

Solares Bauen – Neue Techno- logien für Gebäude

von Joachim Luther,
Karsten Voss und
Volker Wittwer

Überblick

Für zukünftige Bauten werden in hohem Maße Forderungen nach integrierten Konzepten zur Begrenzung des Energieverbrauchs gestellt. Gestalt, Konstruktion und Klimatechnik sind dabei maßgebliche Einflussfaktoren. Hierdurch wird eine wesentlich höhere Energieeffizienz erzielt und Solarenergie kann die übrigen Energiequellen zurückdrängen. Eine „aktive Gebäudehülle“ übernimmt die Aufgabe, den Energiefluß zwischen Innen und Außen zu steuern. Der Beitrag berichtet über neue Komponenten, Systemkonzepte und Planungswerkzeuge für das Solare Bauen.

There is an increasing demand for integrated building concepts in order to reduce energy consumption. Building design, construction and heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) technology are decisive in this respect. Thus, an essentially higher energy efficiency is achieved and solar energy becomes the main energy source. An „active building envelope“ assumes the task of controlling the energy flows between inside and outside. This paper reports on new components, system concepts and planning tools for solar building.

1. Einleitung

Solarenergie trägt zum Energiehaushalt bestehender Gebäude bereits heute beachtlich bei. Fenster als Bestandteil jeder Architektur decken den Raumwärmebedarf teilweise und vermindern den Kunstlichteinsatz. Da wir mehr denn je den Großteil unserer Zeit in geschlossenen Räumen verbringen, sowohl in der Wohnung als auch bei der Arbeit, besteht in der bewußten Ausrichtung und Transparenz der Gebäude zur Sonne hin gleichermaßen die Chance für mehr Lebensraumqualität wie für Energieeinsparung und Umweltentlastung.

Unter solchen Voraussetzungen ergeben sich zahlreiche planerische Ansätze zur Integration von Komponenten für eine solaren Energieversorgung in die Gebäudehülle und in die Haustechnik. Angefangen mit den sogenannten passiven Systemen (Fenster, Atrien, transparente Wärmedämmung, etc.), weiter über den Einsatz von Kollektoren zur solaren Wärme- oder Kälteerzeugung bis hin zur solaren Stromversorgung über die Photovoltaik reicht die Palette der Möglich-

keiten. Daß eine derartig genutzte Gebäudehülle eine hohe technische und architektonische Qualität aufweisen kann, haben realisierte Objekte der jüngsten Vergangenheit bewiesen.

Weiterentwickelte und neue Komponenten und Systemkonzepte führen zusammen mit verbesserten Planungs- und Auslegungswerkzeugen zu Gebäuden, deren Raumklima mit einer zunehmend einfacheren Anlagentechnik reguliert werden kann. Gerade darin liegt die Chance für die Wirtschaftlichkeit der neuen Ansätze.

2. Neue Komponenten

2.1 Fenster und Verglasungen

Fenster vermitteln den visuellen Kontakt nach Außen. Gleichzeitig sind sie die Teile der Gebäudehülle mit dem höchsten Energietransfer in beide Richtungen. Im Hinblick auf die winterliche Energiebilanz einer Verglasung ist einerseits ein niedriger Wärmeverlust (Wärmedurchgangskoeffizient k) und andererseits eine hohe Transparenz für die Solarstrahlung (Gesamtenergiedurchlaßgrad g) anzustreben. Ausgehend von der Isolierglastechnik gibt es dazu unterschiedliche Lösungsansätze, die einzeln oder in Kombination angewendet werden:

- selektive Beschichtung der Gläser,
- selektive Folien im Scheibenzwischenraum,
- Edelgase im Scheibenzwischenraum,
- Vakuumverglasungen,
- transparente Wärmedämmmaterialien

Vor allem durch Fortschritte in der Beschichtungstechnik gibt es heute Verglasungen, die die zunehmend höheren Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz und den thermischen Komfort erfüllen ([Abbildung 1](#)).

Die Beschichtungen sind meist auf hohe Durchlässigkeit des sichtbaren Lichtes abgestimmt. Betrachtet man das gesamte Solarspektrum mit allen Anteilen, dann sind die Transmissionsgrade geringer. Kommt es auf die klare Durchsicht nicht an (Dachverglasungen, Oberlichter, transparente Wandwärmeeisung), dann ergeben sich günstigere Werte für die Transmission der gesamten Solarenergie bei der Verwendung transparenter

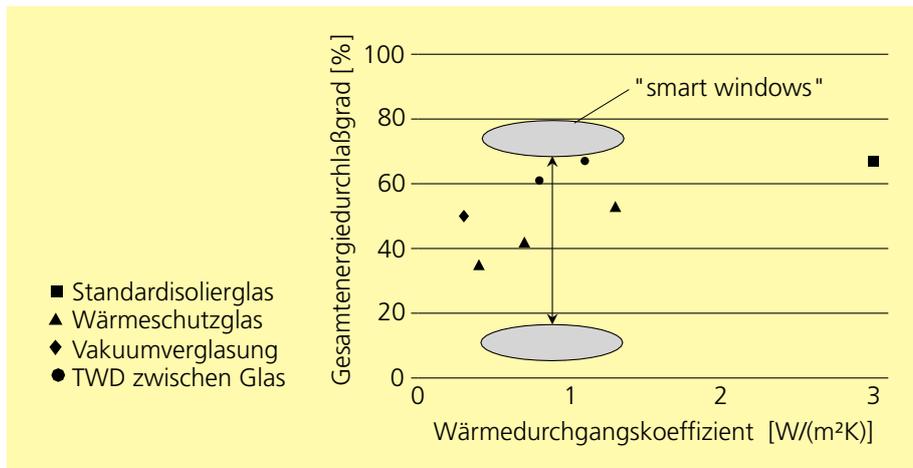
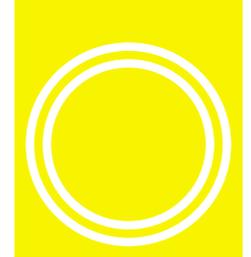


Abbildung 1: Optische und thermische Eigenschaften einiger Verglasungen im Vergleich. Der Begriff „smart windows“ steht für Verglasung mit schaltbarer Transparenz (siehe Abbildung 2).

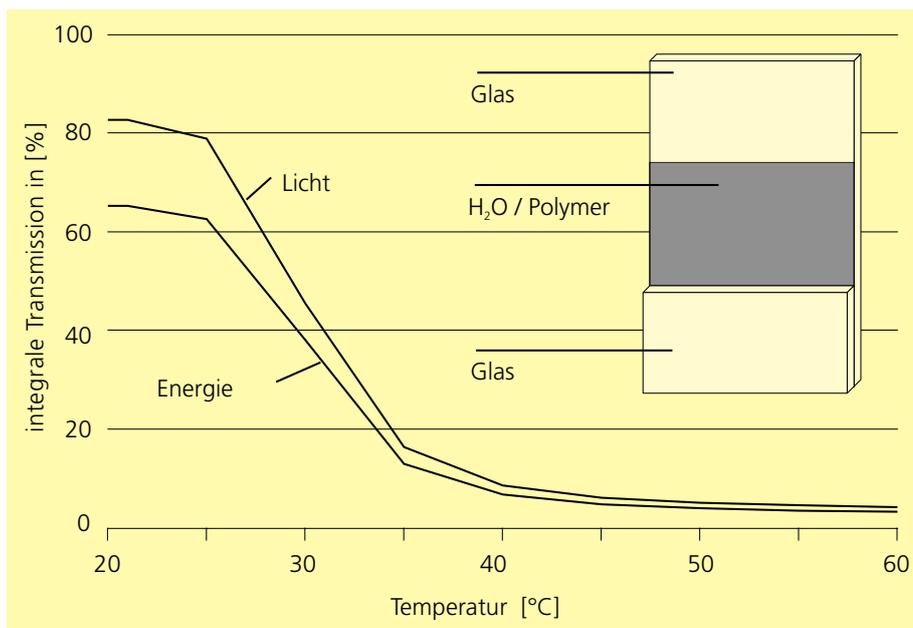


Abbildung 2: Temperaturgesteuertes Schalten der Transmission (Licht bzw. gesamte Solarenergie) und Aufbau einer thermotropen Verglasung.

Wärmedämmmaterialien (TWD) im Scheibenzwischenraum. Dabei handelt es sich um offenzellige Strukturen aus Kunststoffen oder Glas, die den konvektiven Wärmetransport unterdrücken und die Wärmestrahlung absorbieren.

Je nach physikalischem Prinzip wird unterschieden in:

- thermotrope,
- thermochrome,
- elektrochrome, oder
- photochrome Systeme.

Mit Rücksicht auf das sommerliche Temperaturverhalten und die Tageslichtverhältnisse in Gebäuden ist das Schalten der Transparenz von großer Wichtigkeit. Neben den bekannten statischen und beweglichen Sonnenschutzsystemen gibt es neue Ansätze in Form von optischen Schaltern („smart windows“).

Aus der Sicht der baldigen Realisierbarkeit und der Kosten ist derzeit vor allem das thermotrope Schalten interessant. Dabei erfolgt ein passives Schalten in Abhängigkeit der Temperatur eines zwischen zwei Gläsern eingebrachten Gemisches aus Wasser und einem Polymer. Die Schaltwirkung beruht auf der reversiblen Mischung

(klarer Zustand) und Entmischung (streuende Reflexion) der beiden Komponenten.

Die Fortschritte bei den Verglasungen rücken die aus energetischer Sicht mangelhafte Qualität des Glasrandverbunds und der Rahmen in den Vordergrund. Die Eigenschaften von Fenstern werden zunehmend von diesen Komponenten bestimmt. Aktuelle Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich auf Systeme mit verbesserter Wärmedämmung.

2.2 Tageslichtsysteme

Energieeinsparung und visueller Komfort sind die Argumente für eine qualitativ und quantitativ verbesserte Nutzung des Tageslichts zur Belichtung von Räumen. Neben Maßnahmen am Baukörper (Fassadengliederung, Lichthöfe, etc.) werden die Lichtverhältnisse vor allem durch die Gestaltung der Gebäudehülle bestimmt. Dominante Situation in der Praxis ist die mit Abbildung 3 dargestellte ungleichförmige Lichtverteilung in einem Raum mit Seitenfenster.

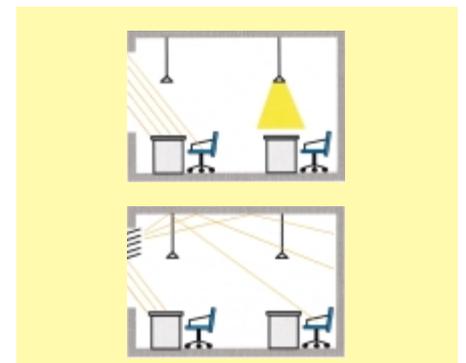
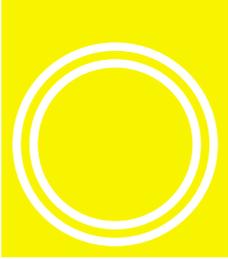


Abbildung 3: Qualitative Lichtverteilung in einem Raum mit Seitenfenster ohne (oben) und mit (unten) Lichtumlenkung.

Durch gezielte Lichtumlenkung kann eine erhöhte Gleichförmigkeit der Beleuchtungsstärke erreicht und Blendung weitgehend vermieden werden.

- statische Systeme :
 - Lichtschwert („light-shelf“),
 - winkelselektive Verglasungen (Lamellen, Spiegelprofile, Prismen, Lichttraster, Laserschnitt-Paneele, TWD-Strukturen, orientierte Mikrostrukturen, Hologramme).
- nachgeführte Systeme :
 - Großlamellen,



- Hologramme,
- Heliostaten.

Besonders auf dem Gebiet der winkelselektiven Verglasungen sind weitere Fortschritte zu erwarten. Zur optischen Charakterisierung werden, da das Transmissionsverhalten nicht rotations-symmetrisch ist, neue Meß- und Rechenverfahren entwickelt (2-dimensionale Licht- und Energietransmission).

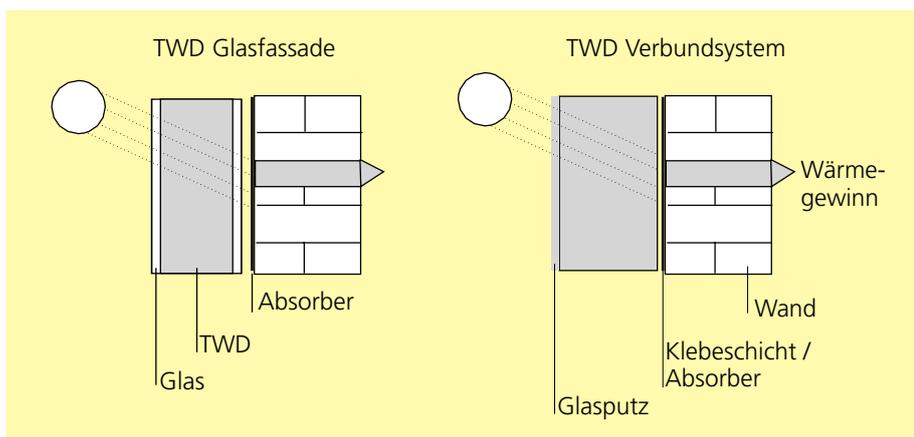
Maßgeblich für eine wirkungsvolle Energieeinsparung ist bei allen Anwendungen eine automatische Anpassung der künstlichen Ergänzungsbeleuchtung an das Tageslichtangebot (Abbildung 9). Dadurch reduziert sich auch die sommerliche Kühllast.

2.3 Transparente Wärmedämmung

Mit der transparenten Wärmedämmung von Außenwänden gelingt die passive Solarenergienutzung auch an den nicht durchsichtigen Flächen der Gebäudehülle (Abbildung 4). Das einfallende Sonnenlicht wird auf der dunklen Wandoberfläche, also hinter dem TWD-Material, absorbiert. Die entstehende Wärme wird in Abhängigkeit von Wandbaustoff und -dicke in der Amplitude gedämpft und zeitlich verschoben an den dahinterliegenden Raum abgegeben. Vorteilhaft ist das einfache Wirkungsprinzip und der gesteigerte thermische Komfort durch die erwärmten Wände. Der solarthermische Wirkungsgrad der Systeme liegt bei 25 bis 50 %.

Wirtschaftlich interessant ist derzeit vor allem das transparente Wärme-

Abbildung 4: Aufbau der transparenten Wärmedämmung: links als Glasfassade, rechts als TWD-Verbundsystem.



dämmverbundsystem. Die Wärmedämmung in der Bauweise einer Glasfassade wird konstruktiv und preislich wesentlich von dem künftig zu erwartenden Einsatz von thermotropen Deckverglasungen zur Transmissions-schaltung profitieren.

3. Innovative Systemkonzepte

3.1 Thermische Solarenergienutzung

In Schweden und Dänemark haben Nahwärmenetze mit einem zentralen Heizwerk eine lange Tradition. Hier entstanden auch bereits 1982 die ersten Demonstrationsprojekte mit Einbindung großer Kollektorfelder (2.000 bis 5.000 m²) und Speicher (2.000 bis 350.000 m³) zur ganzjährigen Wärmezeugung. Die Übertragung der Erfahrungen auf die Verhältnisse in Mitteleuropa hat in den vergangenen Jahren begonnen und zu ersten Pilotanlagen mit bis zu 5.000 m² großen Kollektorflächen geführt. Dabei wurden zumeist große Flachkollektormodule von bis zu 20 m² Größe zur Vermeidung zusätzlichen Flächenbedarfs auf die Dachflächen einzelner Gebäude verteilt (Abbildung 5). Weiterentwicklungen zielen auf Fertigteildächer mit integrierten Kollektoren, um die architektonische Einbindung und die Wirtschaftlichkeit zu verbessern.

Mit Wärmegegestehungskosten von 0,2 bis 0,3 DM/kWh ist die Solarenergienutzung in Nahwärmenetzen preisgünstiger als die dezentrale solare Brauchwasserbereitung. Im Falle von Wohngebieten mit Niedrigenergiehäusern können so 50 % bis 70 % des

Wärmebedarfs zu vertretbaren Kosten gedeckt werden.

Wegen der zeitlichen Übereinstimmung von Energieangebot und -nachfrage ist die Nutzung der Solarenergie zur aktiven Klimatisierung von Gebäuden besonders vorteilhaft. Dies gilt schwerpunktmäßig für die Länder Südeuropas. Neben den bekannten sorptiven Verfahren werden heute Systeme auf der Basis der Trocknungskühlung untersucht. Dies gilt vor allem dann, wenn hohe Luftwechselraten erforderlich sind (Desiccant Cooling System, DCS). In beiden Fällen ist die Antriebsenergie für die Kälteerzeugung thermische Energie. Vorteilhaft für die Einspeisung von Solarwärme ist ein möglichst niedriges Temperaturniveau. Ein DCS nutzt bereits Wärme ab einem Temperaturniveau von 60 °C für den Trocknungsprozeß und verzichtet dabei vollständig auf den Einsatz von FCKWs. Desiccant Cooling Anlagen, die ihren Wärmebedarf über fossile Brennstoffe decken, sind Stand der Technik. Erste solarunterstützte Systeme befinden sich im Aufbau. Die dazu erforderlichen Kollektorfelder können ganzjährig zur Wärmezeugung eingesetzt werden (Abbildung 6).

3.2 Photovoltaik

Auch Photovoltaik (PV) in Gebäuden ist heute Stand der Technik. Wegen der Schwankung des Strahlungsangebotes werden die Anlagen über Wechselrichter im Netzverbund betrieben. Eine Ausnahme bilden Anlagen zur Stromversorgung von „Inselhäusern“. Für eine Generatormennleistung von 1 kW_p werden derzeit etwa 10 m² Fläche benötigt (kristalline Siliziumzellen). Abhängig vom Strahlungsangebot (Breitengrad) ergibt sich für optimal orientierte Anlagen im Dach ein Jahresertrag von 700 kWh (60° N) bis 1.500 kWh (40° N) pro kW_p. In der Fassade sind es etwa 20 % bis 30 % weniger.

Im Bereich der Einfamilienhäuser genügt bei höchster Energieeffizienz (Passiv-Haus, energieeffiziente Geräte, solare Warmwasserbereitung) eine Fläche von etwa 30 m² (3 kW_p), um den gesamten Energiebezug des Gebäudes in der jährlichen Primärenergiebilanz auszugleichen. Das Strom-

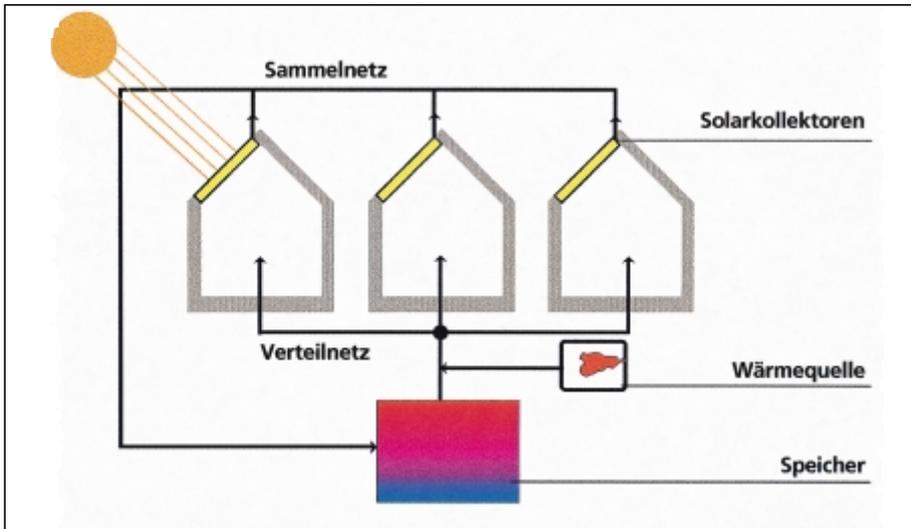
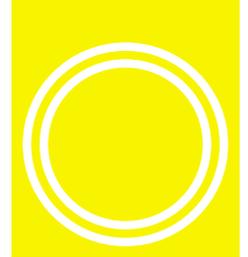


Abbildung 5: Prinzip einer solaren Nahwärmeversorgung.

Abbildung 6: Prinzip einer solarunterstützten Trocknungskühlung. Die Kühlung der Zuluft erfolgt über Verdunstung von Wasser. Damit dies auch bei hohen Außenluftfeuchten möglich ist, wird die Luft zunächst entfeuchtet. Das dazu erforderliche Trocknungsrad wird durch Solarenergie regeneriert.

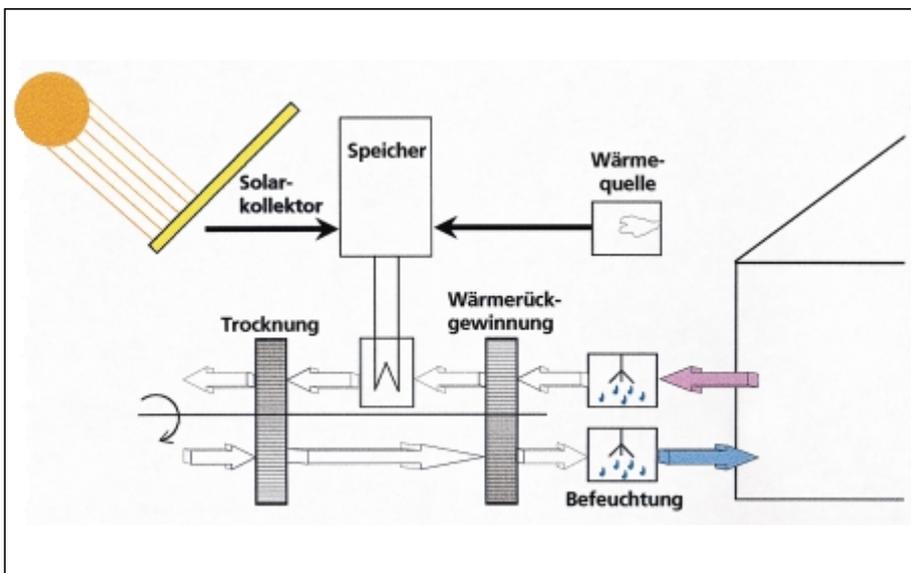
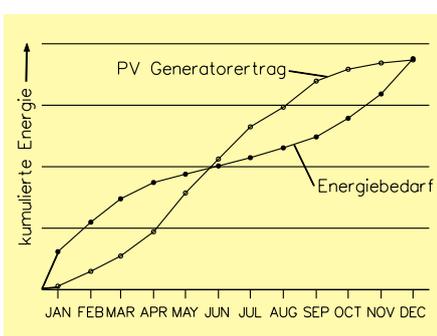


Abbildung 7: PV-Generator zum Ausgleich des gesamten Jahresenergiebedarfs eines Wohnhauses („Null-Energiehaus“).



netz übernimmt die Rolle des Energiespeichers („Null-Energiehaus“, [Abbildung 7](#)). Im Unterschied zu früheren Installationen steht heute die konstruktive und architektonische Integration der Module in der Gebäudehülle im Vordergrund. Dies trifft insbesondere auf repräsentative Verwaltungs- und Industriebauten zu. Der Markt bietet dazu zahlreiche Lösungen an:

- variable Modulgrößen und -formen
- opake und semitransparente Module,
- flexible Module,
- farbige Zellen und Module,
- PV im Funktionsisolierglas,

- PV in Zu- und Abluftfassaden
- Verschattungselemente mit PV
- PV als Dachziegel.

4. Konzeption, Simulation, Analyse

Die aus energetischer Sicht verbesserten Eigenschaften der Gebäudehülle vermindern den Bedarf an flankierenden „künstlichen“ Energieströmen. Gebäude werden zunehmend „passiv“ temperiert und belichtet. Entscheidend für den Erfolg ist der frühzeitige Dialog der Planungsteams für Architektur und Energie.

Der gezielte Einsatz von computergestützten Planungswerkzeugen stellt bereits im frühen Planungsstadium hochdetaillierte Informationen zur Verfügung. Entscheidend ist dabei nicht nur die Berechnung singulärer Zahlenwerte (z. B. Heiz- oder Kühlergiebedarf), sondern vor allem die Analyse der Ergebnisse von Parameterstudien oder der Vergleich von Varianten ([Abbildung 8](#)).

Während Fragestellungen des thermischen Energiehaushalts weitgehend durch dynamische Simulation bearbeitet werden, ist die Simulation von Beleuchtungsverhältnissen wegen des erhöhten Rechenaufwands („Raytracing“) derzeit auf ausgewählte Momentaufnahmen beschränkt, allerdings bis hin zur photorealistischen Bildern oder Animationen. Hierbei geht es vor allem um die Frage der Beleuchtungsqualität. Zur Beurteilung der Energieeinsparung durch verbesserte Tageslichtnutzung können solche Momentaufnahmen zu quasidynamischen Jahressimulationen zusammengefaßt und mit Kühllastberechnungen verknüpft werden ([Abbildung 9](#)).

Die Erfahrungen der vergangenen Projekte zeigen, daß wirtschaftlich günstige Ergebnisse vor allem dann möglich sind, wenn Solarsysteme nicht additiv sondern als integraler Bestandteil des Gebäudes und der Anlagentechnik auftreten.

5. Fazit

Die vorgestellten Konzepte zeigen Wege auf, wie hohe Lebensraumqualität mit geringem Ressourcenverbrauch erreicht werden kann. Für den Erfolg dieser Strategie ist entscheidend, daß

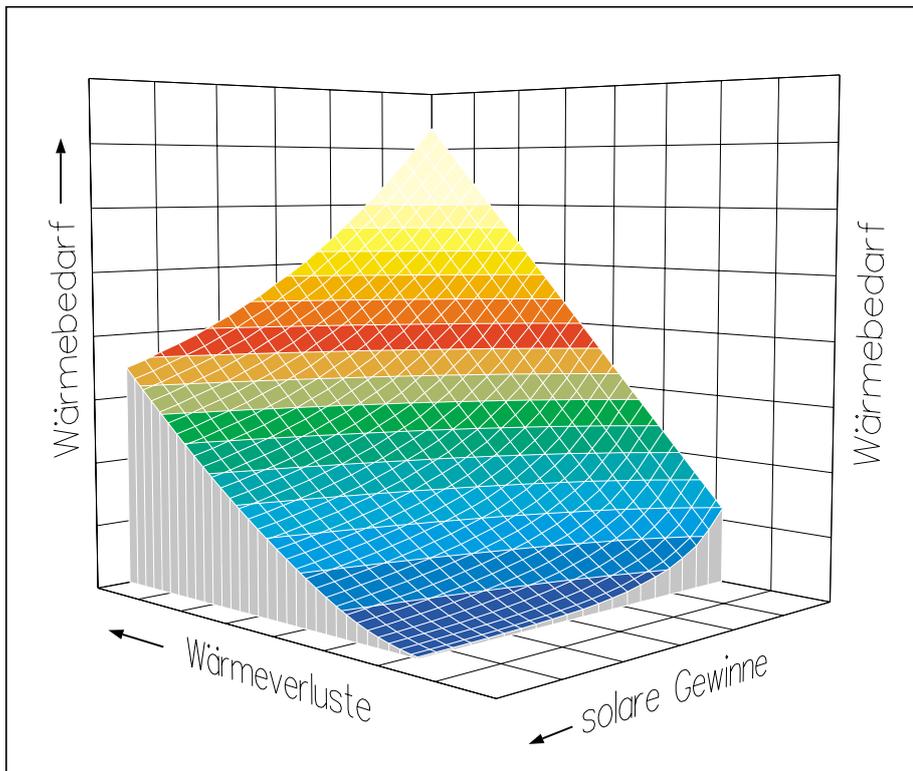
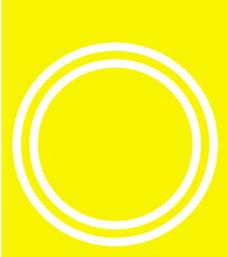
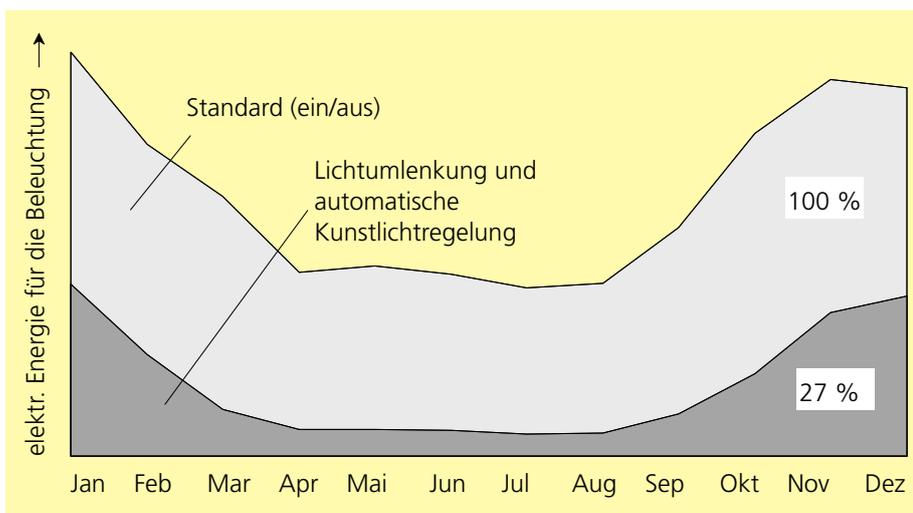


Abbildung 8: Der Wärmebedarf eines Gebäudes als Funktion der Wärmeverluste (Transmission, Luftwechsel) und der Transparenz der Gebäudehülle (solare Gewinne). Die Zielgröße Wärmebedarf wird im wesentlichen durch diese beiden Parameter bestimmt.

Abbildung 9: Der elektrische Energiebedarf für die künstliche Beleuchtung bei unterschiedlichen Konzepten als Ergebnis quasidynamischer Tageslichtsimulation. Eine verbesserte Tageslichtnutzung bewirkt in Verbindung mit einer automatischen Anpassung des Kunstlichts eine hohe Energieeinsparung.



solchermaßen geplante und realisierte Objekte dazu beitragen, das Wissen weiter zu vertiefen. Daher ist die Beschäftigung mit der alltäglichen Realität der fertiggestellten Bauten wichtig. Vernachlässigen wir dies, bleiben aufwendige technische Anlagen zur Korrektur fehlerhafter Gebäudekonzepte auch Realität für die Gebäude von morgen.

6. Dank

Der Beitrag gibt einen Überblick über aktuelle Forschungsergebnisse [1 bis 3]. Die dargestellten Ergebnisse sind Resultat einer Vielzahl beteiligter Institute und ihrer Mitarbeiter. Deren Arbeit wird wesentlich durch die öffentliche Förderung des Bundes und der Länder sowie aus der Industrie unterstützt.

Literatur

- [1] A. Marko, P. Braun
„Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden“, Springer Verlag, Heidelberg (1996)
- [2] F. Sick, T. Erge
„Photovoltaics in Buildings“, James & James, London (1996)
- [3] H.M. Henning
„Solar unterstützte Klimatisierung von Gebäuden mit Niedertemperaturverfahren“, Workshop Tagungsband, FORSCHUNGSVERBUND SONNENENERGIE, Freiburg (1995)