

Passiv-hybrides Solarfassadensystem

Von der Wärmedämmung zur Wärmegewinnung

Volker Dingeldein

Eine Solarfassade, bei der sämtliche Komponenten der Gebäudetechnik in einem Element vereint sind – das war das Ziel des Forschungs- und Entwicklungszentrums (FEZ) in Coburg. Das Ergebnis – ein passiv-hybrides Solarfassadensystem – stellte Prof. Volker Dingeldein bei den Gunzenhausener Fenstertagen 97 vor.

Im Vergleich zu nicht klimatisierten Gebäuden benötigten klimatisierte Gebäude ein vielfaches an Energie, ein hohes Maß an gebäudetechnischen Anlagen und damit auch einen höheren Kapitaleinsatz bei den Baukosten.

Gebäudetechnische Systeme innerhalb von Gebäuden zu installieren ist sehr aufwendig und kostenintensiv, verursacht Probleme bei der Gebäudekonstruktion, beim Schall- und beim Brandschutz. Die Nutzung von Solarenergie ist nur eingeschränkt und wenig wirtschaftlich über zentrale Systeme mit hohem Transportenergieaufwand möglich.

Dies war der Anlaß, ein System zu entwickeln, welches in der Lage ist, sämtliche Komponenten der Gebäudetechnik in einem Element zu vereinen. Die Philosophie war, ein dezentrales, an jedem Gebäude einsetzbares System zu finden, welches auch vom Nutzer individuell regelbar für eine gute Raumkonditionierung sorgt und

ein hohes Maß an Solarenergienutzung als Direktgewinnsystem ermöglicht. Dies führte zur Entwicklung eines passiv-hybriden Solarfassadensystems.

Die Solarfassade sollte die folgenden Komponenten beinhalten: Heizung, Klima, Lüftung, solarthermische Energieerzeugung und Nutzung, solar elektrische Energieerzeugung und Nutzung sowie Tageslicht.

Thermisches Solarsystem

Das Fassadensystem ist unter solarthermischen Gesichtspunkten mehrschichtig aufgebaut: Auf der Fassadeninnenseite ist ein transparent wärmegeädmmtes Glas (TWD) mit einer Stärke von 80 mm als licht-

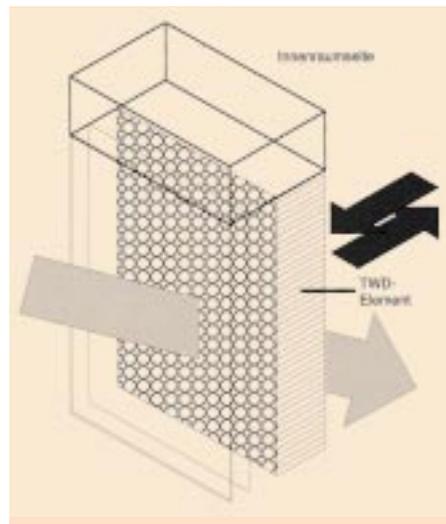


Bild 1: Direkte Sonneneinstrahlung, reflektierte Wärmestrahlung

und strahlungsdurchlässiger Wärmeschutz vorgesehen. Kurzwellige Strahlung gelangt in den Innenraum, langwellige Strahlung (Wärmestrahlung) kann nicht mehr entweichen (Bild 1).

Zwischen TWD-Verglasung und äußerer Einfachverglasung ist ein beweglicher, sonnenstands- und ther-

misch geregelter Sonnenschutz integriert. Thermische Solarenergie gelangt nur dann in den Innenraum,

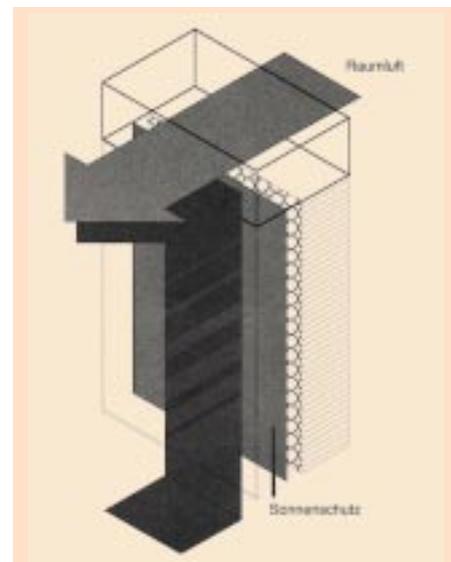


Bild 2: Thermische Abläufe innerhalb der Fassade im Sommer

wenn Wärme benötigt wird – im Sommer wird bei direkter Sonneneinstrahlung vollflächig abgeschattet, die Lamellenstellung des Sonnenschutzes bleibt jedoch so weit geöffnet, wie Tageslicht ohne thermischen Eintrag im Innenraum benötigt wird (Bild 2). Während der Heizperiode wird die im Scheibenzwischenraum durch Absorption entstandene Warmluft für die

Belüftung und Beheizung des hinter der Fassade liegenden Raumes genutzt.

Thermodynamisches System

Die durch Absorption im Scheibenzwischenraum entstehende Warmluft erzeugt einen thermodynamischen Auftrieb innerhalb der Fassade. Diese Strömungsverhältnisse werden genutzt, um im Sommer über die Fassade nach außen abzulüften. Der Auftrieb in der Fassade erzeugt im Rauminnen einen Unterdruck, der die warme Raumluft aus dem Gebäudeinneren mit sich zieht und mit nach außen ablüftet. Dies führt zu einer Raumquerströmung von der kühleren zur wärmeren Gebäudeseite und damit zu einer konvektiven Kühlung des Innenraumes. Während der Heizperiode wird die im Scheibenzwischenraum entstehende Warmluft thermodynamisch zur Aufheizung der Stahlbetondecke im Innenraum genutzt. Die Lüfterklappe zur Raum-

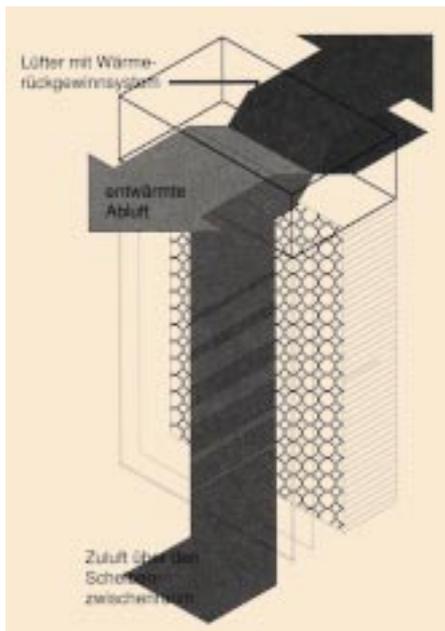


Bild 3: Beheizung des Raumes mit der im Scheibenzwischenraum entstehenden Warmluft

innenseite wird geöffnet und die erwärmte Außenluft streicht an der Oberfläche der Stahlbetondecke vorbei, welche die Wärme aufnimmt und speichert bzw. als Strahlungswärme an den Raum abgibt (Bild 3).

Klimatechnisches Solarsystem

Die für den Sommerfall beschriebenen thermodynamischen Abläufe innerhalb der Fassade können noch zusätzlich

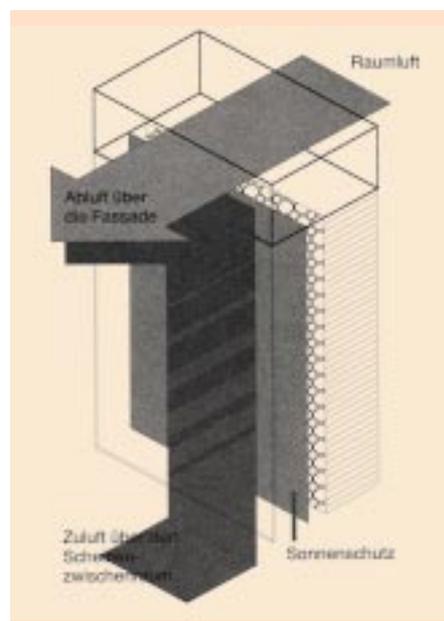


Bild 4: Ablüften der Wärme über die Fassade an einem strahlungsreichen Sommertag

durch ein elektrisch betriebenes Lüftersystem unterstützt werden. Bei ungünstigen Wind- oder Witterungsverhältnissen kann die Warmluft durch Überdruck auf der Fassade nicht entweichen, was zu einer Überhitzung im Scheibenzwischenraum und damit auch im Gebäudeinneren führen würde. Für diesen Fall wird ein mechanischer Lüfter in Betrieb gesetzt, um die Warmluft aus der Fassade zu ziehen und diese abzukühlen. Der Lüfter zieht hier ebenfalls warme Innenraumluft mit nach außen. (Bild 4)

Während der Nacht beginnt der Lüfter bei Unterschreiten der Innenraumtemperatur kühlere Außenluft in das Gebäudeinnere einzublasen. Da sich der Lüfter direkt unterhalb der Stahlbetondecke befindet, wird diese über die gesamte Nacht konvektiv ausgekühlt. Der Raum ist am nächsten

Morgen wieder angenehm temperiert, die anfallende Wärme wird zunächst von der Stahlbetondecke aufgenommen und erst in den Nachmittagsstunden erhöht sich die Raumtemperatur merklich.

Wärmerückgewinn- und Lüftungssystem

Während der Heizperiode wird ausschließlich über die in der Fassade integrierten Lüfter mit Wärmerückgewinnungssystem be- und entlüftet. Wie bereits beschrieben, wird die im Scheibenzwischenraum entstehende Wärme ins Zuluftsystem mit einbezogen – es wird ausschließlich über den Zwischentemperaturbereich belüftet. Der Zuluft wird die Wärme über einen Plattenwärmetauscher aus der Abluft übergeben, so daß sich nur geringe Lüftungswärmeverluste ergeben.

Solarelektrisches System

Die in der Fassade integrierten Photovoltaikmodule dienen der direkten elektrischen Versorgung der Lüftersysteme und der Einspeisung überschüssiger Energie in einen Nachtstromspeicher (Bild 5). Gleichzeitig übernehmen die an der äußeren Glasscheibe auflaminierten PV-Elemente noch die Funktion des Sonnen- und Blendschutzes im Fensterbereich.

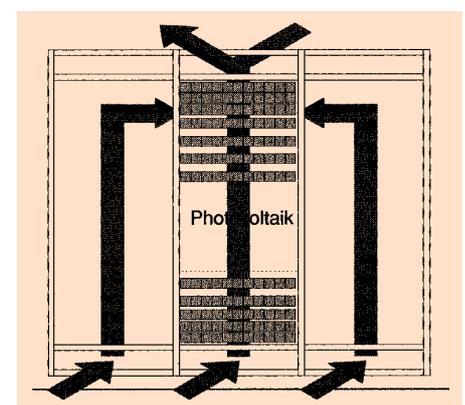


Bild 5: Photovoltaikmodule zur elektrischen Versorgung der Lüfter und thermische Abläufe in der Fassade

Tageslichttechnisches System

Bei dem vollverglasten Fassadensystem ergibt sich ein hoher Tageslichtanteil für die dahinterliegenden Räume. Normal befensterte Räume weisen einen sehr hohen Tageslicht-

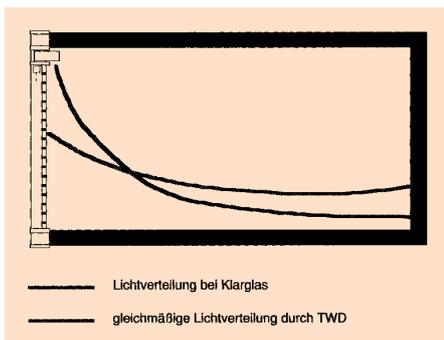


Bild 6: Tageslichtverteilung im Innenraum

anteil im fensternahen Bereich und einen sehr geringen Anteil im fensterfernen Bereich auf (Bild 6). Durch den Einsatz von TWD in der Fassade ergibt sich durch die hervorragenden lichtstreuenden Eigenschaften des transparenten Kapillarmaterials eine deutlich bessere Tageslichtverteilung im Raum – im fensternahen Bereich wird das Tageslicht gedämpft, der hintere Raumbereich durch die gute Lichtstreuung aufgehellert. Zusätzlich ist der Sonnenschutz so konstruiert, daß im Sommer trotz voller Abschattung noch genügend Tageslicht über die lichtlenkende Lamellenkonstruktion im oberen Drittel der Fassadenfläche in den Innenraum eingelenkt wird. Die Sonnenschutzlamellen sind so konstruiert, daß keine direkte Sonne in den Innenraum gelangt und dadurch keine Blendungen auftreten. Im Fensterbereich des Mittelelementes sind die Photovoltaikelemente in unterschiedlicher Dichte als zusätzlicher Sonnen- und Blendschutz angeordnet.

Bauphysikalisches System

Durch zahlreiche bauphysikalische Versuche konnte das Fassadensystem optimiert werden. Durch die Hinterlüftung des äußeren, einfach-verglasten Scheibenzwischenraumes und die dampfdichte Ausbildung der Fassade zum Innenraum ergibt sich keine Tauwasserbildung innerhalb der Fassade. Die Oberflächentemperaturen auf der Fassadeninnenseite am TWD-Element stellen sich auch bei niedrigen Außentemperaturen so hoch ein, daß auch hier bei hohen Luftfeuchten keine Tauwasserbildung nachgewiesen werden konnte.

Der Wärmeschutz des Fassadenelementes stellt sich am Tag bei $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ und bei Nacht mit voll-

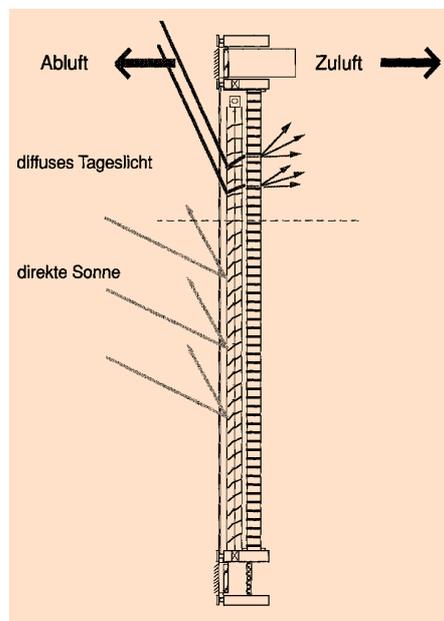


Bild 7: Tageslichtführung in der Fassade über das Sonnenschutz-/Tageslichtsystem sowie Zu- und Abluftsystem über die Fassade

ständig geschlossenem Sonnenschutz bei $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ein. Je nach Ausrichtung der Fassade ergeben sich auf der Nordseite geringe, der Ost- und Westseite kaum Wärmeverluste und auf der Südseite eine positive Energiebilanz, d. h. höhere Gewinne als Verluste. Wichtig ist jedoch die Abstimmung des bauphysikalischen Aufbaus im Gebäudeinneren auf die thermischen Zusammenhänge mit der Fassade. So hat sich durch Simulationen ergeben, daß eine hohe Speichermasse einen großen Einfluß auf den Heiz-

energiebedarf und das Raumklima hat. Bei günstiger Einregelung der Fassadentechnik ergibt sich ein sehr günstiger Heizenergiebedarf während der Heizperiode und ein angenehmes Raumklima im Sommer.

Raumheizung

Bei einem Wärmebedarf von ca. $25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (Simulationsergebnis) läßt sich die erforderliche Raumtemperatur über ein im Lüfterelement integriertes Heizelement einstellen. Dieses Heizelement kann an eine konventionelle WW-Heizungsanlage angeschlossen werden.

Die Raumklimatisierung erfolgt in der bereits beschriebenen Form ausschließlich über die Fassade und die dort integrierten Lüfter in Verbindung mit einer Stahlbetondecke. Wichtigstes Element ist ein gut funktionierendes „intelligentes“ Meß-Steuer- und Regelungssystem, welches sich zur Zeit noch in der Entwicklung befindet.

Simulation und Analyse

Das Fassadensystem wurde unter Einbeziehung eines thermischen Simulationsprogrammes zunächst auf seine Funktionsfähigkeit hin geprüft. Die Simulationsergebnisse geben Auskunft über den bauphysikalischen Aufbau der Fassade in ihrer Schichtung, Oberflächentemperaturen in den einzelnen Bauteilschichten zur Beurteilung von Tauwasserausfall, erforderliche Luftwechselraten innerhalb des Fassadenelementes und zur Raumbe- und Entlüftung und die erforderlichen Speichermassen zur Erzielung eines angenehmen Raumklimas sowie Optimierung des Energiehaushaltes. Durch Modellsimulationen mit Tageslichtmodellen im „künstlichen Himmel“ konnte die Tageslichtverteilung im Innenraum optimiert und das Sonnenschutz- bzw. Lichtlenksystem durch Sonnenstandssimulationen auf seine Funktionsfähigkeit hin überprüft werden.

Die bauphysikalische Analyse wurde in Versuchen im Maßstab 1:1 durchgeführt. Durch Strahlungsversuche wurden thermische Probleme innerhalb des Fassadensystems analysiert und beseitigt. In der Klimakammer konnten Tauwasserprobleme festgestellt und durch entsprechende Änderungen des Fassadenaufbaus ausgeschaltet werden.

einen Verwaltungsbau, der mit dem Ziel eines Null-Energie-Gebäudes entwickelt wird. Zur Zeit wird das Fassadensystem in Zusammenarbeit mit Fassadenbauunternehmen auf ein wirtschaftliches Fertigungs- und Montageverfahren hin optimiert, um es auch von der Kostenseite marktfähig zu machen. Durch die hervorragende Energiebilanz bei einer Realisierung

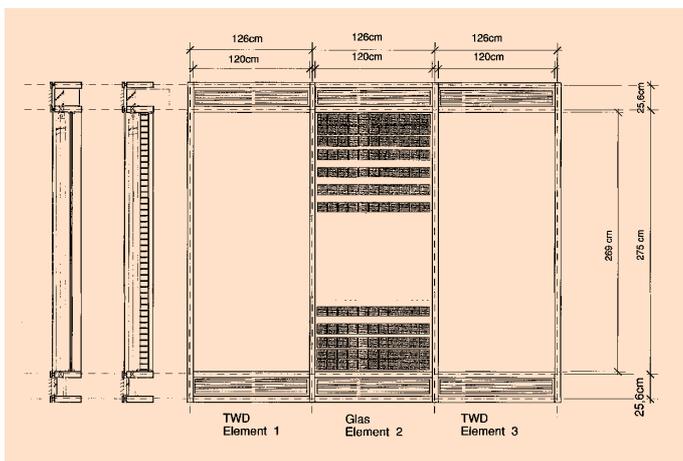


Bild 8: Skizze Fassadenelement

Nach ersten betriebswirtschaftlichen Berechnungen ist das hier vorgestellte Fassadensystem im Vergleich mit einem klimatisierten Gebäude ohne Gebäudemehrkosten im Verwaltungsbau zu realisieren. Bei den Energieeinsparungen ergibt sich jedoch ein enormes Einsparpotential von ca. 90 % gegenüber klimatisierten Gebäuden und von ca. 40 % gegenüber nichtklimatisierten Gebäuden.

Optimierung

Da es sich hier um eine sogenannte Nullserie handelt, sind noch weitere Verbesserungen möglich und erforderlich: In 1:1 Langzeittests wird eine Optimierung unter realen Nutzungsbedingungen an einem Demonstrationsbauvorhaben stattfinden. Die Ausformung und Anordnung der Lichtlenklamellen und des Sonnenschutzsystems sind noch verbesserungsfähig und werden im 1:1 Versuch gemessen und optimiert. Die meß- und regelungstechnische Optimierung ist erst in Langzeitversuchen optimierbar. Hier werden unterschiedliche Systeme zur Ausführung kommen.

Für die Einbindung des Fassadensystems in die Gebäudestruktur wird zur Zeit ein Demonstrativbauvorhaben geplant. Es handelt sich hierbei um

ohne Gebäudemehrkosten wird dem Fassadensystem eine gute Marktchance eingeräumt und nach Meinung des Verfassers auch als ein wesentlicher Schritt in Richtung „Solarzeitalter“ angesehen. □

Glaswelt- Sonderdruck-Service

Von den in der Glaswelt veröffentlichten Beiträgen können auf Wunsch und mit Zustimmung des Autors Sonderdrucke angefertigt werden.

Mindestauflage 1000 Exemplare. Ausführliche Informationen erteilt Ihnen auf Anfrage:

Gentner Verlag Stuttgart
Renate Kracmar
Postfach 10 17 42
D-70015 Stuttgart
Tel. (07 11) 6 36 72 31
Fax (07 11) 6 36 72 32