



**Integration von Schülerinnen und Schülern mit einer  
SehSchädigung an Regelschulen**

**Didaktikpool**

**Grundlagen künstlicher Beleuchtung**

N. Brietzke-Schäfer  
2008

Technische Universität Dortmund  
Fakultät Rehabilitationswissenschaften  
Rehabilitation und Pädagogik bei Blindheit und Sehbehinderung  
Projekt ISaR  
44221 Dortmund

Tel.: 0231 / 755 5874  
Fax: 0231 / 755 6219

E-mail: [isar@tu-dortmund.de](mailto:isar@tu-dortmund.de)

## Grundlagen künstlicher Beleuchtung

Die folgend aufgezeigten Informationen dienen der Grundorientierung zum Erstellen einer Checkliste für eine optimale Beleuchtungssituation. Dies ist keine kommerzielle Lichtberatung!



Hauptmerkmale für gutes Lichtklima nach DIN EN 12464-1<sup>1</sup>

### Mensch und Licht

Die Veränderung der Lebensgewohnheiten hat mit sich gebracht, dass die Menschen in den Industrieländern 90% ihrer Zeit in geschlossenen Räumen verbringen und hauptsächlich von künstlichem Licht umgeben sind. Da sich der Mensch phylogenetisch an die Gegebenheiten des Tageslichtes wie z.B. Rhythmik, Dynamik und Lichtfarbe angepasst hat ist es um so bedeutender, seine Lebensräume so zu gestalten, dass sie möglichst an natürliche Verhältnisse angepasst sind und nicht umgedreht.

Es hat sich herausgestellt, dass die Qualität des Lichts, das einen Menschen umgibt Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und Leistungsfähigkeit hat. Als Beispiel hierfür wiesen U-Bootfahrer, die sich mehrere Monate auf Tauchfahrt befanden und somit keinem natürlichen Licht ausgesetzt waren, erhebliche gesundheitliche Beeinträchtigungen (wie die Neigung zu Schlafstörungen, Fettsucht, Depressionen, Schwächen des Immunsystems, Neurosen, Bluthochdruck, Herz- und Kreislaufschwächen, Muskel- und Gelenkerkrankungen, Zuckerkrankheiten, Leistungsverlust) auf.

Das brachte die Weltraumbehörde NASA dazu, eine Lichtquelle zu entwickeln, die so exakt wie möglich das gesamte Spektrum der Sonne auch im Ultravioletten Bereich abstrahlt. Die neuen Röhren wurden bald darauf nicht nur in der Raumfahrt eingesetzt, sondern auch von Krankenhäusern, Büros, Arztpraxen, Licht- und Farbtherapeuten etc. genutzt.

<sup>1</sup> Hessisches Ministerium f. Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung; Gutes Lichtklima-Ratgeber z. energieeffizienten Beleuchtungsmodernisierung/ 050201\_GutesLichtklima.pdf

Man stellte fest, dass die so genannte "Astronautensonne" neben einer Erhöhung der Sehqualität (z.B. Farbwahrnehmung,) auch einen tief greifenden Einfluss auf den gesamten Hormonhaushalt des Menschen hat und somit auch Einfluss auf die Konzentrationsfähigkeit nimmt.

### Wechselbad zwischen Ermüdung und Antrieb

Wie gesagt, Licht steuert und reguliert über die energetische Sehbahn des Auges das zentrale Nervensystem und den Zellstoffwechsel. Forschergruppen in Australien und den USA haben festgestellt, dass handelsübliche Leuchtstoffröhren auch am Tage die Produktion des müde machenden Hormons Melatonin fördern. Dies führt zu vorzeitiger Ermüdung und mangelnder Leistungsfähigkeit. Kunstlicht regt gleichzeitig die Hirnanhangdrüse an, die ein Hormon (ACTH) erzeugt, das wiederum die Nebennierenrinde veranlasst, vermehrt das Antriebs- und Stresshormon Cortisol in die Blutbahn abzugeben. Dieses Wechselbad aus körpereigenen Aufputsch- und Beruhigungsmitteln erzeugt einen Dauerstress, der nicht nur zu Leistungseinbußen, sondern wie bereits erwähnt, auch zu Gesundheitsschädigungen führen kann.

### Warum Vollspektrum- Licht?

Vollspektrumlicht ist künstliches Licht, das im Hinblick auf seine spektrale Zusammensetzung dem natürlichen Sonnenlicht im sichtbaren Bereich und im UV-Bereich (A und B) sehr nahe kommt (bis zu 96% Übereinstimmung) und die positiven Eigenschaften des natürlichen Sonnenlichts für den menschlichen Organismus aufweist.

Die Lichtindustrie beurteilt Lichtqualität in erster Linie nach dem Faktor Helligkeit und schreibt in DIN-Normen für die Beleuchtung bestimmte Lux-Zahlen vor.

Jede Lichtquelle zeichnet sich aber neben ihrer optisch wahrnehmbaren Lichtfarbe durch ein ganz spezielles Spektrum aus. Sonnenlicht umfasst das ganze Spektrum im sichtbaren Bereich von violett über blau, grün, gelb, orange bis rot (380-780nm) sowie die nicht sichtbaren Ultraviolett- (290-380nm)- und Infrarot- (700-770nm) Anteile (siehe Graphik).

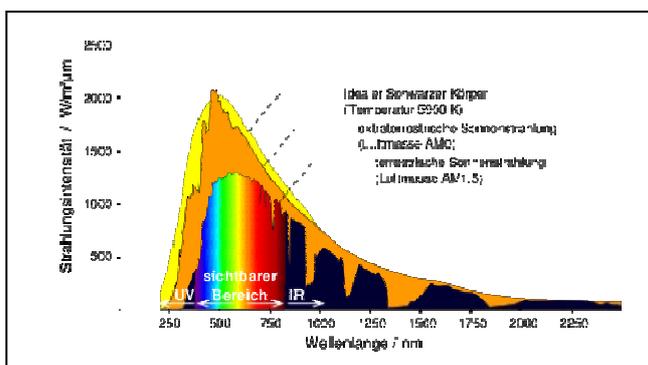


Abb.: Spektrum des Lichts<sup>1</sup>



Im Gegensatz dazu geben nahezu alle herkömmlichen Lichtquellen eine Strahlung ab, die mehr oder weniger vom natürlichen Sonnenlicht abweicht.

Das Licht der Glühlampe hat ein ähnliches Farbspektrum wie die untergehende Sonne (vor allen Gelb- und Orange-Anteile) und wird als angenehm und beruhigend empfunden. Es ist als Arbeitslicht daher ungeeignet, weil es ermüdend wirkt.

### **Lichtfarbe allein ist kein Qualitätskriterium**

Für die Lichtfarbe werden unterschiedliche Spektralfarben addiert. Gemessen wird die Lichtfarbe in Kelvin. Die Messung ergibt aber eine Zahl, die nicht erkennen lässt, welche Lichtquelle gemessen wurde und wie deren spektrale Zusammensetzung ist. Mit Werten über 5000 Kelvin gilt eine Leuchte als "tageslichtweiß". Dennoch gibt es gravierende Unterschiede der Fabrikate verschiedener Hersteller in der Übereinstimmung der spektralen Verteilung mit Tageslicht. Es ist also nicht ausreichend, Lichtfarbe allein nach den Normen der Lichtindustrie zu bewerten.

Es ist unbedingt zu empfehlen, die Datenblätter von Tageslicht-Röhren zu vergleichen, denn nicht jedes künstliche Tageslicht ist gleich Vollspektrumlicht. Nur Licht, das wirklich das volle Spektrum des Sonnenlichtes enthält, wirkt auf den menschlichen Körper physiologisch und psychologisch wie Sonnenlicht.

### **Vollspektrumlicht ...**

- ... gewährleistet Farbechtheit und Farbbrillanz und somit eine exakte Wiedergabe der Farben wie unter natürlichem Sonnenlicht.
- ... ermöglicht besseres Kontrastsehen und absolut naturgetreue Farbwiedergabe beleuchteter Gegenstände.
- Scharfes und exaktes Wahrnehmen im Raum (wissenschaftliche Untersuchungen belegen erhöhtes Sehvermögen bei Vollspektrumlicht im Vergleich zu herkömmlicher „neutralweißer“ Beleuchtung bei gleicher Beleuchtungsstärke).
- ... verhindert nachteilige Mischlichtzonen zwischen Tages- und Kunstlicht (Tageslicht, das durch Fenster oder Oberlichter einfällt, kann übergangslos mit Vollspektrumlicht kombiniert werden, ohne dass sich der Sehmechanismus auf ein neues Spektrum umzustellen braucht).



- ... ist das ergonomisch richtige Licht mit positivem Einfluss auf das physische und psychische Wohlbefinden des Menschen. Dadurch wird Leistungsbereitschaft und gefördert, die Arbeitsfehlerquote reduziert.

### **Anwendungsbereiche für Vollspektrumlicht**

- In Schulen und Kindergärten zur Steigerung des Wohlbefindens, zur Erhöhung der Konzentration und Verminderung von Krankheitsfällen.
- In Geschäfts- und Arbeitsräumen (insbesondere Bildschirm-Arbeitsplätzen) zur Erhöhung der Konzentration und Leistungsbereitschaft bei weniger krankheitsbedingten Ausfällen.
- Im privaten Bereich zur Erhöhung des allgemeinen Wohlbefindens und zur Steigerung des Sehvermögens.
- In medizinischen und therapeutischen Einrichtungen wie Krankenzimmern, Altersheimen, Sanatorien und Rehabilitationszentren zur Unterstützung des Genesungsvorganges und zur Steigerung des Wohlbefindens.

### **Ruhiges Licht / EVG (Elektronik Vorschalt Gerät)**

In einem weiteren Bereich wird die Sehleistung und die Gesundheit erheblich beeinträchtigt: durch das 50-Hz-Wechselstrom-Flimmern. Optisch nimmt das Auge nur etwa 15-100Hz wahr, das Gehirn „sieht“ aber bis 1000 Hz und wandelt das Gesehene dann in ein scheinbar ruhiges Licht oder fließendes Bild (Film/Bildschirm) um. In Wirklichkeit muss das Gehirn aber jede Sekunde Schwerarbeit vollbringen. Dies führt zu Augen- und Kopfschmerzen, hohen Stressbelastungen (z.B. Cortison-Ausschüttungen) mit all seinen krankmachenden Auswirkungen. Darum ist es empfehlenswert zum Betrieb von Vollspektrum - Röhren elektronische Vorschaltgeräte (EVG) zu benutzen. Dies garantiert flimmerfreies Licht sowie den positiven Nebeneffekt eine Stromkostensparnis von ~ 20% im Vergleich zu den herkömmlichen KVG („Drossel“) zu erreichen.

### **Gesetzliche Vorgaben**

#### **Lichttechnische Grundgrößen**

Die Lichttechnik erfordert zur Beschreibung der Eigenschaften der Lichtquellen (Lampen), der Leuchten, der beleuchteten Flächen und der Güteermale der

Beleuchtung ein eigenes System von Größen und Einheiten. Die wichtigsten davon enthält **Beleuchtung von Arbeitsstätten**. Eine den Arbeitsbedingungen und -abläufen angepasste Beleuchtung von Arbeitsplätzen, Arbeitsbereichen und innerbetrieblichen Verkehrswegen ist eine Grundvoraussetzung für die Verhütung von Unfällen und im weitesten Sinne auch von arbeitsbedingten Erkrankungen.

Daher hat der Gesetzgeber die Beleuchtung von Arbeitsstätten in die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)<sup>2</sup>, „Beleuchtung und Sichtverbindung“ einbezogen und eine spezielle Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/3 „Künstliche Beleuchtung“<sup>3</sup> und ASR 7/4 „Sicherheitsbeleuchtung“ erlassen. Danach ist die Beleuchtung so auszulegen, dass sich keine Unfall- oder Gesundheitsgefahren für die Arbeitnehmer ergeben. Die ArbStättV, die seit August 2004 in überarbeiteter Form existiert, gilt sowohl für den gewerblichen Bereich als auch für Unternehmen ohne Erwerbscharakter (z. B. **Schulen**, Krankenhäuser), für Religionsgemeinschaften und die öffentliche Verwaltung.

Die Arbeitsstättenrichtlinien befinden sich derzeit in der Überarbeitung und gelten bis zum Abschluss dieser Überarbeitung in den Punkten weiter, wo der Inhalt dem Stand der Technik entspricht. Für die in den Arbeitsstättenrichtlinien gemachten Aussagen mit Bezug auf die alte DIN 5035 bedeutet dies z. B., dass die neuen Angaben nach DIN EN 12464 bzw. den überarbeiteten Normen der Reihe 5035 zu berücksichtigen sind.

### **Beispiele für Beleuchtungsstärken in Schulen nach DIN EN 16464-1**

Raum/ Tätigkeit	Lx	Lichtfarbe	Raum/ Tätigkeit	Lx	Lichtfarbe
Vorschulräume	300	ww.nw	Unterrichtsräume mit einem Tageslichtquotient $D < 1\%$ [siehe DIN 5034 Teil 1] am ungünstigsten Arbeitsplatz sowie für Gymnasien [höhere Klassen], vorwiegende Abendnutzung oder speziell für Erwachsenenbildung	500	ww.nw
Unterrichtsräume [hohe Reflexion]	750	ww.nw	Unterrichtsräume [mittlere Reflexion]	1000	ww.nw
Treppen, Flure, Eingangshallen, Aulen	100	ww.nw	Werken, Zeichnen, Malen, Lehrküche, Werken, Physik, Biologie, Chemie,	500	ww.nw
Mensen, Versammlungsräume	100	ww.nw			

Die hier angegebenen Beleuchtungsstärken gelten für Personen ohne visuelle Einschränkungen, nicht für Personen mit einer Sehbehinderung. Da sich dies nicht ohne weiteres aus der Tabelle entnehmen lässt, sei an dieser Stelle darauf hingewiesen!

<sup>2</sup> Arb StättV, Verordnung üb. Arbeitsstätten v. 12.8.2004 BGBl. I, S.2179 Ausg. 8/2008

<sup>3</sup> ASR 7/3 Arbeitsstättenrichtlinien



In der Arbeit mit sehbehinderten Personen ist es in der Regel sinnvoll und richtig, ihnen eine weitaus höhere Beleuchtungsstärke anzubieten, um für sie optimale visuelle Bedingungen zu schaffen. Daher ist es keine Seltenheit, wenn ein Arbeitsplatz mit Beleuchtungsstärken ab 1000 lx ausgestattet ist.

### Welche Größe bedeutet was?

<b>Lichttechnische Größen und Einheiten nach DIN 5031 Teil 3 (1982-03)</b>		
<b>Größe, Formelzeichen</b>	<b>Einheit</b>	<b>Definition und Beispiel</b>
Lichtstrom, $\Phi$	Lumen, lm	Die von einer Lichtquelle abgegebene Lichtleistung. Eine Dreibandnen – Leuchtstofflampe 58W hat z.B. mit einem elektronischen Vorschaltgerät (EVG) einen Lichtstrom von 5000 lm.
Beleuchtungsstärke, E	Lux, lx	Quotient aus dem auf eine Fläche auftretenden Lichtstrom und der Größe der beleuchteten Fläche. Die Beleuchtungsstärke ist die Basisgröße für die lichttechnische Anlagenplanung.
Lichtstärke, I	Candela, cd	Quotient aus dem von einer Lichtquelle in eine bestimmte Richtung ausgesandten Lichtstrom und dem durchstrahlten Raumwinkel. Die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) einer Leuchte gibt an, wie die räumliche Ausstrahlung des Lichtstromes erfolgt.
Leuchtdichte, L	Candela je Quadratmeter $\text{cd/m}^2$	Quotient aus der Lichtstärke in eine bestimmte Richtung und der auf eine Ebene senkrecht zu dieser Richtung projizierten Fläche. Produkt aus der Beleuchtungsstärke und dem Reflexionsgrad vollkommen diffus reflektierender Flächen. Der Helligkeitseindruck und die Sehleistung des menschlichen Auges wird durch die Leuchtdichte bestimmt. In der Praxis wird jedoch von der leichter zu bestimmenden Beleuchtungsstärke ausgegangen und hohe Reflexionsgrade unterstellt, andernfalls muss die Beleuchtungsstärke entsprechend erhöht werden, um auf die gleiche Leuchtdichte und Sehleistung zu gelangen.
Lichtfarbe, K	Kelvin	Lichtfarbe ist allerdings auch eine Qualitätsbezeichnung um die Wiedergabe bei technischen Strahlern zu charakterisieren. So werden insbesondere zum Vergleich von ( <i>neumodischeren</i> ) Leuchtstofflampen mit den ( <i>herkömmlicheren</i> ) Glühlampen folgende drei Gruppen eingeteilt: <b>warmweiß (ww)</b> , bis 3.300 K, Warmweißes Licht, als gemütlich und behaglich empfunden. <b>neutralweiß (nw)</b> , 3.300 bis 5.300 K, Neutralweißes Licht, erzeugt eine eher sachliche Stimmung.

Größe, Formelzeichen	Einheit	Definition und Beispiel
Lichtausbeute, $\eta$	Lumen je Watt	Der Quotient aus dem abgestrahlten Lichtstrom einer Lampe in Lumen und der aufgenommenen elektrischen Leistung der Lampe in Watt. lm/W
		<p><b>Tageslichtweiß (tw) oder True Light, Vollspektrumlicht</b>, über 5.300 K, Tageslichtweißes Licht, für Innenräume, aber erst ab einer Beleuchtungsstärke von 1000 Lux</p> <p>Im Falle der Leuchtstoffröhren bestimmen insbesondere Leuchtstoffe auf der Innenseite der Glasröhre, die hier strahlen und die Lichtfarbe bestimmen. Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaft können durch spezielle Vorsätze, die das Licht lenken, filtern oder einfärben verändert werden. Die Qualität der Farbwiedergabeeigenschaft wird durch den Farbwiedergabeindex (<math>R_a</math>) beschrieben</p>

## **Blendung**

### **Direktblendung:**

Beim Phänomen der Blendung muss grundsätzlich zwischen zwei Blendungsarten unterschieden werden: 1. Psychologische Blendung; 2. Physiologische Blendung. Blendung geht von einem hohen Leuchtdichteinfall von ungünstig montierten oder frei -hängende bzw. -stehenden Leuchtmitteln sowie durch unkontrollierten Tageslichteinfall aus.

Blendung kann sich sowohl ungünstig auf das Wohlbefinden einer Person (Psychologische Blendung) als auch auf ihre visuelle Leistungsfähigkeit (Physiologische Blendung) auswirken. In beiden Fällen ist dringend Abhilfe zu schaffen. Daher sollten nach Möglichkeit nur Leuchtmittel verwendet werden, die ein Blendschutzgitter aufweisen oder Leuchtmittel, die eine indirekte Beleuchtung ermöglichen. Eine Kombination aus beiden Varianten ist logischer Weise sinnvoll und möglich. Ferner hat es sich als hilfreich herausgestellt, wenn Leuchtmittel in ihrer Intensität regelbar, also dimmbar, sind. Dies erleichtert die Einstellung einer optimalen Beleuchtungssituation.

### **Reflexblendung:**

Zur Reflexblendung kommt es durch Lichteinfall auf spiegelnden, glatten Oberflächen z. B. auf Monitoren, Tischoberflächen, Glas- oder Kunststoffoberflächen). Die durch Reflexblendung auftretenden Beeinträchtigungen verhalten sich ähnlich wie bei der Direktblendung. Vor allem aber verhindern sie eine korrekte Kontrast- und

Farbwahrnehmung. Mit der richtigen Auswahl und Anordnung der Leuchtmittel kann hier Abhilfe geschaffen werden.



Abb. U. Text<sup>4</sup>.

**Reflexblendung durch Lichtreflexe auf dem Sehobjekt führen zu Blendstörungen und damit zu schlechten Sehbedingungen**

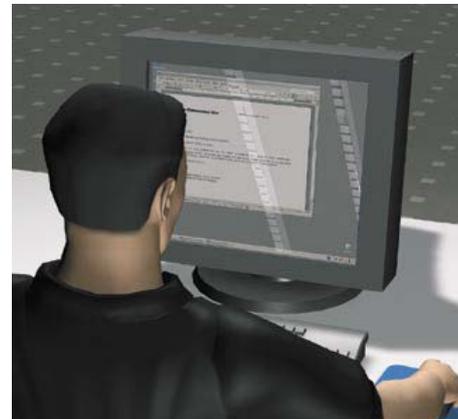


Abb. U. Text<sup>5</sup>.

**Reflexe auf Bildschirmen sind besonders störend. Für direktstrahlende Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln können, muss deren Leuchtdichte begrenzt werden.**

## **Harmonische Helligkeitsverteilung**

Eine hohe Beleuchtungsstärke ist nicht gleichbedeutend mit einer guten Helligkeitsverteilung.

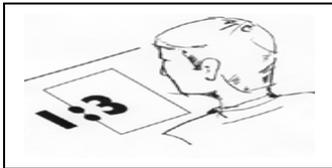
Beispielsweise wird bei einer hohen Beleuchtungsstärke auf dem Tisch durch eine lichtintensive, nur direkt engstrahlende Pendelleuchte keine harmonische Helligkeitsverteilung erreicht, wenn sich gegenüber eine dunkle Wand befindet, auf die der Blick beim Hochschauen fällt. Das Auge muss beim Blickwechsel von der hellen Tischfläche auf die dunkle Wand stark adaptieren und ermüdet schnell.

<sup>4</sup> Fördergemeinschaft Gutes Licht 1, Die Beleuchtung mit künstlichem Licht, S13

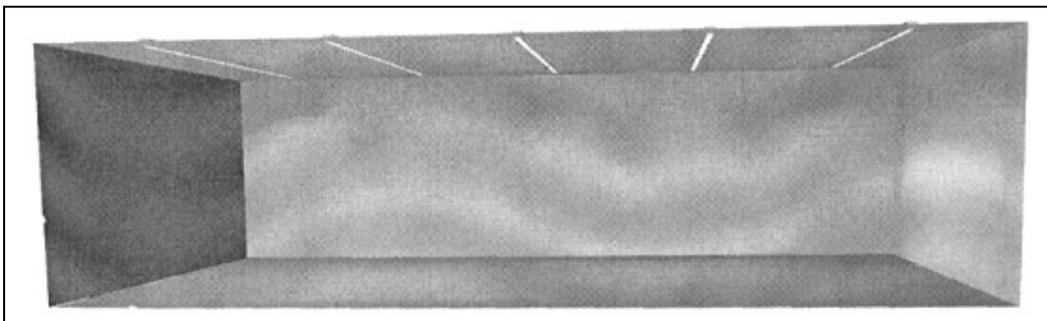
<sup>5</sup> Fördergemeinschaft Gutes Licht 1, Die Beleuchtung mit künstlichem Licht, S13

Der Unterschied von hell und dunkel sollte nicht zu groß, aber auch nicht zu klein sein. Zu geringe Helligkeitsunterschiede lassen den Raum monoton wirken, was ebenfalls als unangenehm empfunden wird.

Die Beleuchtungsstärke ist also kein Kriterium für eine harmonisch, ausgewogene Verteilung der Leuchtdichten der Raumbooberflächen. Diese hängt ab von der Beleuchtungsart, den Reflektionsgraden und der Farbe ausgedehnter Flächen im Gesichtsfeld. So z.B. sollte darauf geachtet werden, dass sich ein ausgewogenes Leuchtdichteverhältnis zwischen der Beleuchtung des Arbeitsplatzes zur näheren Umgebung von etwa 3 : 1 ergibt. Hierdurch erscheint die Arbeitsfläche heller als die Umgebung, sodass die Aufmerksamkeit mehr auf den Arbeitsplatz konzentriert wird.<sup>6</sup>

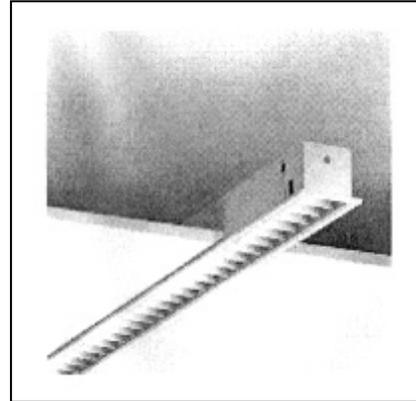
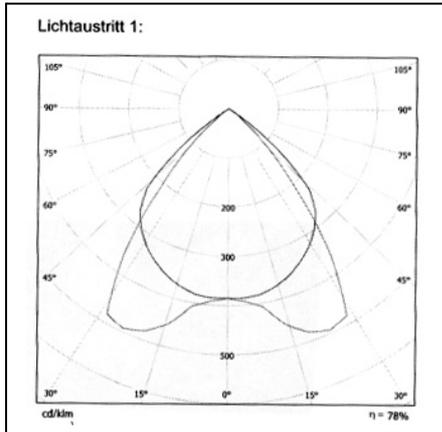


An diesem Beispiel ist gut nachzuvollziehen, wie eine Harmonische Helligkeitsverteilung in einem ausgeleuchteten Klassenraum, der sowohl im herkömmlichen Sinne als Unterrichtsraum, als auch für Bildschirmarbeitsplatz genutzt wird, aussehen könnte. Als Leuchtmittel wurden hier Einbauleuchten (T5- Lampen 80W) mit einer Bildschirmgerechten reduzierten Leuchtdichte von  $L < 200 \text{ cd/m}^2$  eingesetzt. Die folgenden Abbildungen zeigen das Leuchtdichtenniveau des Unterrichtsraumes in einer 3D Animation, die Lichtverteilung des Einzelleuchtmediums (v. Datenblatt), das Leuchtmittel und eine Darstellung der Leuchtdichteverteilung des Raumes.



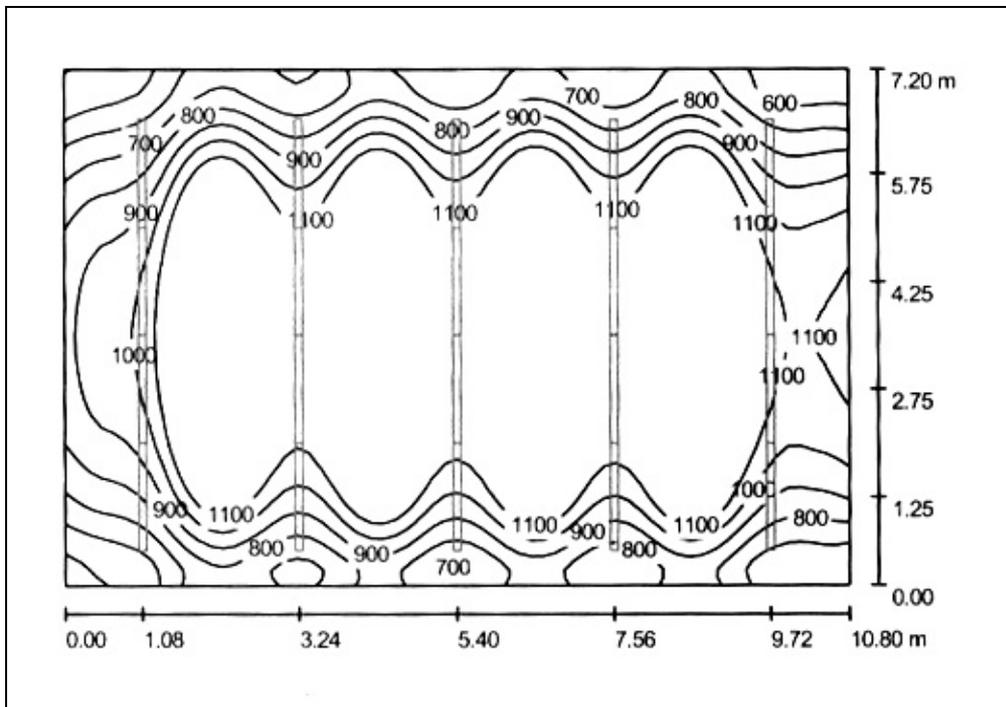
Leuchtdichtenniveau in einer 3D Animation

<sup>6</sup> [http://www.hettich.com/magic/images/media\\_hg/g10\\_96-102\\_de.pdf](http://www.hettich.com/magic/images/media_hg/g10_96-102_de.pdf)



Lichtverteilung des Einzelleuchtmediums

Beispiel für ein Einbauleuchtmittel



Darstellung der Leuchtdichtevertelung des Raumes

Anmerkung zum Copyright <sup>i</sup>

<sup>i</sup> Das Copyright des ISaR Projekts beschränkt sich ausschließlich auf die Zusammenstellung der aufgelisteten Informationen dieses Dokuments – Quellen wurden soweit vorhanden genannt!