

Autarke Sonnenschutz- und Lichtlenk- systeme

von Fritz Harald Klotz

Überblick

Energie- und Umweltaspekte sowie neuere Erkenntnisse der Chronobiologie fordern eine intelligentere und effizientere Architektur und Gebäudetechnik. Eine zentrale Rolle spielen dabei die transparenten Bauteile (Fenster, Glasfasaden, Atrien, Oberlichter, etc.), da dort der hauptsächliche Energieaustausch (Wärme, Licht) stattfindet. Eine wirksame Kontrolle dieses Energieflusses – im Kontext der saisonalen und diurnalen Schwankung der Sonneneinstrahlung – ist der Schlüssel zur Reduktion des Gebäudeenergiebedarfs (Heizung, Kühlung, Beleuchtung, Lüftung) und der Steigerung des visuellen und thermischen Komforts.

Es wurde eine Entwicklungsinitiative für passive thermohydraulisch geführte Sonnenschutz- und Lichtlenksysteme gestartet, die durch die Sonne selbst mit Energie versorgt und reguliert werden und damit vollkommen autark sind. Hieraus ergibt sich ein hohes Kostenreduktionspotential für den Betrieb solcher Anlagen. Ein Meilenstein dieser Entwicklungen ist der vom ZSW für die Sonnenlichtlenkung entwickelte erste passive zweiachsig nachgeführte Heliostat, welcher bereits seit 16 Monaten störungsfrei in Betrieb ist.

The motivations for solar control and daylighting systems at buildings are the reduced use of conventional energy and the improved comfort, for living as well as for working. Light guiding devices can be used in order to obtain daylight still in the deep interior of a building or in order to illuminate special targets. Due to the daily and seasonal changes in the Sun's position, these devices must be constantly adapted. Using simple and reliable passive thermohydraulic drive technology, many applications for daylighting systems become feasible which were of merely theoretical interest in the past. ZSW has started an initiative for the development of such building-integrated solar systems. This report shows the latest results.

1. Einleitung

Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz eines Gewerbegebäudes, sowohl bei der Verwaltung als auch bei der Industrie, müssen bei der Heizung und bei der Beleuchtung ansetzen, da die dazugehörigen Einrichtungen überwiegend am Energieverbrauch beteiligt sind. Bis zu 50 % des elektrischen Stroms wird für die Beleuchtung benötigt. In einigen Fällen verursacht sie damit sogar mehr Ener-

giekosten als die Heizung. Diese Angaben sind charakteristisch für die gesamte Gebäudelandschaft in Europa [1]. Hierfür verantwortlich sind vor allem die schlechte Wärmedämmung der Gebäude, die ineffizienten konventionellen Beschattungssysteme und die unzureichende Tageslichtnutzung.

Der Energiebedarf eines Gebäudes wird in erster Linie durch die Architektur bestimmt. Der passiven Solararchitektur sind dabei oftmals räumliche, funktionelle und finanzielle Grenzen gesetzt¹, die oft ergänzende Zusatzeinrichtungen erfordern. So ist bei großen Glasflächen z. B. ein temporärer Sonnenschutz unabdingbar und von der Wärmeschutzverordnung nun auch gesetzlich vorgeschrieben.

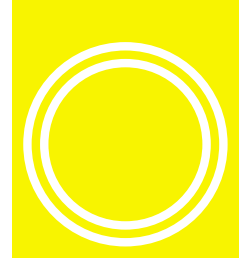
Inwieweit die Unzulänglichkeiten der gebräuchlichen Beschattungssysteme den hohen Energieverbrauch mitverursachen, geht aus den folgenden Argumenten hervor:

- Die sekundäre Wärmeemission an herkömmlichen Beschattungseinrichtungen (Rafflamellenstores, Jalousien, Metall-Lamellen, Vorhänge, etc) führt zu einem hohem Wärmeeintrag.
- Ein aktivierter Sonnenschutz schließt oftmals das Tageslicht aus und macht so selbst an sonnigen Sommertagen eine künstliche Beleuchtung notwendig.
- Die eigentlich unnötige Kunstlichtbeleuchtung am Tage verursacht zusätzliche interne Wärmelasten.

Neben diesen energetischen Argumenten sind auch noch weitere Nachteile der herkömmlichen Beschattungssysteme anzuführen, die u. a. die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der in den Gebäuden Beschäftigten beeinträchtigen.

- Mangelhafter thermischer Komfort.
- Die Eigenschaften des Kunstlichts bezüglich der Intensität und der spektralen Zusammensetzung führen bei

¹ durch begrenzte Grundflächen, funktionelle Nachteile starrer Bauteile, Kosten für thermische Massen, aufwendige Grundrisse, begrenzte solare Deckungsraten, etc.



schlechter Tageslichtversorgung zu Störungen der vegetativen Grundfunktionen des Menschen.

- Blendung durch den starken Kontrast von Rafflamellenstores, Jalousien, etc.
- Mangelhafter Sichtkontakt nach außen.

Innen angebrachte Beschattungseinrichtungen haben eine deutlich reduzierte Wirksamkeit und erhöhen den Wärmeeintrag ins Gebäude. Außen angebrachte Sonnen- und Blendschutzsysteme mit beweglichen Glaslamellen bieten vielfältige Möglichkeiten, zusätzlich zu ihrer Beschattungsfunktion auch noch andere Aufgaben zu übernehmen. Jedoch sind diese Systeme aufgrund ihrer unzureichenden Standardisierung und den damit verbundenen hohen Planungs- und Fertigungskosten noch sehr kostenintensiv. Insbesondere die konventionelle Nachführtechnik erweist sich hierbei als sehr investitions- und wartungsintensiv. Außerdem sind diese Anlagen oftmals sehr witterungsanfällig und haben dadurch eine kurze Lebensdauer.

Eine ähnliche Situation ist auch bei zweiachsigen Heliostaten zur Sonnenlichtlenkung festzustellen. Da sie der Witterung und der Verschmutzung frei ausgesetzt sind, treibt die normalerweise hohe Präzision der Nachführung die Kosten in die Höhe. Deshalb sind sie für Anwendungen in der Praxis noch nicht geeignet. Die Entwicklungen und Erfahrungen der letzten Jahre lassen sich folgendermaßen zusammenfassen und bewerten:

- Bei außen angebrachten Sonnen- und Blendschutzeinrichtungen werden meistens einachsige, dem Sonnenstand nachgeführte Glaslamellen eingesetzt. Die konventionellen Stellmotoren und Positionssensoren sind hierbei der Witterung und der Verschmutzung frei ausgesetzt. Zudem sind die Verkabelungs- und Wartungsarbeiten an der Fassade sehr zeitaufwendig und kostenintensiv.
- Konventionelle Heliostaten zur Sonnenlichtlenkung werden derzeit nur bei Prestigeprojekten eingesetzt.

Auch hier verursacht die klassische elektromechanische Nachführung inklusive der zugehörigen Ansteuerung einen unvermeidbar hohen Aufwand für Planung, Fertigung, Installation, Inbetriebnahme und den störungsfreien Betrieb dieser Anlagen.

- Sonnenlichtbeleuchtungssysteme aus Hohlraumlichtleitern mit statischen Heliostaten zur Lichteinkopplung werden erst seit kurzem in Europa eingesetzt, jedoch positiv bewertet [7]. Die statische Lichteinkopplung wirkt sich jedoch negativ auf die energetische Effizienz aus. Nachgeführte Heliostaten sind für praktische Anwendungen derzeit zu aufwendig, würden aber die energetische Effizienz wesentlich erhöhen. Eine objektorientierte Zusammenarbeit mit dem Hersteller in der Schweiz ist beabsichtigt.

Im Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) arbeitet man seit einigen Jahren an der Konzeption und Entwicklung von vereinfachten und kostengünstigen beweglichen Sonnenschutz- und Lichtlenksystemen [3-5]. Die Schlüsselkomponente ist hierbei die thermohydraulische Solarnachführung, die schon bei der Nachführung größerer Photovoltaikanlagen ihre Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit bewiesen hat [6]. Diese Nachführung ermöglicht die Konzeption gebäudeintegrierter passiver Sonnenschutz- und Lichtlenksysteme mit deutlich geringeren Planungs-, Investitions- und Folgekosten. Dieser Beitrag beschreibt den aktuellen Stand der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf den Gebieten der

- einachsige nachgeführte Lamellenanlagen (Sonnen- und Blendschutz, Tageslichtlenkung) und der
- zweiachsige nachgeführten Heliostaten (punktgenaue Sonnenlichtlenkung).

2. Thermohydraulische Nachführungen

2.1 Beschattung

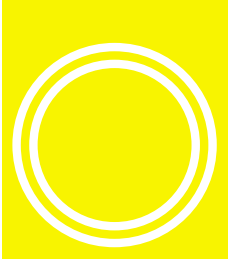
Schon seit Jahren werden Photovoltaikanlagen mit thermohydraulischen

Nachführungen eingesetzt. Aufgrund dieser Erfahrungen ist folgendes Betriebsverhalten thermohydraulischer Nachführungen für Beschattungsanlagen mit Lamellen zu erwarten:

- Nachts sowie bei bedecktem Himmel, also bei keiner direkten Sonneneinstrahlung, bezieht die Anlage ihre Ruheposition. Hierfür verantwortlich ist ein Rückstellmoment, welches die Gravitationskraft ausnutzt oder mit einer Feder arbeitet. Normalerweise wird die Ruhelage so gewählt, daß die Lamellen geöffnet sind.
- Bei einer Direkteinstrahlung über 250 W/m^2 wird der Antrieb aktiv und die Lamellen werden bis auf $\pm 5-10^\circ$ genau eingestellt.
- Bei einer kontinuierlichen Direkteinstrahlung von über 500 W/m^2 wird eine Einstellgenauigkeit von $\pm 2-3^\circ$ erreicht.
- Bei klarem Himmel beträgt die Sonneneinstrahlung etwa $700-900 \text{ W/m}^2$. Unter diesen Idealbedingungen ist der Einstellfehler auf 1° beschränkt.
- Bei größeren Anlagen werden bevorzugt modulare Antriebseinheiten eingesetzt, die die Lamellen in Abhängigkeit der jeweiligen Bestrahlungssituation einstellen.
- Bei thermohydraulisch geführten Beschattungsanlagen gibt es dennoch die Möglichkeit des direkten Eingriffs. Über eine manuelle Offsetvorgabe, die auf einfache Weise an der Steuerlamelle vorgenommen wird, kann der Beschattungsgrad auch nach individuellen Wünschen eingestellt werden.
- Die thermohydraulische Nachführung erfolgt lautlos.
- Die thermohydraulische Nachführbewegung ist äußerst langsam, kaum wahrnehmbar und damit auch nicht störend.

2.2 Lichtlenkung

Die thermohydraulische Lichtlenkfunktion sorgt dafür, daß der Reflektor auf die Winkelhalbierende zwischen Son-



ne und Zielrichtung ausgerichtet ist. Hierfür wurde eine rein mechanische Lösung erarbeitet. Bildlich gesprochen übernimmt die Thermohydraulik die Funktion eines Sonnenzeigers und eine Übertragungseinrichtung sorgt für die entsprechende Ausrichtung des Spiegels. Die folgenden zwei Grundtypen dieser Übertragungseinrichtungen werden in diesem Beitrag behandelt:

- Einachsige Lichtlenksysteme. Das reflektierte Sonnenlicht wird hierbei in eine frei einstellbare Zielebene gelenkt. Bei horizontalen Lamellensystemen wandern die Strahlen im Tagesverlauf mit dem Azimut der Sonne innerhalb der Zielebene, bei vertikalen Lamellensystemen dagegen mit der Elevation der Sonne. Lamellenanlagen kombiniert mit Sekundärelementen sind geeignet für die Lichtverteilung u. a. in verglasten Atrien und Wintergärten und an Fenster-Oberlichtern und dachintegrierten Oberlichtern.
- Zweiachsige Heliostaten. Zweiachsig der Sonne nachgeführte Lichtlenksysteme, sogenannte Heliostaten, lenken dagegen das reflektierte Sonnenlicht in eine konstante Zielrichtung. Der Heliostat stellt somit einen einstellbaren (Sonnen-)Scheinwerfer dar, der gezielt in der Architektur eingesetzt werden kann. Zweiachsige Heliostaten, u. a. kombiniert mit Sekundärelementen zur blendungsfreien Lichtverteilung, sind geeignet für die indirekte Beleuchtung über Lichtleitsysteme (massive Lichtleiter und Hohlraumlichtleiter) und für die direkte Beleuchtung durch Fenster und Oberlichter sowie in Atrien.

Im Unterschied zu großen geschlossenen Flächen (z. B. Photovoltaikanlagen) ist bei gekoppelten Lamellenanlagen die Dimensionierung des Antriebs weniger durch die Windkraft als durch die Reibung in Lagern und Gelenken bestimmt. Insofern ist die maximale koppelbare Fläche deutlich kleiner. Aus gestalterischen sowie technischen Gründen sind oftmals kleine modulare Einheiten sinnvoll. Bei Photovoltaikanlagen (84 m²-Einheiten) liegen die Thermohydraulik-Prototypkosten bei ca. 60 DM pro Quadratmeter. Für Lamellenanlagen (10 m²-Einheiten) ergeben erste Abschätzungen Prototypkosten



Abbildung 1: Raumeindruck bei einer Glaslamellen-Beschattungsanlage, die dem Sonnenstand nachgeführt wird. Der Gesamtenergiedurchlass ist auf ca. 30 % reduziert, während die Tageslichttransmission etwa 30-40 % beträgt. Es besteht ein guter Blickkontakt nach außen.

Abbildung 2: Fassadenansicht einer Photovoltaik-Beschattungsanlage. Die Solarzellen sind auf einem transluzentem Gewebe zwischen zwei Glaslamellen einlaminiert. Dadurch gelangt ebenfalls noch genügend Tageslicht in die Räume.



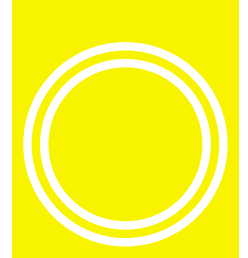
von ca. 250 DM pro Quadratmeter bei optimaler Auslegung der Anlage.

Die Konstruktionsweise und die Materialwahl bei der thermohydraulischen Solarnachführung garantieren eine lange Lebensdauer. Eine Leckage der Hydraulik ist bei Normalbetrieb und bei gewöhnlicher Belastung ausgeschlossen. Lediglich nach einem langzeitigen Betrieb ist eine interne Kor-

rektur zwischen den beiden Zylinderkammern notwendig, die im Rahmen einer sehr einfachen Wartung vor Ort durchgeführt wird.

3. Einachsige Lamellenanlagen

Spezielle Beschichtungs- und Laminierertechniken ermöglichen heute die gezielte Abstimmung der Transmissions- und Reflexionseigenschaften von



Glaslamellen. So lassen sich die Wärme- und Lichtdurchlässigkeit transparenter Bauteile weitgehend unabhängig voneinander regulieren. Ferner erreicht man eine ausgezeichnete Sonnen- und Blendschutzwirkung ohne wesentliche Störung der Tageslichtbeleuchtung (Abbildung 1). Glaslamellen lassen sich auf folgenden Gebieten multifunktional einsetzen:

- Photovoltaik. Solarzellen werden in den Glasverbund einlaminiert (Abbildung 2)
- Lichtlenkung. Bei bewölktem Himmel kann Zenitlicht in den Raum gelenkt werden.
- Schallschutz (Schallschutzglas).
- Elektromagnetische Schirmdämpfung. Transparente leitende Oxide bilden einen Faraday'schen Schutzmantel.
- Wetterschutz, Wärmeschutz, Lüftung. Der externe Sonnenschutz als zweite Haut des Gebäudes dient gleichzeitig dem Witterungsschutz.
- Brandschutz.
- Architektur (Gestaltungselement).

Seit einiger Zeit werden einachsige nachgeführte horizontale Lamellenbe-

schattungsanlagen² im Objektbau eingesetzt. Die ersten Erfahrungen mit diesen Anlagen bestätigen die Erwartungen bezüglich ihrer Sonnen- und Blendschutzwirkung. Ihrer weiteren Verbreitung stehen bisher noch die hohen Investitions- und Wartungskosten entgegen:

- Hohe Planungs-, Fertigungs- und Installationskosten wegen fehlender Standardisierung der verwendeten Komponenten (Glaslamellen, Photovoltaikanlagen, Fassadenkonstruktion, Nachführung). Dieser Effekt wird noch durch den Individualcharakter von Prestigebauten verstärkt.
- Hohe Investitionskosten für die konventionelle Nachführung³ und den Kontrollrechner.
- Hohe Wartungs- und Folgekosten für die Soft- und Hardwarepflege (Steuerprogramm, Positionssensoren, Motorgetriebe, Energieverbrauch von Stellmotoren und Steuerung).

Aus diesen Gründen bleiben diese Anlagen zunächst nur zahlungskräftigen Kunden vorbehalten, wie Banken, Versicherungen und größeren Industrieunternehmen. Um ihr Anwendungsfeld zu erweitern, erarbeitet das ZSW zusammen mit einem Industriepartner⁴

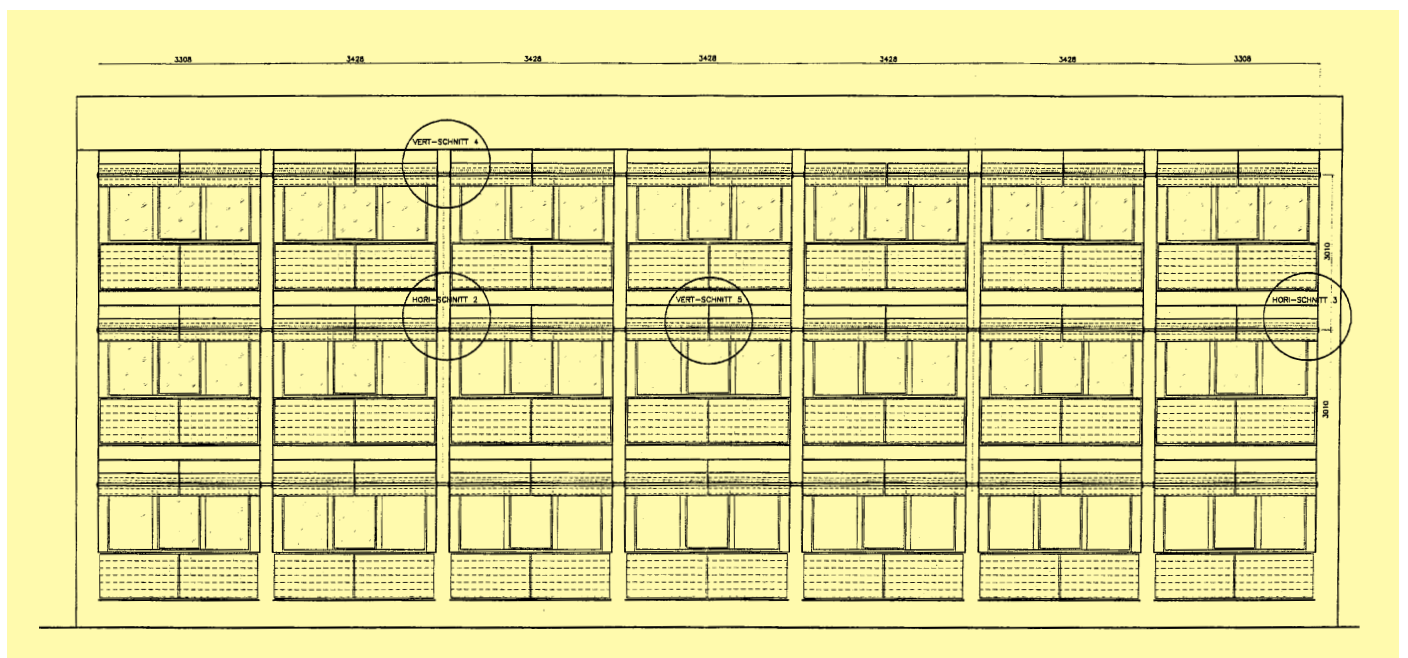
eine Problemlösung [8]. Im Vordergrund steht dabei eine deutliche Kostenreduktion durch folgende Maßnahmen:

- Entwicklung von modularen Sonnen- und Blendschutzsystemen mit standardisierten Bauteilen.
- Einsatz der thermohydraulischen Solarnachführung.
- Integration von vereinfachten, modular aufgebauten Photovoltaikanlagen.
- Option: Direkte Steuerung der Tageslichtbeleuchtung über die oberste(n) Lamelle(n).

Im Schweizer Tessin wird noch in diesem Jahr die erste thermohydraulische Beschattungsanlage Europas installiert (Abbildung 3). In die Beschattungslamellen sind Solarzellen eingebettet. Mit dieser Anlage werden thermohydraulisch nachgeführte Photovoltaik-Beschattungslamellen erstmals einem Praxistest unterworfen. Bei passiv

² zum Teil auch mit Solarzellen.
³ insbesondere für die witterungsbeständige Außeninstallation von Motorgetrieben, Meßtechnik und Verkabelung.
⁴ Entwicklungsprojekt vom ZSW und der Colt Solar Technology AG, Baar (Schweiz)

Abbildung 3: Entwurf für eine Fassadenrenovierung an einer Hotelfachschule im Schweizer Tessin. Nachträglich wird ein beweglicher Sonnenschutz über drei Etagen installiert. Im Oberlichtbereich wird erstmals die thermohydraulische Solarnachführung für eine Photovoltaik-Beschattungsanlage eingesetzt.



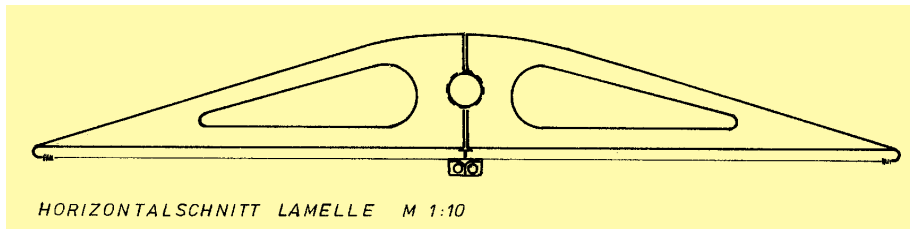
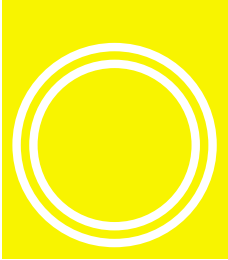


Abbildung 4: Querschnitt der eingesetzten Beschattungslamellen (Abbildung 5)

Abbildung 5: Plan für ein Seminarraumgebäude mit Werkstatt zur Ausbildung von zukünftigen Architekten auf dem Campus Vaihingen der Universität Stuttgart. Die Südfront dieses kreissegmentartigen Gebäudes wird durch vertikale Lamellen beschattet. Sie sind in ihrer Einstellung vom 21. Juni um 10 Uhr abgebildet. Die übrigen Lamellen stehen in ihrer Ruheposition senkrecht zur Fassadenfront. Im weiteren Verlauf des Tages werden sich die Lamellenfelder sukzessive zur Sonne hin orientieren. Am Nachmittag, wenn die gegenseitige Beschattung der östlichen Lamellen beginnt, werden diese wieder in ihre Ruheposition zurückfahren und komplett geöffnet sein.

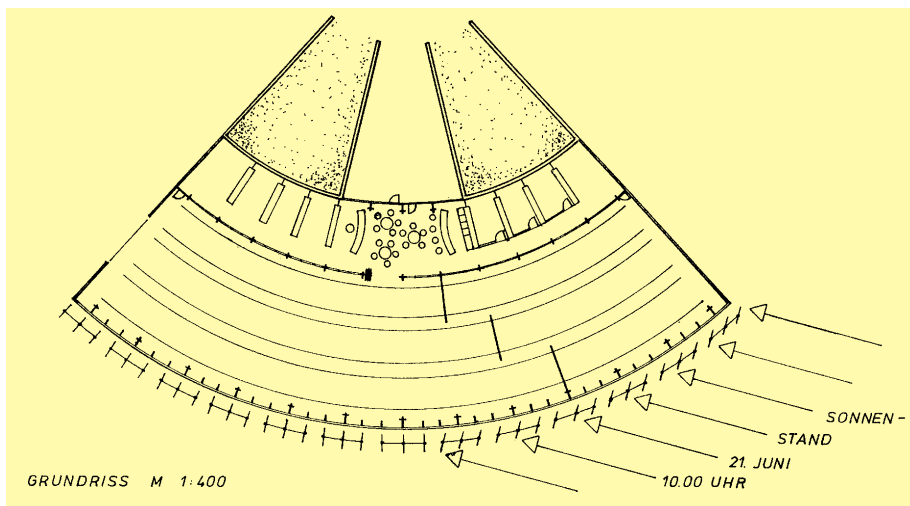
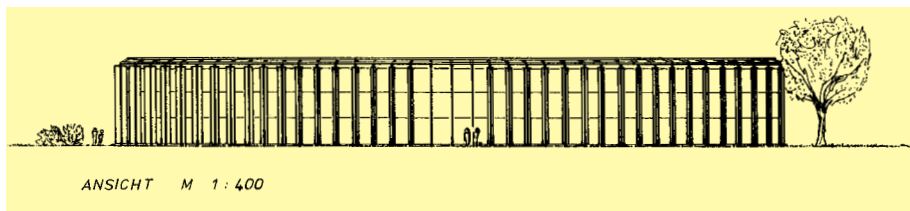


Abbildung 6: Südfront des in Abbildung 5 abgebildeten Seminargebäudes. Jeweils drei Lamellen sind in einer gekoppelten Einheit zusammengefaßt. Der Zylinder ist in der Bodenverankerung und die Absorber sind in der Mitte der Steuerlamellen angebracht.



nachgeführten Beschattungslamellen kommt es darauf an, daß trotz der optimalen energetischen und photometrischen Eigenschaften der visuelle Komfort nicht beeinträchtigt wird. Wenn dieses passive Konzept den Anforderungen der Gebäudebenutzer entspricht, dann kann es sich auf dem Markt durchsetzen.

Dachintegrierte Lamellenanlagen sind hervorragend geeignet für Atrien,

Wintergärten und Schrägverglasungen, insbesondere mit einem passiven Nachführbetrieb, da diese Anlagen sich nicht im Sichtbereich der Gebäude befinden und eine individuelle Steuerung aus energetischen Gründen oder wegen der Nutzungsart des Gebäudeteils nicht in Frage kommt. Vorsichtige Marktanalysen errechnen allein für den Bereich der Oberlichtbeschattung ein Potential von ca. 100.000 m² pro Jahr in Euro-

pa. Ein standardisiertes Oberlicht-Beschattungssystem mit integrierter Photovoltaikanlage ist derzeit in Planung⁵.

Im Rahmen des „Solar Workshops“, eines Studienprojektes der Universität Stuttgart, wurde eine Beschattungsanlage mit senkrechten Lamellen für ein Seminargebäude mit Werkstatt (Abbildungen 4-6) durchgeplant [9]. Die Beschattungslamellen sind relativ groß und ihr Abstand weit. Dadurch gelangt trotz großflächiger Beschattung sehr viel Tageslicht in die Räume. Zudem wird die Windlast um etwa die Hälfte reduziert.

4. Zweiachsige Heliostaten

Die Vorarbeiten für den vom ZSW entwickelten Heliostaten (Abbildung 7) wurden parallel zu einem anderen Entwicklungs- und Demonstrationsprojekt [6] durchgeführt. Während dieser eher beiläufigen etwa 3-jährigen technischen Design- und Entwurfsphase wurden die prinzipiellen Lösungen für die verschiedenen Baugruppen erarbeitet. Hierbei sind die Erfahrungen bei der Entwicklung von nachgeführten Photovoltaikanlagen mit eingeflossen. Insbesondere die kinematischen und statischen Anforderungen der Thermohydraulik und die Forderung nach einfachen und robusten Baugruppen verlangten nach unkonventionellen Lösungen. Die simple Substitution der elektromotorischen Antriebe eines konventionellen Heliostaten durch thermohydraulische Antriebe führt hier nicht zum Erfolg.

Die Konstruktion des Heliostaten erfolgte im ersten Halbjahr des Jahres 1995 [10]. Im zweiten Halbjahr wurde die Konstruktion unter fertigungstechnischen Gesichtspunkten überarbeitet und die Komponenten wurden angefertigt. Am 25. März 1996 erfolgte die Inbetriebnahme des Heliostaten. Er hat inzwischen eine Erprobungsphase von mehr als 16 Monaten erfolgreich bestanden. Die Erhöhung der Präzision ist Gegenstand der weiteren Forschungs- und Entwicklungsarbeit und

⁵ Entwicklungsprojekt vom ZSW und der Colt Solar Technology AG, Baar (Schweiz)

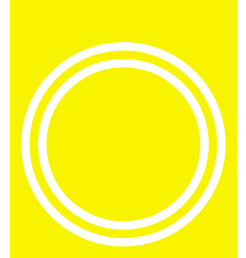


Abbildung 7: Erster passiver Heliostat. Er wird durch zwei thermohydraulische Antriebe selbsttätig auf der Winkelhalbierenden zwischen Sonne und Ziel nachgeführt, so daß das Sonnenlicht konstant in eine Richtung reflektiert wird. Als Reflektor dient eine beschichtete Alufolie, die auf einer selbsttragenden Verbundplatte aufgeklebt ist. Die Kantenlänge des quadratischen Spiegels beträgt 1,25 m. Die Absorberröhren sind an den Außenkanten der Verbundplatte befestigt. Eine Drehachse ist gleichzeitig die Zielachse und wird der Sonne nachgeführt. Die zweite Achse steht senkrecht zur ersten und wird auf der Winkelhalbierenden geführt. Aus diesem Grund sind die Absorber mit den Richtreflektoren beweglich am Spiegel angebracht und mit einer 2:1 Übersetzung mit dem Spiegel gekoppelt. Der Heliostatenkopf ist verstellbar am Mast befestigt, so daß eine Elevation von -60° bis $+90^\circ$ (senkrecht nach oben) einstellbar ist. Bezüglich des Azimuts bestehen keine Einschränkungen. Als Gründung dient ein Gestellrahmen, der mit Betonplatten beschwert werden kann. Damit sind keine Fundamentarbeiten für die Aufstellung des Heliostaten notwendig. Der Prototyp wurde in Edelstahl ausgeführt, für ein entsprechendes Serienprodukt ist allerdings verzinkter Stahl vorgesehen. Gemäß der Auslegung könnte er auf bis zu 100 m hohe Gebäude gestellt werden (45m/s Windgeschwindigkeit).

wird sukzessive am Heliostaten umgesetzt.

Der Heliostat ist modular in Baugruppen aufgeteilt, die leicht zerleg- und transportierbar sind. Innerhalb weniger Stunden kann er somit am Bestimmungsort installiert werden. Bei werksseitiger Kalibrierung der Antriebskinematik reduziert sich vor Ort die Inbetriebnahme auf das Einrichten der Zielachse auf das Objekt. Bei klarem Himmel kann die Einstellung gegebenenfalls nochmals verfeinert werden.

Nach einem 4-wöchigen Probetrieb auf dem Dach des Solaris-Gebäudes in Stuttgart wurde der Heliostat von Mai bis September 1996 auf der Landesgartenschau in Lichtenstein (Sachsen) zur Beleuchtung eines Kunstobjekts eingesetzt. Aus einer Entfernung von 37 m wurde über einen Umlenkspiegel eine Glasskulptur beleuchtet. In Lichtenstein wurde bereits die zweite Generation von Richtreflektoren eingesetzt, die eine Nachführgenauigkeit von $\pm 3^\circ$ erreicht.

Nach der Landesgartenschau wurde der Heliostat zu Testzwecken vor dem Solaris-Gebäude am ZSW ([Abbildung 8](#)) aufgestellt, um sein Betriebsverhalten weiter zu optimieren. Derzeitig wird die 3. Richtreflektoren-Generation entwickelt. Sie soll die projektierte Nachführgenauigkeit von $\pm 1^\circ$ (bei klarem Himmel) erreichen. Noch

Abbildung 8: Zielobjekt für den Testbetrieb des Heliostaten ist das Solaris-Gebäude am ZSW in Stuttgart.



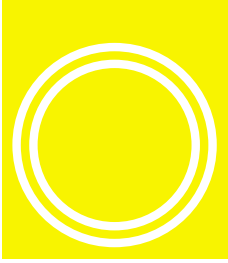
in diesem Jahr wird der Heliostat auf dem Dach eines zweistöckigen Firmengebäudes in Norddeutschland installiert. Bei dieser konkreten Anwendung soll die Produktpräsentationshalle im Erdgeschoß des Gebäudes über einen Lichtbrunnen sonnenbelichtet werden. Hierzu wird das Sonnenlicht unmittelbar über ein Oberlicht im Obergeschoß eingespiegelt und durch eine Bodenöffnung ins Erdgeschoß geführt, um dort wiederum mit lichtlenkenden Mitteln blendfrei verteilt zu werden.

5. Ausblick

Sowohl Lamellenbeschattungsanlagen als auch Heliostaten werden in naher Zukunft als Prototypen praxisnah eingesetzt und getestet, um sie technisch zu verbessern und sie ansprechender zu gestalten. Die erste Resonanz auf derartige Systeme ist sehr positiv. Nach einer eingehenden Erprobungsphase mit begleitender Marktanalyse sollen anwendungsorientierte Lösungen konzipiert und standardisiert werden, damit durch Serienfertigung attraktive Preise erzielt werden können. Darüber hinaus werden weitere objektorientierte Lösungen erarbeitet.

6. Dank

Gedankt sei an dieser Stelle all den Studenten, die an der Konzeption und Entwicklung der technischen Teilas-



pekte mitgewirkt haben. Besonderer Dank geht an A. Köhnke und S. Leidig (ZSW Werkstatt), die unermüdlich und kreativ die Konstruktion und Fertigung des Heliostaten vorangetrieben haben.

Literatur

- [1] „Building Technology, Issue 2: Commercial Buildings“, EU DG XVII, (1994)
- [2] W. Ehrenstein
„Wirkungen des Lichts auf vegetative Funktionen des Menschen“, Vortrag auf der „Building Automation '92“, Wiesbaden (1992)
- [3] F.H. Klotz, F. Pfisterer
„Passive Tageslichtlenkung mit Thermohydraulik“, Int. Forum „ Fassaden der Zukunft - Mit der Sonne leben“, Beinhauer/Benemann/Müller ILB, Köln (1992) 321
- [4] F.H. Klotz
„Passive Solar Control and Daylighting Techniques with Thermohydraulics – New Concepts“, Proc. 3rd European Conference on Architecture, Stephens & Associates, Florenz (1993) 179
- [5] F.H. Klotz
„Dynamische Lichtlenkung durch passive thermohydraulische Solarnachführung“, Proc. Workshop „Lichtlenkende Bauteile“ des Forums „Innovative Fassadentechnologie“, Beinhauer/Benemann/Müller ILB, Köln (1994) 163
- [6] F.H. Klotz
„Photovoltaikanlagen mit passiver Nachfüllung und V-Trog Konzentratoren“, Themen 96/97, FORSCHUNGSVERBUND SONNENENERGIE, Köln (1997) 54-60
- [7] „Reflektierender Tageslichtleiter erhellt Treppenhaus“, Schweizer Baublatt Nr. 67, Architektur + Planung Nr. 5, (1996) 30
- [8] Mikesch, M. Obiltschnik, F.H. Klotz, D. Geyer
„<<Shadovoltaic Wings>> meet Passive Tracking“, Proc. 13th European Photovoltaic Conference, Stephens & Associates, Nizza (1995) 2251
- [9] A. Boll, K. Schmücker, W. Wanner
„Solar Workshop“, Vordiplomsarbeit, Institut für Baukonstruktion, Universität Stuttgart (1997)
- [10] F.H. Klotz, D. Geyer⁶
„Solar Control and Lightguiding Devices with Passive Tracking (SOLID PAT) – The First Passively Tracked Heliostat“, Proc. 4th European Conference on Architecture, Stephens & Associates, Berlin (1996) 390

Erste Photovoltaik Lamellen-Beschattungsanlage mit thermohydraulischer Solarnachführung an der Hotelfachschule in Lugano (Tessin).

Zweiundvierzig Photovoltaik-Lamine sind mit Schubgestängen über drei Etagen gekoppelt und werden durch zwei thermohydraulische Antriebe der Sonne nachgeführt. Antriebszylinder und Schubgestänge sind in der Fassadenverkleidung integriert, die Absorber mit den Richtreflektoren befinden sich an der Vorderkante der oberen Modulreihe.



⁶ und darin zitierte Literatur