

# **Das Optimieren zwischen Tageslicht und solarem Wärmeeintrag - eine zentrale Planungsaufgabe bei Büro- und Dienstleistungsgebäuden**

Detlef Hennings, Dr. rer. nat., freiberuflicher Wissenschaftler und Dozent,  
Augustastr. 24, D-51065 Köln, (+49)-(0)221-372445, d.hennings@eclim.de, www.eclim.de

## **1 Die Planungsaufgabe**

Bei Büro- und Dienstleistungsgebäuden werden präzisere Anforderungen an die Nutzungsqualität bestimmende Eigenschaften wie das thermische Innenklima und die Beleuchtung gestellt als üblicherweise bei Wohngebäuden.

So läßt sich in mitteleuropäischen Passiv-Wohngebäuden das sommerliche Innenklima weitgehend von Überwärmung freihalten, indem in erster Linie die solare Einstrahlung abgeschirmt wird und dabei auch ein teilweises Abdunkeln der Innenräume in Kauf genommen wird. In Büro- und Dienstleistungsgebäuden bestehen im Gegensatz zu Wohnbauten Mindestanforderungen an die Innenraum-Beleuchtung, die bei einem abdunkelnden Sonnenschutz erheblichen Energieaufwand für elektrische Beleuchtung zu Folge hätten.

Ein Abwägen zwischen weitgehender Tageslichtnutzung und begrenztem Wärmeeintrag ist daher unabdingbar, insbesondere, wenn neben den Passivhaus-Kriterien auch die 'EnOB-Anforderung' (100 kWh/m<sup>2</sup>a max. Primärenergiebedarf für den gesamten Betrieb, also Heizen, Kühlen, Lüften und Beleuchten, vgl. [BINE 2000], [EnOB 2005]) erfüllt werden soll.

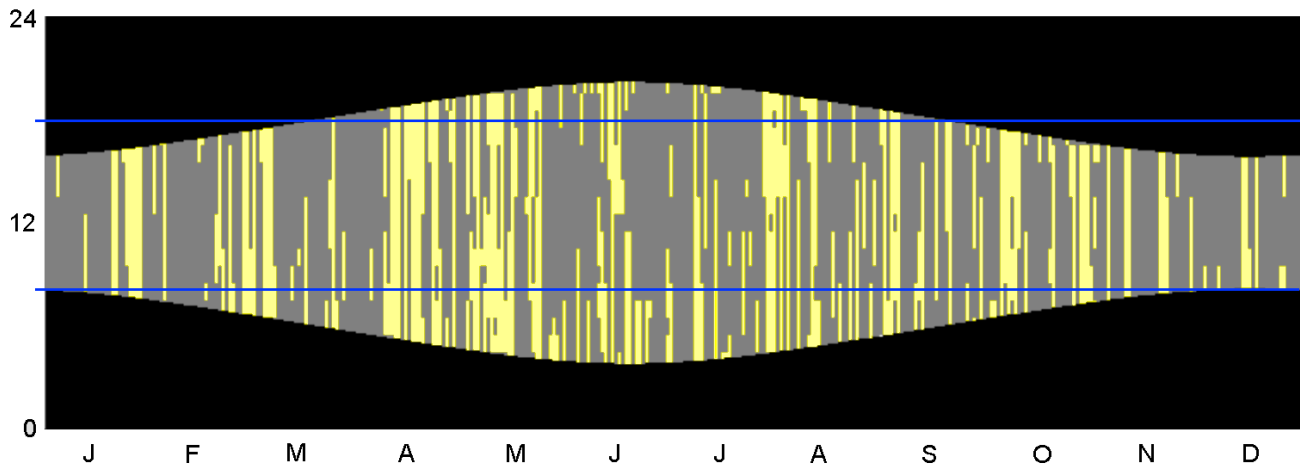
## **2 Lösungsansätze und -wege**

Im Folgenden wird ein systematisches Vorgehen aufgezeigt, mit dem eine Synthese der teilweise konkurrierenden Anforderungen erreicht werden kann. In zwei Perspektiven werden zentrale Abhängigkeiten herausgestellt. Dabei werden ausschließlich einfach zu realisierende und kostengünstige Lösungsansätze betrachtet.

### **2.1 Die Tageslicht-Perspektive**

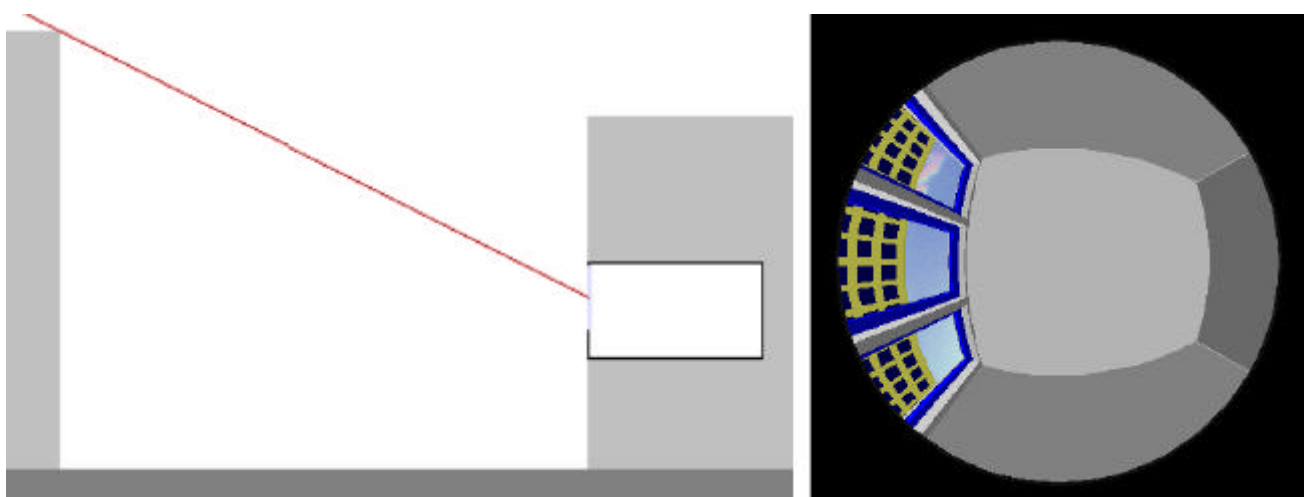
Das Tageslicht in einem Gebäude wird in erster Linie von der Geometrie des Baukörpers einschließlich seiner Umgebung, der Fenster-Gestaltung und der Innenraum-Aufteilung vorherbestimmt. Mit der Gebäude-Geometrie werden hier in frühen Planungsstadien Entscheidungen getroffen, die später meist nur mit erheblichem Aufwand revidiert werden können. Daher beginnt die thermische Optimierung sinnvollerweise mit dem Tageslicht.

Im mitteleuropäischen Klima treten etwa gleich häufig zwei gegensätzliche Außenbedingungen des Tageslichts auf: bedeckter Himmel mit Diffuslicht und klarer Himmel mit direkter Sonneneinstrahlung (vgl. Grafik 1). Ein Tageslicht-Konzept muß deshalb sowohl bei bedecktem als auch bei sonnigem Himmel gut funktionieren.



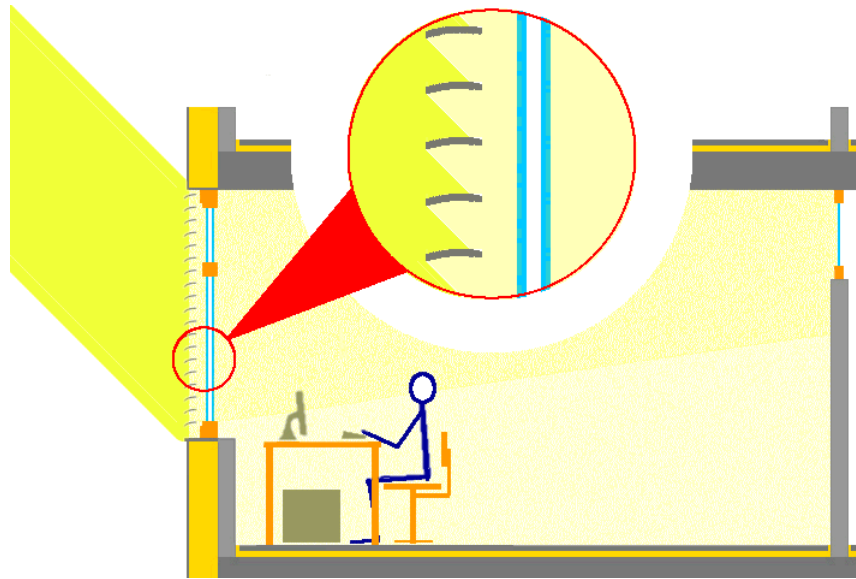
**Grafik 1** Beispiel für die Verteilung von bedecktem Himmel (grau) und Sonnenschein (gelb) im Jahresverlauf. Horizontal sind die Monate bzw. Tage aufgetragen, vertikal die Tagesstunden. Die horizontalen Linien markieren die tägliche Betriebszeit eines Büros (Sommerzeit nicht berücksichtigt).

Bei bedecktem Himmel besteht die Aufgabe darin, möglichst viel verfügbares Tageslicht in die Innenräume, besonders in die Raumtiefe zu bekommen. Da das Licht bei mäßiger Leuchtdichte diffus aus der gesamten oberen Hemisphäre einstrahlt, ist neben der Fenstergröße und -Anordnung auch der Öffnungswinkel, entsprechend dem sichtbaren Himmelsausschnitt, für gute Beleuchtung entscheidend (Grafik 2). Quantitativ wird mit Tageslicht-Faktoren für diffusen Lichteinfall bewertet (vgl. [Hennings 2004]).



**Grafik 2** Die qualitative Einschätzung des diffusen Lichtangebots mit dem Himmelsausschnitt, der im Beispiel von der Schreibtischoberfläche eines Arbeitsplatzes aus sichtbar ist; links der vertikale Schnitt, rechts ein Fischaugen-Bild von der Schreibtisch-Oberfläche aus nach oben gesehen [Hennings 2005].

An Strahlungstagen kommt dagegen die Tageslichtnutzung in Zielkonflikt mit dem sommerlichen thermischen Innenklima. Die direkte Sonneneinstrahlung in die Innenräume muß weitgehend verhindert werden, um sowohl eine Blendung der Personen als auch eine Überwärmung der Räume durch die Heizwirkung der Strahlung zu vermeiden. Der notwendige Sonnenschutz muß so gestaltet werden, daß er bei geringem Wärmeeintrag eine weitgehende Tageslicht-Beleuchtung erlaubt. Da das Außenlicht infolge der Sonnenbahnen und der Bewölkung stark variiert, ist es notwendig, daß der Sonnenschutz an die jeweilige Einstrahlung adaptiert werden kann (vgl. Grafik 3).



**Grafik 3** Ein Bürraum mit außenliegender Jalousie, die bei Besonnung in 'cut-off'-Stellung betrieben wird, als Beispiel für eine einfache Ausführung eines adaptierbaren Sonnenschutzes. Die direkte Strahlung bleibt außen, bei heller Ausführung lenkt die Jalousie einen Teil des Lichts an die Raumdecke (die ebenfalls hell sein soll) und die Sichtbeziehung nach außen bleibt erhalten.

Weitere Maßnahmen dienen dazu, das Verhältnis von Tageslicht zu Wärmeeintrag zu verbessern:

- Wenn immer möglich, sturzfrei von der Arbeitsfläche bis zur Decke reichende Fenster, sowie keine Verglasung unterhalb der Arbeitsfläche.
- Gemäßigt kompakte Bauweise, so daß Arbeitsplätze überwiegend fensternah angeordnet werden können (extreme Kompaktheit ist in Büro- und Dienstleistungsgebäuden mit sehr guter Wärmedämmung wegen des Lichts nachteilig).
- Bei großem Verglasungs-Anteil der Fassade eine neutrale Sonnenschutzverglasung mit hoher Lichtdurchlässigkeit (ca. 0.65), aber geringem g-Wert (etwa 0.35). Der dabei im Winter geringere solare Wärmegewinn spielt bei hochgedämmten Büro- und Dienstleistungsgebäuden eine untergeordnete Rolle.

- Lichtlenkung an den Fenstern ist nur dann sinnvoll, wenn in Fensternähe ein Licht-Überschuß besteht, denn es wird lediglich Licht in die Raumtiefe umverteilt - die gesamte Lichtmenge sinkt durch zusätzlich eingefügte, verlustbehaftete Lichtlenk-Elemente.

## 2.2 Die Innenklima- und Wärmebilanz-Perspektive

Innentemperaturen stellen sich immer so ein, daß die momentane Wärmebilanz ausgeglichen ist. Es lohnt sich also anzuschauen, wie sich die sommerlichen Bilanzkomponenten - Wärmegewinne und Wärmeverluste - in der Planung beeinflussen lassen, so daß ein angenehmes thermisches Innenklima entsteht.

### Wärmegewinne im Sommer

Solare Wärmegewinne sind unvermeidlich mit der Tageslichtnutzung verbunden, jedoch in weiten Grenzen in der Planung beeinflussbar. Unnötig große Verglasungsflächen und unzureichender Sonnenschutz können sie sehr groß werden lassen und damit einen hohen Kühlenergiebedarf oder ein ungünstiges thermisches Innenklima verursachen. Bei guter Dimensionierung der Fenster und richtiger Auslegung des Sonnenschutzes werden die solaren Gewinne gerade so weit reduziert, daß eine gute Tageslichtversorgung erhalten bleibt. Bei noch weniger Tageslicht käme Kunstlicht als Wärmequelle hinzu. Ebenfalls nutzungsbedingt kommen die Wärmeeinträge der Personen und der Bürogeräte, vorwiegend der Computer hinzu. Letztere hängen vom Nutzer ab und können sehr variieren.

|                          | Tagessumme der Wärmeeinträge in [Wh / m <sup>2</sup> d] |            |               |           |
|--------------------------|---|------------|---------------|-----------|
|                          | Personen  | PC's, etc. | Solar (Licht) | gesamt    |
| <b>schlechte Lösung</b>  | ca. 80  | > 200      | > 200         | > 500     |
| <b>Standardlösung</b>    | ca. 80  | ca. 150    | ca. 150       | 350 - 400 |
| <b>optimierte Lösung</b> | ca. 80  | ca. 50     | ca. 100       | 200 - 250 |

**Tabelle 1: Orientierungswerte für die Nutzungs-bedingten sommerlichen Wärmeeinträge in einen Büroraum (10 m<sup>2</sup>/Pers.). Die Beispiel-Lösungen: 'schlecht' (unnötiger Hochleistungs-PC für Büroarbeit, vollverglaste Fassade und/oder unzureichender Sonnenschutz), 'standard' (Energie-sparender PC, Fenster mit Außen-Jalousie in cut-off-Stellung), 'optimiert' (Notebook-PC, Fenster wie 'standard', jedoch neutrales Sonnenschutzglas).**

Ein Charakteristikum der sommerlichen Wärmeeinträge ist es, daß sie alle etwa gleichzeitig tagsüber auftreten und nachts entfallen. Dies eröffnet die Möglichkeit mittels thermisch speicherfähiger Raum-Umschließungsflächen einen Teil der Wärmeeinträge tagsüber aus den Innenräumen zu entfernen und in den Bauteilen zwischenspeichern. Das mildert die täglichen Temperatur-Maxima ab und ermöglicht die Wärmeeinträge des Tages teilweise nachts abzuführen. Bei genügend wirksamem Wärmespeicher ('mittelschwerer', besser 'schwerer' Bauweise) können die Wärme-Einträge und die Wärmebilanz in guter Näherung als Tagesmittel statt momentan behandelt werden, was die Berechnungen vereinfacht.

## **Wärmeverluste im Sommer**

Im Sommer ist es wegen meist kleiner Temperaturdifferenz nach außen schwieriger als im Winter überschüssige Wärme aus den Innenräumen abzuführen. Jedoch muß den Wärmeeinträgen eine - zumindest im Tages-Mittel - gleich große Wärmeabfuhr gegenüberstehen. Ein einfacher, bei geringem Wärmeeintrag praktikabler Weg ist die das nächtliche Außentemperatur-Minimum nutzende Nachtlüftung. Jedoch ist die Wärmetransport-Leistung von Luft gering, so daß bei Nachtlüftung ein Minimieren der Wärmeeinträge sehr zu empfehlen ist. Die Wärmeabfuhr mit Luft wird etwas leistungsfähiger, wenn der Zuluft in einem Luft-Erdwärmetauscher Wärme entzogen wird. Eine effiziente Methode auch mittelgroße Wärmeeinträge abzuführen ist es, Bauteile - besonders Beton-Decken - über einen Wasser-Erdwärmetauscher zu kühlen. Diese und weitere Methoden Energie-effizienter Wärmeabfuhr sind in [EnOB 2005] und [AKPH 31] genauer beschrieben. In jedem Fall ist es aber notwendig, die Wärmeabfuhr richtig zu dimensionieren, ggf. dynamisch zu simulieren.

## **2.3 Die Optimierung - zusammengefaßt**

Zentrales Ziel der optimierenden Planung ist es, eine gute Tageslicht-Versorgung bei zugleich begrenztem Wärmeeintrag zu realisieren. Das beginnt früh in der Planung mit der Gebäude- und Fenster-Geometrie. Um Überwärmung oder große Kühllasten zu verhindern müssen die Wärmeeinträge (Wärmegewinne, Wärmelasten) auf das der Raumnutzung angemessene notwendige Maß begrenzt werden. Weitere Aspekte müssen einbezogen werden, um ein thermisch und energetisch gutes Ergebnis zu erhalten. Wichtige 'Zutaten' der thermischen und energetischen Optimierung sind:

- Tageslicht-orientierte Geometrie des Baukörpers und der inneren Grundrisse sowie Tageslicht-optimierte Fenster-Geometrie mit moderater Apertur
- auf den Bedarf einstellbarer Sonnenschutz, Lichtlenk-Funktionen, neutrales Sonnenschutzglas
- innere Wärmequellen, nicht mehr als Nutzungs-bedingt notwendig
- wirksame thermische Speichermassen für den thermischen Tag-Nacht-Ausgleich
- wirkungsvolle und energieeffiziente Wärmeabfuhr über Lüftung, Erdwärmetauscher, Bauteil-Temperierung oder andere Verfahren
- gute Luftqualität bei moderatem Luftwechsel; Wärmerückgewinnung
- ein sehr guter winterlicher Wärmeschutz
- eine energieeffiziente Beleuchtung und technische Gebäudeausrüstung.

Ausführlicher als in der hier gebotenen Kürze sind einzelne Planungsschritte und die Vorgehensweise in [Hennings 2006] dargestellt, mehr Details sind in [EnOB 2005] zu finden.

### 3 Beispiele

Im EnOB-Monitor-Programm sind mehr als zwanzig Energie-optimierte Büro- und Dienstleistungs-Neubauten unterschiedlicher Bauweisen in der Planung begleitet und in den ersten Betriebsjahren detailliert untersucht und vermessen worden. An zwei dieser Bauten, die im Betrieb das anspruchsvolle EnOB-Kriterium (s.o.) noch deutlich unterschritten haben, lässt sich beispielhaft zeigen, wie sich die Optimierung in verschiedener Weise praktisch umsetzen lässt. Im Gebäude 'Lamparter' wird eine Außen-Jalousie mit Lichtlenkung kombiniert und die Wärme mit Hilfe eines Luft-Erdwärmetauschers abgeführt. Das 'BOB'-Gebäude lässt mit innenliegender Jalousie und neutraler Sonnenschutz-Verglasung etwas höhere Wärmeeinträge zu, besitzt jedoch eine leistungsfähige und effiziente Wärmeabfuhr über Bauteil-Kühlung und Erdwärmetauscher, wobei das gleiche System mit zusätzlicher Wärmepumpe auch zum Heizen eingesetzt wird.



**Grafik 4** Die Gebäude 'Lamparter' in Weilheim / Teck (links) und 'BOB' in Aachen (rechts)  
(Fotos: D. Hennings, VIKa / J. Hempel)

- [AKPH 31] W. Feist (Hrsg.): Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 31: Energieeffiziente Raumkühlung; Darmstadt : Passivhaus-Institut, 2005
- [BINE, 2000] D.Hennings, J.Knissel: Energieoptimierte Bürogebäude; BINE profi-Info 2/2000; FIZ-Karlsruhe / BINE Bonn, 2000; 'www.bine.info'
- [EnOB, 2005] K.Voss, G.Löhnert, S.Herkel, A.Wagner, M.Wambsganß (Hrsg.): Bürogebäude mit Zukunft; Köln, 2005; 2.Aufl. Berlin, 2006.
- [Hennings, 2004] D.Hennings: Ein einfaches Verfahren für die Ermittlung der Tageslicht-Autonomie und des elektrischen Energiebedarfs für Beleuchtung. 10. Symp. Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Kloster Banz, Jan. 2004; auch unter 'www.eclim.de'
- [Hennings, 2005] D.Hennings: DynVis Light - Software zur Visualisierung der Tageslicht-Eigenschaften eines Raums, 'www.eclim.de'
- [Hennings, 2006] D.Hennings: Thermisch optimierte Büro- und Verwaltungsgebäude; Seminar-Broschüre, Düsseldorf 2006, 'www.kalksandstein.de'