

# ADAPTIVE PHOTOVOLTAIK

Nachführbare Photovoltaik-Lamellensysteme stellen in Gebäudehüllen Funktionselemente der Extraklasse dar. Mit dieser wertschöpfungsstarken Fassaden- und Solartechnologie wird gegenüber fix eingebauter Photovoltaik bis zu 38% mehr Solarstrom erzeugt. Als Effekt von adaptiven Photovoltaik-Beschattungssystemen erhalten Architekten neue gestalterische Möglichkeiten, Nutzer zusätzlichen visuellen und thermischen Komfort und Bauherren eine moderne Corporate Identity.

Ogleich nachhaltige Baukonzepte z.B. bei Minergie- oder Passivhäusern beachtliche Reduktionen des thermischen Energiebedarfs von Gebäuden ermöglichen (Minergiestandard: unter 45 kWh/m<sup>2</sup>a), lassen sie den Elektrizitätsbedarf auf hohem Niveau verharren oder – bedingt durch Kunstlichteinsatz auf Grund kleiner Fenster und kontrollierter Lüftung – sogar noch weiter ansteigen. Will man den Energieverbrauch in Gebäuden nachhaltig senken, genügen klimagerechte Orientierung, hochwertiger Wärmeschutz, effiziente Heizungs- und Belüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung, effiziente Verglasung, Tageslichtnutzung sowie aktive thermische Solarsysteme für Raumheizung und Warmwasserbereitung als Massnahmen nicht.

## *Von Minergie zum Plusenergiehaus*

Faktisch gesehen verstellt der Minergie-Boom in der Schweiz gewissermassen den Blick auf das Potenzial für weitere, noch energiebewusstere und ganzheitlichere Gebäudekonzepte. Zur Sparidylle von Minergie- und 3-Liter-Häusern muss sich darum heute der Gedanken von aktiven Solargewinnen gesellen. Spätestens der drohende Klimawandel, ein im globalen Massstab weiterhin wach-

sender Energiebedarf, endliche Ressourcen an fossilen Energieträgern und zunehmendes Bewusstsein bezüglich der Verletzlichkeit nuklearer Energieerzeugungsanlagen gegenüber Terroranschlägen müssten eine verstärkt solar basierte Energieversorgung in den Brennpunkt der Gebäudegestaltung rücken. Dies nicht zuletzt auch, weil Gebäude immer noch bis zu 50% des globalen Primärenergieverbrauchs verursachen und Übertragungsverluste im Netz erheblich sind.

Mit der gebäudeintegrierten adaptiven Photovoltaik bietet sich diesbezüglich eine neue Technologie an, die als realistische Möglichkeit einer solchen Art der Energiegewinnung mit relativ hohen Flächenerträgen und Synergiepotenzialen angesehen werden kann.

## *Photovoltaische Option*

In photovoltaischen Zellen und Modulen erzeugte Elektrizität aus Sonnenlicht ist unerschöpflich und umweltgerecht, da Sonnenstrahlung elektrische Energie unmittelbar umwandelt, ohne dass bewegliche Teile oder Brennstoff erforderlich wären und praktisch ohne dass Schadstoffe im Verlauf ihres Lebenszyklus entstehen. Der heutige Stand der PV-Technik kann etwa so umrissen werden<sup>1</sup>:



\* Reto P. Miloni, Dipl. Architekt ETH SIA  
Lichtplanung und solare Gebäudekonzepte  
Gastdozent an der Universität Hannover  
CH-5432 Mülligen

2



3



- Photovoltaische Module sind bewährt. Sie haben eine Lebenserwartung von rund 30 Jahren.
- Photovoltaische Systeme wurden erfolgreich in Tausenden kleiner und grosser Anwendungen eingesetzt.
- Photovoltaik-Technologie ist modular: Stromerzeugung ist vom Milliwatt- bis zum Megawattbereich möglich und dies – im Gegensatz zu grossen zentralen Kraftwerken – dezentral und anwendernah.
- Photovoltaisch erzeugte Elektrizität gilt als gangbare wirtschaftliche Alternative bei netzfernen Anwendungen.

- PV-Technologie ist universell: PV-Module sind der solaren Strahlung angemessen, können in Massen hergestellt und weltweit versandt werden.
  - Wird die Photovoltaik beweglich, z.B. in transluziden PV-Modulen, statt statisch ausgeführt, sind bis zu 38% höhere spezifische Energieerträge zu erwarten, zu denen sich weitere induzierte Energieeinsparungen durch vermiedene Kühllasten und Beleuchtungsstrom gesellen.
- Man schreibt der Photovoltaik technisch das Potenzial zu, eine wichtige, ebenso uner-schöpfliche wie saubere Energiequelle der

Zukunft zu werden. Doch schien sie bisher wirtschaftlich noch nicht zur Erzeugung von Grundlaststrom geeignet. So blieb – aus Kostengründen – ihre praktische Anwendung auf innovative Nischenmärkte beschränkt (Kleingeräte, netzferne Wohngebäude in den Alpen, abgelegene Telekommunikationsstationen etc.). Der sich beschleunigende technische Fortschritt und die immer wieder vorgetragenen Bedürfnisse nach nachhaltiger Energieversorgung lassen erahnen, dass Photovoltaik in Gebäuden – auch bei vorhandenem Netzanschluss – längerfristig wirklich mehr als ein Nischenmarkt sein muss!

#### *Von der PV-Steinzeit zur PV-Moderne*

Noch befinden wir uns gewissermassen in der photovoltaischen Steinzeit, wo man Solarmodule vereinzelt und fast etwas verschämt auf Kirchtürmen, Lärmschutzwänden, Silofassaden oder in freier Landschaft platziert. Ingenieurmässig legt man eine Art «add-on»-Haltung wie in den 70er-Jahren an den Tag. Jene klebte angesichts der essentiellen Bedeutung des Luftwiderstandsbeiwertes für den Treibstoffverbrauch von Automobilen Kunststoffspoiler auf Kofferraumdeckel unförmiger Automobilkarosserien. Die Automobilindustrie fand aus dieser Alibi-Haltung des additiven Engineerings heraus zu synergetisch wirksamen Lösungen: aus dem biedereren Spoiler wurde das im Windkanal perfekt gestylte, verbrauchsgünstige und funktionale Auto. In vier Jahrzehnten, in denen bisher mit Photovoltaik gearbeitet wurde, haben die ursprünglich in der Weltraumtechnik eingesetzten Komponenten zwar schrittweise ihren Weg zur terrestrischen Anwendung in Fassaden und zur Prämierung in rührigen Solarkomitees gefunden. Doch auf den Durchbruch bei solar durchgestylten Häusern warten wir Architekten schon lange.

Ob und inwiefern Photovoltaik an Gebäuden zu mehr werden wird, als zu einer exotischen Möglichkeit für Habliche oder Subventionierte, die sich ein paar auf das Dach oder an die Fassade geschraubte Solarmodule leisten (können), hängt nicht nur von der sorgfältigen Bewertung der unterschiedlichen Einflussfaktoren wie beispielsweise der verfügbaren Solarstrahlung auf Gebäudeoberflächen, den rechtlichen Randbedingungen oder der Stabilität der Versorgungsnetze ab. Vielmehr wird sich das wahre Potenzial dieser Solartechnologie unter mitteleuropäischen Klimabedingungen mit nur mässigem Solarstrahlungsangebot dann richtig eröffnen, wenn es gelingt:

- im Sinne einer «economy of scale» das Preis-Leistungs-Verhältnis der Solarzellen in deutlich wirtschaftlichere Grössenord-

nungen zu bringen – was ausreichend grosse Märkte bei niedrigeren Stückkosten (z.B. Farbstoffzellen) voraussetzt,

- wenn innovative und synergetisch wirksame Ansätze in der Anwendung von gebäudeintegrierter Photovoltaik den Gesamtnutzen eines Gebäudes neu determinieren,
- wenn Architekten und Bauherren in ihrer Anwendung einen Sinn für Gestaltung, Repräsentation und Funktion erkennen.

Um in der Terminologie des Autos zu bleiben: es geht weniger um Stückpreise von Heckspoilern als um auszulösende Schneeballeffekte durch Kostenreduzierung, Design und Funktionszuwachs. Die wahre Kraft wird aus solaren Konzepten wachsen, die aus einem interessanten Spielfeld für Architekten und Ingenieure ein Business mit weltweiter Perspektive machen und die Photovoltaik als untrennbaren Bestandteil der Gebäudehülle erkennen. Schon sind aus architektonischer, technischer und wirtschaftlicher Sicht für Photovoltaik in Gebäuden vielfältige positive Aspekte bekannt:

- Photovoltaik erfordert keine zusätzlichen Grundflächen oder Infrastruktur und ist in dicht besiedelten Gebieten einsetzbar.
- Photovoltaik kann Elektrizität zu Spitzenlastzeiten zur Verfügung stellen und so die Bereitstellung von Spitzenlaststrom durch die Versorgungsunternehmen entlasten.
- Photovoltaik kann den Bedarf an elektrischer Energie für das betreffende Gebäude ganz oder zu einem wesentlichen Teil decken.
- Photovoltaik kann herkömmliche Bauelemente ersetzen und so als multifunktionales Bauteil die Wirtschaftlichkeit des Systems «Gebäude» verbessern.
- Photovoltaik kann auf innovative Weise die Gestaltung des Gebäudes positiv beeinflussen und Synergien schaffen (z.B. SHADO-VOLTAIC: Solarstromproduktion, Beschattung und Lichtlenkung in einem Element).

Bislang hat man gebäudeintegrierte Photovoltaik – gerade auch unter orthodoxen Solarfachleuten – fast ausschliesslich unter dem Gesichtspunkt der Stromerzeugungskosten und dabei fast ausschliesslich nur bezogen auf statische Systeme betrachtet. Die Vorteile multifunktionaler beweglicher Bauteile, die gleichermaßen Witterungs- oder Sonnenschutz bieten und Energie produzieren, wurden wenig beachtet.

Umso wertvoller ist es, nun drei typische Beispiele adaptiver Photovoltaiksysteme darzustellen, die vermehrt auch hinsichtlich ihrer technischen, gestalterischen und funktionalen Randbedingungen überzeugen.



**1** Zu den ersten Grossprojekten mit gebäudeintegrierter Photovoltaik zählte das mit dem Solarpreis ausgezeichnete Werksgebäude der Stadtwerke Winterthur. (Architekt: Theo Holz, Zürich)

**2/3** Solarzellen sind auf dem besten Weg, ihren Ersatz in Fassaden und Dächern zu finden. (Fischer Architekten, Zürich)

**4/5** Erste Versuche mit elektrisch verstellbaren, photovoltaischen Beschattungselementen wurden bereits 1993 am «Denkraum» im Rahmen der SWISSBAU 1993 vorgestellt. (Architekt: Reto Miloni Mülligen)

**6** Als alternatives Antriebssystem wurde die ausserordentlich robuste Thermohydraulik in 28 Meter langen Rinnenkollektoren auf der Schwäbischen Alp getestet. (Engineering: ZSW Stuttgart)

**7** In der neuesten Solarhausgeneration wie etwa beim GEMINI-Haus in Weiz wird mit ein- und zweiachsig nachgeführten Solarmodulen Strom erzeugt. (Architekt: Erwin Kaltenecker, Weiz)





### Hydraulisches Solarschild am Wirtschaftshof Linz

Das Verwaltungsgebäude des Wirtschaftshofes Linz ist Ergebnis eines Architekturwettbewerbes, bei dem ein Energiekonzept für den Gebäudeentwurf verlangt wurde. Architekt Schimek suchte bei seinem Niedrigenergiegebäude neben der optimalen Erfüllung der städtebaulichen und räumlichen Anforderungen ein umfassendes Energiekonzept auf Basis erneuerbarer Energieversorgung, welches er in der Vereinigung von adaptivem photovoltaischem Sonnenschutz fand: es vereint Funktionen wie Beschattung, Tageslichtlenkung, passive Energienutzung und photovoltaische Energieerzeugung in einem Bauelement.

Tageslichtsysteme für den Sonnen- und Blendschutz erreichen – genau wie Photovoltaikmodule – ihre höchste Wirksamkeit dann, wenn sie zur Sonne liegend angeordnet sind und dem Sonnenlauf nachgeführt werden. Also wurde dem Verwaltungsgebäude Linz ein beweglicher Solarvorhang verpasst. Dabei wurde statt einem elektromotorischen Antrieb eine Solarnachführung in Anlehnung an die «Caterpillar»-Technologie gewählt: hydraulisch. Der passive Antrieb wird durch die Sonne aktiviert und mit Energie versorgt. Er macht das Nachführsystem autark wie eine Sonnenblume. Hieraus ergibt sich Kostenreduktionspotenzial in der Anschaffung und im Betrieb. Das PV-Tageslichtsystem Linz wurde im EU-THERMIE-Programm als Musterprojekt gefördert, ist seit Dezember 1999 in Betrieb und wurde mit dem Österreichischen Solarpreis 2000 ausgezeichnet.

#### Robuste Technik mit autarkem Antrieb

Das umgesetzte Energiekonzept zeigt, dass Niedrigenergie-Konzepte auf Verwaltungsgebäude übertragbar sind und damit ein Großteil des thermischen sowie elektrischen Energiebedarfes aus erneuerbaren Ressourcen gedeckt werden kann. Als Besonderheit gilt die realisierte Form des ausgestellten PV-Sonnenschutzes und seines autarken Antriebs, welcher 13 Sektionen mit unterschiedlicher Fassadenorientierung vor der zylinderförmigen Glasfassade antreibt:

- Über 4 Stockwerke sind 20 kWp Photovoltaik auf 250 m<sup>2</sup> Lamellenfläche integriert. Lamellen-Teilsysteme sind über mehrere Stockwerke hinweg mechanisch gekoppelt. Sie werden thermohydraulisch dem aktuellen Sonnenstand nachgeführt.

- Die Absorberröhren der Thermohydraulik sind als Leitlamellen am Dachrand integriert. Fehlt Direktstrahlung der Sonne (Nachts oder bei bewölktem Himmel) werden die Lamellen über Rückstellfedern in eine horizontale Ruhelage zurückgeholt.
- Auf kurzzeitige Strahlungswechsel im Minutenbereich reagiert der wartungs- und pannenfreie Antrieb nicht. Die Ansprechzeit des thermohydraulischen Antriebs liegt je nach Ausgangslage und Sonnenposition bei 10 bis 20 Minuten.

#### Vorbildlicher Benutzerkomfort

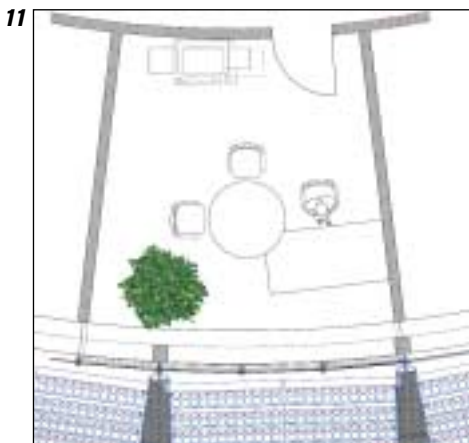
Durch den Verzögerungseffekt der Thermohydraulik und deren lautlosen Stellvorgang wird z.B. bei Cumulusbewölkung der Betrieb der Anlage von Beschäftigten kaum wahrgenommen. Sensorgesteuerte, elektromotorisch angetriebene Sonnenschutzanlagen benötigten hierzu eine verzögernde Steuerhysterese, welche das geräuschvolle Öffnen und Schließen der Beschattungselemente unterdrücken müsste. Eine breite Funktionsvielfalt bietet das System an:

- Bei bewölktem Himmel gelangt durch die geöffneten Lamellen genügend Diffuslicht in den Raum. Eine im Modellversuch und mit Tageslichtsimulationen ermittelte transluzente Ausführung der PV-Module lässt auch im Besonnungsfall, wenn die Lamellen zur Sonne gerichtet sind, genügend Tageslicht in die Büroräume. Dies optimiert den bereits hohen thermischen und visuellen Komfort. Zusätzliche angebrachte Blendschutzrollos, die von unten nach oben laufend geschlossen werden können, haben sich bei niedrigen Sonnenständen als wirksam.
- In der Beschattungsstellung halten die Benutzer sitzend oder stehend den Kontakt zu Gebäudeumfeld und Horizont aufrecht. Dies sorgt für angenehmes Zeit- und Wettergefühl, einem sehr hoch zu gewichtenden Faktor der Benutzerzufriedenheit.

#### Stromautarkie von 60 %

Im Jahre 2000 hat die Photovoltaikanlage des Wirtschaftshof Linz 9025 kWh geerntet und damit einen solaren Deckungsgrad seines Energiebedarfes von 60% erreicht.<sup>2</sup>

- Im Durchschnitt wurden rund 462 kWh pro kWp erzielt (ca. 36 kWh/m<sup>2</sup>).
- Der maximale Jahresertrag von 650 kWh pro kWp wird vom westorientierten Teilsystem erzielt, was für eine PV-Anlage in einer Vertikalfassade als Rekordertrag angesehen wird.
- Die nach Südosten orientierten Module erreichen noch einen Jahresertrag von 450



kWh/kWp, während nach Osten hin bloss noch 300 kWh pro kWp erreicht werden.

- Die Ertragsunterschiede sind bei niedrig stehender Sonne besonders betont: in den Wintermonaten erwirtschaftet die Ostseite nur noch einen minimalen Ertrag.

Dass die Erträge der 13 Teilsysteme nicht noch höher sind, hat einerseits mit der städtebaulich bedingten Orientierung des Gebäudes von Süd-Südwest über Süd bis Ost-Nordost auf Grund einer bestehenden Strasse und Parzellenform zu tun. Gleichzeitig ist es aber auch Konsequenz der gleichläufigen Beschattungsmechanik und der Modulabstände, welche eine gegenseitige Verschattung der Module verhindern.

Trotz einer suboptimalen Ausrichtung erzielt die Linzer Anlage eine spezifische Energieernte wie südorientierte PV-Fassaden. Man kann also davon ausgehen, dass mit einer adaptiven Photovoltaik selbst bei leicht von Süden abgedrehten Gebäuden Solarerträge gewissermassen auf Südfassaden-Niveau «umklappbar» sind!

#### *Zukunftsfähige Lösung*

Einige mögen die Integration von adaptiven Photovoltaikmodulen in Gebäudehüllen als technische Spielerei abtun. Andere sehen dies als Beitrag zu einer dezentralen Energieversorgung und zu einem «Solar Touch» in moderner Architektur zu leisten.

Soll an die Stelle der Maximierung von Solarstromgewinnen die diffizile Aufgabe der Optimierung und Bündelung verschiedenster Funktionen innerhalb eines Gebäudehüllkonzepts treten, muss Erfolg bereits im Voraus gesichert erscheinen.

Glücklicherweise wird dieser kühne Planungsansatz durch Linzer Betriebsergebnisse bestätigt. Im Detail übertraf das multifunktionale Photovoltaik-Tageslichtsystem die Erwartungen sogar. Es setzt sich gegenüber konventionellen Lösungen ab durch:

- eine Erhöhung der spezifischen Photovoltaik-Energieernte durch die Nachführung der Module um 10% bis 20% gegenüber fassadenintegrierten, statischen PV-Zellen
- einen Deckungsanteil der PV-Anlage von 60% des Elektrizitätsbedarfs des Verwaltungsgebäudes
- Der Gesamtstromverbrauch liegt mit 12 kWh/m<sup>2</sup>/Jahr rund 25% unter dem neuen Minergie-Standard von Wohnhäusern!
- einen geringeren Energiebedarf für Raumluftkonditionierung und Gebäudekühlung bedingt durch aussenliegenden Sonnenschutz (vermiedene Kühllast: ca. 30 – 50 kW) wie auch ein reduzierter Energiebedarf für Beleuchtung: wärmefreie Tagesbelich-

12



**8/9 Die vierlagigen Beschattungsmodule werden in 7 Segmenten der Sonne nachgeführt. Der Zellenbelegungsgrad nimmt zur Tageslichtoptimierung in Richtung Fassade ab.**

**10 Aussenansicht**

**11 Grundrissplan**

**12/13 Der thermohydraulische Antrieb funktioniert wie die phototaktische Ausrichtung einer Sonnenblume: Druckunterschiede richten das System nach der Sonne.**

13



ung und Konstantlichtregelung reduzieren die Energieeinsparungen auf 40% gegenüber einem konventionellen Sonnenschutz

- eine Tageslichtautonomie von über 75% für normale Büroarbeitszeiten und Horizontalbeleuchtungsstärken
- einen gemäss Rückmeldungen der Mitarbeiter als hervorragend taxierten thermischen und visuellen Komfort am Arbeitsplatz auf Grund des ausgezeichneten Sonnen- und Blendschutzes
- ein in der ausgestellten Form als sehr interessant angesehenes Funktionselement, welches nicht nur ein angenehmes Übergangsklima zwischen Gebäuderumpf und Umgebung durch Hinterlüftung vor der Primärfassade erzeugt, sondern auch eine elektromagnetische Schirmdämpfung im Sinne eines Faradayschen Schutzkäfigs
- ein Architekturelement, welches eine vorwärtsgerichtete Unternehmensphilosophie zum Ausdruck bringt
- ein modulares Standardsystem bzw. Baugruppen, die bei Serienfertigung erhebliche Kostensenkungspotenziale bei Herstellung und Anlagenplanung sicherstellt.

Projektbeteiligte, Kenndaten und Ausführungszeitraum

*Planung und Bauzeit:*  
bis November 1999

*Bauherrschaft:*  
Stadtbetriebe Linz GmbH, Linz

*Architekt:*  
Dipl.-Ing. Architekt Schimek, Linz

*Lichtplanung und Tageslichtsimulationen:*  
Lichtplanung Miloni, Mülligen

*PV-Module und Engineering:*  
Colt International Ges.mbH, Linz

*Thermohydraulische Nachführung:*  
ZSW – Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstofforschung  
Baden-Württemberg, Stuttgart

*Solarzellen:*  
SIEMENS

*Stromproduktion solar:*  
20,0 kWp

*Energiekennzahl:*  
35 kWh/m<sup>2</sup>/Jahr

*Klimatisierung:*  
keine (verhinderte Kühlleistung 50 kW)

## Wesertaler Solar-Paravent

Bei diesem registrierten Projekt der Expo 2000 wollte die Bauherrin neue Wege aufzeigen, wie Klimaschutz durch Nutzung von Sonnenenergie und moderne Solartechnik zu verwirklichen sei.

### Kontext Mensch-Natur-Technik

Konzipiert wurde ein multifunktionaler Technikurm mit klarer, vertikaler Zonierung zur Unterbringung der zentralen technischen Anlagen für die energetische Versorgung der Solarsiedlung. Bei diesem Bauobjekt wird der Kontext Mensch-Natur-Technik am Energieturm dank seiner signifikanten «Solar-Ohren» beispielhaft verdeutlicht, indem Attribute eines dynamischen Gesamtsystems nachvollziehbar werden: Assoziationen zu der weithin sichtbar energetischen Dynamik ähnlich einer klassischen Windmühle charakterisieren das Leitmotiv des Architekten: «In ihrer Drehbewegung weisen die PV-Flügel auf ein wesentliches Merkmal solarer Energienutzung hin und machen wie eine Sonnenuhr Tageszeit im saisonalen Verlauf ablesbar.»

### Synergie von Strom und Schatten

Die nach Süden ausgerichtete Fassade des Technikgebäudes ist mit einem Photovoltaik-Lamellensystem zur Beschattung sowie zur solaren Stromerzeugung ausgerüstet, wobei sowohl unterschiedliche Typen von Solarzellen als auch unterschiedliche Nachführsysteme zur Anwendung kamen:

- Im Fassadenbereich geschieht die Nachführung der PV-Lamellen einachsig und folgt der Sonnenhöhenwinkelprojektion.
- Die an den Gebäudekanten installierten Flügelkonstruktionen (Solar-Ohren) erlauben eine zweiachsige Nachführung der PV-Lamellen.



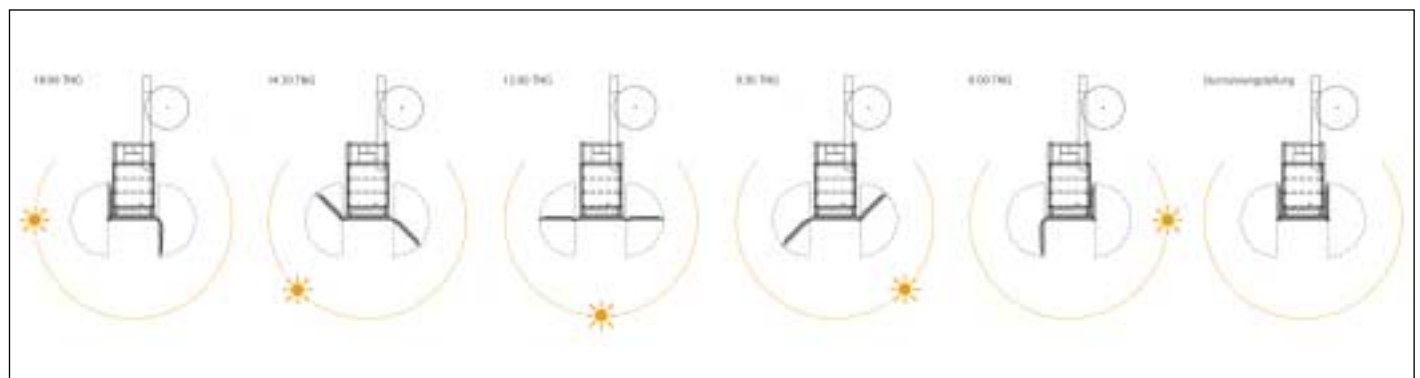
14



15



16



17

- Es wurden Solarzellen von Shell, ASE und Siemens mit einer Gesamtleistung in sechs Teilgeneratoren von 6,6 kWp verwendet. Man differenzierte zwischen unterschiedlichen Zellen und der Art der Nachführung.
- Auf linienförmige Lamellenlagerung (Torsionsrohre) wurde verzichtet. Filigrane Stahlklammern nehmen die Einscheiben-Folien-Module thermisch spannungsfrei auf. Der Verzicht auf linienförmige Lagerung zog allerdings das behördliche Prozedere der Zustimmung im Einzelfall nach sich. So war neben Tragfähigkeitsnachweisen auch die erforderliche Resttragfähigkeit im Falle des Modulbruchs nachzuweisen.

#### Differenzierendes Steuer- und Messkonzept

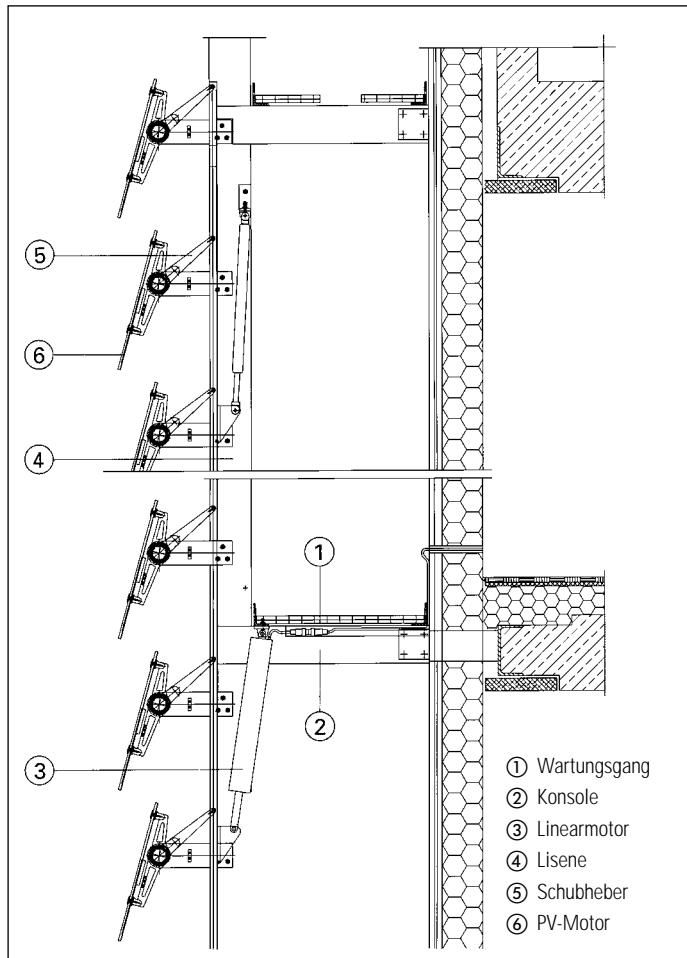
Die Modellierung der Himmelsmechanik mittels Mikroprozessor erlaubt die präzise Nachführung über entsprechende Algorithmen. Die azimutale Regelung der beiden Flügel geschieht durch langsam drehende Winkeltriebmotoren, welche die PV-Flügel bei Sturm über ein redundantes Sicherheitskonzept an das Gebäude anlegen.

Ein umfangreiches Messsystem ermöglicht eine begleitende Untersuchung der verschiedenen Nachführungen (einachsig und zweiachsig) sowie der unterschiedlichen Solarzellentypen. Datenlogger übernehmen in geeigneter Zeitaufösung die Speicherung und Verarbeitung der Daten. Für die Erfassung der Bestrahlungsstärke in den nachgeführten PV-Generatorebenen werden zwei Silizium-Sensoren eingesetzt. Ein dritter Silizium-Sensor wird als Referenzsensor in einer Neigung von 30° ohne Nachführung installiert. Die Modultemperaturen werden mit zwei Sensoren (Südfassade und Solarflügel) im mittleren Bereich der Teilfelder erfasst. Auch werden Umgebungstemperaturen sowie Windgeschwindigkeiten gemessen. Für die Funktionsüberwachung und Kontrolle der Nachführung werden Azimutwinkel der Solarflügel sowie Winkelstellung der Lamellen aufgenommen.

#### Bis zu 38% höhere Solarernte

Erste Datennahmen und Auswertungen liefern kumulierte Jahresdaten für den Messzeitraum von Mitte Oktober 1999 bis Mitte Oktober 2000.

Als Referenzvergleichswert für das Lamellensystem der Südfassade wird ein mittlerer spezifischer Jahresertrag einer senkrecht südinstallierten Photovoltaik-Einheit herangezogen. Bei einem durchschnittlichen spezifischen Jahresenergieertrag einer optimal ausgerichteten Anlage von 750 kWh je kWp erreicht ein solch starr installierter Photovoltaik-Generator Jahresenergieerträge von ca. 550 kWh je kWp (Referenzwert).



18

**14–16 Die transluziden Solarflügel können dem Sonnenstand ein- und zweiachsig nachgeführt werden.**

**17 Nachführung der PV-Anlage nach dem Azimutwinkel (Sonnenbahn zur Zeit der Frühjahrs- bzw. Herbst-Tag- undnachtgleiche TNG)**

**18 Vertikalschnitt**

Modultyp	Einheit	SHELL		ASE		SIEMENS	
		Südfassade	Flügel	Südfassade	Flügel	Südfassade	Flügel
Nennleistung	Wp	960	1281	1054	1397	795	1074
Energieertrag	kWh	652	1027	664	1038	544	786
Spez. Ertrag	kWh/kWp	679	802	630	743	684	732

- Die spezifischen Energieerträge der nachgeführten südlich orientierten Module übertreffen diesen Referenzwert bei einachsiger Nachführung um über 20 Prozent!
- Die zweiachsige Nachführung der PV-Flügel weist im Vergleich zum einachsigen Lamellensystem zusätzliche Mehrerträge bis zu 18% auf!
- Der reduzierte Ertrag des Siemens-Flügels ist wahrscheinlich durch Abschattungseffekte in Folge einer Umgebungsbebauung bedingt.

Insgesamt wurde ein Konzept verwirklicht, welches neben einem hohen Mass an gestalterischer Freiheit für Architekten und Bauherren gleichzeitig den Einsatz und das Potenzial moderner und richtungsweisender Umwelttechnologie im Fassadenbau beweist und die in die adaptive Solartechnologie gesetzten hohen Erwartungen als realistisch bestätigt.

Projektbeteiligte, Kenndaten und Ausführungszeitraum

*Planung und Bauzeit:*  
bis November 2000

*Bauherrschaft:*  
E-Werk Wesertal GmbH, Hameln

*Architekt:*  
Dr. Ing. Julius Niederwörmeier

*PV-Module mit Nachführung:*  
Colt International GmbH, Hameln

*Solarzellen:*  
SIEMENS, ASE, SHELL

*Stromproduktion solar:*  
6,6 kWp

## Beweglicher Solarvorhang in Weiz

An einem traditionellen Bürogebäude der Pichler Werke GmbH im steirischen Weiz halbierte die Bauherrschaft den bestehenden Heizenergieverbrauch durch die Neugestaltung der Fassade. Gleichzeitig setzte das im Sektor der alternativen Energieerzeugung namhaft engagierte Energieunternehmen mit der photovoltaischen Stromerzeugung in der Fassade einen neuen Meilenstein. Wer mitten in einem Naturschutzgebiet die höchstgelegene Windkraftanlage Europas betreibt – auf der 1500 Meter über Meer gelegenen Sommeralm dreht ein Riesenrad der Pichler Werke GmbH mit einer Nennleistung von 750 kW – und wer diskret die Turbinenabteilung von SULZER zu übernehmen vermag, den reizt bei einer kommunen Fassadensanierung Nichtalltätliches.

Kein Wunder also, dass sich die Pichler Werke bei der Sanierung ihres in die Jahre gekommenen Bürogebäudes nicht mit einer alltäglichen Wärmedämmung begnügten, sondern im gleichen Zug auch fassadenintegrierte PV-Module zur umweltfreundlichen Stromerzeugung an einem riesigen Solar-schild gegenüber dem Hauptplatz des kleinen Ortes Weiz platzierten.

### *Frische Corporate Identity und Energieeffizienz*

Eine der Planung vorausgehende energetische und unternehmerische Schwachstellenanalyse der Pichler Werke förderte sowohl einen erheblichen Sanierungsbedarf der Gebäudehülle, als auch das Bedürfnis für einen Re-Launch der in die Jahre gekommenen Corporate Identity zu Tage.

Beiden Anliegen wurde durch eine umfassende Sanierung der Gebäudehülle entsprochen: orientierungsabhängig, stockwerkbezogen, aber auch mit Bezug auf die städtebauliche Lage und die Funktion im Gebäude wurde bei der Fassadensanierung situativ unterschiedlich reagiert. Dabei wurden

- die bestehenden Fenster teilweise beibehalten, aber durch Sonnenschutz- und oder Lichtlenk- bzw. PV-Module aufgewertet
- die opaken Gebäudeteile durchgehend gedämmt (EPS 80 mm) und mit Natursteinen im Sockelgeschoss bzw. mit mineralischem Putz in den darüberliegenden Geschossen verkleidet
- die Eingangszone mit Glasdach neu gestaltet.



### *Solarschild und Filmleinwand statt Turm*

Die an den Südtiroler Platz angrenzende Südfassade des renovierten Gebäudes zierte um das Jahr 1900 an der südöstlichen Gebäudedecke ein Turm, der dem Südtiroler Platz städtebaulich einen Abschluss ins kaum bebaute Umland gab. Gewissermassen als städtebaulicher Kontrapunkt der Planung wurde an die Stelle dieses verschwundenen Turmes ein attraktives, zeitgenössisches Gestaltungselement gesetzt: ein markantes Solar-schild. So wie Türme in früherer Zeit die Botschaft von Macht und Stärke lokaler Potentaten im Land verkündeten, so signalisiert ein riesiges, über dem Platz schwebendes Solar-schild den symbolträchtigen Aufbruch eines weltoffenen Energieunternehmens in das Zeitalter von Sonne und Nachhaltigkeit.

Die technische Ausstattung des neuen Solar-schildes ergab sich aus den Gebäudefunktionen. Eine starre Einfassung der Gebäudeecke mit statischen Solarmodulen wurde auf Grund mangelnder Helligkeit der Büroräume verworfen. Da die Ostseite ab Mittag keine Beschattung benötigt, wurde ein mit dem Sonnenverlauf von Osten nach Süden mitziehendes Photovoltaiksegel ausgeführt.

Bei der Zellenwahl entschied man sich für semitransparente Powersolarzellen. In diesem Schild wurde oberhalb der dritten Reihe

eine motorisch betriebene Leinwand integriert. Diese wertet bei öffentlichen Veranstaltungen den Südtiroler Platz in den Sommermonaten zum Open-Air-Cinéma auf und verleiht der wichtigen Piazzetta im Zentrum von Weiz einen Hauch von Grandezza, wie man sie von bedeutenden Filmfestivals südlich der Alpen kennt. Die elektrische Nennleistung des Sonnensegels beträgt 2,7 kWp bei 40 m<sup>2</sup>. Die Transparenz der dem Sonnenstand nachgeführten Zellen liegt bei 25%.

### *Im Osten Lichtlenkung und Beschattung...*

Einmal abgesehen von der auf die bestehenden Fassaden aufgetragenen Kompaktdämmung, welche teilweise mit Natursteinen verkleidet ist, wurde bei den Einzelbüros auf der Ostseite eine wirksame Verbesserung der Tageslichtverhältnisse angestrebt. Die dort liegenden Einzelbüros haben auf einer Grundfläche von rund 16 m<sup>2</sup> eine Nettoglasfläche von bescheidenen 2,20 m<sup>2</sup>. Da sie nach Osten orientiert sind, führt die flache Vormittagssonne hier zu einer Überhitzung der Räume, welche durch das Herunterfahren der bestehenden Storen kaum zu vermeiden ist, solange

- diese im Sommer manuell zu spät geschlossen werden
- die hohe installierte elektrische Leistung für Kunstlicht und EDV zusammen mit der

Personenabwärme die Raumtemperaturen nach oben treibt

- fehlende Klimatisierung oder kontrollierte Fensterlüftung eine Nachtauskühlung verhindern
- relativ geringe Massen bzw. Bauteile mit geringer Wärmeeindringtiefe oder Hohlkonstruktionen (Hohldecken, Leichtbauwände) die Temperaturamplituden ungenügend dämpfen.

Als Folge wirkten die bisherigen Büros vor der Sanierung selbst an hellen Nachmittagen eher düster, überhitzt und stickig.

Im Rahmen der Fassadenplanung, Tageslichtoptimierung und thermischen Sanierung wurden deshalb der Variante Lichtlenkung vor einer vorgesetzten Doppelhautfassade (Weissglas, 80 cm Wandabstand) der Vorzug gegeben, da per Saldo bessere thermische und tageslichttechnische Verbesserungen erwartet werden.

Das Spezielle an den ausgeführten gebogenen Gleaselementen ist, dass sie

- trotz Spannweiten über 2,60 m durch Ausnutzung des Flächenträgheitsmomentes selbsttragend ohne Torsionsrohr ausgeführt werden konnten
- durch eine diskontinuierlich verlaufende keramische Siebbedruckung am Morgen einerseits bei Sonne die exzessive Solarstrahlung herausfiltern
- während sie bei bedecktem Himmel durch die gewählte Bedruckung der Glastafeln eine genügende Lichtlenkung bei grösstmöglicher Durchsicht gewährleisten.

#### ...im Süden Shadovoltaic-Wings

Aufgrund des besseren Tageslichtangebotes wurde auf der Südseite im Obergeschossbereich auf Lichtlenkung verzichtet. Die notwendige Beschattung wurde hier mit um die Horizontalachse sonnenstandsgerecht nachgeführten, farbtragenden «Shadovoltaic»-Modulen ausgeführt. Die gesamte Transparenz der Module liegt bei 15%, die Abstände untereinander wurden grösser gewählt, damit eine Eigenbeschattung der Module durch die hoch stehende Sommersonne vermieden wird. Die Nennleistung dieser PV-Anlage beträgt 2.8 kWp.

#### Steuerung im Eigenbau

Für die Steuerung der gesamten Fassadenanlagen wurde ein notwendiges Regelsystem (Licht, Wind, Regen) ermittelt. Zusammen mit den kalendarischen Sonnenstandsdiagrammen wurde die Steuerungsplanung und Programmierung der Anlage von der hausinternen Elektroplanungsabteilung der Pichler Werke GmbH durchgeführt. Auf ein flexibles



20



21

**19–21 An der Südfassade der Pichler Werke GmbH wurde ein riesiger Solar-Vorhang installiert, der am Morgen um die Ecke fahren kann um auch die Solarstrahlung der Ostfassade zu nutzen. (Fotos: Harald Eisenberger, Graz)**

Steuersystem wurde geachtet, um während des Probebetriebes etwaige Verbesserungen problemlos durchführen zu können.

Im Zuge der Aussengestaltung wurde auch die Kundenzone im Foyer neu gestaltet. Die ursprünglichen Fassadenelemente aus einer Alu-Glas-Konstruktion wurden gegen neue Gläser mit verbessertem u-Wert (1,1 W/m<sup>2</sup>K) ausgetauscht. Ein Glasdach (10/8/6/8/6 mm; u = 0,91 W/m<sup>2</sup>K) über dem südseitigen Eingang verbessert die Tageslichtautonomie des eingeschossigen Anbaus. Für dieses Glasdach

wurde eine eigene Beschattungslackierung ermittelt, welche hoch stehende Sommersonne abschattet und tiefere Wintersonne in das Foyer lässt. Zudem wurden die Reflexionszahlen der umgebenden Flächen erhöht.

<sup>1</sup>«Photovoltaik in Gebäuden – Handbuch für Architekten und Ingenieure»; Fraunhofer IRB Verlag; Heinz Hullmann; Stuttgart; 2000.

<sup>2</sup>«Betriebsergebnisse der adaptiven Photovoltaik-Tageslicht-Fassade am Wirtschaftshof Linz»; Fritz H. Klotz; OTTI PV Symposium; Staffelstein 14.–16. März 2001.

Projektbeteiligte, Kenndaten und Ausführungszeitraum

Planung und Bauzeit:  
bis Mai 2001

Bauherrschaft:  
Franz & Ernst Pichler GmbH, Weiz

Architekt:  
Dipl.-Ing. Erwin Kaltenecker, Passail

Lichtplanung und Konzeptberatung:  
Lichtplanung Miloni, Mülligen

PV- und Lichtlenkmodule:  
Colt Solar Technologies AG, Baar

Stahlkonstruktion Solarschild:  
Martin Reinisch GmbH,  
Technisches Büro, Graz

Power Solarzellen:

Sunways AG, Konstanz

Kompaktdämmung: 1432 m<sup>2</sup>

Fenstertausch: 226 m<sup>2</sup>

Beheizte Nutzfläche:

1239 m<sup>2</sup> (vor und nach dem Umbau gleich)

Energiekennzahl vor dem Umbau:

152 kWh/m<sup>2</sup>a

Energiekennzahl nach dem Umbau:

64 kWh/m<sup>2</sup>a

Energieeinsparung thermisch:

58%

Stromproduktion solar:

5,5 kWp