

# LEBENSWICHTIG: TAGESLICHT

## FORSCHUNGSPROJEKT ZUR TAGESLICHTNUTZUNG IN WOHN- UND ARBEITSRÄUMEN

Dem Tageslicht wird in Räumen, die regelmäßig und längere Zeit am Tag genutzt werden, eine besondere Bedeutung beigemessen. Denn neben seiner Beleuchtungsfunktion steigert es die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit. Ein Forschungsprojekt der TU Berlin ist daher der Frage nachgegangen, wieviel Tageslicht notwendig ist, damit man von einer ausreichenden Tageslichtversorgung ausgehen kann. Die Studie basiert auf Erkenntnissen aus umfangreichen Feldversuchen und Nutzerbefragungen. Die am Projekt beteiligten Wissenschaftler Prof. Dr. rer. nat. Heinrich Kaase und Dipl.-Ing. Stefan Gramm (beide TU Berlin) sowie Dipl.-Ing. Wolfgang Cornelius vom Fachverband Tageslicht und Rauchschutz (FVLR), der das Projekt begleitete, berichten über Hintergründe und Ergebnisse.

**LICHT:** *Wie kam es zu dem Forschungsprojekt?*

**Prof. Heinrich Kaase:** Die Auswirkungen von Tageslicht auf die Menschen beschäftigen uns sehr und waren immer wieder Gegenstand wissenschaftlicher Arbeiten. Eine Frage blieb bislang jedoch unbeantwortet: »Was versteht man unter ausreichendem Tageslicht?« Mit dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, kurz BBSR, haben wir einen Förderer gefunden, der wie wir an einer Antwort auf diese Frage sehr interessiert war. Um die Problematik genau zu untersuchen, zu klassifizieren und zu bewerten, gliederten wir das Forschungsprojekt in drei Teile.

**Abbildungen unten:** Prof. Dr. rer. nat. Heinrich Kaase und Dipl.-Ing. Stefan Gramm im Gespräch mit Dipl.-Ing. Wolfgang Cornelius (v.l.n.r.). Stefan Gramm war vor allem für den Projektteil 2 verantwortlich: die Testraumuntersuchungen. Prof. Dr. rer. nat. Heinrich Kaase leitete das Forschungsprojekt.



**LICHT:** *Worum ging es in den einzelnen Teilen?*

**Prof. Heinrich Kaase:** Um die Tageslichtnutzung in Gebäuden zu analysieren, mussten zunächst die einzelnen Komponenten untersucht werden, was im ersten Teil des Projektes im Wesentlichen im Labor erfolgte. Gegenstand der Untersuchungen waren demnach lichttechnische Größen wie Lichttransmissionsgrad, -reflexionsgrad und -absorption von einzelnen Materialien, die üblicherweise in Fassaden oder Dachoberlichtern verwendet werden. Auch die farbmetrische Bewertung, die auf Grundlage von ähnlichster Farbtemperatur und Farbwiedergabe erfolgte, spielte eine Rolle.

**Stefan Gramm:** Die von uns an den Materialien ermittelten Werte des Wirkungsfaktors für die Melatoninsuppression  $a_{ms}$  nach DIN V 5031 100 zeigen, dass sowohl die untersuchten Verglasungen aus Silikatglas als auch die Polycarbonat-Stegplatten keine nennenswerte Beeinträchtigung des  $a_{ms}$  aufweisen. Allerdings wird die melatoninwirksame Strahlendichte, die durch die Tageslichtöffnung gesehen wird, etwa um die Größe des Lichttransmissionsgrads  $\tau_{0,65}$  herabgesetzt, was wir mit dem effektiven Wirkungsfaktor  $a_{ms,eff}$  darstellen. Unserer Meinung nach ist aber die Minderung der biologischen Wirkung durch verschiedene Tageslichtbauteile in der längsten Zeit des Jahres eigentlich vernachlässigbar, wenn man die hohen Leucht- bzw. Strahlendichten des Himmels und die Sättigungseffekte der melatoninwirksamen Bestrahlung berücksichtigt.

**LICHT:** *Für den lichttechnischen Laien nachgefragt: Was ist denn der  $a_{ms}$ -Wert?*

**Stefan Gramm:** Mit dem  $a_{ms}$ -Wert vergleichen wir letztlich verschiedene Lichtquellen bezüglich der Wirkung auf die Melatoninsuppression. Die DIN V 5031 100 definiert eine Empfindlichkeitskurve  $s_{ms}(\lambda)$ , die mit der  $V(\lambda)$ -Kurve, die die Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges



darstellt, ins Verhältnis gesetzt wird. Letztlich heißt das übersetzt: Wie viel Melatonin-Wirksamkeit habe ich pro Beleuchtungsstärke?

**Prof. Heinrich Kaase:** Die biologische Wirkung des Tageslichts ist aus unserer Sicht lebenswichtig, denn unser Körper braucht z.B. Vitamin D3, das größtenteils über UV-B-Strahlung in der Haut gebildet wird.<sup>1)</sup> Vitamin D3 hat Einfluss auf den gesamten Stoffwechsel im Körper, auf die Nervenzellen und steigert die Leistung des Gehirns. Im zweiten Teil des Projektes standen dann Testraumuntersuchungen an. Um im Versuchsraum eine Sichtverbindung nach außen zu simulieren, konstruierten wir künstliche Fenster, die möglichst realitätsnah sein sollten. Wir wollten keine Glasscheibe mit Streuscheibe und Lampen dahinter, sondern den Probanden einen wirklichkeitsnahen Ausblick bieten. Dieser ist aus psychologischer Sicht besonders wichtig für die Bewertbarkeit des menschlichen Wohlbefindens. Bei der Abbildung

### 1) Quellen und Dosis von Heliotherapie und Vitamin D

Vitamin D ist das »Sonnenhormon«. Kinder und Erwachsene sind für ihre Vitamin-D-Aufnahme überwiegend von ihrem Aufenthalt im Freien und der Sonnenstrahlung abhängig. Es gibt nur wenige natürliche Lebensmittel, die Vitamin D enthalten. Das Meiden von Sonnenexposition hat zu einem weltweit verbreiteten pandemischen Vitamin-D-Mangel geführt. Vitamin D spielt eine wichtige Rolle für die Knochengesundheit und ist an der Risikoreduktion vieler chronischer Erkrankungen beteiligt. Dazu gehören u.a. Krebserkrankungen, Autoimmunerkrankungen, Diabetes mellitus Typ I und II sowie Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Mediziner empfehlen, dass Kinder und Jugendliche zusätzlich zu vernünftig dosierter Sonnenexposition pro Tag 1000 bzw. 2000 IE Vitamin D durch die Ernährung bzw. Nahrungsergänzungsmittel aufnehmen, um ihren Vitamin-D-Bedarf ausreichend zu decken. (Quelle: Holick, F. (2012). *Ultraviolettes Spektrum – Grundlagen, Quellen und Dosis von Heliotherapie und Vitamin D*. In: R. Krause & R. Stange (Hrsg.), *Lichttherapie*, 1. Ausgabe (81). Berlin: Springer.)

eines vollkommen bedeckten Himmels berücksichtigten wir sowohl die Leuchtdichteverteilung als auch die Farbtemperatur, um die Normbedingungen zu erfüllen. Unsere Aufgabe war demnach, das Umfeld so realistisch wie möglich darzustellen. Für die perspektivische Tiefenwirkung haben wir schließlich einen Panoramablick auf Berlin gewählt. Eine Studentin hat vom höchsten Gebäude der TU Berlin Panoramabilder mit Weitwinkel aufgenommen und dann die Ergebnisse im Format 1,20m x 6m ausdrucken lassen. Die Bildrolle wurde draußen vor dem Fenster vor den Horizont geklebt. Wer im Büroraum saß, hatte den Eindruck, er schaue in die Stadt.

**Stefan Gramm:** Für die Probanden, die quer zum Fenster saßen, wirkte die Situation sehr natürlich. Mit einem standardisierten Konzentrationstest ermittelten wir die Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges unter verschiedenen Beleuchtungssituationen innerhalb einer vorgegebenen Zeit. Im Bereich der Sehaufgabe wurden dazu verschiedene Beleuchtungsstärkeniveaus verwendet: 500, 300 und 100lx. Die Probanden mussten jeweils die Lesbarkeit des Buchstabens »d« mit diversen Strich-Kombinationen auf drei verschiedenen Papiersorten (mattes, halbgläzendes und Hochglanzpapier) beurteilen. Das Licht kam dabei aus zwei unterschiedlichen Richtungen. Die Dissertation von Petry<sup>2)</sup> war hier der Vorläufer, den wir jetzt in der Laborpraxis überprüft haben. In der Schrift wird vorgeschlagen, dass bei seitlichem Lichteinfall aufgrund der verbesserten Leuchtdichtekontrastwiedergabe bei der Beleuchtungsstärke der Faktor 0,6 angesetzt werden kann. Daher auch die Abstufung 500lx und 300lx.

### LICHT: Und was ergab dieser Test?

**Stefan Gramm:** Die von Petry vorgeschlagene Verringerung der Beleuchtungsstärke bei seitlichem Lichteinfall ließ sich durch unsere Versuche nicht belegen. Wir haben festgestellt, dass die Helligkeit der Beleuchtung aus verschiedenen Richtungen anders wahrgenommen ►

<sup>2)</sup> Petry, Klaus: *Zur Bewertung der Mindestbeleuchtungsstärke und der Nutzungszeit von tageslichtorientierten Arbeitsplätzen mit der Hilfe des Kontrastwiedergabefaktors und der äquivalenten Kugelbeleuchtungsstärke*, Dissertation TU Darmstadt, 1984

Abb. rechts unten: Der Testraum mit simuliertem Ausblick auf Berlin.



	$\tau_{D65}$	g	$\tau_{D65} / g$	$a_{ms}$	$a_{ms,eff}$	$T_{cp}$ in K	$R_a$	$R_g$
D65	1,00	1,00	1,00	0,94	0,94	6500	100	100
1	0,74	0,69	1,06	0,93	0,68	6400	100	99
2	0,62	0,61	1,01	0,94	0,58	6530	99	97
3	0,70	0,60	1,18	0,93	0,65	6450	99	96
4	0,47	0,47	1,00	0,93	0,44	6370	99	98
5	0,35	0,38	0,92	0,94	0,33	6490	98	93
6	0,30	0,48	0,62	0,80	0,24	5330	99	99
7	0,59	0,53	1,11	0,84	0,49	5950	94	69

Tabelle 1: Lichttechnische Größen für Polycarbonat0-Platten im Vergleich mit Tageslicht D65

wird. Sie hat jedoch keine signifikanten Auswirkungen auf Lesbarkeit und Leistungsfähigkeit. Das verhält sich anders bei der Lichtrichtung: Hier zeigten sich zwischen unserem künstlichen Tageslicht und der klassischen Deckenbeleuchtung sehr wohl Unterschiede hinsichtlich Lesbarkeit und Leistungsfähigkeit, vor allem bei glänzendem Papier. Das künstliche Tageslicht wurde von den Probanden im Raum zwar als dunkler, gleichzeitig aber auch als angenehmer bewertet.

**LICHT:** Sie haben einen Versuchsaufbau mit einem »Fenster-Dummy« gewählt. Wie rechtfertigen Sie, dass dieser Aufbau einerseits hinreichend eine »Sichtverbindung nach außen« simuliert und andererseits im Innenraum eine tageslichtvergleichbare Testsituation geschaffen wurde?

**Prof. Heinrich Kaase:** Die Tageslichtsituation im Testraum ist durch die homogen diffuse Strahlung, die durch das Fenster gelangt, sehr gut

wiedergegeben. Der wahrgenommene Himmel ist dem natürlichen Himmel ohne direkte Sonnenstrahlung nachgebildet. Auf diese Diffusstrahlung bezog sich dann auch der Tageslichtquotient, was dem Norm-Ansatz entsprach. Die Bedeutung der Sichtverbindung nach außen haben wir in diesem Labortest nicht untersucht, das Panorama diente letztlich nur der Annäherung an einen möglichst realen Büroraum.

**LICHT:** Und wie sieht es mit der Dynamik draußen aus?

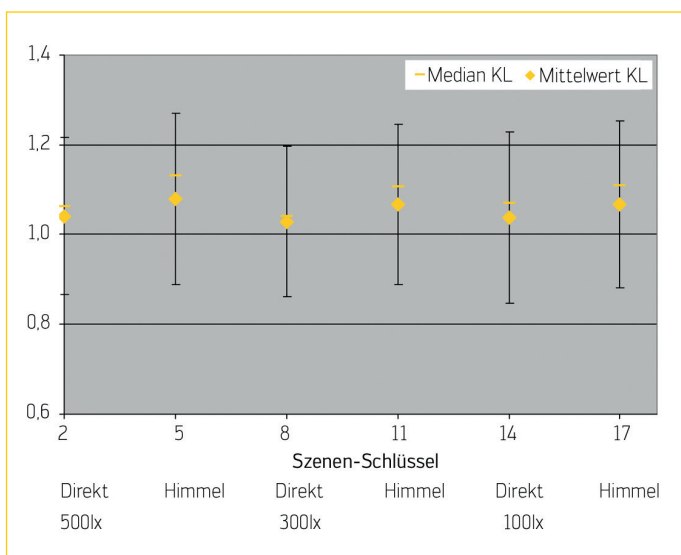
**Stefan Gramm:** Das ist eben der Unterschied. Wir haben hier eine Laborsituation, in der wir die Parameter konstant halten können, wollen und müssen, um definierte Werte zu bekommen. Wo tatsächlich reales Tageslicht vorhanden ist, können wir es nicht einstellen. Wir müssen dann mit der Situation leben, die wir in diesem Moment haben. Diese kann man zwar messtechnisch erfassen, aber man kann dann nicht sagen, dass alle Probanden bei dem Versuch z.B. 500lx hatten. Die Beleuchtungsstärkewerte wären damit also nicht mehr vergleichbar.

**LICHT:** Kommen wir zum dritten Projektteil: Sie untersuchten die Situationen von Menschen in Industriehallen, in Verwaltungsgebäuden, in der Wohnung und bei ihrer Freizeit in Einkaufsarkaden. Welche verschiedenen Auswirkungen hat Tageslicht hier?

**Stefan Gramm:** Die Befragungen in den Verwaltungsgebäuden haben gezeigt, dass die meisten Teilnehmer großen Wert auf eine Sichtverbindung nach außen legen. Die Sichtverbindung selbst zu einem Innenhof oder zu hohen, gegenüber liegenden Bebauungen wird dabei als sehr beschränkte Sicht bewertet. Dies hatten wir anders erwartet. Bäume wurden aber nicht als Beschränkung empfunden. Die Helligkeit des gesamten Raumes wurde von den meisten Probanden in der Regel ähnlich bewertet wie die Helligkeit am Arbeitsplatz. Die Arbeitsplätze mit einem Tageslichtquotienten von über 2% wurden besser als ausreichend hell bewertet. Arbeitsplätze mit einem geringeren Tageslichtquotienten, also zwischen 1% und 2% wurden als nicht mehr ausreichend bzw. unter 1% als zu dunkel eingeschätzt.

**Wolfgang Cornelius:** Hierbei ist anzumerken, dass die Werte nur in Fensternähe erreicht werden.

Grafik: Mediane und Mittelwerte des relativen KL-Kennwertes, Papiertyp glänzend, Fehlerbalken  $\pm 1SD$



## *Die künstliche Beleuchtung macht heute z.B. in einem Bürogebäude immerhin 40% des gesamten Energiebedarfs aus.*

**Prof. Heinrich Kaase:** Ein wesentlicher Aspekt bei den Untersuchungen in Verwaltungsgebäuden war auch die Energieeffizienz, also die Nutzung des Tageslichts bei gleichzeitiger Reduzierung der künstlichen Beleuchtung. Das Potential kann so hoch sein, dass sich bei optimaler Nutzung des natürlichen Lichts bis zu 80% des Energieumsatzes (für Heizung, Klimatisierung und Beleuchtung) einsparen lässt – Voraussetzung dafür ist allerdings eine kombinierte Anwendung von Tageslicht, künstlichem Licht und elektronischer Steuerung. Alle drei Komponenten müssen ineinander greifen und optimal geregelt bzw. gesteuert werden, um einen möglichst geringen Energieumsatz zu erzielen.

**Wolfgang Cornelius:** Die künstliche Beleuchtung macht heute z.B. in einem Bürogebäude immerhin 40% des gesamten Energiebedarfs aus.

**Stefan Gramm:** Bei den beiden Industriehallen mit Dachoberlichtern, die wir untersuchten, sah das jedoch anders aus. Aufgrund der Architektur hatten wir hier eine ganz andere Fenstersituation als in den Verwaltungsgebäuden. Eine der zwei Hallen war zudem modernisiert, d.h. die Tageslichtbeleuchtung war relativ neu.

**LICHT:** *Obwohl Sie in einer Industriehalle theoretisch einen Tageslichtquotienten zwischen 4,4 und 7% ermittelten, empfanden die befragten Mitarbeiter die Räume als zu dunkel. Ihre Erklärung dafür?*

**Stefan Gramm:** Die Untersuchung ergab, dass trotz des in Halle A errechneten mittleren Tageslichtquotienten von 4,4% die gesamte Halle nicht als zu hell bewertet wurde, eher als etwas zu dunkel. Dies bestätigt den in DIN 5034 geforderten Mindestwert von 4% für den mittleren Tageslichtquotient für Räume mit Dachoberlichtern.

**Prof. Heinrich Kaase:** Die Beurteilungen erklären sich durch die meist sehr hohen Gebäude, deren Fenster entsprechend höher sind als in anderen tageslichtgenutzten Bereichen, so dass es hier ggf. zu Verschattungen kommt. Dieser Effekt ist vor allem auf die zusätzliche Bestückung des Gebäudes, zum Beispiel mit Maschinen, zurückzuführen. Obwohl wir sehr hohe Tageslichtquotienten von bis zu 7% ermittelt haben, war die gemessene Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz selbst sehr niedrig. Die Mitarbeiter mussten dann eine künstliche Beleuchtung anschalten, um die Lichtdefizite zu kompensieren.

**Wolfgang Cornelius:** Man muss bedenken, dass solche Hallen in der Regel unbestückt geplant werden, also ohne Berücksichtigung der späteren Einrichtung. Um tageslichtoptimierte Arbeitsplätze zu schaffen, muss also auch die spätere Einrichtung mit in die Gebäudeplanung einfließen. Dies kann bedeuten, dass die Zielgröße »Tageslichtquotient 4 bis 7%« vorsorglich erhöht werden muss.

**Prof. Heinrich Kaase:** Für einen völlig unnötigen Energieumsatz sorgt auch künstliches Licht, das morgens angeschaltet wird, und über den ganzen Tag an bleibt, obwohl das natürliche Licht durchaus genügen würde.

**Stefan Gramm:** Eine automatische Steuerung hätte hier enormes Potenzial hinsichtlich Energieeffizienz und Kosteneinsparung. In Bürogebäuden hat sich das schon eher durchgesetzt als in Industriehallen.

**LICHT:** *Ein hoher Tageslichtquotient führt meist zur Wärmebelastung im Sommer. Welches Potenzial haben in diesem Fall variable Verschattungen für Dachoberlichter?* ►



*Abb. links:* Oberlichter sind ein wichtiges Architekturelement, um auch Räume mit großer Grundfläche und Raumtiefe gleichmäßig mit Tageslicht ausleuchten.

**Prof. Heinrich Kaase:** Bei glasüberdachten Einkaufsarkaden, der zweiten untersuchten Gebäudeart dieses Projektteils, ließ sich die direkte Bestrahlung und damit die thermische Belastung deutlich reduzieren, zum Beispiel mithilfe einer Verschattung.

**Wolfgang Cornelius:** Verschattungen sind daher ein großes Thema in unserer Branche – vor allem Modelle mit variabler Lichttransmission, die sich auch für größere Dachoberlichtflächen eignen. So kann in lichtarmen Zeiten mehr Tageslicht genutzt und im Sommer mit entsprechender Verschattung der Energie- bzw. Wärmeeintrag möglichst gering gehalten werden.

**LICHT:** Um die dritte Gebäudeart ins Gespräch zu bringen: Wieso liegen die Grenzwerte des Tageslichtquotienten bei Gebäuden mit Dachoberlichtern mit 4% und bei Wohngebäuden mit 0,9 bzw. 2% so weit auseinander?

**Prof. Heinrich Kaase:** Eine wirkliche Norm für Wohngebäude gibt es nicht, lediglich Richtwerte, wobei der Tageslichtquotient von 2% für das Zentrum des Raumes gilt.

**Wolfgang Cornelius:** In halber Raumtiefe ist nach DIN 5034 Teil 1 im Mittel ein Tageslichtquotient von mindestens 0,9% gefordert. Der kleinste Wert sollte dabei nicht unter 0,75% liegen. Diese Werte sind jedoch nur dazu da, um einen angenehmen Raumeindruck zu vermitteln. Es geht nicht darum, in diesem Raum eine Leseaufgabe zu erfüllen, zu arbeiten, oder ähnliches zu verrichten. Beim Betreten des Raumes soll dieser lediglich als hell empfunden werden. Deshalb sind die Werte entsprechend niedrig. Entscheidend bei Wohngebäuden ist, dass die Innenraumbeleuchtung zur Mindestfenstergröße passen muss und damit gleich von der ersten Planungsphase an mitberücksichtigt werden sollte. Wenn es darum geht, den Lichteinfall über Fenster zu optimieren, sind wir also auf die Unterstützung von Architekten angewiesen, da die Gestaltung der Fassade, der Fensteröffnungen etc. in deren Einflussbereich fallen.

**LICHT:** Gab es Ergebnisse, die Sie besonders überrascht haben?



*Abb. rechts:* Überrascht haben die Ergebnisse der Studie bezüglich der Bewertung der Lichtsituation in Industriehallen. Als Empfehlung wurde abgeleitet, bei diesem Gebäudetyp Dachoberlichter einzuplanen und einen Tageslichtquotienten um 10% einzuplanen.

**Prof. Heinrich Kaase:** Bei Industriehallen hätten wir mit besseren Ergebnissen gerechnet. Die Befragten hatten die Hallen als zu dunkel bewertet. Schaut man sich die messtechnischen Daten dazu an, hätten die Gebäude jedoch besser bewertet werden müssen. Daraus schließen wir, dass es immer sinnvoller ist, bei Industriehallen die Beleuchtung von oben durch Dachoberlichter einzuplanen und dabei einen Tageslichtquotienten um 10% vorzusehen.

**Stefan Gramm:** Im zweiten Projektteil hat am meisten überrascht, dass die Probanden Unterschiede hinsichtlich der Papiersorten festgestellt haben, aber keine bezüglich des Leuchtdichtekontrastwiedergabefaktors. Petry hatte seine Ergebnisse damit begründet, dass die Kontrastwiedergabe unterschiedlich sei, weshalb man den Faktor 0,6 ansetzen könne. Das konnten wir nicht bestätigen. Wir haben zwar Unterschiede festgestellt, aber ob diese bei 0,6 liegen, konnten wir nicht definieren. Die grundsätzliche Frage ist daher, ob der Ansatz des Wertes von 0,6 überhaupt gerechtfertigt ist oder ob er eventuell nur eine andere Begründung hat. Vielleicht liegt es auch an der Dynamik des natürlichen Tageslichts. Hier sehen wir durchaus weiteren Forschungsbedarf.

**LICHT:** Was passiert nun mit den Ergebnissen?

**Prof. Heinrich Kaase:** Die Ergebnisse werden Grundlage für weitere Untersuchungen sein. Gerade die Tageslichtnutzung im Allgemeinen lässt sich noch weiter verbessern.

**Wolfgang Cornelius:** Stimmt, und deshalb sind als nächstes das Ministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) bzw. das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) sowie die Normungsgremien gefordert, also die Empfänger der Studie. Ihre Aufgabe wird es sein, sich für mehr Tageslicht bzw. dessen Nutzung einzusetzen – nicht nur in Wohn- und Arbeitsräumen. ■

*Abbildungen und Fotos:* SLV, FVLR – Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V., detmold, [www.fvlr.de](http://www.fvlr.de)