35.–

Ausland: € 35.–/Fr. 60.– | Studenten € 28.–/Fr. 40.–

Einzelhefte (inkl. MwSt. zuzüglich Versand)

Schweiz: Fr. 25.– Ausland: € 16.–/Fr. 25.–

werk, bauen + wohnen | Redaktion und Verlag

Talstrasse 39 | CH – 8001 Zürich

Tel. +41 (0)44 218 14 30 | Fax +41 (0)44 218 14 34

info@wbw.ch | www.werkbauenundwohnen.ch



6|07 Transit



7-8|07 Hochwasser




9|07 Fenster



10|07 Für die Jugend et cetera

Architektur lesen.



Innovationen in Glas

Rathaus Galerien, Innsbruck:
Die weiß anmutende Verglasung mit
Kapillareinlage dient als Sonnen- und
Blendschutz und sorgt für weiches Licht
in den Büroräumen.

Tageslicht nutzen – Strom sparen

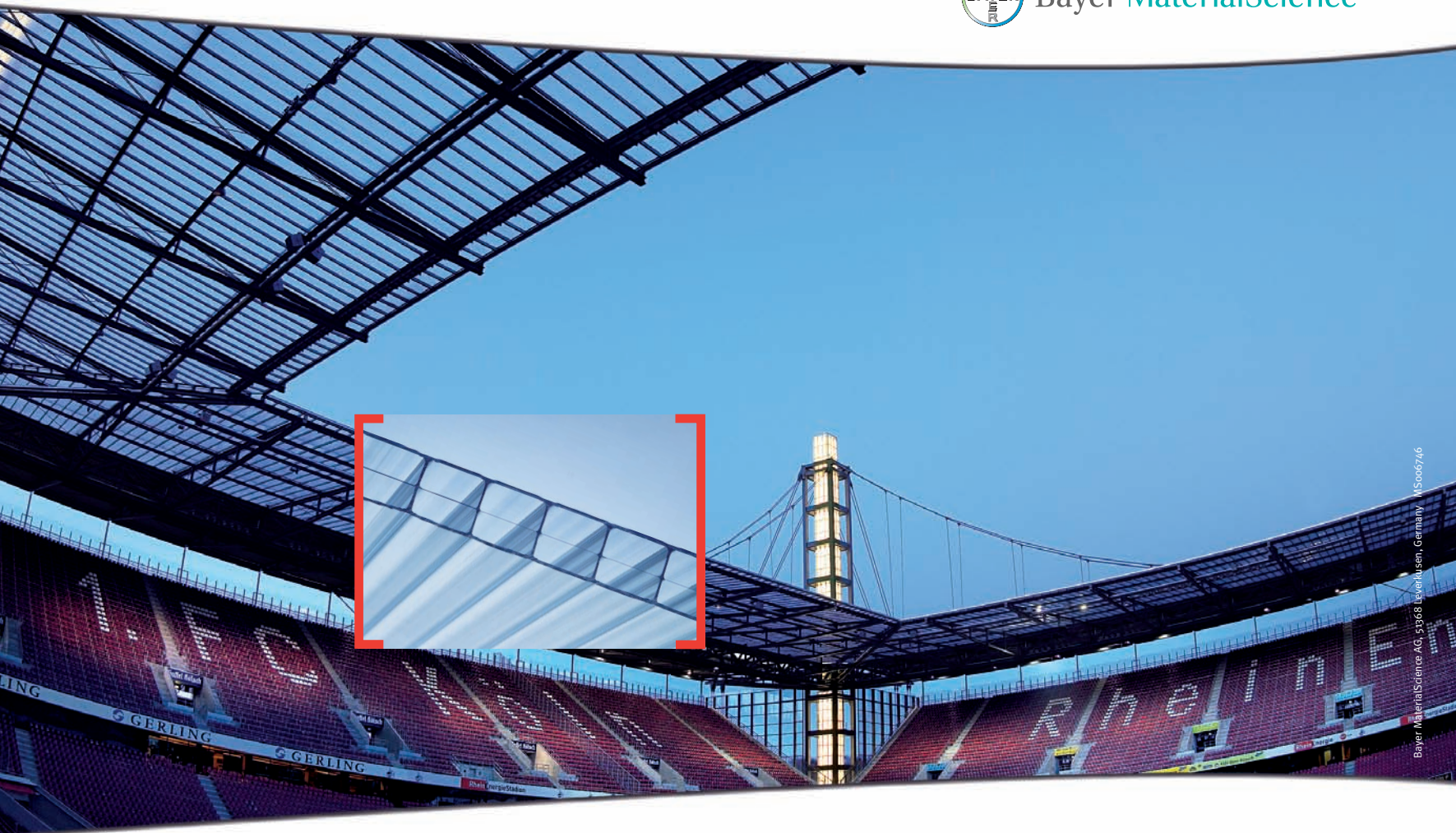
OKALUX Isoliergläser mit Kapillareinlage bringen viel mehr natürliches Licht in Verwaltungs- und Industriebauten. Trotz der hohen Lichttransmission sorgt die Kapillareinlage für **effektiven Sonnen- und Blendschutz**. So schaffen Sie eine **angenehme Arbeitsatmosphäre** und halten die Stromkosten für künstliche Beleuchtung niedrig.

Weitere Anregungen zum Energiesparen? Rufen Sie uns an oder schauen Sie im Internet unter **www.okalux.com**.

**sehr guter Ug-Wert
hohe Lichttransmission**



Wir denken Architekturglas weiter.



Makrolon® Effekt [ˌmakroˈloːn ɛˈfɛkt] = **quer denken,** **Visionen tragfähig realisieren**

Bei internationalen und nationalen Renommierprojekten wird auf und mit Makrolon® gebaut. Denn wer von Architekten zur Realisierung ihrer Visionen eingeladen wird, muss auch auf seinem Gebiet visionär denken und handeln. Wie beim Ausbau des RheinEnergyStadions in Köln, bei dem unsere Produktentwickler mit ihrem Know-how schon in der Planungsphase involviert wurden. Mit dem Ergebnis, dass heute 15.414 m² Makrolon® Platten bis zu 51.000 Zuschauern Schutz geben. Auf Feuer, Sturm und UV-Schutz getestet, halten sie auch Begeisterungstürmen während der Fußballweltmeisterschaft stand.

Mehr über den Makrolon® Effekt erfahren Sie hier: www.makrolon-effekt.de. Wie er sich maßgeschneidert für Sie auswirkt, erfahren Sie aber nur in einem persönlichen Gespräch: **+49 214 30 53871**.

