

Tageslichtplanung im Künstlichen Himmel

Daylight Planning with an Artificial Sky

Peter Andres

Eine zeitgemäße Lichtplanung berücksichtigt nicht nur die reine »Grundversorgung« eines Raums mit Tageslicht, sondern auch physiologische und psychologische Anforderungen. Die Normen schreiben zwar den Außenbezug vor, nicht jedoch die Quantität oder gar die Qualität einer Belichtung mit Tageslicht. Dabei gilt es inzwischen als unbestritten, dass ein Mangel an Tageslicht auf den Organismus wie auch auf die Psyche des Menschen eindeutig negative Auswirkungen hat, z. B. Störungen im Stoffwechsel oder in der hormonellen Regulation. Darüber hinaus ist eindeutig belegt, dass Licht

- die Leistungsfähigkeit beeinflusst,
- die Winterdepression SAD (Seasonal Affective Disorder) therapieren kann,
- die Vitamin-D-Synthese erst ermöglicht,
- auf die Blutzusammensetzung einwirkt.

Die spektrale Qualität des Tageslichts, auf die der Mensch sozusagen »geeicht« ist, kann – wenn überhaupt – nur mit sehr energieaufwändigem Kunstlicht kompensiert werden. Die Winterdepression und die damit zusammenhängende Tagesmüdigkeit rührt von der Melatoninbildung im menschlichen Körper her. Sie lässt sich durch eine ausreichende Lichtversorgung unterdrücken. Die Steuerung der Melatoninbildung erfolgt durch so genannte circadiane Sensoren, deren Existenz erst seit wenigen Jah-

ren bekannt ist. Sie befinden sich in der Netzhaut und reagieren vor allem auf kurzwelliges (blaues) Licht. Damit lässt sich erklären, dass auch blinde Menschen einen Tag-Nacht-Rhythmus empfinden können. Eine Reihe von Untersuchungen ergab, dass besonders kranke Menschen auf Lichtmangel empfindlich reagieren bzw. schneller gesunden, wenn die entsprechenden Räume mit viel Tageslicht versorgt werden.

Tageslichtsysteme

Um Tageslicht in Räume einzubringen, stehen uns vor allem zwei Systeme zur Verfügung: das Fenster bzw. Seitenlicht und das Oberlicht. Bei herkömmlichen Räumen mit eher geringen Tiefen übernimmt das Seitenlicht den Außenbezug und die Versorgung mit Tageslicht gleichermaßen. Je größer jedoch die Raumtiefen werden, umso stärker tritt der Nachteil des herkömmlichen Fensters zutage: Aus der Raumtiefe betrachtet behält das Fenster seine Eigenhelligkeit (= Leuchtdichte), kann in der Tiefe aber nicht mehr für ausreichende Quantität sorgen. Der Betrachter befindet sich in einer Zone geringerer Helligkeit, sein Auge adaptiert jedoch auf die immer noch vorhandene – meist hohe – Fensterleuchtdichte und wird damit unempfindlicher auf die in seiner Zone geringeren Helligkeiten bzw. Leuchtdichten. Somit erscheint ihm diese Raumzone noch dunkler als sie objektiv ist.



1

Ein Oberlicht hingegen eignet sich – die richtige Position und Dimensionierung vorausgesetzt – ideal für die Versorgung mit Tageslicht: Aufgrund seiner Anordnung ist die Blendgefahr deutlich geringer, die Versorgungseffektivität jedoch bis zu dreimal höher als die des Seitenlichtes. Die Erklärung liegt in der Leuchtdichteverteilung des Himmels: Sie nimmt vom Horizont bis zum Zenit analog einer Sinusfunktion stetig zu und erreicht dort den dreifachen Wert der Horizontleuchtdichte. Ein Oberlicht mit einer Öffnungsfläche von 1 Quadratmeter bringt also im Vergleich zu einem Seitenfenster derselben Größe eine bis zu dreifache Tageslichtmenge in den Raum. Berücksichtigt man zusätzlich den Adaptionszustand des Auges, so ist der sichtbare Unterschied zwischen Seiten- und Oberbeleuchtung sogar deutlich höher: Da der Großteil unserer Blickbeziehungen horizontal organisiert ist, führt die Oberlichthelligkeit normalerweise zu wesentlich geringeren Blendungen und somit gleichzeitig zu höheren Augenempfindlichkeiten. In Abb. 3a wird die Leuchtdichte des stirnseitigen Seitenlichts zurückgenommen; das Auge kann somit stärker auf das durch das Oberlicht einfallende Tageslicht adaptieren. Des weiteren bietet das Oberlicht eine zusätzliche Dimension der Lichtwirkung: die Beeinflussung des Lichtcharakters. Darunter versteht man das Verhältnis der diffusen zu



3a



b



c

Wohnhaus, Seeheim-Jugenheim (in Planung)
Architekten: Fritschi Stahl Baum

- 1 Gebäudemodell im Künstlichen Himmel
- 2 Sonnenstandsdiagramm für den Standort Seeheim-Jugenheim
- 3a-i Modelluntersuchung im Künstlichen Himmel
- 4 Blick in das beleuchtete Modell (Maßstab 1:15)

House, Seeheim-Jugenheim (in planning)
Architects: Fritschi Stahl Baum

- 1 Model of building under the artificial sky
- 2 Sun path diagram for Seeheim-Jugenheim
- 3a-i Model tests under the artificial sky
- 4 View into the illuminated model (scale 1:15)

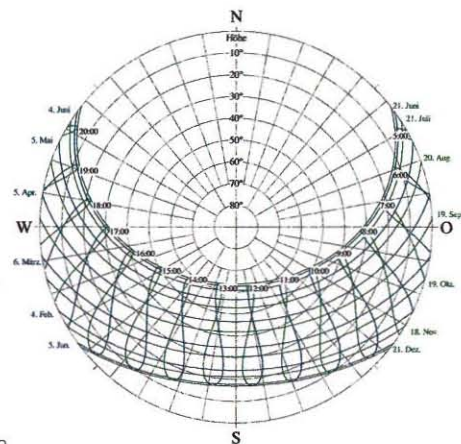
den direkten Lichtanteilen. In unseren Breitengeraden wirkt eine unter vorwiegend direktem Licht entstehende Szenerie am attraktivsten. Eine solche Schönwetteratmosphäre entspricht einer Mischung aus etwa einem Drittel diffusen Lichtanteilen (blauer Himmel) und zwei Dritteln direkten Lichtanteilen (Sonne). Dies bedeutet, dass über die Beeinflussung des Lichtcharakters selbst bei schlechtem Wetter (bedeckter Himmel, d.h. ausschließlich diffuses, indirektes Licht) Assoziationen zu einer Schönwetterstimung ausgelöst werden können.

Modelluntersuchung im Künstlichen Himmel

Der Entwurf des Büros Fritschi Stahl Baum für ein Wohnhaus (Abb. 1) spielt genau mit diesen Möglichkeiten: Über so genannte Lichtkamme werden in zentraleren Raum Bereichen – eben nicht in unmittelbarer Fassadennähe – besondere Lichtwirkungen durch Tageslicht erzielt. Durch die verschieden geneigten Flächen der Lichtkamme – aus energetischen Gründen sind die Öffnungen so gesetzt, dass kein Sonnenlicht direkt in den Raum einstrahlen kann – ergeben sich weitere Helligkeitsdifferenzierungen, welche die charakteristische Plastizität des Lichtkamms unterstreichen.

Eine weitere Variable stellt die farbliche Behandlung der Innenflächen der Lichtkamme dar. Dadurch ergeben sich abhängig vom Blickwinkel immer wieder unterschiedliche

und somit spannende Licht-Raum-Wirkungen. Da das Zenitlicht grundsätzlich eine höhere Farbtemperatur und daher eine kühlere Lichtfarbe aufweist, kann man mit warmfarbigen Anstrichen selbst bei schlechtem Wetter einen sonnigen Eindruck erzeugen. Darüber hinaus lässt sich mit einer Blend- bzw. Sonnenschutzanlage für die vertikalen Fenster die Fassadenleuchtdichte reduzieren und damit die Wirkung der Oberlichter bis ins Dramatische steigern: Die durch die Entblendung der Seitenfenster erhöhte Augenempfindlichkeit reagiert auf das durch die Oberlichter einfallende Tageslicht immer stärker. Der Darstellung dieser Wirkungsunterschiede anhand von zweidimensionalen Abbildungen sind leider enge Grenzen gesetzt; so können die Abbildungen 3a–i nur eine Ahnung dessen vermitteln, was anhand eines Tageslichtsimulationsmodells erlebbar ist. Innerhalb kurzer Zeit können bei identischen Tageslichtbedingungen zahlreiche Variationen von Ober- und Seitenbelichtungen aufgebaut, untersucht und verglichen werden. Für die Untersuchung im Künstlichen Himmel können bereits vorhandene Arbeitsmodelle des Architekten verwendet werden – eine gewisse Bearbeitung für den Laborgebrauch vorausgesetzt. Um einen möglichst realistischen Eindruck zu erzielen, werden häufig Originalmaterialien eingesetzt, vor allem für die Gläser und die Hauptreflexionsflächen. Daher kann es auch sinn-



2

voll sein, einzelne Gebäudeteile speziell für die Untersuchung herzustellen.

Computersimulation

Eine Simulation auf der Basis des Computerprogramms »Radiance« liefert exakte Werte hinsichtlich Beleuchtungsstärken, Leuchtdichten¹ und Tageslichtquotienten² (Abb. 6). Auf dieser Grundlage lassen sich die Tageslichtbetriebszeiten ermitteln, d.h. man kann die Betriebskosten für das erforderliche Kunstlicht sehr genau berechnen. Des weiteren ermöglichen die rechnerisch ermittelten Tageslichtquotientenverläufe eine punktgenaue Dimensionierung des Tageslichtsystems: Über die Verknüpfung mit den vor Ort gemessenen Beleuchtungsstärken lassen sich so Rückschlüsse auf die tatsächlichen, auf die Wände auftreffenden Tageslichtquantitäten ziehen. Für das Projekt »Umbau und Erweiterung des Hessischen Landesmuseums in Darmstadt« wurden mittels dieser computergestützten Simulationstechnik zunächst prinzipielle Lösungen erarbeitet, untersucht und weiterentwickelt (Abb. 7). Nach der Betrachtung der computergestützten Simulationsergebnisse wurden die Helligkeitsverläufe an den Bilderwänden anhand von Modellversuchen im Künstlichen Himmel überprüft (Abb. 8). Aufgrund dieser »gefühlten« Ergebnisse wurden rechnerisch ermittelte Ungleichmäßigkeiten teilweise erheblich relativiert. Die endgültige



d



e



f



Umbau und Erweiterung des Hessischen Landes-
museums, Darmstadt (in Planung)

- Architekten: Kleffel Köhnholdt Papay Warncke
 5 Schnitt durch das Gebäude
 6 Computerberechnung der Tageslichtquotienten
 7 computergestützte Simulation
 8 Lichtsimulation am Modell im Künstlichen Himmel

Prof. Peter Andres leitet das 1986 gegründete Licht-
planungsbüro »Peter Andres Lichtplanung« in Ham-
burg.

Renovation and extension of the Hessisches Landes-
museum, Darmstadt (in planning)

- Architects: Kleffel Köhnholdt Papay Warncke
 5 Section through the building
 6 Computer calculation of daylight factors
 7 Computer simulation
 8 Light simulation on a model under the artificial sky

Professor Peter Andres is owner/manager of the lighting
design consultancy, Peter Andres Lichtplanung, found-
ed in 1986 in Hamburg.

Entscheidung über die Tageslichtqualitäten
wurde also erst anhand von Modellversu-
chen im Künstlichen Himmel getroffen.

Vergleich

Im Gegensatz zu den (zweidimensionalen)
Computersimulationsergebnissen können
wir bei unseren Lichtsimulations-Untersu-
chungen am Modell die Licht-Raum-Situati-
on dreidimensional erleben. Dabei kommen
die Leuchtdichte-Kontraste von 1:4000 den
natürlichen Helligkeitsdifferenzen sehr nah.
In der Drucktechnik hingegen lassen sich
Leuchtdichteverhältnisse von lediglich maxi-
mal 1:40 (mattschwarz zu hellweiß) darstel-
len; sehr gute Bildschirme schaffen einen
Kontrast von bis zu 1:200. Unabhängig von
den Leuchtdichte-Kontrasten kann man am
Modell verschiedene Blickbewegungen aus-
führen und verschiedene Raumbereiche fo-
kussieren. Dabei ist es wichtig, dass das ge-
samte Blickfeld des Betrachters auf die Hel-
ligkeiten im Modell reagieren kann (Abb. 4).
All dies spricht für die Optimierung von
Licht-Raum-Situationen – auch und beson-
ders über Modellversuche, um die zahlrei-
chen, nie exakt beschreibbaren Wirkungen
erleben und diskutieren zu können.

Anmerkungen:

- ¹ Die Leuchtdichte ist ein Maß für die tatsächlich
empfundene Helligkeit.
² Der Tageslichtquotient gibt an, wieviel Prozent der
Außenhelligkeit im Innenraum erreicht werden.

*Contemporary light planning is concerned not
only with adequate daylight levels in interiors,
but also with the physiological and psychologi-
cal effects of light. The standards define the
relationship between inside and outside, but
they don't define the quantity or even the qual-
ity of daylight in interiors. Yet the negative ef-
fects on our bodies and minds of too little day-
light have long been a proven scientific fact. In
addition it has been shown that light influences
our performance, can help cure winter depres-
sion (also called seasonal affective disorder –
SAD), is a catalyst for vitamin D synthesis, and
affects the composition of the blood. The spec-
tral quality of daylight can only be compen-
sated, if at all, with high levels of artifi-
cial light, an expensive solution. Winter de-
pression and the tiredness that goes with it is
connected with our bodies' ability to form me-
latonin. Insufficient light suppresses the pro-
duction of this hormone; it is controlled by cir-
cadian sensors, only recently discovered. Lo-
cated in the retina these sensors respond to
short-wave (blue) light. This explains why blind
people, too, can sense the rhythm of day and
night. A number of experiments has shown
that sick people in particular respond badly to
lack of light and, conversely, recover faster in
rooms well lit by daylight.*

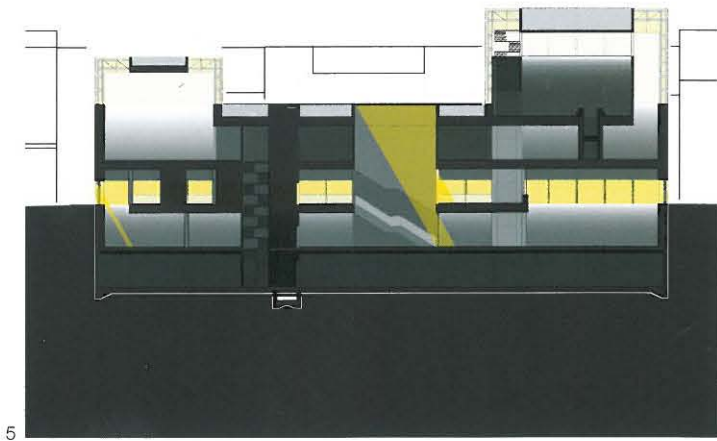
Daylight systems

*The two main ways of bringing daylight into a
room are windows, i.e. side light, or skylights.*

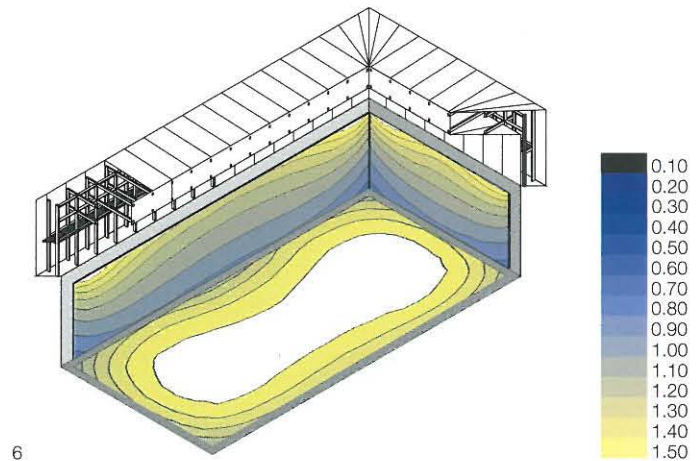
*The deeper the room, however, the more ob-
vious are the disadvantages of conventional
windows. Seen from the back of the room,
the window retains its own brightness (= lumi-
nance) but it cannot provide adequate levels
of lighting for this area. Thus the person at the
back of the room finds himself in an area of
low brightness, but his eye adapts to the still
present – and mostly high – luminance of the
window, which in turn causes him to respond
more strongly to the lower brightness or lumi-
nance in his zone.*

*A skylight, however, is an ideal way of bring-
ing in daylight, provided that it is of the right
size and positioned correctly. Because of its
position, the risk of glare is considerably less,
and it is up to three times more effective in
bringing light into a room than a window.
The explanation lies in the distribution of lumi-
nance across the sky – increasing steadily
from the horizon towards the zenith, where its
luminance is three times that of horizontal
light. A skylight with an aperture of 1 m² thus
brings up to three times more light into a
room than a side window of the same size. If
we take into account the state of adaptation
of the eye, this visible difference between side
light and light from above is even higher. As
most of the time our gaze is directed horizon-
tally, brightness from above leads to less glare
and therefore also to higher eye sensitivity
(Fig. 3 a: The luminance of the side light is
reduced; the eye can therefore adapt better*





5



6

to daylight falling in through the skylight.) Zenithal light does one more thing – it affects the character of the light in the room, i.e. the ratio of diffuse to direct light. The ideal is a mix of about one-third diffuse light (blue sky) and two-thirds direct light (sun). Which means that by influencing the character of the light it's possible even in bad weather (overcast sky, i.e. only diffuse, no direct light) to give the impression of an ideal mix.

Model tests under the artificial sky Fritschi Stahl Baum's house design (Fig. 1) explores just these possibilities. Light shafts are used to bring about special light effects in a central part of the room away from the facade. Various tilted surfaces in the shafts give rise to differences in brightness that underline the characteristic plasticity of the light shaft. For reasons of energy efficiency, the openings are placed so that no direct sunlight can penetrate into the room. Another variable is the colour treatment of the internal surfaces of these light shafts, giving rise to interesting, changing light-space effects, regardless of viewing angle. Since zenithal light basically has a higher colour temperature and therefore a cooler light colour, it's possible to achieve a sunny impression that works even in poor weather conditions, by using warm-toned paints. In addition, screening vertical windows reduces facade luminance and further enhances the effect of the skylight, sometimes

dramatically. In this scenario, the eyes are more sensitive, thanks to the lack of glare from the side windows, and therefore respond more strongly to the incident light from the skylights. Illustrating these differences in effect is rather difficult in 2D, so Figs 3a–i can only give a rough idea of what can be experienced with a daylight simulation model. Within a short space of time, and given identical daylight conditions, it's possible to set up, investigate and compare a wide range of side and zenithal lighting conditions. Once adapted for laboratory use, existing working models from architects can be used for investigations using the artificial sky. Frequently original materials are used to give as realistic an impression as possible – above all window glass and the principal reflecting surfaces. For some studies it can be advisable to model individual sections of a building.

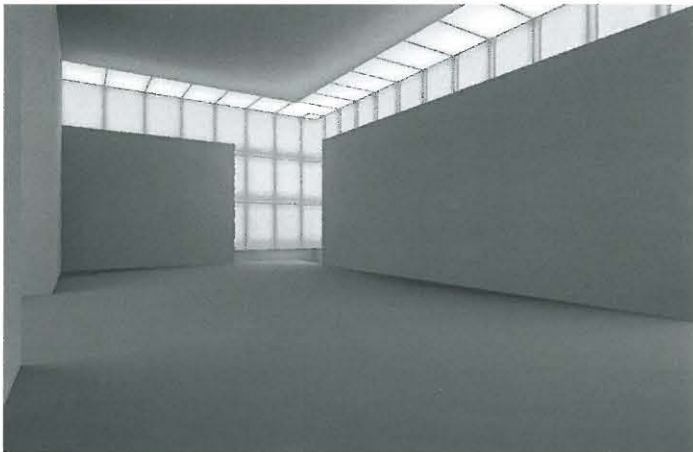
Computer simulation

A simulation in "Radiance", a ray-tracing software system, delivers precise values for illuminance, luminance and daylight factors (Fig. 6). These data can then be used to calculate very accurately what the operating costs will be for artificial light. Daylight factors calculated in this way enable high-precision in designing and scaling daylight systems. By comparing with the light levels measured on site it's possible to reach conclusions about the actual quantity of daylight hitting the walls. For the project to

renovate and extend the Hessisches Landesmuseum in Darmstadt, this computer simulation technique was used initially to work out, investigate and refine general solutions (Fig. 7). After analysis of the data from the simulation the brightness levels on the picture walls were monitored using models under the artificial sky (Fig. 8). Because of these "felt" results, irregularities identified by the computer simulation could then be ironed out. The final decision on daylight quality was only made after the results had been gathered from the model tests under the artificial sky.

Comparison

In contrast to the results on a (2D) computer simulation, our light-simulation model tests enable us to experience the light-space situation in 3D. Here luminance contrasts of 1:4000 closely mirror natural differences in brightness. In printing, however, the maximum contrast that can be achieved is only 1:40 (matt black to bright white); very good computer screens manage contrasts of up to 1:200. Independently of luminance contrasts, various viewing points can be simulated on the model and different areas of the room focused on. It is important here that the entire viewing field of the observer can respond to the brightness in the model (Fig. 4). Model tests are an excellent way of experiencing, discussing and optimising light-space situations.



7



8