

## Kurzfassung des Forschungsprojekt

# Tageslichtnutzung in Wohn- und Arbeitsräumen zur Verbesserung der visuellen Behaglichkeit und der Aufenthaltsqualität

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des  
Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: SF-10.08.18.7-11.8 / II 3-F20-10-1-133)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Stephan Völker  
TU Berlin

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Stefan Gramm  
Dr.-Ing. Sırrı Aydınlı  
TU Berlin

Projektpartner: Prof. Dr. rer. nat. Heinrich Kaase

# 1 Einleitung

Die ausreichende Versorgung von Aufenthaltsräumen mit Tageslicht und angemessene Sichtverbindung nach außen sind essentielle Voraussetzungen sowohl für die Sicherheit, die Gesundheit und das Wohlbefinden als auch für die Leistungsfähigkeit der Menschen. Die im Rahmen dieses Vorhabens aus Messungen, Felduntersuchungen und Nutzerbefragungen gewonnenen Erkenntnisse können zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität in Wohnräumen und zusätzlich zur besseren Gestaltung und zum optimierten Betrieb bezüglich der Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten in Arbeitsstätten bei einer energieeffizienten Beleuchtung beitragen. Die Untersuchungen wurden mit großzügiger Unterstützung durch die Firmen OSRAM AG und SCHÜCO International KG sowie durch den VFL e.V. ermöglicht. Damit stehen Grundlagen zur Bestimmung des Tageslichtbedarfs in Aufenthaltsräumen und zur Erhöhung der visuellen Behaglichkeit durch Tageslichtbeleuchtung in Gebäuden zur Verfügung.

## 2 Laboruntersuchungen an Tageslichtbauteilen

Die Laboruntersuchungen an acht verschiedenen Doppelverglasungen (Abbildung 1) und an sieben PC-Platten für Oberlichter basieren auf der Messung des spektralen Transmissionsgrades und lassen eine zuverlässige Bewertung zum Vergleich der Materialien bezüglich gesundheitspezifischer, lichttechnischer, farbmtrischer und energetischer Größen zu.

Die ermittelten Werte des effektiven circadianen Wirkungsfaktors  $a_{cv,eff}$  zeigen, dass sowohl die Verglasungen als auch die untersuchten PC-Platten keine nennenswerte Beeinträchtigung des  $a_{cv,eff}$  aufweisen. Allerdings wird die durch die Tageslichtöffnung gesehene melatoninwirksame Strahldichte etwa um den Lichttransmissionsgrad  $\tau_{D65}$  herabgesetzt. Berücksichtigt man die hohen Leucht- bzw. Strahldichten des Himmels und die Sättigungseffekte der melatoninwirksamen Bestrahlung, ist die Minderung durch Tageslichtbauteile vernachlässigbar.

Alle untersuchten Tageslichtbauteile mit Ausnahme einer Verglasung und zweier PC-Platten verändern die Lichtfarbe unwesentlich. Bei den erwähnten Ausnahmen wird die ähnlichste Farbtemperatur um 500 - 1000 K herabgesetzt. Die Verglasungen (ausgenommen Sonnenschutzgläser) und die meisten PC-Platten weisen eine sehr gute Farbwiedergabe auf ( $R_a > 96$ ,  $R_g > 80$ ). Mit den Sonnenschutzverglasungen sowie einer PC-Platte mit ähnlichen Eigenschaften werden mit  $R_a > 94$  und  $R_g > 67$  gute Farbwiedergabewerte erzielt.

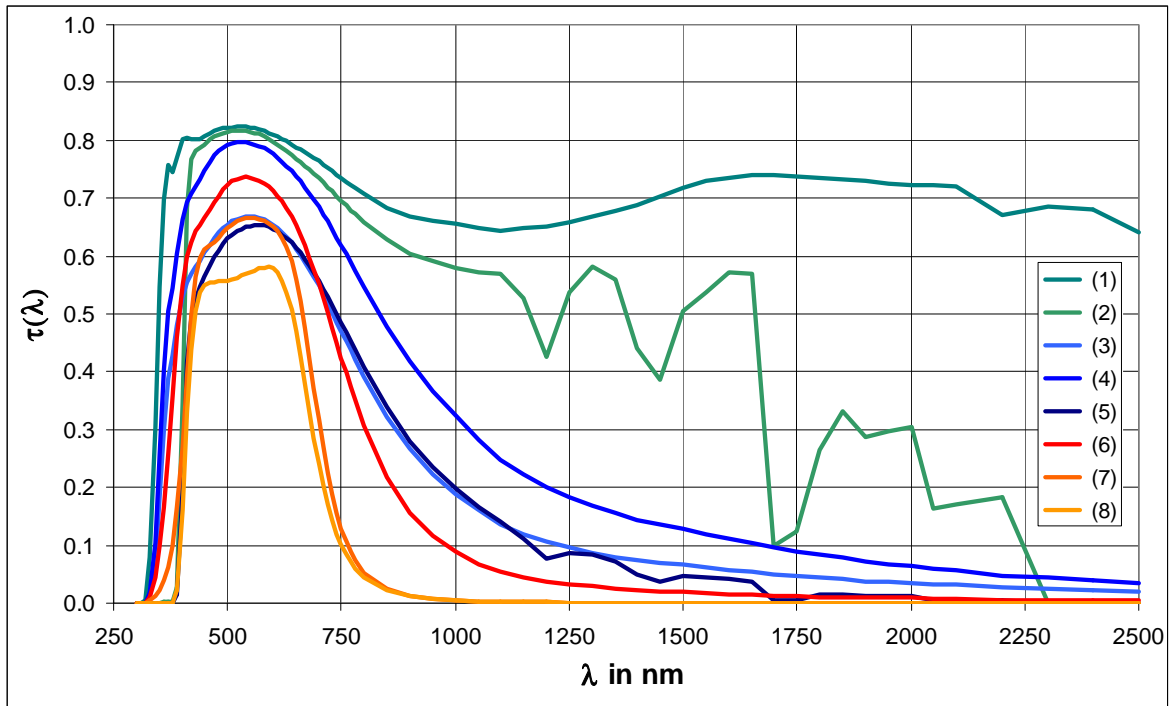


Abbildung 1: gemessene spektrale Transmissionsgrade der Doppelverglasungen (1) bis (8)

### 3 Versuchsraum mit künstlichem Fenster und Probandenversuche

Für die Probandenversuche mit 34 Personen der Altersgruppe 20 bis 39 Jahre wurde ein Versuchsraum mit Fenster und einem neuartigem künstlichem Himmel aufgebaut. (Abbildung 2) Dabei ergibt die Auswertung des d2-R Tests, dass die Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitsplatz für diese Altergruppe auf die mit dem Test gemessene Konzentrationsleistung keinen Einfluss hat. Deutliche Unterschiede sind für die Lichtrichtung in Kombination mit den unterschiedlichen Reflexionseigenschaften der Papiertypen zu sehen. Hier fallen die Werte bei seitlichem Lichteinfall mit semiglänzendem und glänzendem Papier regelmäßig um 4 % höher aus, als bei Direkt-Beleuchtung. Bei Verwendung von mattem nicht spiegelndem Papier sind keine merkbaren Unterschiede festzustellen. Offenbar sorgt die durch die Reflexblendung verringerte Leuchtdichtekontrastwiedergabe für eine Verschlechterung der Sehbedingungen bei glänzendem Papier und direkter Beleuchtungsart.

Bei den subjektiven Bewertungen der Beleuchtungssituationen durch die Probanden fällt auf, dass die Beleuchtung mit seitlichem Lichteinfall bei gleicher Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitsplatz dunkler bewertet wird als die Direkt-Beleuchtung. Dies ist mit den bei Direkt-Beleuchtung durch die Reflexionseigenschaften des Papiers bedingten höheren Leuchtdichten des Sehobjektes zu begründen.

Bezüglich der Papiersorten ist die Einschätzung der Probanden sehr deutlich. Beim matten Papiertyp fallen die Bewertungen bezüglich der Reflexblendung gleichbleibend niedrig aus, die Reflexionen auf dem semiglänzenden und dem glänzenden Papier werden bei Direkt-Beleuchtung als störend bzw. sehr störend wahrgenommen. Der seitliche Lichteinfall durch den künstlichen Himmel sorgt bei allen Papiertypen für sehr geringe bzw. nicht wahrnehmbare Reflexionen, die dann von den Probanden auch als nicht störend eingestuft werden. Weiterhin wird die Beleuchtung durch den künstlichen Himmel als weniger anstrengend für die Augen eingeschätzt. Die Helligkeit zum Lesen und Schreiben wird bei den Beleuchtungsniveaus von 500 lx und 300 lx ähnlich bewertet. Das 100 lx Helligkeitsniveau wird allgemein als zu dunkel, unangenehm und für die Augen anstrengend bewertet. Ein Proband bemerkte: „Das ist wie Überstunden im Winter, wenn das Licht nicht rechtzeitig eingeschaltet wird.“

Diese Nutzereinschätzungen zeigen deutlich erschwerte Sehbedingungen auf, durch die die mit dem d2-R Test gewonnenen Ergebnisse der Konzentrationsleistung begründet werden können.

Da bei Beleuchtungsplanungen die Oberflächeneigenschaften der Sehaufgabe und des Arbeitsbereiches nicht berücksichtigt werden, ist vom schlechtesten Fall auszugehen. Die Untersuchungen mit glänzenden Papiermaterialien belegen, dass der seitliche Lichteinfall, wie er durch vertikale Tageslichtöffnungen zu realisieren ist, zu deutlich besseren Sehbedingungen führt. Für eine allgemeingültige Quantifizierung sind jedoch zusätzliche Untersuchungen z. B. mit anderen Altersgruppen nötig.



Abbildung 2: Realisierter Versuchsraum: Situation mit künstlichem Tageslicht

## 4 Tageslicht in Gebäuden: Befragungen und Felduntersuchungen

### 4.1 Verwaltungsgebäude

Die Befragungen in Verwaltungsgebäuden haben gezeigt, dass die meisten Probanden großen Wert auf eine ungehinderte Sichtverbindung nach außen legen. Die Sichtverbindung zu einem Innenhof und zu hohen gegenüber liegenden Bebauungen wird als „sehr beschränkte Sichtverbindung“ bewertet. Im Gegensatz dazu werden natürliche Verbauungen vor der Fassade, wie z. B. Bäume, nicht als Beschränkung empfunden (Abbildung 3).

Die Helligkeit des gesamten Raumes wird von den meisten Probanden in der Regel ähnlich bewertet wie die Helligkeit des Arbeitsplatzes. Die Arbeitsplätze mit einem Tageslichtquotient  $D > 2 \%$  werden als „besser als ausreichend hell“ bewertet. Arbeitsplätze mit einem geringeren Tageslichtquotienten werden als „nicht mehr ausreichend“ ( $1\% < D < 2 \%$ ) bzw. „zu dunkel“ ( $D < 1 \%$ ) eingeschätzt.

Räume mit großen Fenstern werden allgemein als „gerade richtig hell“ bewertet, unabhängig davon, ob der Tageslichtquotient erheblich höher liegt, als der in DIN 5034 geforderte Wert.

Direkte Blendung durch die durch Fenster gesehene Leuchtdichte des bedeckten Himmels wird als „nicht störend“ wahrgenommen, obwohl dabei zu hohe Himmelsleuchtdichten auftreten können. Diese Bewertung ist auf die positive Wirkung des Tageslichtes in Innenräumen zurückzuführen.

Die Reflexblendung am Bildschirm wird sowohl bei bedecktem Himmelszustand als auch durch das Tageslichtsystem bei Sonnenschein von über 20 % der Befragten als „störend“ bis „unerträglich“ wahrgenommen. Diese Bewertung macht einen Blendschutz auch bei bedecktem Himmelszustand notwendig. Eine weitere wichtige Beeinträchtigung durch Tageslichtjalousiesysteme bei Sonnenschein ist laut den Angaben sowohl die direkte Blendung als auch die Reflexblendung am Bildschirm durch die Lücken zwischen den Lamellen.

Die Felduntersuchungen in einem Verwaltungsgebäude mit modernem Sonnenschutz bei gleichzeitig ermöglichter Sichtverbindung nach außen zeigt, dass noch immer 2/3 der Probanden die Sichtverbindung als nur „leicht beschränkt“ bis „beschränkt“ empfinden. Dabei wird von 90 % der Nutzer keine Direktblendung und auch keine Reflexblendung bemerkt; die restlichen 10 % der Nutzer bewerten die Blendung zum größten Teil als gering. Lediglich die elektronische Kontrolle von Kunst- und Tageslichtbeleuchtung kann zur Unzufriedenheit der Mitarbeiter führen.

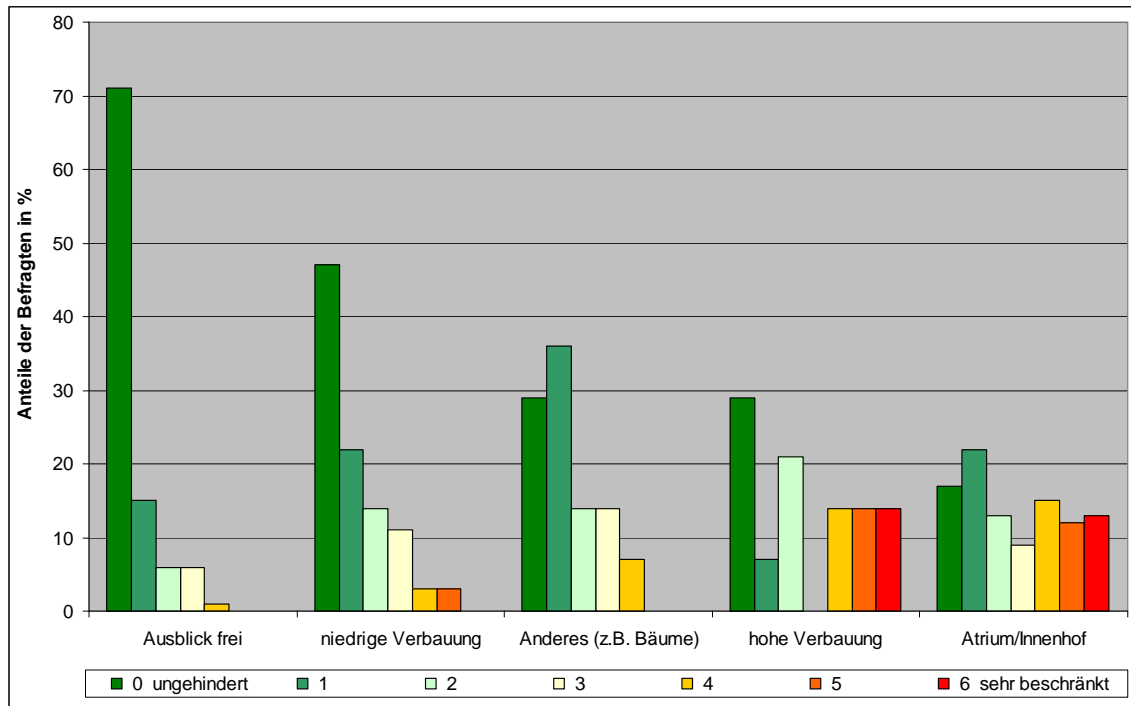


Abbildung 3: Bewertung der Sichtverbindung in einem Verwaltungsgebäude

## 4.2 Industriehallen mit Oberlichtern

Die untersuchten Industriehallen mit Oberlichtern zeichnen sich durch einen mittleren Tageslichtquotienten von 4 % bis 7 % in der Nutzebene aus. In einer der untersuchten Hallen wird trotz des mittleren Tageslichtquotienten von 4,4 % die gesamte Halle nicht als hell bewertet, es ergibt sich vielmehr eine grenzwertige Einschätzung durch die Nutzer („etwas zu dunkel“) (Abbildung 4). Dies bestätigt den in DIN 5034 geforderten Mindestwert von 4 % für den mittleren Tageslichtquotient. Die Nutzerbefragung in dieser Halle ergab, dass die Tageslichtbeleuchtung des Arbeitsplatzes dunkler empfunden wird, als die der gesamten Industriehalle. Dies ist auf die in dieser Halle besonders starke Verschattung der Arbeitsflächen durch die sich vor Ort befindlichen Arbeitsobjekte zurückzuführen, sodass oft die künstliche Beleuchtung zugeschaltet wird. In den untersuchten Hallen waren keine elektronischen Kontrollsysteme für die Beleuchtung installiert mit dem Ergebnis, dass die künstliche Beleuchtung ganztägig eingeschaltet blieb.

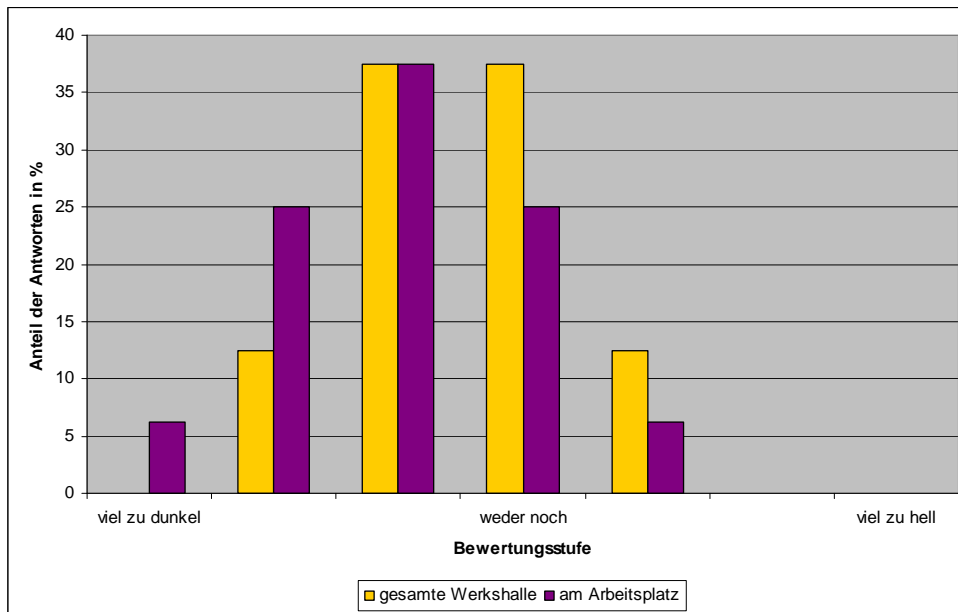


Abbildung 4: Nutzerbewertung der Helligkeit durch das Tageslicht in einer Industriehalle; Histogramm

### 4.3 Einkaufsarkaden

Bei den Arkaden-Besuchern liegt für den Großteil der Befragten ein deutlicher Wert auf eine angenehme Gesamtatmosphäre beim Einkaufen. Auch die Tageslichtbeleuchtung wurde mehrheitlich als sehr positiv bewertet (Abbildung 5).

Ab bestimmten Grenzwerten scheint ein großer Tageslichtanteil jedoch störende Wirkung zu zeigen. In den Objekten mit einem maximalen Tageslichtquotienten im OG von  $D_{max} > 15\%$  empfanden 10% - 20% der Probanden die Tageslichtbeleuchtung als „hell“ bzw. „zu hell“. In den Objekten mit einem maximalen Tageslichtquotient von  $D_{max} > 20\%$  wurde das Tageslicht sogar von 20% - 30% der Besucher als „blendend“ bzw. „stark blendend“ empfunden. Daher ist ein Wert des Tageslichtquotienten von  $D_{max} = 15\%$  im OG als Grenzwert anzusehen.

In den Arkaden mit einem maximalen Tageslichtquotient des EGs von  $D_{max} < 8\%$  wurde die Tageslichtbeleuchtung von ca. 10% der Besucher als „dunkel“ bzw. „zu dunkel“ empfunden. Höhere Werte des Tageslichtquotienten von  $D_{max} < 15\%$  wurden auch in diesem Bereich von den Besuchern nicht als störend empfunden. Daher sollte der Erfahrungswert von  $D_{max} = 8\%$  zukünftig eher als Mindestwert für die Planung angesehen werden.

Die Tageslichtbeleuchtung sollte also im Bezug auf die visuelle Behaglichkeit so geplant werden, dass der maximale Wert des Tageslichtquotienten im Mallbereich einen Wert von  $D_{max} = 8\%$  nicht unterschreitet und im Obergeschoss einen Wert von  $D_{max} = 15\%$  nicht überschreitet. Mit diesen Werten des Tageslichtquotienten wird gleichzeitig die Strahlungs- und Wärmebelastung entsprechender Objekte weitgehend herabgesetzt.

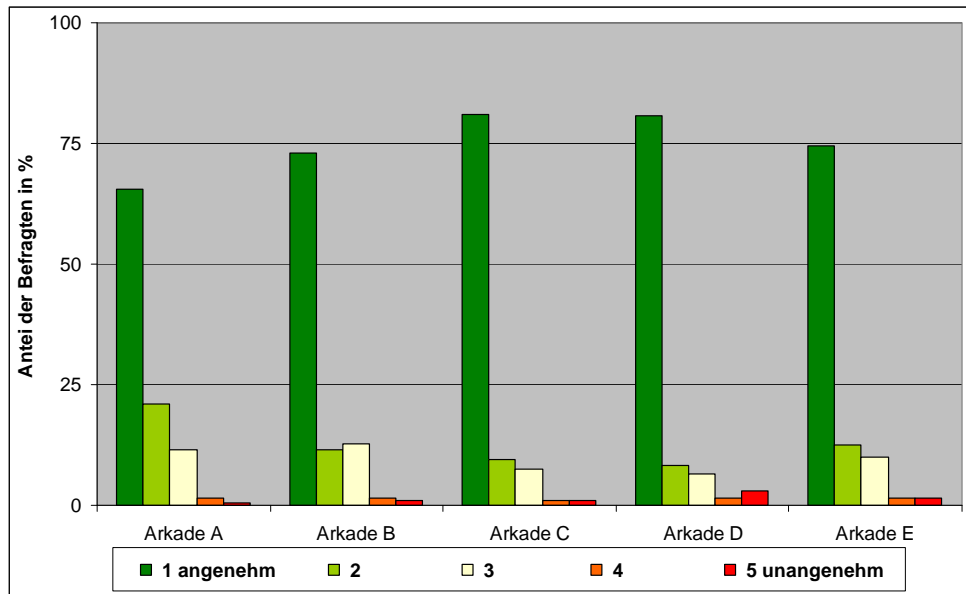


Abbildung 5: Allgemeine Bewertung der Tageslichtbeleuchtung (angenehm / unangenehm)

#### 4.4 Wohngebäude

Die Nutzerbefragungen in privaten Wohnräumen (Abbildung 6) ergaben, dass der in DIN 5034 als Mindestwert für eine ausreichende Helligkeit angegebene arithmetische Mittelwert des Tageslichtquotienten aus den beiden Normbezugspunkten von 0,9 % nicht für eine Bewertung einer für den Nutzer positiv empfundenen Tageslichtversorgung geeignet ist. Der Mindestwert von 0,9 % ist als Grenzwert zu deuten und kann als solcher weiterhin gelten, jedoch werden Räume mit derart niedrigen Werten als etwas zu dunkel empfunden.

Es zeigt sich, dass ab einem Mittelwert des Tageslichtquotienten von etwa  $D = 2 \%$  die Bewertung „genau richtig“ erreicht wird. Höhere Werte führen im Mittel nicht zu einer Bewertung als „zu hell“, hier ist vielmehr ein Sättigungseffekt zu erkennen. Selbst Wohnräume mit viel höheren Werten für  $D$  werden nicht als „zu hell“ bewertet. Wird das Verhältnis der Rohbaufensterfläche zur Raumgrundfläche betrachtet, ergibt sich ab einem Wert von 0,3 die Tageslichtbewertung „genau richtig“.



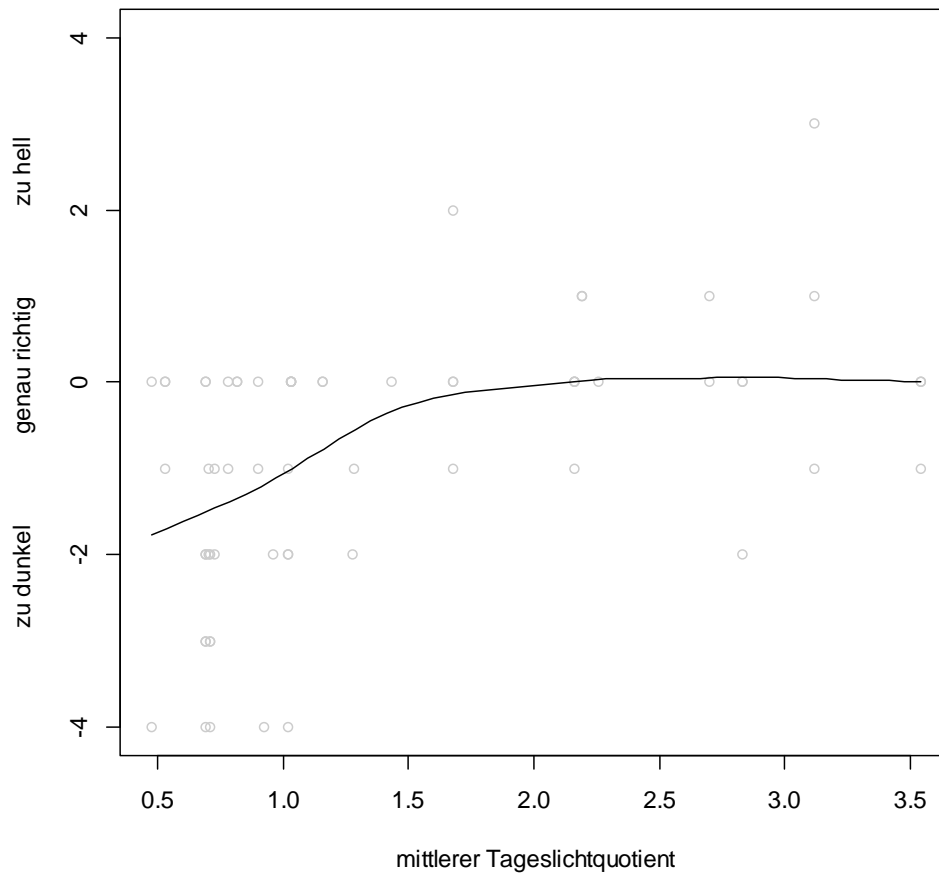


Abbildung 6: Helligkeitsbewertung in Abhängigkeit vom mittleren Tageslichtquotienten

## 5 Schlussbemerkung

Tageslichtversorgung von Innenräumen nimmt unter energetischen, lichttechnischen und arbeitspsychologischen Aspekten einen hohen Stellenwert ein. Das Forschungsprojekt liefert Grundlagen der Tageslichtnutzung sowohl für Normen als auch für die Anwendung bei Beleuchtungs- und Gebäudeplanungen. Es hat sich gezeigt, dass dennoch technische Lösungen für Tageslichtsysteme und elektronische Kontrollsysteme unter besonderer Berücksichtigung der gesundheitlichen und energetischen Bewertung weiter entwickelt und optimiert werden müssen.