

## Solares Bauen

### Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung

Seit die ersten industriell gefertigten Anlagen zu Beginn der siebziger Jahre in Deutschland erhältlich wurden, hat sich in unseren Breiten ein Standard-Design, bestehend aus den Hauptkomponenten thermischer Sonnenkollektor, Pumpe, Speicher und Regelung als getrennte Bauteile, durchgesetzt. Der Wärmetransport geschieht durch eine frostgeschützte Wärmeträger-Flüssigkeit, die ihre Wärme über einen Tauscher an das Brauchwasser im Speicher abgibt. Technische Weiterentwicklungen beschränken sich im wesentlichen auf Weiterentwicklungen dieser Komponenten.

#### Kollektoren

Zunehmend werden Kollektoren mit weitgehend luftleerem Zwischenraum zwischen Absorber und transparenter Abdeckung eingesetzt, um Wärmeverluste durch Konvektion zwischen transparenter Abdeckung und Absorber zu minimieren. 1991 betrug der Anteil vakuumisolierter Kollektoren, bezogen auf konventionelle wärmegeämmte Kollektoren, bereits 40%.

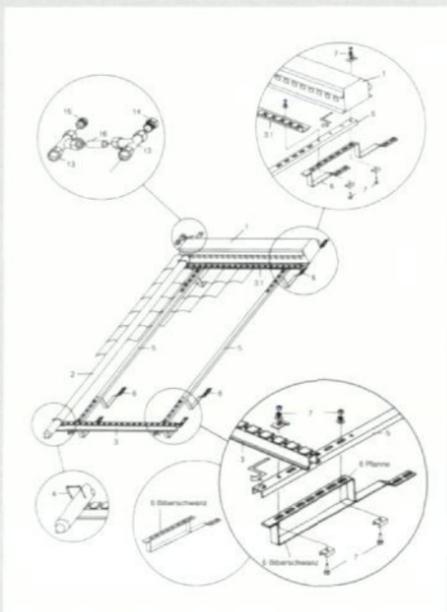
Untersuchungen der Solar-energie Prüf- und Forschungsstelle (SPF - ITR) an der Ingenieurschule Rapperswil zufolge erreichen Vakuumröhrenkollektoren die höchsten Wirkungsgrade von allen getesteten Kollektorarten - sie gehören mit Preisen zwischen 1000 - 2700 DM pro Quadratmeter installierter Absorberfläche aber auch zu den teuersten thermischen Sonnenkollektoren (Flachkollektoren: 400 - 1000 DM). Für einen im Schnitt etwa 10 - 15% höheren Jahreswirkungsgrad muß also mit doppelt so hohen Investitionskosten gerechnet werden. Zu berücksichtigen ist allerdings auch die zu erwartende Langlebigkeit von Vakuumröhrenkollektoren; eine vor 15 Jahren in Betrieb genommene, vom BMFT geförderte Versuchsanlage in Freiburg zur Warmwasserversorgung eines Mehrfamilienhauses läuft immer noch nahezu störungsfrei (Solarhaus in Freiburg-Tiengen).

Zwischen den Vakuumröhren- und den Flachkollektoren angesiedelt und relativ neu (seit 1987) auf dem Markt sind

vakuumisolierte Flachkollektoren, die sich auch preislich zwischen den beiden erstgenannten Bauarten bewegen. Vakuumröhrenkollektoren lassen sich unterteilen in solche, die nach dem 'Heatpipe'-Verfahren arbeiten, und solche, die direkt von der Wärmeträgerflüssigkeit durchströmt werden. Beim 'Heatpipe'-Verfahren befindet sich in der evakuierten Glasröhre ein Wärmerohr, in dem bei Sonneneinstrahlung eine Flüssigkeit (Methanol) verdampft; der Dampf steigt dann zum Kopf der Röhre, wo er kondensiert und dabei die Wärme über einen Wärmetauscher an den Kreislauf zwischen Speicher und Kollektor abgibt. Aus der Arbeitsweise ergibt sich, daß 'Heatpipe'-Vakuumröhrenkollektoren mit Schräglage eingebaut werden müssen, damit die Flüssigkeit vom Kopf des Kollektors wieder ins Wärmerohr zurücklaufen kann, nachdem sie dort kondensiert ist (typisch sind mindestens 25 Grad Neigung). Kollektoren mit Direktdurchströmung benutzen in der Regel Wasser als Wärmeträgerflüssigkeit; sie können in beliebiger Lage montiert werden. Der Absorber wird durch Drehen innerhalb der Glasröhre ausgerichtet. Als Vorteil des 'Heatpipe'-Bautyps kann gelten, daß eine 'trockene' Anbindung des Wärmetauscherkopfes an die Zirkulationsleitung möglich ist; der Austausch einzelner Röhren kann ohne Entleerung der Zirkulationsleitung erfolgen.

**Mazdon 20R / 30R**  
Solatherm GmbH  
Affinger Straße 3  
86167 Augsburg  
Tel. 0821 - 704016

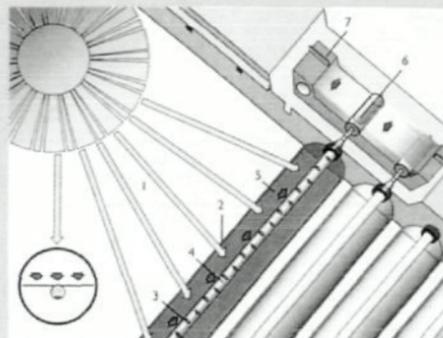
Das Mazdon-System arbeitet nach dem 'Heatpipe'-Prinzip. Ein Modul besteht aus 20 oder 30 Röhren und ist 2040 mm hoch, 1500 bzw. 2210 mm breit und 161 mm tief. Die Kollektoren werden trocken über einen fle-



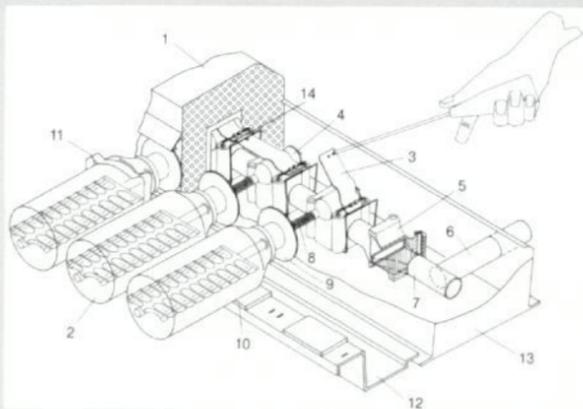
xiblen Edelstahlbalg mit der Sammelleitung verbunden. Der Absorber besteht aus einem selektiv beschichteten Kupferblech. Ein Kollektor besitzt 0,1 qm Absorberfläche.

**Sol 200 / Sol 300**  
Stiebel Eltron GmbH + Co KG  
Dr.-Stiebel-Straße  
37603 Holzminden  
Tel. 05531 - 7020

Angeboten werden Vakuumröhren-Kollektoren in Modulen zu je 20 oder 30 Stück. Ein Kollektor besitzt 0,1 qm Absorberfläche. Die Höhe der Module beträgt 2040 mm, die Breite 1596 bzw. 2310 mm bei einheitlich 161 mm Tiefe.



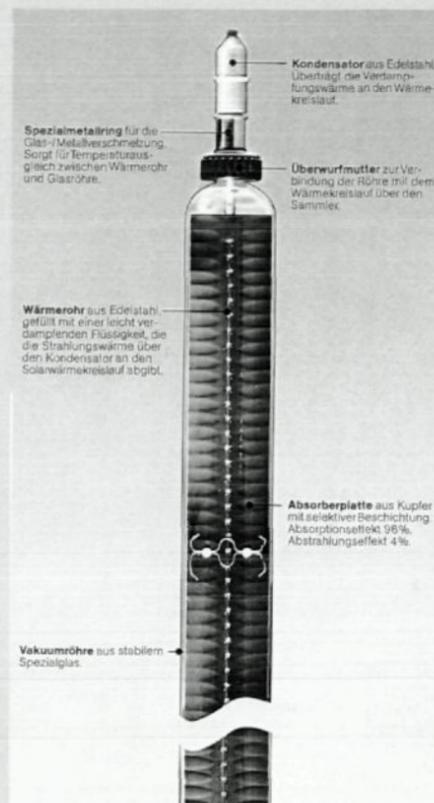
**Funktionsschema der Vakuumröhrenkollektoren Sol 200/Sol 300:**  
1 Wärmestrahlung  
2 Glasröhre  
3 Wärmerohr  
4 Wärmerohrfüllung  
5 selektiv beschichteter Absorber  
6 Kondensator  
7 Wärmeaustauscherrohr  
8 Wärmedämmung.



Links: Röhrenmontage beim Mazdon-Vakuumröhrenkollektor; untere Reihe von links nach rechts: Kollektormontage auf Dachhaken auf einem Schrägdach, mit Standfüßen auf einem Flachdach und über Schneefangrohre auf einem Welldach.

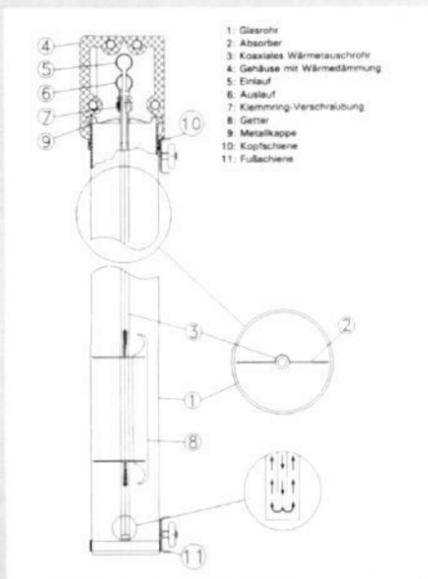
**Astron**  
Klöckner Wärmetechnik GmbH  
Mathias Brüggens Straße 76  
50827 Köln  
Tel. 0221 - 59630

Auch dieser Vakuumröhren-Kollektor wird als Modul zu 20 oder 30 Röhren angeboten. Größe, Material und Beschichtung der Absorberfläche entsprechen den vorgenannten Heatpipe-Kollektoren. Im Unterschied zu diesen wird der Astron jedoch mit einer Überwurfmutter am Sammelrohr derart befestigt, daß der Kondensator am oberen Ende des Kollektors in dieses hineinragt und vom Wasser-Glykolgemisch umströmt wird.



**Lux 2000**  
Dornier Prinz Solartechnik GmbH  
Simmerner Straße 7  
55442 Stromberg  
Tel. 06724 - 607174

Auch die Lux 2000 Kollektoren sind direkt durchströmte Vakuumkollektoren, die in Modulen zu je 6 Stück zusammengefaßt angeboten werden. Ein Kollektor besitzt 0,175 qm Absorberfläche. Der Absorber besteht aus selektiv beschichtetem Kupferblech. Das Modul ist 2220 mm hoch und 742 mm breit. Wie beim 'Tubusol' sind die einzelnen Röhren drehbar, um zum Beispiel bei einem waagerechten Einbau der Röhren vor eine Fassade die Absorber zur Sonne ausrichten zu können.



**SOL 180 plus**  
Stiebel Eltron GmbH + Co KG  
s.o.

Der Vakuum-Flachkollektor ist 2008 mm hoch, 1008 mm breit und 75 mm tief. Er hat eine 1,72 qm große Absorberfläche aus selektiv beschichtetem Aluminium. Damit der Kollektor, der nach der Montage weitgehend luftleer gepumpt wird, nicht in sich zusammenfällt, wird die Glasabdeckung durch zahlreiche kleine Abstandhalter nach dem 'Nadelkissen'-Prinzip gegen den Gehäuserücken abgestützt. Diese Abstützungsstifte durchdringen den Absorber und verkleinern die Absorberfläche geringfügig gegenüber herkömmlichen Flachkollektoren.



Links: Querschnitt Lux 2000 Vakuumröhre; Oben: Die Vakuumdämmung des Flachkollektors reduziert den Luftaustausch zwischen innen und außen und somit den Wärmeverlust.

## Regelung und Speicher

Der Wärmetransport vom Kollektor zum Speicher erfolgt in der Regel durch eine Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser mit Frostschutz Glykol). Gegenüber dem Wärmetransport mit relativ hohen Massenströmen (ca. 40 - 60 l Wärmeträgerflüssigkeit pro Stunde und Quadratmeter Kollektorfläche) gewinnt das 'Low-Flow-Konzept' an Bedeutung, das mit Massenströmen von nur 10 - 12 l/h/qm arbeitet. Während die gewünschte Aufheizung bei den hohen Volumenströmen im wiederholten Durchlauf erreicht wird, der Speicher sich also insgesamt auf das gewünschte Temperaturniveau 'hochschaukelt', wird beim Low-Flow-Konzept die gewünschte Temperatur in einem Durchlauf erreicht. Die kleineren Volumenströme senken die Verrohrungskosten sowie die Wärmeverluste.

Besondere Bedeutung kommt dem Low-Flow-Konzept in Verbindung mit sogenannten Schichtenspeichern zu. In diesen wird die vom Kollektor zurückfließende Flüssigkeit abhängig von der Rücklaufstemperatur in Schichten eingebracht; Wasser, das die gewünschte Verbrauchstemperatur hat, wird am oberen Ende des Speichers zugeführt, während Rückläufe mit geringem Temperaturniveau weiter unten zugeführt werden. So steht Wasser mit der gewünschten Entnahmetemperatur früher und häufiger zur Verfügung als bei Systemen, die den Speicherinhalt durchmischen. Es muß weniger oft nachgeheizt werden. Die Zuflußregelung erfolgt systemabhängig elektronisch oder physikalisch. Eine spezielle Ausbildung des Speicherinneren verhindert Durchmischungen der Schichtung.

**Stratos-Schichtenspeicher**  
Solvis GmbH + Co KG  
Marienberger Straße 1  
38122 Braunschweig  
Tel. 0531 - 289040

Für größere Anlagen zur Brauchwassererwärmung und für Solaranlagen mit zusätzlicher Heizungsunterstützung hat Solvis einen physikalisch geregelten Schichtenspeicher mit einer als 'Schichtenlader' bezeichneten Zuflußkontrolle entwickelt, die sich hydrostatische Druckdifferenzen zunutze macht, um zufließendes Wasser in einer Speicherschicht mit der 'passenden' Temperatur abzulegen. Der Schichtenlader besteht aus einem senkrecht im Speicher angebrachten Rohr, das mehrere gleichmäßig über seine Höhe verteilte, mit Membranen verschlossene, Auslässe besitzt. So lange das im Schichtenlader aufsteigende Wasser eine höhere Temperatur aufweist als das Wasser der umgebenden Speicherschicht, bleiben die Klappen wegen der hydrostatischen Druckdifferenz verschlossen. Bei Temperaturgleichheit innen und außen wird der Druck auf die jeweilige Klappe aufgehoben, und das Wasser kann die Klappe öffnen und ausströmen. Angeboten wird der Speicher in vier verschiedenen Größen von 750 bis 2000 Litern.

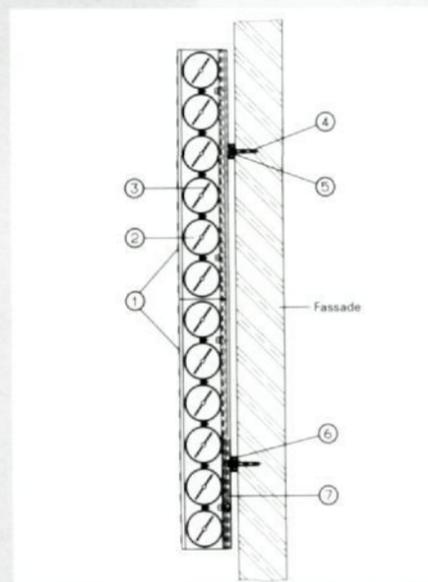
**Leitwerk-Schichtenspeicher**  
Sandler Solar  
Kurat Frank Straße 19  
87600 Kaufbeuren  
Tel. 08341 - 90220

Der Schichtenspeicher besitzt ein Leitwerk, das aus einem Zuflußrohr besteht, das zentral vom Hochpunkt der Speicherkuppel eingeführt wird und von einem Hüllrohr umgeben ist. Durch hydrostatische Druckdifferenzen nimmt das zufließende Wasser, abhängig von seiner Temperatur, verschiedene Wege in den Spei-

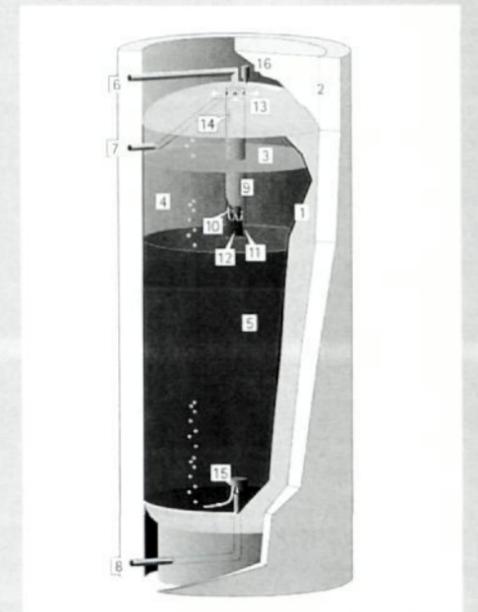
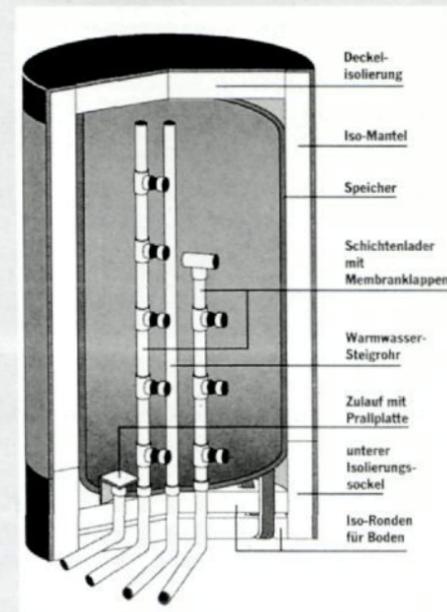
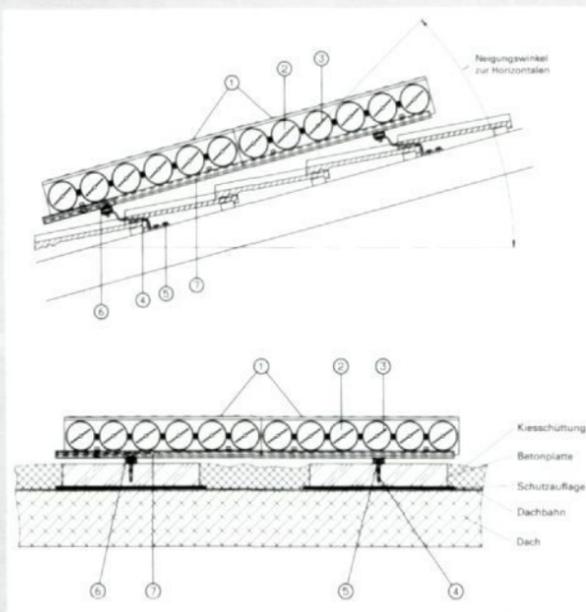
Das Leitwerk (9), aus Innen- und Außenröhre (10, 11), schichtet das Wasser im Speicher.

**Tubusol**  
Viessmann Werke  
35107 Allendorf (Eder)  
Tel. 06452 - 700

Der 'Tubusol' ist ein direkt durchströmter Vakuumröhrenkollektor, bei dem sechs Kollektoren zu einem Element zusammengefaßt werden, das 2118 mm hoch, 720 mm breit und 125 mm tief ist. Der einzelne Kollektor hat eine Absorberfläche von 0,175 qm. Die Röhren können innerhalb des Moduls verdreht werden, um den Absorber je nach Anbringung zur Sonne ausrichten zu können.



Montagevarianten der Tubusol-Vakuumröhren, von oben nach unten:  
Für Fassaden, quer zur Dachschräge und für Flachdächer:  
1 Röhrenkollektor  
2 Vakuumröhre  
3 Absorber  
4 Dübel  
5 Schraube  
6 Grundschiene  
7 Trägerschiene.



cher; heißes Wasser fließt im Spalt zwischen Hüllrohr und Zuflußrohr dem Kuppelbereich des Speichers zu, während weniger warmes Wasser ein Kissen zwischen dem kalten Speicherteil und der Kuppel bildet. Es kommen keine beweglichen Teile zum Einsatz. Die Speicherkapazität beträgt 750 Liter.

**Solarregler PS 3**  
**Pro Solar GmbH**  
 Deisenfangstraße 47 - 51  
 88212 Ravensburg  
 Tel. 0751 - 36100

Eine mikroprozessorgesteuerte Laderegulation des Speichers bietet Pro Solar an. Eine elektronische Steuereinheit erfaßt die solare Einstrahlung, die Temperaturen im Speicher oben und unten sowie im Solarkreis. Wasser mit der gewünschten Nutztemperatur wird oben in den Speicher geladen, wo es zur sofortigen Nutzung entnommen werden kann; Wasser mit geringerer Temperatur wird am Boden des Speichers zugeführt. Bei der Installation wird der Regler mit den Systemwerten programmiert. Zum Lieferumfang gehören alle notwendigen Sensoren.



### Speicherkollektoren mit TWD-Abdeckung

Eine kostengünstige Alternative zu den beschriebenen solaren Brauchwasser-Erwärmungsanlagen sind Speicherkollektoren; der Absorber dient hier gleichzeitig als Brauchwasserspeicher. Im einfachsten Fall wird der Kollektor wie ein Durchlauferhitzer in die Warmwasserversorgung eingeschleift. Pumpe, Regelung und Wärmetauscher entfallen. Der Speicherkollektor muß dafür allerdings nun allen Anforderungen gerecht werden, die an die einzelnen Komponenten komplexerer Systeme gestellt werden. Diese widersprechen sich zum Teil: die transparente Abdeckung des Kollektorgehäuses soll möglichst strahlungsdurchlässig sein; in ihrer Funktion als Speicherisolation muß sie gleichzeitig während ein-

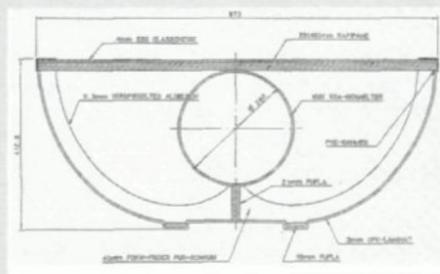
strahlungsarmer Perioden (nachts) gute wärmedämmende Eigenschaften aufweisen.

In der Vergangenheit führte dies zum Teil zu Konstruktionen, bei denen der Speicherkollektor während der Nacht mit Klappen oder Blenden abgedeckt wurde - eine aufwendige Form des Wärmeschutzes, die der Idee des Speicherkollektors, größtmögliche Einfachheit, eigentlich widerspricht.

Transparente Wärmedämmmaterialien erfüllen besonders gut die Anforderungen, die an eine Abdeckung für Speicherkollektoren gestellt werden. Nach ihrer Struktur können sie in homogene, kammerstrukturierte, ungerichtete und kapillar- oder wabenartig gerichtete Materialien unterschieden werden.

**Großspeicherkollektor**  
**Speedwave GmbH**  
 Hauptstraße 112  
 89343 Jettingen  
 Tel. 08225 - 302110

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Forschung und Technik geförderten Entwicklungsprojektes wurde von der Firma Speedwave ein Speicherkollektor mit einer Abdeckung aus transparenter Wärmedämmung aus Polymethylmetacrylat (PMMA) zur Serienreife entwickelt. Der Körper des Kollektors ist in einem Stück aus GFK gefertigt; ein Reflektor aus verspiegeltem Alublech, dessen Form mit Hilfe von Raytracing-Verfahren berechnet wurde, bildet die innere Oberfläche des Kollektorgehäuses. Der Absorber/Kollektor besteht aus einem 108 Liter fassenden, selektiv beschichteten Edelstahlrohr.



Das GFK-Gehäuse mit wassergetriebener PU-Schaum-Isolierung gibt dem Reflektor seine Form, so daß keine Stützenkonstruktion für die Spiegel erforderlich ist.

Erdsondenanlagen, von links nach rechts: Mit Koaxial- oder Bündel-Wärmetauscher (WT); mit U-Rohr-WT; mit geramnten Stahlsonden; mit vertikalen Spiral-WT; horizontaler Spiral-WT; horizontaler 'Heat-Shunt'-Kollektor.

## Erdgekoppelte Wärmepumpen

Thermosolaranlagen sind für die Raumheizung in unseren Breiten nicht praktikabel, da die Zeit der größten Strahlungsgewinne und die Zeit der größten Energienachfrage um mehrere Monate gegeneinander verschoben sind. Warmwasserspeicher mit Kapazitäten, die ausreichen, um die 'Energieernte' in den Sommermonaten als Vorrat in die einstrahlungsarmen Monate zu verschieben, sind extrem unwirtschaftlich. Es liegt nahe, sich des Erdreichs als Wärmespeicher der solaren Strahlung zu bedienen: Es ist kostenlos, sehr wärmeträg und weist vor allem schon in einer Tiefe von wenigen Metern die mittlere Jahrestemperatur von 8 bis 10° Celsius auf.

Zur Nutzung der Erdwärme benötigt man einen Erdkollektor und im Regelfall eine Wärmepumpe. Mit dem Erdkollektor entzieht man dem Erdreich Wärme oder führt ihm diese zu, falls Wärmeüberschüsse aus Solaranlagen gespeichert werden sollen. Die Wärmepumpe hebt die gewonnene Energie auf ein nutzbares Temperaturniveau. Der Wirkungsgrad der Wärmepumpe hängt dabei wesentlich davon ab, wie groß der zu überwindende Temperaturunterschied ist. Eine wichtige Voraussetzung für die effiziente Nutzung der Erdwärme sind deshalb Heizsysteme mit großen wärmeübertragenden Flächen in den zu beheizenden Räumen und mit geringen Vorlauftemperaturen.

Erdkollektoren werden als Flachkollektoren oder als Erdsonden-Kollektoren ausgeführt. Flachkollektoren werden in einer Tiefe von ein bis zwei Metern horizontal, meist in Gräben, verlegt. Neben Rohrfächern oder -mäandern in gleicher Höhe wird auch mit Anordnungen experimentiert, bei denen Rohre in verschiedener Höhe innerhalb eines Grabens verlegt werden.

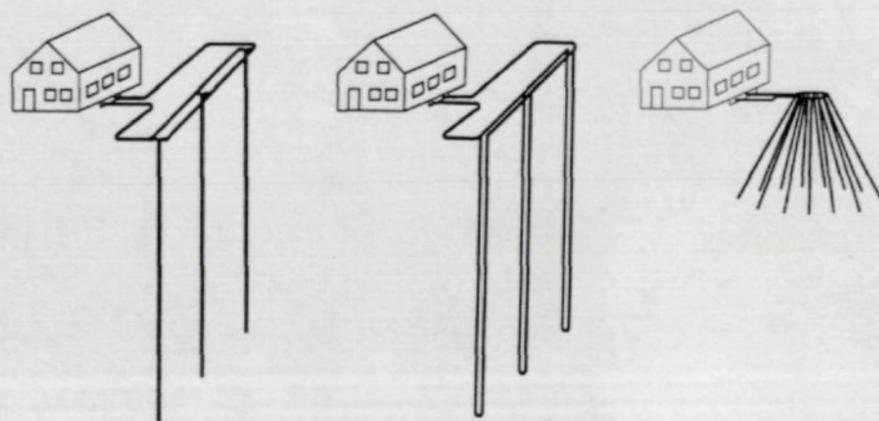
Erdsonden-Kollektoren bestehen aus Koaxial- oder U-Rohren, die senkrecht oder geneigt,

einzelnen oder von einem zentralen Bohrschacht aus ins Erdreich eingebracht werden. Die Einbringtiefe hängt von zahlreichen Faktoren ab; für kleinere Anlagen schwankt sie zwischen 15 bis ca. 40 m. Bei indirekt verdampfenden erdgekoppelten Wärmepumpen zirkuliert ein Gemisch von Wasser mit Frostschutzmittel durch den Kollektor, das die dem Erdreich entzogene Wärme über einen Wärmetauscher an das Kältemittel der Wärmepumpe (zur Zeit meist noch R22 = Chlor-Difluor-Methan) abgibt.

Nach der Komprimierung des Kältemittels wird die Wärme auf einem höheren Niveau über einen weiteren Wärmetauscher an den Inhalt eines Speichers abgegeben; von hier gelangt die Wärme über einen Niedertemperatur-Heizungskreislauf in die zu beheizenden Räume.

Durch die Antriebsenergie der die Wärmeträgerflüssigkeit umwälzenden Pumpe und durch die mehrfachen Tauscherverluste wird die Jahresarbeitszahl der oben beschriebenen Anlagen (das über das Jahr gemittelte Verhältnis zwischen eingesetzter und gewonnener Energie) beeinträchtigt. Anders bei direktverdampfenden Anlagen: hier fließt das Kältemittel der Wärmepumpe direkt durch den Erdkollektor. So lassen sich Jahresarbeitszahlen von 3,5 und mehr erreichen. Problematisch ist allerdings die Verwendung relativ großer Mengen des die Ozonschicht schädigenden Kältemittels R22; je nach Hersteller kommen zwischen 1 - 2,5 kg R22 pro Kilowattstunde installierter Leistung zum Einsatz.

Wärmepumpen sind für große Leistungseinheiten (Büro- und Mehrfamilienhäuser) als Gasabsorptions- oder Gas/Diesel/Benzinmotor-Wärmepumpen erhältlich. Über die Regelung der Drehzahl können diese Wärmepumpen stufenlos leistungsgeregt werden. Die zur Zeit in Deutschland erhältlichen Elektrowärmepumpen, die für kleine Leistungseinheiten ausschließlich zum Einsatz kommen, arbeiten dagegen mit konstanter Lei-



stung. Die Regelung der Heizleistung erfolgt über Pufferspeicher und Mischer im On/Off-Betrieb. Der Pufferspeicher sollte dabei möglichst groß gewählt werden, um die Wärmepumpe mit weniger Schaltzyklen betreiben zu können, was ihre Lebensdauer verlängert. Eine preisgünstige Alternative besteht in der Drehzahlregelung der Wärmepumpe mittels Drehstrom-Frequenzumformer. Wärmespeicher und Mischer entfallen bei dieser Bauweise. Die Leistung der Wärmepumpe wird vielmehr kontinuierlich dem Verbrauch nachgeführt. Wärmepumpen mit kontinuierlicher Drehzahlregelung erobern seit 1981 in Japan den Markt, das mit jährlich acht Millionen verkaufter Anlagen mittlerweile der weltweit größte Markt für Wärmepumpen ist. In einem vom Bundesministerium für Forschung und Technik geförderten Projekt hat das Forschungszentrum Jülich die neue Regeltechnik untersucht und positiv bewertet. Eine Markteinführung in Deutschland ist gleichwohl noch nicht erfolgt.

Eine Vielzahl von Systemen erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen konkurrieren zur Zeit miteinander; den einfachsten Fall stellt eine direktverdampfende und (zum Beispiel in Heizungsrohren im Estrich) direktkondensierende Anlage mit stufenlos geregelter elektrischer Wärmepumpe dar; komplexere Systeme arbeiten mit Solekreisläufen und Pufferspeichern, nutzen mehrere Wärmequellen oder werden im Sommer auch zur Kühlung eingesetzt.

**Wärmepumpen mit Edelstahl-Erdsonden**  
Georg Haase  
Zum Eichholz 2  
57399 Brachthausen  
Tel. 02723 - 2437

Die erdgekoppelten Wärmepumpen sind direktverdampfend. Von einem nur 120 cm durchmessenden Schacht aus, der im Keller des Gebäudes oder außen angeordnet sein kann, werden mit einem tragbaren Lafetten-

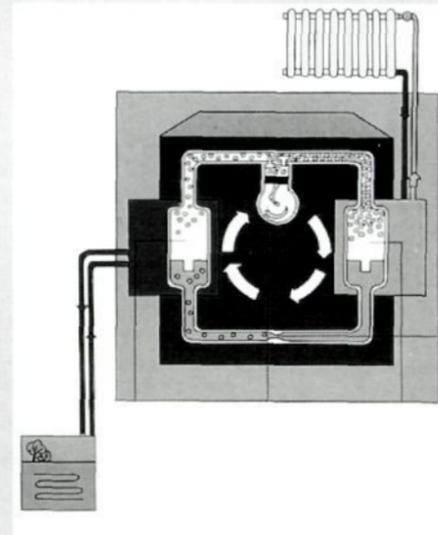
Bohrgerät Edelstahl-Erdsonden von 17 m Länge unter einem Winkel von 30 bis 60 Grad eingebracht. Der aus der Summe der eingebrachten Sonden bestehende Kollektor erhält so die Form eines mehr oder weniger aufgespannten Regenschirms. In den Erdsonden zirkuliert das Kältemittel R22. Der Kompressor des Systems wird ausschließlich über das angesaugte Gas gekühlt und hat deshalb nur sehr geringe Wärmeverluste. Ein mindestens 2250 Liter großer Pufferspeicher sorgt für lange Lauf- und Stillstandszeiten des Kompressors.

**Wärmepumpe und Blockheizkraftwerk**  
Geotherm GmbH  
Gottlieb-Daimler-Straße 10  
35440 Linden  
Tel. 06403 - 2218

Ein System mit mehrfach vernetzten Wärmekreisläufen ist von der Geotherm-GmbH in Verbindung mit der Grundag AG für ein Wohn- und Geschäftshaus in Frankfurt-Höchst realisiert worden und seit Anfang 1994 in Betrieb. Die erdgekoppelte Wärmepumpe mit einer Anschlussleistung von 58 kW bezieht ihre elektrische Antriebsenergie von zwei als Blockheizkraftwerke konzipierten Gasmotoren mit 75 und 130 kW thermischer Leistung. 32 Doppel-U-Sonden der Grundag AG (Schweiz) aus HDPE, 50 m tief entlang der nördlichen Gebäudefront eingebracht, verbinden den Wärmehaushalt des Gebäudes mit dem des Erdreichs. Es ist vorgesehen, die Abwärme der Gasmotoren, die im Sommer nicht genutzt werden kann, über die Erdsonden im Erdreich zu speichern. Außerdem soll der Solekreislauf des Erdkollektors im Sommer direkt durch die Lüftungsgeräte des Gebäudes zirkulieren und so zur Raumkühlung beitragen.

**Wärmepumpen mit horizontalem Kollektor**  
Wolf Kältetechnik GmbH  
Westerweg 2  
25860 Horstedt  
Tel. 04846 - 1791

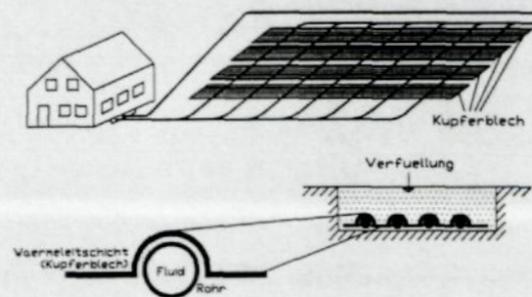
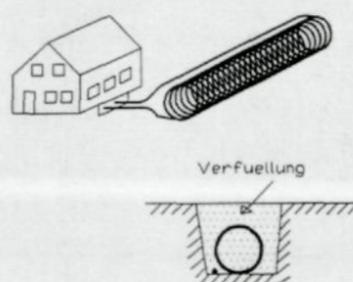
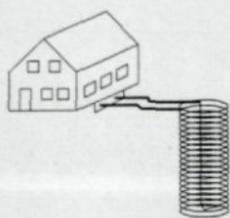
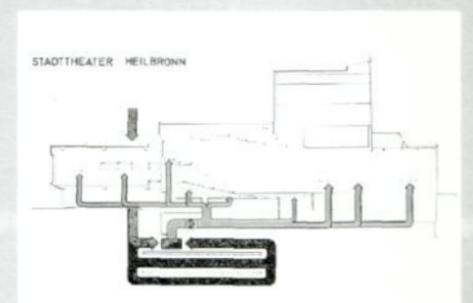
Die Wolf Kältetechnik GmbH baut Anlagen mit horizontalem Erdkollektor. Eine typische, im Januar 1995 fertiggestellte Anlage für ein Einfamilienhaus mit 20 kW Heizleistung entzieht dem Erdreich über etwa 1000 m in 1,3 m Tiefe verlegte PVC-Schläuche Wärme, die über ein Fußbodenheizungssystem mit 1300 m PVC-Schlauch abgegeben wird. Durch den Erdkollektor fließt Sole, die über einen Edelstahl-Wärmetauscher das Kältemittel der Wärmepumpe indirekt verdampft. Die Fußbodenheizung ist in einen 14 cm starken Estrich eingebettet, der als Pufferspeicher dient. Die Wärmepumpe mit 5,5 kW Leistungsaufnahme verfügt über zwei Verdichter. Eine durch die Außentemperatur gesteuerte Regelung entscheidet, welcher der beiden Verdichter zum Einsatz kommt; neben einer Verringerung der Lebensdauer verkürzenden Schaltzyklen steht so beim Ausfall eines Verdichters immer noch die halbe Heizleistung zur Verfügung.



Funktionsschema der Wärmepumpe, von links nach rechts: Erdkollektor, Verdampfer, Verdichter, Verflüssiger und Entspannungsventil.

**'Thermolabyrinth'**  
Forschungsprojekt des BMFT  
Leitung: Energieforschung  
der KFA Jülich GmbH  
Postfach 1913  
52428 Jülich  
Tel. 02461 - 610

Wird durch die Koppelung des Wärmehaushalt eines Gebäudes an das Erdreich in erster Linie ein Kältegewinn angestrebt und ist ein monovalenter Betrieb von nachrangiger Bedeutung, so kann auf eine Wärmepumpe in Einzelfällen auch ganz verzichtet werden, wie das Beispiel des Stadttheaters Heilbronn zeigt. Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Forschung und Technik geförderten Forschungsprojektes der KFA Jülich wurde das Theatergebäude mit einem unterirdischen "Thermolabyrinth" ausgestattet. Die Außenluft wird hier durch im Mittel 6 m breite und 1,8 m hohe Betonkanäle angesaugt, deren Oberfläche durch Betonhöcker zusätzlich vergrößert wird; insgesamt wird über eine 1250 qm große Betonoberfläche die Raumluft im Sommer gekühlt und im Winter vorgewärmt. An extremen Sommerbetriebstagen kann das Thermolabyrinth 90% der benötigten Kühlenergie liefern; an einem extremen Winterbetriebstag können durch die Vorwärmung der angesaugten Luft immerhin noch 23% der benötigten Wärmeenergie dem Erdreich entnommen werden.



## Strom aus Solarzellen

Im Rahmen der Solartechnologien ist Photovoltaik, das heißt die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom zweifellos die eleganteste und für die Zukunft vielversprechendste Lösung: Elektrizität als die hochwertigste Form der Energie läßt sich in alle benötigten Energieformen umwandeln, und mit photovoltaischen Solargeneratoren können außerordentlich leistungsfähige Energieversorgungssysteme realisiert werden, die sich sowohl für dezentrale als auch zentrale Nutzungen oder eine Kombination von beidem eignen. Die Möglichkeiten reichen vom Betrieb einzelner Geräte über Straßenbeleuchtung bis zur elektrischen Versorgung ganzer Gebäude. Zwei Faktoren haben bisher die Durchsetzung am Markt erschwert:

- Der Preis für photovoltaisch gewonnenen Strom von zur Zeit noch 1.50 bis 2 DM pro kWh kann nicht mit dem subventionierten Preis für Strom aus fossilen Rohstoffen oder Kernkraft konkurrieren. Wenn auch in einer volkswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Analyse, in der auch die Umweltschäden veranschlagt werden müssen, der Solarstrom effektiv billiger ist, so hatte dies auf die Entscheidungen einzelner Bauherren bisher wenig Einfluß. Im Zeitraum von 5 bis 10 Jahren ist eine drastische Preissenkung auf unter 0.50 DM pro kWh abzusehen, da aufgrund intensiver Forschungs- und Entwicklungstätigkeit die Fertigungsverfahren von Solarzellen und -modulen verbilligt und/oder Zellen mit höheren Wirkungsgraden angeboten werden können. Im Bereich der peripheren Elektronik und Elektrotechnik sind bereits merklich verbesserte Geräte auf den Markt gekommen.

- Ein zweites Problem bildet die Speicherbarkeit, das heißt die Abrufbarkeit der Energie in Zeiten geringer solarer Einstrahlung. Auch im Bereich der Kurzzeitspeicherung zur Überbrückung von einigen Tagen oder wenigen Wochen sind deutliche Fortschritte erzielt worden. Allerdings ist in unseren Breiten die "Energieautarkie" des einzelnen Verbrauchers sicher keine anzustrebende Lösung, Kopplungen mit dem zentralen Stromnetz sind sinnvoller. Der Energieüberschuß des Sommers könnte im Winter abgerufen werden. Auf diese Weise ließe sich - zumindest rechnerisch - mit ca. 20 qm Modulfläche die vollständige Versorgung eines 4 Personen-Haushalts sichern. Da die Einspeisung dezentral und individuell erzeugten Stroms in das Netz an das Monopol der Energieversorgungsunternehmen rührt, ist hier noch - mit Ausnahme einiger Modellprojekte - erheblicher Widerstand politisch zu überwinden. Perspektivisch gesehen könnte dann das Problem der Speicherbarkeit der elektrischen Energie auf zentraler Ebene mithilfe der Wasserstofftechnologie gelöst werden.

### Herkömmliche Solarzellentechnologie

Die am häufigsten genutzten Solarzellen werden aus monokristallinen Siliziumscheiben hergestellt, einem Nebenprodukt der Elektronik-Halbleiterfertigung, und damit in großen Mengen erhältlich. Mit ihnen wird der höchste Wirkungsgrad von 17,5% erzielt. Polykristalline Solarzellen sind, aufgrund eines weniger aufwendigen Produktionsverfahrens, preiswerter, haben aber auch einen niedrigeren Wirkungsgrad (14,2%).

Ausgehend von diesen kristallinen Zelltypen wurde am

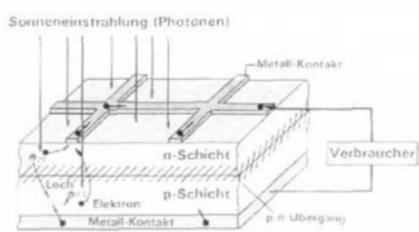
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme die 'hocheffiziente Siliziumzelle' entwickelt, die im Labor Wirkungsgrade von 24,5% erreicht hat. Diese Zellen sind an der dem Licht zugewandten Oberfläche mit etwa 20 µm großen, pyramidenförmigen Vertiefungen strukturiert, durch die das Sonnenlicht nach innen reflektiert wird und so mehrere Absorptionschancen erhält. Zusätzlich wird durch eine Siliziumoxidschicht auf der Oberfläche die Rückreflexion der Sonnenstrahlen gemindert. Da die Produktionskosten für die Zelle - bis zu 49% der Gesamtkosten - immer noch sehr hoch sind, fällt die erhöhte Energieausbeute erst bei Anwendungen über 30 m<sup>2</sup> wirtschaftlich aus. Einen Ausweg könnte die vom Centre for Photovoltaic Devices and Systems an der University of New South Wales entwickelte Solarzelle darstellen. Durch das Stapeln vieler unterschiedlich dotierter Schichten kann 80% weniger und qualitativ schlechteres Silizium genutzt werden. Außerdem können die Zellen in Formaten bis zu 1 m<sup>2</sup> auf einem Glassubstrat gefertigt werden, so daß die Zelle von oben und von unten Licht absorbieren, also auch das diffuse Licht 'unter' einem Modul einfangen kann. In den Labortests wurden Wirkungsgrade bis zu 22,4% erreicht. Bis zu einer industriellen Produktion wird jedoch noch einige Zeit vergehen.

Jüngste Forschungen am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung haben zudem gezeigt, daß die herkömmlichen Siliziumzellen in ihrem Wirkungsgrad noch nicht ausgereizt sind. Aufgrund der in der Zelle ablaufenden physikalischen Prozesse können Solarzellen immer nur einen Teil des Sonnenlichts in elektrische Energie umwandeln. Bisher nahm man an, daß jedes Photon im Lichtstrahl nur

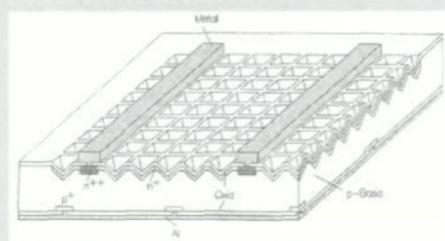
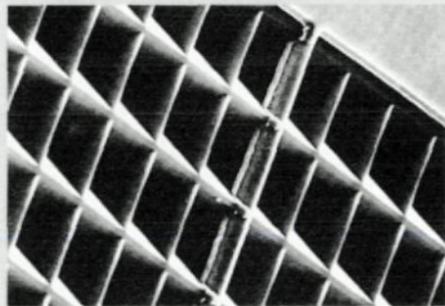
ein Elektronen-Loch-Paar in der Solarzelle erzeugen kann. Der so errechnete maximale Wirkungsgrad betrug 30%. Bei Halbleitern aus Silizium-Germanium wurde nun eine Struktur entdeckt, die es erlaubt, durchschnittlich mehr als ein Elektronen-Loch-Paar aus einem Photon zu gewinnen. Der so errechnete Wirkungsgrad betrug 43%. Die Suche nach preiswerten Halbleitern, die eine höhere Quantenausbeute ermöglichen, hat aber erst begonnen.

Die dritte, gebräuchliche Zellenform ist die amorphe Siliziumzelle, die durch Aufdampfen dünner Schichten auf eine Trägerplatte aus Glas hergestellt wird. Dabei wird nur die Schicht des Umwandlungsprozesses von Licht in Energie, der p-n-Übergang ohne die bei kristallinen Zellen notwendige Kristallgitterstruktur benutzt, so daß fabrikfrische Zellen, sofern sie nicht einem künstlichen Alterungsprozeß bei der Herstellung ausgesetzt werden, mit der Zeit ihren Wirkungsgrad um 1 - 2% verringern. Durch diesen wenig aufwendigen und mit Silizium sparsamen Herstellungsprozeß sind die amorphen Zellen zwar preiswert, haben aber wegen der fehlenden Gitterstruktur auch nur einen Wirkungsgrad von max. 8%. Vergleicht man Preis und Nennwert der amorphen und kristallinen Siliziumzellen miteinander, so amortisieren sich amorphe Zellen bei großen Glasfassaden mit wenigen Fensteröffnungen ab ca. 100 qm.

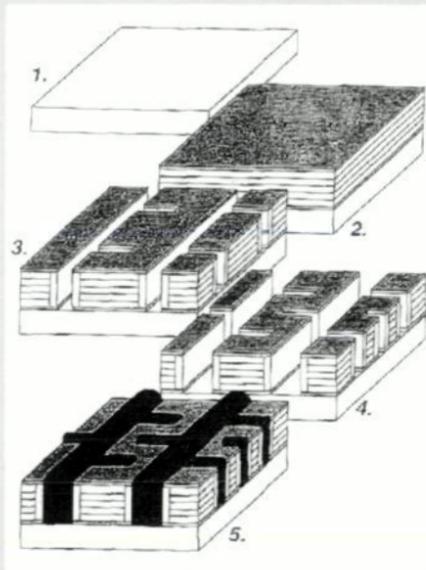
Einzelne Solarzellen sind nicht nur in ihrer Leistung sehr begrenzt, sondern auch sehr empfindlich in Bezug auf Feuchtigkeitseinwirkungen und Bruch. Die Hersteller bieten daher in der Regel keine Einzelzellen an, sondern fassen eine größere Zahl von Solarzellen elektrisch und mechanisch zu einem Solarmodul zusammen.



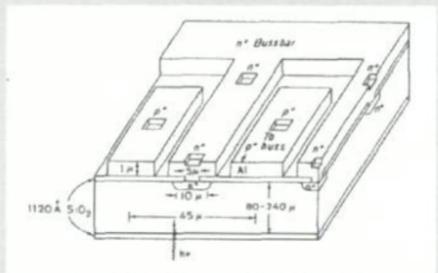
Die Solarzelle absorbiert Photonen, aus denen bewegliche Ladungsträger erzeugt werden: Elektronen, die sich mit der Energie der Photonen aus dem Kristallgitter lösen, und die entsprechenden Elektronenlöcher. Beide bewegen sich in entgegengesetzter Richtung zu den äußeren Kontakten.



Oben: REM-Aufnahme der Oberflächenstruktur; unten: Aufbau der 'hocheffizienten Si-Zelle'.



Die Produktionsschritte:  
1 Glassubstrat  
2 Multilayer-Auflage  
3 n-dotierte Einschnitte  
4 p-dotierte Einschnitte  
5 metallische Füllung.



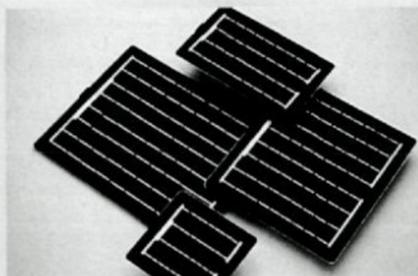
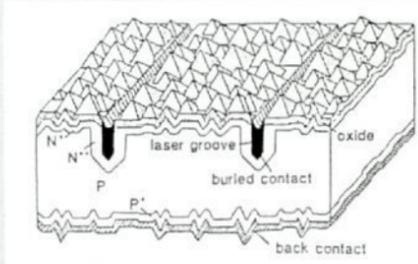
MIS-Modul  
ASE GmbH  
Industriestraße 23-33  
22880 Wedel  
Tel. 04103 - 602625

Bei der 'Metall-Isolator-Silizium-Inversionsschicht-Zelle' (MIS) liegt über dem kristallinen Siliziumbasismaterial eine Grenzschicht aus reflektierendem Siliziumdioxid und isolieren-

dem Siliziumnitrid. Kontaktfinger haben die Aufgabe, das Verhalten dieser Grenzschicht zu beeinflussen, und stellen die Verbindung zum externen Stromkreis her. Fällt Licht auf die Solarzelle, werden Elektronen-Lochpaare gebildet, die von dem inneren elektronischen Feld getrennt werden. Die Löcher bewegen sich zum Rückenkontakt. Die Elektronen wandern zur Inversionsschicht und können über die MIS-Kontakte in den äußeren Stromkreis gelangen. Verglichen mit herkömmlichen Modulen aus Siliziumzellen erfordert das MIS-Modul weniger Herstellschritte, Material und Energie. Wirkungsgrad: ca. 15%, maximale Größe: 107,9 x 46,2 cm.

**LGBG-Modul**  
**BP-Solar Ltd.**  
 Brigde Street  
 GB - Leatherhead, Surry KT22 8BZ  
 Tel. 0044 - 372 - 377899

BP-Solar Ltd. hat die 'Laser-Grooved-Buried-Grid-Zelle' (LGBG) entwickelt, bei der durch ein anderes Verfahren der Einlassung der Kontaktgitter in die Solarzelle Wirkungsgrade bis zu 18% erreicht wurden. Bei der LGBG-Zelle werden die Metallkontakte in eine V-förmige, mit Silikon gefüllte Furche eingelassen. Dadurch reduziert sich die Abschattung der Solarzellenoberfläche. Die Zellenoberfläche aus Silikon-Nitrid unterstützt zudem die Lichtdurchlässigkeit. In verschiedenen Größen bis zu 118,8 x 53 cm kosten die Module zwischen 800 und 1200 DM.



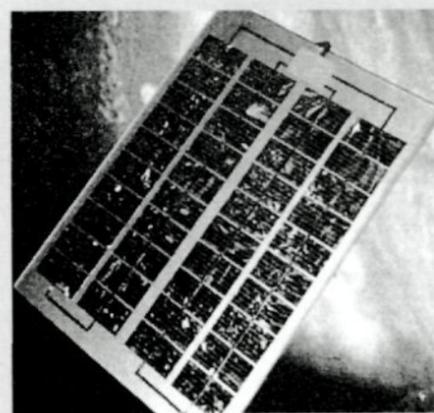
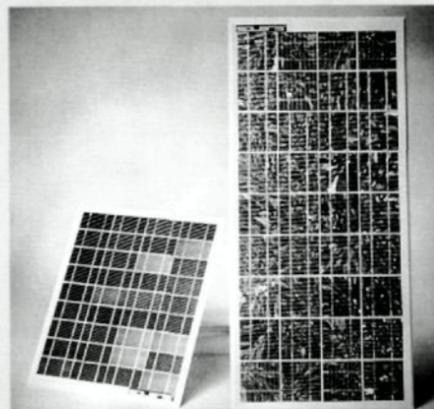
**MSX-Reihe**  
**Solarex Corp.**  
 630 Solarex Court  
 USA - Frederick, MD 21701  
 Tel. 001 - 301 - 2936006

Die Solarmodule der MSX-Reihe decken den gesamten Leistungsbereich von 5 Wp bis 120 Wp ab und eignen sich zum Laden von 6 V oder 12 V Batterien. Mit 15,2 x 11,4 cm sind die größten

polykristallinen Solarzellen in diesen Modulen zum Einsatz gekommen. Sie erreichen einen Wirkungsgrad von 14%. Im eloxierten Aluminium-Rahmen halten die Module Hagelschlag und Windbelastungen bis zu 220 km/h aus. Solarex gibt bei den Modulen ab 40 Wp 20 Jahre Garantie. Je nach Größe kosten die Module 250 bis 1700 DM.

**Modul S56KL**  
**Solaris GmbH**  
 Gärtnerstraße 13-29  
 20253 Hamburg  
 Tel. 040 - 4200050

Das 7 mm dicke Modul wird mit dem Klebstoff Sikaflex, der auch beim Wohnwagenbau benötigt wird, auf einem glatten Untergrund aufgeklebt. Mit 36 in Reihe geschalteten, polykristallinen 10 x 10 cm großen Solarzellen erreicht das Modul eine maximale Leistung von 50 Watt. Die Vorderseite des Moduls besteht aus hochtransparentem, gehärtetem Glas, so daß die Solarzellen geschützt sind, das Modul aber begehbar ist. Preis: zwischen 500 und 700 DM.



**Sunflex M-Serie**  
**Suntronic GmbH**  
 Postfach 1207  
 23502 Lübeck  
 Tel. 0451 - 894908

Ein neuartiges Herstellungsverfahren ermöglicht es, Solarmodule anzubieten, die anstelle üblicher Glasabdeckungen mit einem hochtransparenten, schlagfesten und begehbaren Kunststoffilm versehen sind. Die Module, die im Leistungsbereich von 0,5 Wp bis 24 Wp angebo-

ten werden, sind nur 3 mm dick. Der Wirkungsgrad beträgt 11%. Die Module eignen sich zum Betreiben von Geräten der Unterhaltungselektronik und von Boots- und Segelfluginstrumenten. Maximale Größe: 33,5 x 25 cm, Preis ca. 320 DM.

**Solarchemische Zellentechnologie**  
 Neben den Forschungen auf dem Gebiet der herkömmlichen Solarzellen spielt die Solarchemie eine wachsende Rolle. Versucht wird hier, die Photosynthese der Pflanze zu kopieren, die Sonnenlicht in nutzbare, energiereiche chemische Verbindungen, umwandelt. Pflanzen sind, anders als die Solarzellen, in der Lage, die Sonnenenergie fast vollständig zu nutzen.

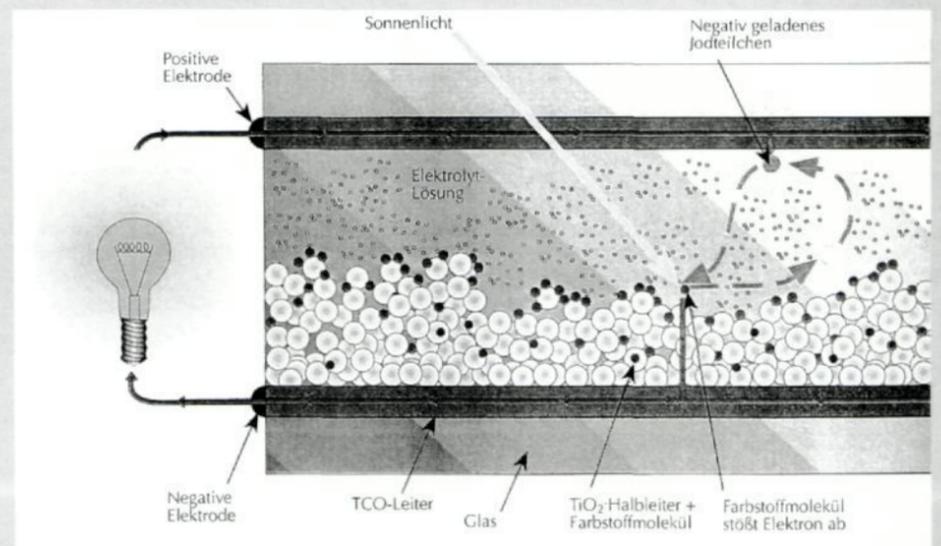
Am Département de Chimie der Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne gelang es durch die Verwendung sensibilisierter nanokristalliner Halbleiterschichten, die Lichtabsorption und die Ladungsleitung zu trennen. Bei der künstlichen Photosynthese wird das Chlorophyll durch ein stabileres Farbstoffmolekül ersetzt, das das einfallende Sonnenlicht absorbiert und so die Lichtenergie zur Auslösung von Elektronentransferreaktionen ausnutzt. Die biologische Lipidmembran wird durch eine keramische Membran aus Titandioxid ersetzt, die auf einer leitenden Glasplatte liegt und den Solarstrom abführt. Bisher befindet sich diese lichtdurchlässige Zelle ('Grätzel-Zelle'), die auch das diffuse Licht absorbiert, noch im Entwicklungsstadium, doch wurden schon kleine Module im mW/W-Bereich produziert. Da die Materialien billig (Titandioxid dient z.B. als Zusatz von Zahnpasten) und die Herstellung einfach ist (das Titandioxid-Gel wird auf den Glasträger aufgetragen und 30 Minuten

lang im Ofen fixiert), wird nun an der Produktion großflächiger Fenster gearbeitet (s. 122 ARCH+, S. 95).

Am Institut für Physikalische und Theoretische Chemie der TU München werden die am Prozeß der Photosynthese maßgeblich beteiligten chlorophyll- und retinalhaltigen Proteine erforscht. Während in der Natur bei maximierter Quantenausbeute kleine Einheiten sich selbst zu komplexen Strukturen organisieren, werden in der herkömmlichen Solartechnologie Zellen aus makroskopischen Elementen gebaut. Ziel der Forschung ist es, molekulare Maschinen zu entwickeln, die wie ihre Vorbilder aus der Natur solare Ladungen verschieben können.

Auf dem Gebiet der Abwasserreinigung wird bereits die Sonnenenergie mit Hilfe von Titandioxid zum Abbau organischer Verunreinigungen verwendet. Forschungen am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe haben gezeigt, daß dieser Prozeß nur funktioniert, wenn ein durch das sichtbare Licht anregbarer Katalysator (zum Beispiel Titandioxid) eingeschaltet wird. In Japan gibt es bereits Krankenhäuser, deren Fußböden mit einem transparenten Titandioxid-Film beschichtet sind. Der Film nimmt das Tageslicht auf und zerstört mittels Oxidation die auf dem Boden befindlichen Bakterien.

Funktionsschema der Grätzel-Zelle.



## Fassadensysteme

Noch vor einigen Jahren gab es für den Einsatz der Photovoltaik beim Bauen kaum eine andere Möglichkeit, als Modulflächen irgendwie auf, an oder neben dem Gebäude als Fremdkörper zu applizieren - was das solare Bauen für die meisten Architekten wenig attraktiv machte. Mittlerweile sind marktreife Lösungen entwickelt worden, die die Solarzellen auch optisch reizvoll in die Architektur integrieren. Hier sind vor allem Fassadensysteme für Industrie-, Büro- und Verwaltungsbauten relevant, da die Mehrkosten gegenüber konventionellen Vorhangfassaden nur geringfügig sind. Solche Fassaden können entsprechend dem Aufbau der Solarzellen opak, transluzent und semitransparent ausgeführt werden. Grundsätzlich können Solarmodule am Gebäude mittlerweile wie der Baustoff Glas behandelt und eingesetzt werden, also auch auf Abschrägungen, Vordächern etc.

Eine besonders interessante Entwicklung bildet die Kombination von Solarzellen mit beweglichen Lamellen zur Verschattung und Lichtlenkung als Teil eines mehrschichtigen Fassadenaufbaus. Sie können der Sonne nachgeführt werden und vermeiden so den Nachteil vertikaler Flächen, deren Energieausbeute bei höchstens 70% des maximalen Energiebetrags liegt.

**Optisol-Energiefassaden**  
**Flagsol GmbH**  
 Mühlengasse 7  
 50667 Köln  
 Tel. 0221 - 2573811

Bei Optisol werden amorphe oder kristalline Solarzellen zwischen zwei Glasscheiben eingebettet und, nachdem sie untereinander elektrisch verschaltet sind, in ein transparentes und ultraviolett-strahlungsbeständiges Gießharz eingegossen und ausgehärtet. Für die Stadtwerke Halle/Westfalen wurde ein solares Sheddach entworfen, das bei einer Leistung von 4 kWp eine Jahresproduktion von 2600 kWh hat. Dabei sind die einzelnen Glaselemente nur teilbelegt, das heißt, die einzelnen Solarzellen liegen nicht dicht an dicht, sondern mit horizontalen und vertikalen Abständen. Dadurch konnte, ohne die Lichtverhältnisse zu stark zu beeinträchtigen, die Kühllast des Gebäudes verringert werden. Durch die von Flagsol verwendete Gießharztechnik zur Einbettung der Solarzellen ist es möglich, Fassadenelemente bis zu einer Größe von 2,5 x 3,5 m herzustellen. Dies senkt die Montage- und Installationskosten. Bei dem von Uwe Kießler entworfenen Wissenschaftspark Gelsenkirchen werden Solarmodule auf 2130 qm Dachfläche verlegt. Mit einer Leistung von 300 kWp und einer Jahresproduktion von 270000 kWh wird diese größte auf einem Dach installierte Solaranlage den Strom ins öffentliche Netz einspeisen.

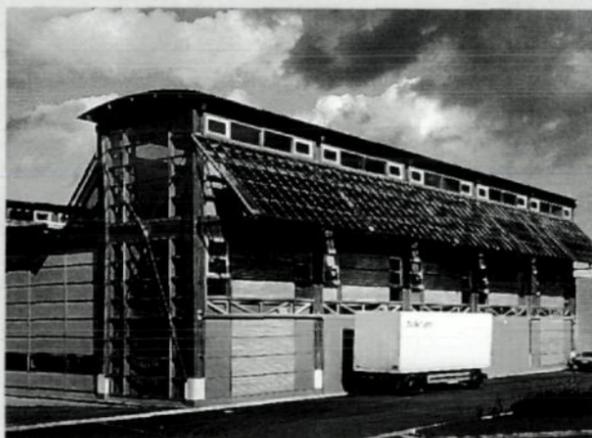
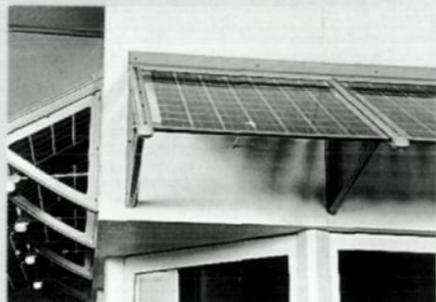
**ASI-opake und semitransparente Fassadenmodule**  
**Phototronics Solartechnik GmbH**  
 Hermann-Oberth-Straße 9  
 85640 Putzbrunn  
 Tel. 089 - 45660328

Für die Südseite des neuen Produktionsgebäude der Firma Wilkhahn entwarf Thomas Herzog ein 90 m<sup>2</sup> großes Vordach, in das 150 rahmenlose ASI-Module eingebaut wurden. Jedes Modul ist 1 x 0,58 m groß und besteht aus amorphen Silizium-Stapelzellen (ASI), die das Vordach opak erscheinen lassen. Bei einem Wirkungsgrad von 6,8% beträgt die Nennleistung 4 kW, was ausreicht, um zum Beispiel die Elektro-Gabelstapler der Firma zu versorgen oder, wenn die Energie nicht gebraucht wird, über zwei Wechselrichter eine Einspeisung ins Netz vorzunehmen. Die Verkabelung wurde über die Metallunterkonstruktion (Eberspächer) geführt. Eine Variante bilden semitransparente ASI-Gläser. Im Unterschied zu den opaken Modulen werden hier wie in einem Siebdruckverfahren nur die durch eine Schablone freigelassenen Stellen mit amorphen Siliziumzellen bedampft. Die Transparenz ist

farbneutral und beträgt 12%. Opake wie auch semitransparente Gläser können sowohl für Dach- wie Fassadenmodule eingesetzt werden.

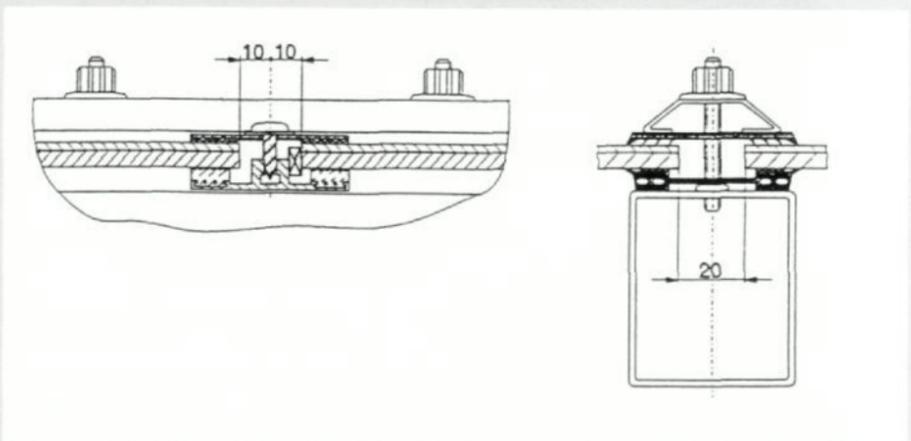
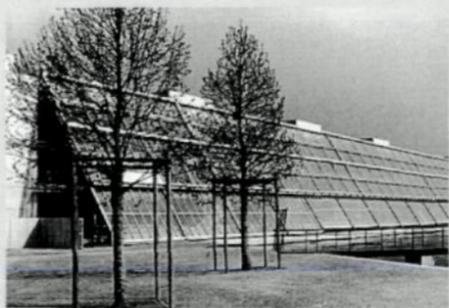
**Vordach Top-Sky**  
**Schüco KG**  
 Karolinenstraße 1-15  
 33609 Bielefeld  
 Tel. 0521 - 783502

Top-Sky ist ein variables Solar-Vordach, das in der starren Version 30° oder 60° geneigt werden kann. Die mit monokristallinen grauen Solarzellen bestückten Gläser werden in die Konstruktion aus Weißaluminium eingespannt. Die Kabelführung erfolgt über die obere Abschlussschiene. Als zweite, zur Zeit noch nicht lieferbare Variante wird an einer stufenlos verstellbaren Konstruktion gearbeitet.



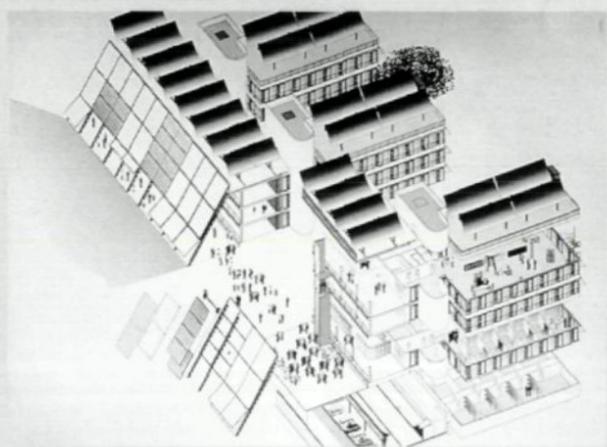
Das Vordach bietet den Büros im dritten Stock Schutz vor direktem Sonnenlicht und speist die gewonnene Energie ins Netz.

Rechts: PV-Dachoberlicht der Stadtwerke Halle.



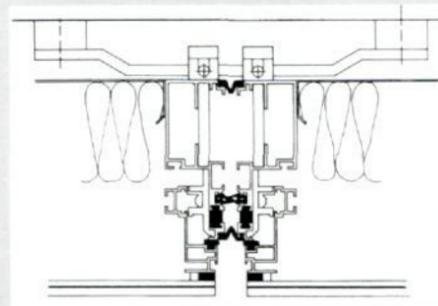
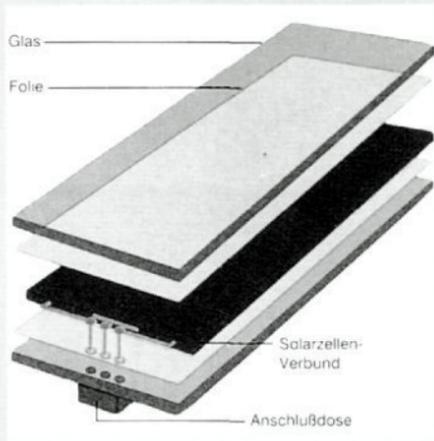
Oben: Quer- und Längsschnitt durch den Vordachaufbau; links: schematischer Aufbau eines mit einem ASI-Modul ausgestatteten Elements.

Oben und rechts: Wissenschaftspark Gelsenkirchen.



**Structural Glazing Solar**  
Solare Systemtechnik GmbH  
Christaweg 42  
79114 Freiburg  
Tel. 0761 - 473847

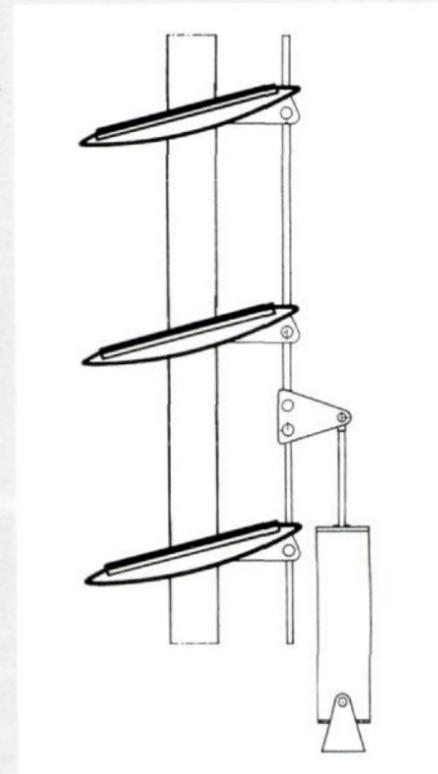
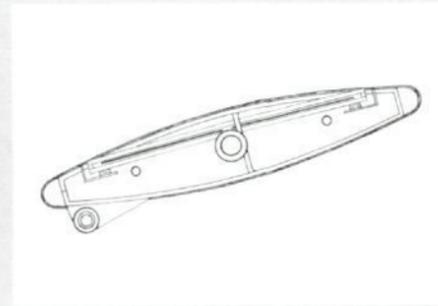
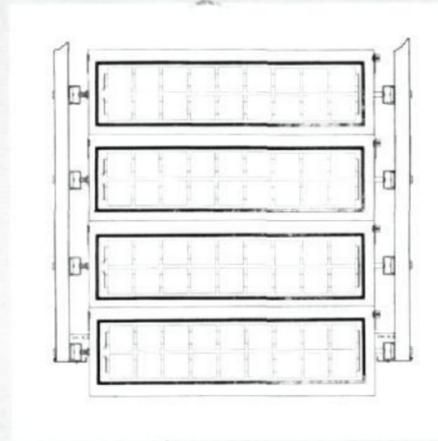
Für Structural Glazing Solar werden rahmenlose Module mit bis zu 200 kristallinen Solarzellen verwendet. Da sich die Module an den üblichen Structural Glazing Elementen orientieren, kann bei der Montage der Fassade mit den herkömmlichen Unterkonstruktionen gearbeitet werden. Die Verkabelung erfolgt über Fußbodenkanäle oder über abgehängte Decken. Die Rasterbreiten der Module können für jedes Projekt gesondert angefertigt werden, jedoch kommen meistens Maße zwischen 1,20 und 1,25 m zur Anwendung. Nach Angaben des Herstellers wird bei einer Bruttonutzfläche von 1500 m<sup>2</sup> eines Bürogebäudes mit der Leistung einer 150 m<sup>2</sup> großen Modulfläche 50% bis 70% des Strombedarfs gedeckt.



Ganz oben: Aufbau des Structural Glazing Solar Moduls (SGS); unten: Horizontalschnitt durch die Fassade. Rechts, von oben nach unten: Ansicht, Querschnitt und Montage der Solarlamellen.

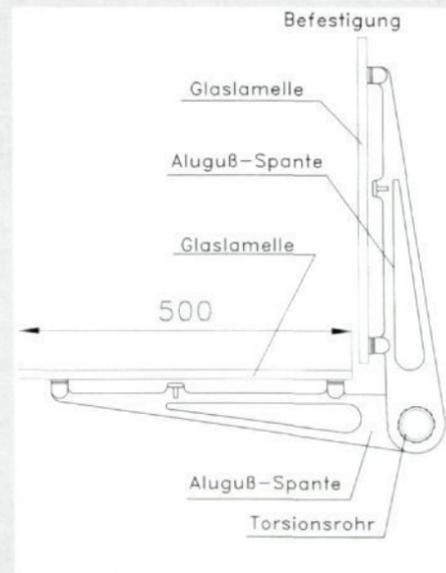
**Naco-Solarlamellen**  
Glasbau Hahn GmbH & Co KG  
Hafenstraße 5  
63811 Stockstadt/Main  
Tel. 06027 - 416220

Aufbauend auf den Naco-Sonnenschutzlamellen wurde mit dem Institut für Solare Energieversorgungstechnik und der ASE GmbH ein 110 x 30 cm großes Solarmodul mit vier Lamellen entwickelt. Jede Lamelle ist mit 18 kristallinen Solarzellen bestückt, die zusammen eine Leistung von ca. 100 W erbringen sollen. Für den Energieverbrauch eines Wochenendhauses mit einer Grundausstattung an elektrischen Geräten ist dies eine ausreichende Leistung. In dem vorliegenden Beispiel wurde im Sommer ein Energieüberschuß von maximal 306 Wh pro Tag und im Winter von mindestens 8 Wh pro Tag errechnet. Mit einer Batterie mit 12 V und 50 Ah könnten diese Extremwerte ausgeglichen werden.



**Sonnenschutz mit  
Energienutzung**  
Institut für Licht- und  
Bautechnik, FH Köln  
Betzdorfer Straße 2  
50679 Köln  
Tel. 0221 - 82752817

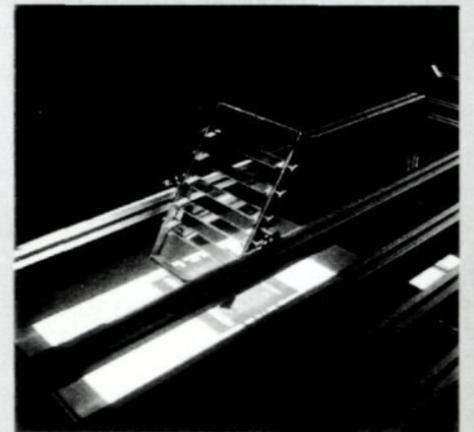
Die Sonnenschutzlamellen, die über der gekrümmten, ca. 140 qm großen Dachhaut des Wintergartens des Ökozentrums NRW in Hamm installiert werden, stellen eine Weiterentwicklung der 'Shadovoltaic-Wings' der Firma Colt International GmbH dar (s. 124/125 ARCH<sup>+</sup>, S. 111). Das System baut auf zwei holografischen Glasplatten auf, die das diffuse Sonnenlicht zwar ungehindert eindringen lassen, die direkte Sonneneinstrahlung aber je nach Platte reflektieren oder zur Solarstromerzeugung nutzen. Die Glasplatten werden in den Lamellen im 90°-Winkel zusammengesetzt. Daraus ergeben sich drei unterschiedliche Typen: beide Flügel aus totalreflektierenden Hologrammen, beide Flügel mit Solarzellen bestückt und drittens der obere Flügel als Totalreflexionsplatte und der untere mit Solarzellen. Da aus Kostengründen die Fläche, auf denen mit Solarzellen bestückte Lamellen eingesetzt sind, nur 45 m<sup>2</sup> beträgt, werden die Lamellen dem Sonnenhöhenwinkel nachgeführt. Durch diese Ausrichtung nach der Sonne und die Lichtkonzentration der lichtlenkenden Hologramme erzeugt die Anlage ungefähr 10000 kWh im Jahr und erreicht eine Leistung von 13500 Wp.



Oben: Aufbau einer Lamelle; unten: die drei Typen der gebrauchten Sonnenschutzlamellen.

**Holografische Sonnenschutzlamellen**  
RWTH Aachen  
Lehr- und Forschungsgebiet LHT  
Jägerstraße  
52066 Aachen  
Tel. 0241 - 807838

Für den passiven Sonnenschutz wurde ein Modul aus fünf Lamellen entwickelt, das auf der richtungsabhängigen Reflexion direkter Sonnenstrahlung durch 'Lippmann-Hologramme' beruht. Im Winter lassen die Lamellen die erwünschte Solarstrahlung in das Gebäude, im Sommer wird die Strahlung reflektiert. Bei geeigneter Wahl der Hologrammparameter werden die Sonnenstrahlen reflektiert, während man gleichzeitig durch das Element hindurchsehen kann. Das gesamte Modul kann sowohl vor einer Wand als auch im Fensterbereich angebracht werden. Momentan werden mögliche Farbeffekte und deren Minderung untersucht. Ein Pilotprojekt dieser transparenten Sonnenschutzlamellen wird am Gewerbeaufsichtsamt in Soest vorbereitet.



Holografische Sonnenschutzlamellen unter dem Solarsimulator.

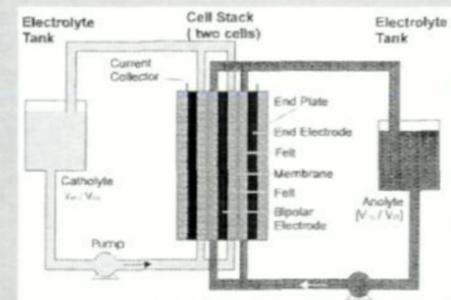
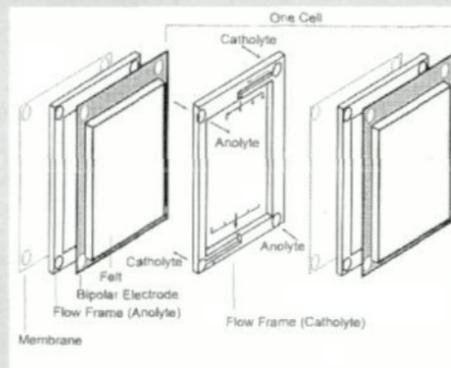
## Speichertechnologie

Da das Angebot an Sonnenenergie starken tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen oder an günstige, teilweise aber verbraucherferne Standorte gebunden ist, stellt die Speicherung des photovoltaisch erzeugten Stroms ein zentrales Problem dar. Bisher erfolgte die direkte Speicherung von elektrischer Energie fast ausschließlich in Blei-Säure- und in geringem Umfang auch in Nickel-Cadmium-Batterien. Mit der 'Vanadium-Redox-Batterie', Wirkungsgrad bis zu 90%, ist der School of Chemical Engineering and Industrial Chemistry an der University of New South Wales die bislang höchste Ausbeute für eine wiederaufladbare 1 kW-Batterie gelungen. Die Elektrizität wird in zwei Flüssigkeiten (Schwefelsäure und Vanadiumpentoxid) gespeichert, die erst im 'Cell Stack', mindestens zwei parallel und in Reihe geschalteten Zellen, miteinander reagieren. Zwei Pumpen, die maximal 2 bis 3% der gespeicherten Energie benötigen, sorgen für die Zirkulation der Flüssigkeiten. Bisher sind zwar Pilotprojekte wie Elektrobusse und auch ein Solarhaus in Thailand mit dieser Batterie ausgestattet worden, doch befindet sich die Batterie immer noch in der Entwicklung.

Für die Einbindung photovoltaisch erzeugten Stroms in ein zukünftiges, eher zentrales Versorgungssystem bietet nach den bisherigen Forschungen Wasserstoff die besten Möglichkeiten: So wäre es sinnvoll, Wasserstoff auf elektrolytischem Wege aus dem überall verfügbaren Wasser

zu gewinnen, ihn unter Druck oder verflüssigt zu speichern oder auch über Pipelines zum Verbraucher zu bringen. Dieser kann mit Wasserstoff heizen, kochen und mit Hilfe von Brennstoffzellen auch Strom erzeugen. Der Nachteil des konventionellen Elektrolyse-Verfahrens ist allerdings der relativ hohe Verbrauch an Elektroenergie.

Bei dem neueren Verfahren der photoelektrochemischen Herstellung von Wasserstoff werden belichtete Halbleiterelektroden gleichzeitig zur Umwandlung von Solarenergie in elektrische Energie und als Elektroden für die Wasserelektrolyse eingesetzt. Der Vorteil dieses im Rahmen des Projektes Hysolar am Institut für Physikalische Elektronik der Universität Stuttgart entwickelten Verfahrens besteht darin, daß Solarzelle und Elektrolyseur zu einer einzigen Vorrichtung zusammengebaut werden. Dieses Verfahren kann sowohl zur Herstellung von Wasserstoff aus Wasser als auch zur Spaltung von Bromwasser für die Speicherung von Solarenergie in Form von Brom und Wasserstoff und zur Umwandlung der Solarenergie in elektrische Energie auf elektrochemischem Weg verwendet werden.



Oben: Komponenten des 'Cell Stack'; unten: Schematische Darstellung der Batterie.

**Nickel-Hydrid Batterie**  
Varta AG  
Am Leineufer 51  
30419 Hannover  
Tel. 0511 - 7903821

Die Nickel-Hydrid Batterie gilt als Nachfolgesystem der Nickel-Cadmium-Batterie. Bei Gerätebatterien findet dieses System heute rasche Verbreitung. Wie die Nickel-Cadmium- arbeitet auch die Nickel-Hydrid-Batterie mit einer positiven Nickelhydro-

xid-Elektrode und einem alkalischen Elektrolyten. Als Anode wird eine wasserstoffspeichernde Elektrode eingesetzt, die im Vergleich zur Cadmium-Elektrode mehr als die doppelte Ladungsmenge in Form einer hydridbildenden Metallegierung aufnehmen kann. Je nachdem, ob die Batterie in Richtung Leistung oder in Richtung Energieinhalt optimiert wird, werden heute bei Nickel-Hydrid Batterien Werte für die Energiedichte von 50 Wh/kg oder 70 Wh/kg erreicht. Für die Zukunft werden bis zu 80 Wh/kg erwartet. Die Lebensdauer liegt mit weit mehr als 1000 Zyklen höher als bei den nicht alkalischen Systemen.

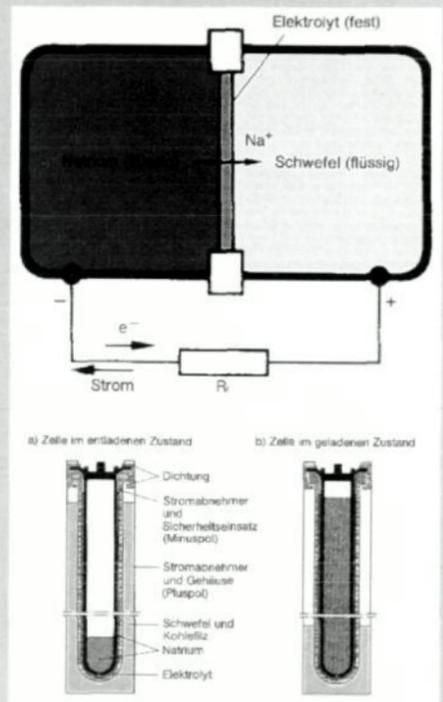


**Lithiumionen-Batterie**  
Varta AG  
s.o.

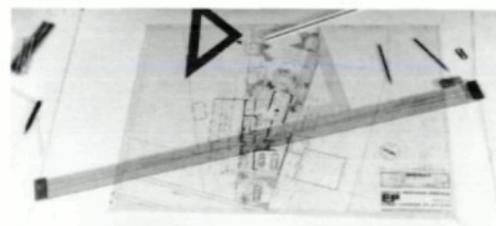
Als eine interessante Entwicklung gilt die Lithiumionen-Batterie, auch 'Lithium-Swing' genannt. Sie basiert auf einer Metalloxid-Kathode und einer lithiuminterkalierenden Anode auf Kohlenstoffbasis und arbeitet in einem organischen Elektrolyten (Polymere). Bei den Lade- und Entladevorgängen 'swingen' die Lithium-Ionen hin und her, wobei über den äußeren Strompfad Energie eingebracht oder entnommen wird. Das Lithium-Swing-System bietet heute bereits Energiedichten von rund 100 Wh/kg. Sein Entwicklungspotential reicht bis über 150 Wh/kg.

**Natrium-Schwefel Batterie**  
Asea Braun Boveri AG  
Eppelheimer Straße 82  
69123 Heidelberg  
Tel. 0621 - 4381230

Natrium-Schwefel-Batterien sind wiederaufladbare Batterien, die sich durch eine hohe Energie- und Leistungsdichte auszeichnen. Im Gegensatz zu den meisten Batteriesystemen besitzen sie einen festen Elektrolyten und flüssige Reaktanden (Nickel und Schwefel). Die einzelnen Zellen werden in Modulen zusammengefaßt, aus denen eine komplette Batteriebestückung zusammengestellt wird. Durch Reihen- und Parallelschaltung der Zellen läßt sich die gewünschte Klemmspannung erreichen. Die Vorteile dieser Batterie sind unter anderem die hohen Energie- und Leistungsdichten (120 Wh/kg) und ein höherer Lade-Entlade-Wirkungsgrad (90% bei 10-stündiger Ladung und 2-stündiger Entladung) als bei den herkömmlichen Batterien.



Oben: Funktionsschema der Natrium/Schwefel-Zelle; unten: Ausführungschema der Na/S-Zelle.



**ARCHITEKT**  
**INFORMIERT**

Die Ruchay Zeichenschiene 4 R (entwickelt von Architekt Klaus Ruchay), ist eine exakt parallel verlaufende Zeichenschiene, welche über Kugellager an einer Seilführung geführt wird. Winkeleinstellung ist möglich. Lieferbar sind 5 Serienlängen von 600 - 2000 mm und 8 Serienmodelle für jeden Bedarf.

**RUCHAY** Zeichentechnik 50829 Köln Günther-Plückow-Str.6  
Tel. (0221) 593031 Fax (0221) 593032

## Simulation der Gebäudeperformance

Bereits im Baumarkt von 113 ARCH<sup>+</sup> (Herbst 1993) haben wir uns mit Simulationswerkzeugen für die Planung energiesparender Gebäude beschäftigt. Seit diesem Zeitpunkt wurde einiges für die Verbesserung der Benutzerschnittstelle und die Integration von CAD-Daten getan. Am grundsätzlichen Aufbau der Berechnungsmethoden hat sich jedoch wenig geändert. Das ist kaum verwunderlich, da die grundlegenden Gleichungen der Thermodynamik und Strömungsberechnung, auf denen die Simulationsprogramme basieren, seit Jahren bekannt sind. Von größerer Bedeutung ist die Erarbeitung und Weiterentwicklung von Modellierungsverfahren für das zu simulierende Gebäude.

In vielen Programmen wird das Gebäude als eine Art Netzwerk aus Raumzonen modelliert, die für Luft- und Wärmeströme verbunden sind und je nach Wandart diesen Strömen einen mehr oder weniger großen Widerstand entgegensetzen bzw. sie auch wie in einem elektrischen Kondensator speichern. Dies führt auf eine Analogie zum elektrischen Stromkreis hinaus, zu dessen Berechnung eine Reihe von Algorithmen bekannt sind. Wichtig ist dabei, daß es sich um eine starke Idealisierung handelt, da eine vollständige physikalische Modellierung eines Gebäudes und aller seiner Energieverbraucher und aller Austauschvorgänge einen ungeheuer großen Aufwand darstellen würde. Entsprechend muß die Gültigkeit und Qualität der verschiedenen Simulationsmodelle überprüft werden, was durch Vergleichsrechnungen mit verschiedenen Programmen und Messungen an Referenzgebäuden geschehen kann.

Diese bislang vorliegenden Modellierungs-Verfahren sind nur mit einigem Expertenwissen zu benutzen, da die Modellformulierung trotz aller Verbesserungen immer noch komplex und unkomfortabel ist. Wirklich einfach zu bedienende Programme, die als Entwurfstools im Architekturbüro direkt Informationen über den Entwurf geben können, sind nach wie vor nicht vorhanden. Zwar existieren einige kleinere Programme z. B. zur Berechnung des Heizenergiebedarfs nach der neuen Wärmeschutzverordnung, doch für komplexere Analysen der energetischen Performance eines Gebäudeentwurfs sind immer noch Spezialisten zur Nutzung der Si-

mulationsprogramme und der Interpretation der Ergebnisse erforderlich. Hier besteht erheblicher Nachholbedarf, der durch die Entwicklung interaktiver, verhältnismäßig zuverlässiger Modellierungswerkzeuge gelöst werden könnte. Es bedürfte dabei einer direkten Anbindung der Simulationsprogramme an die CAD-Systeme des Entwurfsarchitekten. Nach Eingabe von Gebäudegeometrie, Baumaterialien und Standort sowie den grundlegenden Daten von Nutzung und Gebäudetechnik sollten diese Simulationstools interaktiv eine Abschätzung des Energiebedarfs des Gebäudes geben. Mit diesen Informationen könnte der Entwurf überprüft und in energetischer Hinsicht optimiert werden. Voraussetzungen dafür wären eine verbesserte Integration und Interaktivität der Simulationsprogramme und ein konsistentes Datenmodell für den Gebäudeentwurf, das sowohl für den Entwurf wie auch für seine Analyse und Realisierung verwertbar ist. Bei der Konkretisierung des Entwurfs kann mit Hilfe dieses Modells der Entwurf zudem mit den einzelnen Fachingenieuren und Gewerken ausgetauscht werden. Der Rechner wird zum Medium, mit dem komplexe Informationen visualisiert und kommuniziert werden können.

### Literaturtips

BINE-Informationsdienst  
Profi Info-Service Nr. 1  
Rechnerunterstützte Gebäudeplanung, Bonn Mai 1994

Florian Böhm  
Umweltsimulationen mit dem Computer, in: Philipp Oswalt, Susanne Rexroth, Wohlt temperierte Architektur, Heidelberg: C.F. Müller 1994

Hans Erhorn  
Michael Szermann  
Neue Planungsinstrumente für energiegerechte Verwaltungsgebäude, in: Bauphysik 15 (1993), Heft 2.

Wolfgang Feist  
Thermische Gebäudesimulation - Kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze, Heidelberg: C. F. Müller 1994

Christof Hertkorn  
Report on Projects dealing with Building Design Support Environments - Final Report, Karlsruhe: Universität Karlsruhe - Institut für Industrielle Bauproduktion 1993

Neue Version von Trnsys  
Transsolar Energietechnik GmbH  
Nobelstraße 15  
70569 Stuttgart  
Tel. 0711 - 6771200

Von dem modular aufgebauten dynamischen Simulationsprogramm Trnsys (TRAnSient SYstem Simulation), das in seiner Grundkonzeption bereits in 113 ARCH<sup>+</sup> vorgestellt wurde, ist mittlerweile die Version 14.1 herausgegeben worden, die eine Reihe von Zusatzprogrammen für eine verbesserte Benutzerführung sowie Module für neue Energiesysteme besitzt. Wie bisher wird der Fortran-Quellcode mitgeliefert, so daß das Programm variabel erweitert und für jeden Computertyp kompiliert werden kann. Mit dem neuen Modul Presim, das vom schwedischen Solar Energy Research Centre entwickelt wurde, können haustechnische Systemkomponenten auf graphischer Basis unter Microsoft Windows beschrieben werden. Die Komponenten, wie Rohre, Leitungen oder Sensoren, werden wie in einem CAD-Programm aus einer graphischen Bibliothek mit der Maus ausgewählt, ihre Eigenschaften in einem vorbereiteten Parameterblatt spezifiziert und entsprechend den Beziehungen zwischen ihnen graphisch miteinander verbunden. Das Programm prüft die Konsistenz der Eingaben und erstellt die Eingabedatei für die Trnsys-Rechnung. Für die Vereinfachung der Gebäudebeschreibung wird mit dem Modul Prebid eine menügesteuerte Eingabehilfe angeboten. Das Modul fragt die notwendigen Eingabedaten strukturiert vom Benutzer ab und fügt sie zu einer Eingabedatei zusammen. Zusätzlich stellt das Modul eine Hilfsfunktion und eine Materialbibliothek nach DIN 4108 bereit. Weitere Bibliotheken für Elemente zur Raumbeschreibung können vom Benutzer beliebig erweitert werden. Für bereits definierte Systeme können Systemparameter nun komfortabel mit der Eingabeoberfläche Trnsed variiert werden. Mit dem ebenfalls neuen Modul Online können bereits während des Ablaufs der Simulationsrechnung Grafiken der Ausgabe erstellt werden, wodurch die Rechnung bereits während des Ablaufs optisch geprüft und ggf. abgebrochen werden kann. Weitere neue Module ermöglichen die Einbeziehung von neuen Energiesystemen wie TWD-Wänden oder Photovoltaik-Anlagen in die Simulation. Sämtliche Module des Trnsys-Programmpakets sind durch die neue Trnshell-Benutzeroberfläche verbunden.

## Baumarkt

Weiterentwicklung von TAS  
Ueconsult GmbH  
Augustinusstraße 9D  
50226 Frechen  
Tel. 02234 - 65095

Auch für das integrierte Gebäudesimulationsprogramm TAS, das ebenfalls bereits in 113 ARCH<sup>+</sup> beschrieben wurde, gibt es neue Zusatzmodule. Mit Cadlink steht eine Schnittstelle für den Datentransfer zwischen CAD-Programmen und TAS zur Verfügung. Es können Geometriedaten, die im DXF-Format vorliegen, für die Erarbeitung der Eingabedatei verwendet werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, Daten von 3D-Volumenmodellen über die HLI-Schnittstelle (High-Level-Interface von IEZ-speedikon) in das TAS-eigene 3D-Gebäudemodell und die Datenbank zu importieren. Für die Integration von Photovoltaik (PV)-Anlagen in die Fassade steht ebenfalls ein neues Modul zur Verfügung. Bereits früher war es mit TAS möglich, die solare Einstrahlung auf das Gebäude und Verschatt-



**SOTECH**

Wählen Sie  
den Weg  
für Ihre  
Zukunft  
beSonnen  
aus!

Solaranlagen von A-Z

Vier erste Schritte  
zu Ihrer Solaranlage:

per Telefon: 0211-16 400 66  
per Fax: 0211-361 38 20  
per Post: Postfach 10 45 11  
D-40036 Düsseldorf  
perSönlich: Friedrich-Ebert-Str. 40  
D-40210 Düsseldorf

tungen durch Nachbargebäude zu kalkulieren und darzustellen. Mit dem Modul PV-TAS, das als Public-Domain-Programm im Rahmen des Förderprogramms AG Solar des Landes NRW entwickelt wurde, kann die Leistung einer PV-Anlage in Relation zur Gebäudegeometrie und der zu erwartende Energieertrag errechnet werden. Dabei werden aufgrund der Angabe des Standortes und der Gebäudedaten die stündlichen Wetterdaten des örtlichen Testreferenzjahres in Verbindung mit der Geometrie, Anordnung, Ausrichtung, Schaltung und der Fremd- oder Eigenverschattung der PV-Anlage berücksichtigt. Die Ergebnisse der Berechnung des Schattenverlaufs können durch eine 3-dimensionale Darstellung visualisiert werden. Weiterhin bietet Ueconsult die Programme EWIS (Energiewirtschafts-Information- und Controlling-System), Ueco-Controll (Projekt, Zeit- und Kostenmanagement), GEBIS (Gebäude-Information-System) und ERB (Energetisches Raumbuch) an.

**Städtebauliche Energiesimulation Gosol**  
Solarbüro Dr. Goretzki  
Zinsholzstraße 11  
70169 Stuttgart  
Tel. 0711 - 473994

Gosol ist ein Simulationswerkzeug für den städtebaulichen Bereich, das den Energieverbrauch eines Baugebiets analysieren und Hilfestellung für eine energieeffiziente Bauleitplanung geben kann. Es ist ein auf MS-DOS-PCs laufendes Programm zur quantitativen energetischen Analyse der passiven Solarenergienutzung in der Planung, das zudem über CAD-Fähigkeiten verfügt. Damit kann ein dreidimensionales Computermodell des Planungsgebietes aufgebaut und aus beliebigen Perspektiven betrachtet werden. Der Schattenwurf der einzelnen Gebäude, Bäume etc. kann für jeden Zeitpunkt berechnet und dargestellt werden. Als Eingabedaten sind die Topographie und Lage des Geländes, die Vegetation und die Gebäude mit ihrer Anordnung von Wänden, Fenstern, Auskragungen

sowie energetischen Parametern erforderlich. Das Programm ermittelt daraus die Energiebilanz für jedes einzelne Gebäude aus den solaren Gewinnen unter Einbezug der konkreten Sonneneinstrahlungen und der Verschattung. Die jahreszeitlich wechselnden Verschattungen durch die Vegetation können dabei ebenso berücksichtigt werden wie die Verwendung von Solaranlagen (Photovoltaik oder Kollektoren) auf den Gebäuden. Auf Basis der Wärmeschutzverordnung '95 (maximaler Heizenergieverbrauch), der EN DIN 832 (Nutzungsdaten) und der Kollektorkennlinien berechnet das Programm die tatsächlich nutzbaren Solargewinne und den resultierenden Heizenergiebedarf, die dann zu der Gesamtenergiebilanz für Gebäude und Baugebiet summiert werden können. Neben dem Faktor Energiegewinn wird gerade auch der von der Gebäudegeometrie bestimmte spezifische Wärmeverlust des Gebäudes in das Berechnungsmodell einbezogen. Denn die Optimierung lediglich eines Faktors - Maximierung des solaren Energiegewinns oder Minimierung des Wärmeverlustes durch kompakte Baukörper - könnte sich auf die Gesamtenergiebilanz negativ auswirken. Mithilfe des Programms können so verschiedene Varianten des Bebauungsplans auf ihre energetische Güte geprüft und ggf. modifiziert werden. So können auch andere Entwürfe als die konventionellen Solarsiedlungen mit ihren nach Süden weisenden Fensterflächen eingehend untersucht werden. Es entsteht die Möglichkeit, auch freiere Entwürfe energiegünstig zu gestalten.

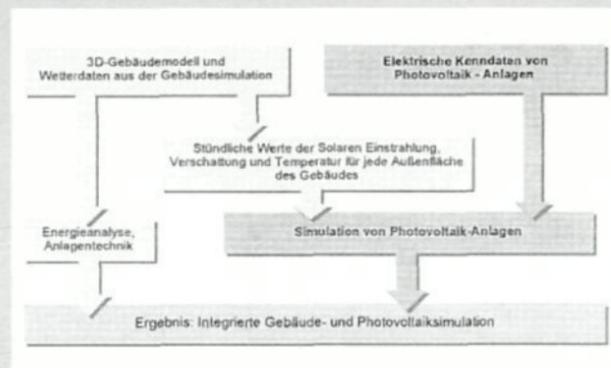
Gosol ist zudem in der Lage, Besonnungs- und Verschattungszeiträume und deren Veränderung durch Planungsmodifikationen für beliebige Fenster-/

Gebäudebereiche minutengenau zu ermitteln. Diese können als Verschattungssilhouette mit Angabe der zugehörigen Verschattungsquellen grafisch dargestellt werden. Dadurch kann die Licht- und Wohnqualität in Räumen relativ einfach überprüft werden. Im Fall starker Verschattung und damit unzureichender Helligkeit in den Räumen kann mit Hilfe der Simulation nach Planungsvarianten gesucht werden, die bei vielleicht nur kleinen Planmodifikationen eine günstigere Verschattung und damit eine längere Besonnungsdauer des Raums bieten.

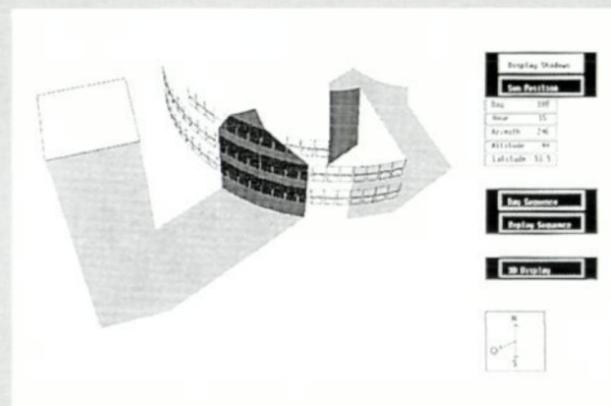
**Gebäudesimulationsprogramm Dynbil**  
Institut für Wohnen und Umwelt  
Annastraße 15  
64285 Darmstadt  
Tel. 06151 - 29040

Das dynamische Gebäudesimulationsprogramm Dynbil nutzt ein Mehrzonen-Netzwerkmodell für die Erstellung von Energiebilanzen. Dabei können die direkte und indirekte Wärmeeinstrahlung auf unterschiedlich orientierten Glasflächen und opake Bauteile untersucht werden. Die Wärmeleitung durch die Gebäudehüllfläche und durch Bauteile zwischen den Gebäudezonen wird berechnet wie auch die Wärmespeicherung und -abgabe in thermisch trägen Bauteilen. Dabei können innere Wärmequellen wie Personen, Beleuchtung, Geräte und Maschinen genauso berücksichtigt werden wie der Luftwechsel zwischen den Bereichen.

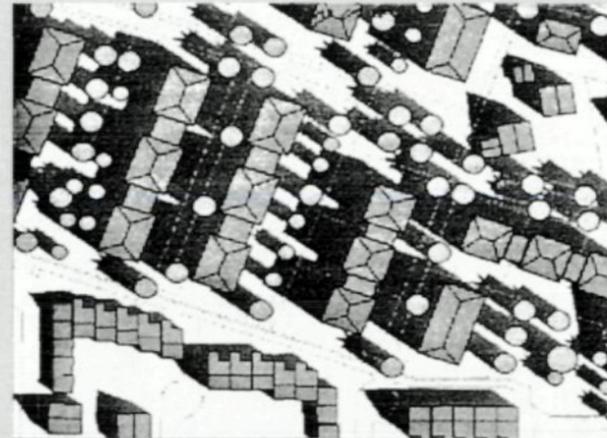
Das Programm ist auf MS-DOS-PCs lauffähig und modular aufgebaut. Es existieren die Zusatzmodule Dynvent für die dynamische Mehrzonen-Lüftungsberechnung und Dynkol für die dynamische Simulation von Sonnenkollektoren.



Integration von Photovoltaik in das Gebäudesimulationsprogramm TAS.

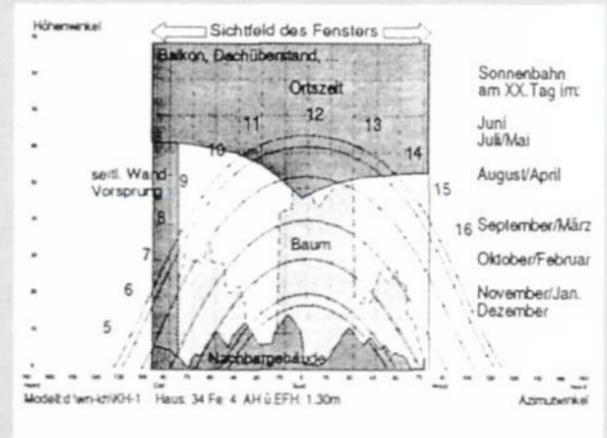


3D-Darstellung des Schattenwurfs einer Photovoltaik-Fassade mit TAS.



Links: Mit dem Simulationsprogramm Gosol kann die Energiebilanz jedes einzelnen Gebäudes eines Baugebiets ermittelt werden.

Beispiel einer Schattenwurfdarstellung mit Gosol.



Beispiel einer von Gosol erstellten Verschattungssilhouette.

CFD-Programm Phoenix  
IKOSS GmbH  
Waldburgstraße 21  
70563 Stuttgart  
Tel. 0711 - 737701

Zur Berechnung von komplexen Luft- und Wärmeströmungen in Gebäuden können CFD-Programme (Computational Fluid Dynamics) verwendet werden. Im Gegensatz zu den Programmen, die sich mit gebäudetechnischen Systemen beschäftigen, verwenden diese Programme kein elektrisches Netzwerk als Analogiemodell, sondern simulieren die Luftströmung durch die numerische Lösung der Strömungs-Differentialgleichungen, so daß relativ detaillierte Aussagen über die Luftbewegungen und ihre Temperatur gemacht werden können. Nützlich sind diese Simulationen nicht nur für die Energieoptimierung, sondern auch für die Bestimmung der Rauch- und Hitzeausbreitung bei Gebäudebränden. Das Programm Phoenix ist ein Standard-CFD-Programm, das von der englischen Firma Cham Ltd. entwickelt wurde und in den verschiedensten Bereichen eingesetzt wird. Ein spezielles Programm für die strömungs- und wärmetechnische Simulation befindet sich in Vorbereitung. Phoenix wird von Kaiser Bau-technik für die Strömungssimulation der Atrien im Duisburger Zentrum der Mikroelektronik eingesetzt.

Gebäudesimulationsprogramm  
Julotta  
Universität Lund, Schweden  
Tel. 0046 - 46 - 107000

Das dynamische Simulationsprogramm Julotta beschreibt das Gebäude als Mehrzonen-Mehrknoten-Netzwerkmodell, dessen Komponenten der Benutzer detailliert eingeben muß. Als typische Hochschulsoftware, deren Fortran-Quellcode veröffentlicht und somit für jeden zugänglich ist, sind die Eingaben in Julotta komplex und wenig komfortabel. Dafür besitzt das Programm aber eine hohe Flexibilität, da der Nutzer seine Zusatzroutinen z. B. für die Spezifikation und Berechnung von Heizung, Klimatisierung und Lüftung an vorbereiteten Schnittstellen einfügen kann. Die physikalischen Grundprinzipien der Thermodynamik werden bei diesem Programm dabei soweit wie möglich genutzt, so daß im Prinzip nahezu alle thermischen Netzwerkmodelle nachgebildet werden können und die Arbeitsweise des Programms transparent und überprüfbar bleibt.

Integrierte Gebäudesimulation  
Adeline  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart  
Tel. 0711 - 97000

Mit dem Programmpaket Adeline (Advanced Day- and Electric Lighting Integrated New Environment, siehe auch 113 ARCH+) steht jetzt ein integriertes Planungswerkzeug für die Lichtplanung mit direktem Anschluß an die thermische Gebäudesimulation zur Verfügung. Es integriert die Programme Superlite und Radiance zur Lichtsimulation, das Rechen- und Bilanzierungsprogramm Superlink sowie das CAD-Modellingprogramm Scribe Modeller.

Mit diesem CAD-Programm werden die geometrischen Daten für alle weiteren Programme vorbereitet, dabei können Plan- und Schnittzeichnungen über eine DXF-Schnittstelle aus Architektur-CAD-Programmen übernommen werden. Die geometrischen Daten werden in Scribe Modeller mit Informationen über Oberflächeneigenschaften versehen, die für die Lichtsimulation wichtig sind.

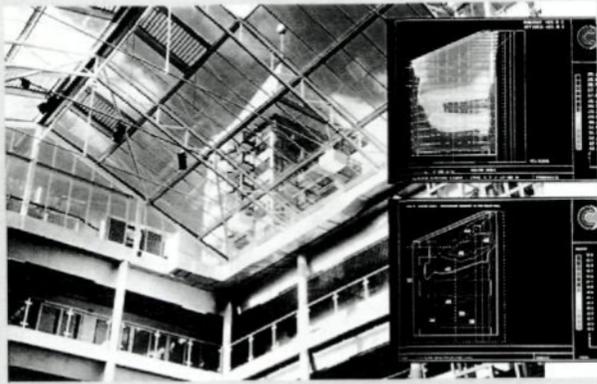
In Superlite wird die Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene sowie der Tageslichtquotientenverlauf im Gebäude ermittelt. Dieses Programm liegt mittlerweile in einer neuen Version vor, die gegenüber der in 113 ARCH+ vorgestellten einige Verbesserungen bietet: Es ist jetzt möglich, mit einem Mehrzonenmodell zu arbeiten und eine Verschattungsberechnung auszuführen. Tageslichtsysteme wie Hologramme oder andere Lichtlenksysteme können modelliert werden. Das Programm hat grafische Ein- und Ausgabepro-

gramme erhalten und kann jetzt metrische Einheiten verarbeiten. Mit Radiance erhält man eine photorealistische Darstellung des Raums mit physikalisch exakten Leuchtdichte- und Beleuchtungsstärkeverteilungen auf allen Bauteiloberflächen, anhand derer eine Beurteilung des visuellen Komforts möglich ist.

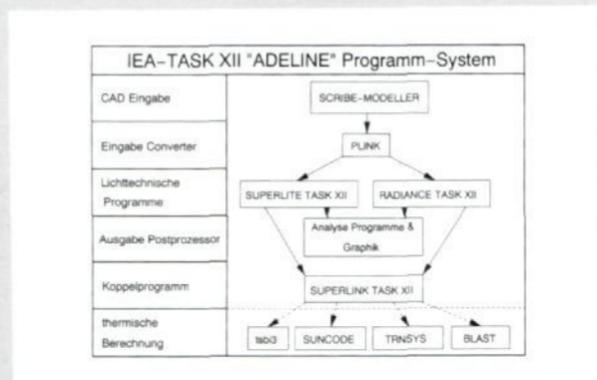
Das Programm Superlink berechnet den Energieverbrauch unter Berücksichtigung von Tageslichtnutzung und Kühllasten. Außerdem stellt es die Verbindung zu den thermischen Simulationsprogrammen Tsbi3, Suncode, Trnsys oder Blast her. Ergebnis der Superlink-Berechnung ist die stündliche Beleuchtungsstärkeverteilung für einen Tag je Monat, eine stündliche Simulation des Energieaufwands zur Sicherstellung der geforderten Nennbeleuchtungsstärke, die Tageslichtnutzungszeit, die Einschaltzeit und eine Bilanz der durch die Tageslichtnutzung eingesparten Energie.

Mittels der Schnittstelle können die Auswirkungen der Tageslichtnutzung in die thermische Simulation einbezogen werden, um eine möglichst umfassende Optimierung der verschiedenen, teilweise negativ rückwirkenden Parameter zu erhalten.

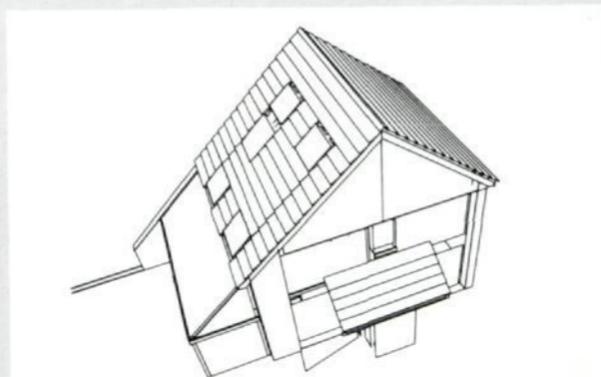
Florian Böhm



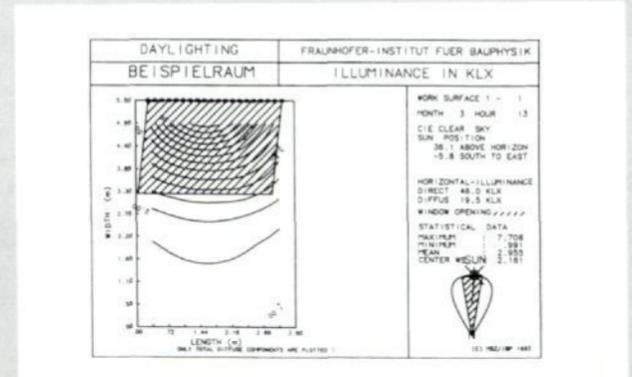
In einer Studie zu einem geplanten 13-stöckigen Innenhof mit Glasüberdachung wurden mithilfe der CFD-Berechnungen Luftwirbel in den oberen Stockwerken erkannt, die im Winter kalte Luftmassen transportieren.



Übersicht über die Programmstruktur von Adeline mit integriertem lichttechnischen Rechen-system.



Das CAD-Programm Scribe Modeller ist Teil des Programmsystems Adeline. Die Gebäudedaten können über eine Materialdatenbank in die Licht- und Energiesimulationsprogramme von Adeline konvertiert werden.

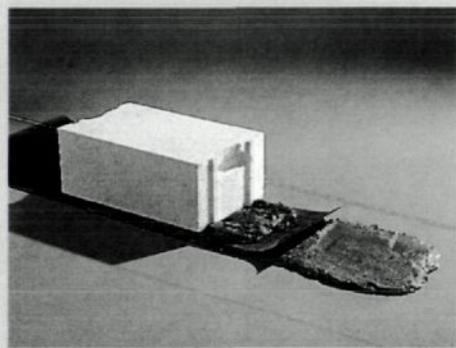


Beleuchtungsstärkeverteilung in einem Raum (links) und zugrunde gelegte Daten (rechts) bei einer Beispielrechnung mit dem Programm Superlite.

## BAU '95

**Ergonomische Porenbetonsteine**  
Ytong AG  
Hornstraße 3  
80797 München  
Tel. 089 - 306140

Auf der BAU '95 präsentierte Ytong als erster deutscher Hersteller eine neue Steingeneration im europäischen Format. Die 20er-Steingeneration baut nicht mehr auf dem oktometrischen System auf, sondern auf 20cm-Vielfachen. Damit wiegen 95% aller Ytong-Steinformaten von jetzt an unter 20 kg. Gleichzeitig wurde eine neue Griffaschen-geometrie entwickelt, die die Belastung des Hand-Arm-Bereichs beim Mauern wesentlich verringert. Ausgangspunkt dieser grundlegenden Umstrukturierung, der andere Hersteller folgen werden, waren ergonomische Aspekte und zunehmende

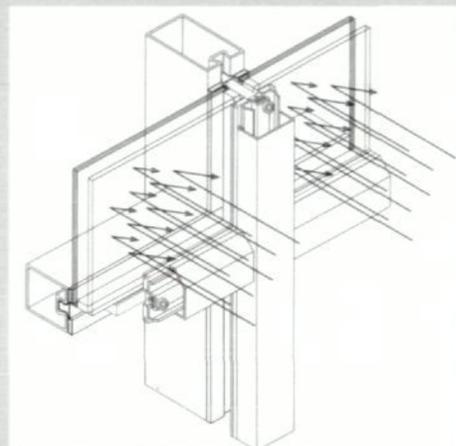


Gesundheitsschäden im Baugewerbe. Auf den bereits 1993 eingerichteten Testbaustellen war die Akzeptanz unter allen Marktpartnern hervorragend. Es bleibt abzuwarten, wie schnell sich das neue Steinformat in Deutschland durchsetzt. Die erhebliche Gewichtsreduzierung sorgt für geringere körperliche Belastung, gleichzeitig können bis zu 10% bessere Arbeitszeiten erreicht werden.

**Transparentes Abschirmsystem**  
Forster Stahlrohrtechnik  
Romanshöernerstraße 4  
CH - 9320 Arbon  
Tel. 0041-71-474141

Das System Forster Shielding wurde zusammen mit der Firma Glas Trösch entwickelt. Erstmals ist es möglich, transparente, abgeschirmte Fassaden und Trennwände herzustellen. Das patentierte System wird in Räumen

mit empfindlichen Geräten und Anlagen, bei computergesteuerten Produktionsanlagen sowie zum Außenschutz bei EDV-Bildschirmen eingesetzt. Es verhindert eine Beeinflussung durch äußere Störstrahlung (Elektromog), äußere Störimpulse, gebäudeinterne Störquellen sowie das Abhören und Kopieren von Daten von außen. Trotz der enormen Abschirmwirkung und einem umfassenden Dämpfungsgrad von durchschnittlich 60 dB



über ein Frequenzspektrum von 1 kHz bis 1 GHz wird eine hohe Lichtdurchlässigkeit und eine verzerrungsfreie Durchsicht erzielt. Forster bietet eine darauf abgestimmte, schlanke Pfosten-/Riegelkonstruktion aus Edelstahlprofilen an, die auch für Isolierverglasung geeignet ist.

**Festverglasungen und Tore aus Fiberglas**  
Butzbach GmbH  
Weiherstraße 16  
89293 Kellmünz  
Tel. 08337 - 9010

Die Firma Butzbach vertreibt Festverglasungen und Industrietore aus glasfaserverstärkten Kunststoffen, die in einem selbst entwickelten Verfahren als Stegdoppelplatten unterschiedlicher Stärken hergestellt werden. Trotz



ihres geringen Gewichts sind die Lichtelemente äußerst stabil, schlagzäh und halten selbst extremen Witterungsbedingungen stand. Sie besitzen eine Lichtdurchlässigkeit von ca. 70% und ermöglichen es, Hubtore bis 15 m Breite und 25 m Höhe zu bauen. Dabei reihen sich in einer patentierten Konstruktion die

Torblattelemente ohne Scharnierverbindung in einer Konsole hinter dem Sturz auf. Die benötigte Einbaubreite und -tiefe ist somit minimal. Je nach Dicke der Torblätter oder Festverglasungselemente wird ein k-Wert von bis zu 1,85 W/m<sup>2</sup>K erreicht.

**Bauen mit Glassteinen**  
Oberland Glas AG  
Siemensstraße 1  
56422 Wirges  
Tel. 02602 - 6810

Das Bauen mit Glassteinen erfährt zunehmend an Bedeutung und (wiedergewonnener) Akzeptanz. Die Oberland Glas AG bietet eine breite Palette von Glassteinen unterschiedlicher Transparenz, Struktur und Farbigekeit sowie neue Sondersteine, die das Konstruieren mit Glassteinen vereinfachen bzw. neue Möglichkeiten eröffnen. Sie reicht von glasklaren, satinieren, lichtstreuenden bis zu lichtlenkenden Glassteinen und Fertigelementen für Glaswände und Glasdecken. Auf der BAU '95 wurden alle denkbaren Anwendungen demonstriert und neue Glassteintypen vorgestellt. Neue Eckglassteine stehen zur Verfügung, die in Winkeln zwischen 60 und 140 Grad angeboten werden. Damit entfallen die bisher üblichen Abschlußprofile aus Stahl. Lichtlenkende Glassteine lenken durch eine spezielle prismatische Ausbildung der Innenseiten Tageslicht gezielt um, im Normalfall an die Raumdecke.



**Neue Polycarbonat-Platten**  
Röhm GmbH  
64275 Darmstadt  
Tel. 06151 - 1801

Mit der Stegvierfachplatte 'Makrolon Longlife S4P 25 HR' präsentierte Röhm bei der BAU '95 ein weiterentwickeltes Verglasungsprodukt, das mit einem k-Wert von 1,7 W/qmK auch die Anforderungen der neuen Wärmeschutzverordnung erfüllt. Die 25 mm dicken Platten mit extrem hoher Schlagzähigkeit können auch in kalt eingebogenem Zustand, etwa für Tonnengewölbe oder Oberlichter, eingesetzt werden. Eine optimierte Beschichtung sorgt für einen noch besseren Schutz vor Witterungs- und Umwelteinflüssen: An der glatten Oberfläche können Schmutzpartikel aus normalem Niederschlag kaum noch haften. Darüber hinaus ist die Platte ohne Einschränkung der Korngrößen absolut hagelbeständig.

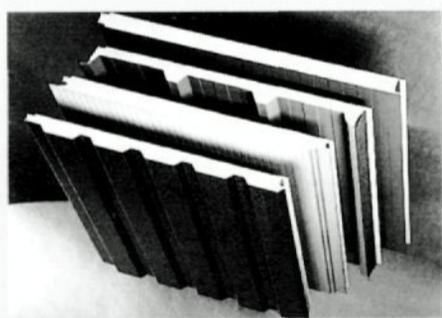


Ebenfalls vorgestellt wurde ein neues Halbzeug aus einer 'Plexiglas'-Platte mit koextrudierter, infrarotreflektierender Beschichtung, das für den Einsatz in Lichtkuppeln und -bändern oder ebenen Verglasungssystemen die solare Aufheizung um bis zu 50% reduziert. Die Wirkung beruht auf plättchenförmigen Pigmenten, die parallel zur Oberfläche so ausgerichtet sind, daß sie durch Überlagerung und Interferenz ein genau abgestimmtes Transmissions- und Reflexionsverhalten erreichen. Die milchigweißen Platten werden in Dicken zwischen 2,5 und 4mm angeboten.

FCKW-freie  
PUR-Sandwichelemente  
Fischer Profil GmbH  
Waldstraße 67  
57250 Netphen  
Tel. 02737 - 5080

Fischer Profil fertigt europaweit als erstes Unternehmen Sandwichelemente mit Stahldeckschichten und einem PUR-Hartschaumkern sowohl FCKW- als auch HFCKW-frei. Weder bei der Herstellung noch bei der Anwendung gibt der Hartschaumkern umweltschädigende Substanzen an die Luft ab. Die bisherigen günstigen Eigenschaften hinsichtlich Wärmedämmung, Brandschutz und Statik bleiben unverändert erhalten.

Die montagefertigen Fischer 'Isotherm'-Elemente sind sehr leicht bei gleichzeitig hoher Steifigkeit. Die Außenschalen übernehmen die auftretenden Zug- und Druckkräfte und den Schutz gegen äußere Einflüsse. Der PUR-Hartschaum fixiert die Außenschalen auf den gewünschten Abstand, übernimmt bei Belastung des Elements Schub- und Druckkräfte und sorgt für die hervorragende Wärmedämmung.



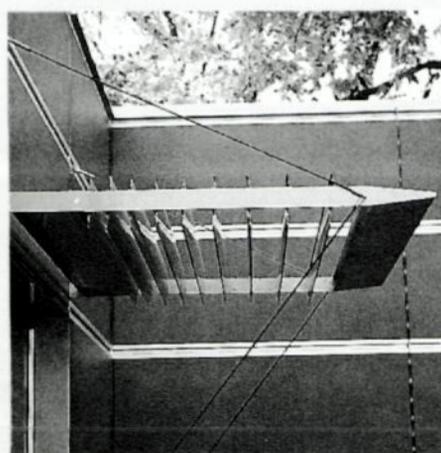
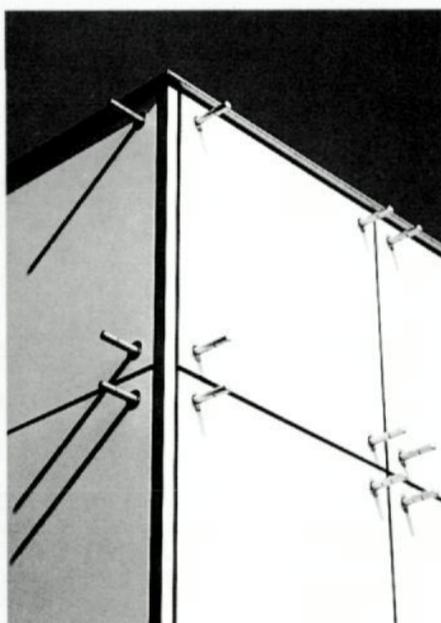
Trapez- und Wellplatten aus Polycarbonat  
General Electric Plastics GmbH  
Eisenstraße 5  
65428 Rüsselsheim  
Tel. 06142 - 601110

Trapez- und Wellplatten der Serie Lexan Corrugated Sheet (LCS) von GE Plastics werden zunehmend als Material für Dach- und Fassadenverglasungen eingesetzt. Passend zu allen Standard- und Industrieprofilen aus Metall, sind die Polycarbonatplatten eine ideale Alternative zu herkömmlichen Verglasungsmaterialien: schlagfest, UV- und witterungsbeständig. Materialtests haben gezeigt, daß LCS nicht vergilbt und auch bei

extremer Beanspruchung 90% seiner Lichtdurchlässigkeit bewahrt. Gegenüber Glas bestehen zahlreiche Vorteile: leichter Transport und Einbau durch das geringe Gewicht, hohe Sicherheit gegen Beschädigung beim Einbau, einfache Verarbeitung in Zuschnitt, Bohren und Installieren.

Fassadensysteme aus Faserzementtafeln  
Eternit AG  
Ernst-Reuter-Platz 8  
10587 Berlin  
Tel. 030 - 34850

Mit 'Pikto' und 'Linar' wurden zwei neue Fassadensysteme vorgestellt, die als Baukastensysteme für komplette Systemlösungen gedacht sind: das Basisprogramm kann jeweils mit zusätzlichen Gestaltungselementen wie feststehendem oder beweglichem Sonnenschutz ergänzt werden. Möglich ist es auch, produktfremde Sonderelemente wie Werbeträger, Displays oder Photovoltaikmodule zu integrieren. Bei 'Pikto' wird die Befestigung als eigentliches Gestaltungselement eingesetzt und nicht mehr versteckt. Die sichtbaren Befestigungsdorne bestehen aus Aluminium oder Edelstahl. Bei 'Linar' werden die großformatigen Faserzementtafeln in Aluminiumprofilen gehalten, die als horizontale Schattenfuge sichtbar bleiben. Es kann mit bewährten, marktüblichen Unterkonstruktionen kombiniert werden.



Schwer entflammbare Zellulose-dämmung  
Isofloc GmbH  
Dieselstraße 3 - 5  
37235 Hessisch Lichtenau  
Tel. 05602 - 80080

Mit 'isofloc s' kommt der erste Zellulose-Dämmstoff auf den Markt, der die Anforderungen an einen schwer entflammaren B1-Baustoff erfüllt. Damit erschließen sich der Wärmedämmung aus dem Rohstoff Zeitungspapier völlig neue Anwendungsgebiete, etwa bei mehrgeschossigen Bauten oder Versammlungsräumen mit ihren speziellen Brandschutzbestimmungen.

Neue Mineralwolldämmung  
Deutsche Rockwool GmbH  
Postfach 207  
45952 Gladbeck  
Tel. 02043 - 4080

Für keinen anderen Dämmstoff liegen derartig umfangreiche Studien und Untersuchungen hinsichtlich der Gesundheitsaspekte vor wie für die seit mehr als 60 Jahren eingeführte Mineralwolldämmung. Aufgrund von Versuchen an Ratten wurden die Mineralwollprodukte 1980 als krebverdächtig eingestuft, in der noch nicht rechtskräftigen TRGS 905 sogar als krebserregend. Diese Bewertung beruhte darauf, daß die "Biolöslichkeit" der Mineralwollfasern bisher durch Tierversuche nicht belegt werden konnte. Untersuchungsergebnisse des Fraunhofer Instituts belegen die hohe Biolöslichkeit der neuen, auf der BAU '95 vorgestellten Rockwool-Generation. Es konnte nachgewiesen werden, daß sie sich in der Rattenlunge dreimal schneller auflöst als herkömmliche Mineralwollfasern, die eingeatmeten Faserbruchstücke also von körpereigenen Zellen schneller abtransportiert werden. Faserbruchstücke entstehen lediglich bei der Herstellung und Verarbeitung von Steinwolle, nicht jedoch im eingebauten Zustand.

Wolf Loebel

# THERMUR HM

## DAS KOMFORT- ISOLIERGLAS

Hält die Wärme im Raum.  
Läßt die Hitze draußen.



# NEU aus USA

## High-Tech aus dem Silicon-Valley

Hohe Lichtdurchlässigkeit,  
niedrige k- und g-Werte,  
objektspezifisch variabel.  
Niedriges Gewicht.

Wir fertigen in Lizenz ein weltweit bewährtes System aus U.S.A., das durch seine überlegene Beschichtungstechnologie neue Maßstäbe setzt und viele Möglichkeiten bietet: Schutz vor Kälte, Hitze, Lärm, Einsicht und Gewaltanwendung.

Alles in einer Scheibe.

# GLAS FISCHER

Isolierglaswerk

D-71711 Murr  
Tel. 0 71 44-82 63-0  
Fax 0 71 44-82 63-33

WIR STELLEN  
AUS

GLASTEC '94, DÜSSELDORF  
HALLE 11 · STAND 11F19  
SOUTHWALL TECHNOLOGIES