

Der Mensch erlebt seine Umwelt nicht nur als Hell und Dunkel, sondern auch durch Licht-Farben. Licht und Farbe bestimmen das "Klima" eines Raumes und beeinflussen durch "Wärme" und "Kälte" Stimmungen und Wohlbefinden. Christoph Kügler, Physiker, Leuchtendesigner und Gesellschafter von Axelmeiselicht beurteilt kritisch vier gängige Leuchtmittel im Hinblick auf Lichtqualität, Energieverbrauch und Ökobilanz.

Man experiences his surroundings not only in terms of light and dark but also by means of light colours. Light and colour determine the "climate" of a room and influence our moods and wellbeing through "warmth" and "coldness". Christoph Kügler, a physicist and luminaire designer and an associate of Axelmeiselicht, critically assesses four common light sources with regard to their light quality, energy consumption and economic balance.

Man muss abwägen You Have to Weigh up

Lichtquellen und deren Einsatz

Light sources and their use



Das Halogen-Leuchtmittel ist die einzige elektrisch betriebene Lichtquelle, die ein ausschließlich kontinuierliches Spektrum besitzt.

The halogen bulb is the only electrically operated light source that exclusively possesses a continuous spectrum.

Wir sprechen im folgenden von Lichtquellen, die weißes Licht abgeben. Wichtig zu wissen ist in diesem Kontext: Ein Gegenstand kann weiß sein, es gibt aber kein weißes Licht! Eine Lichtquelle, dessen Licht der Mensch als weiß beschreibt, emittiert in Wirklichkeit eine Mischung aus vielen einzelnen Farben. Das durch Kernfusion entstehende Licht der Sonne besitzt eine gleichmäßige Verteilung aller sichtbarer Farben (Frequenzen) und deren Spektrum wird daher als kontinuierlich bezeichnet. Das Sonnenlicht stellt für das Auge die Referenz dar, welches vom Menschen in ihrer Kombination aus Licht- und Wärmestrahlung als am angenehmsten, "neutralsten" und gesündesten empfunden wird. Für die Innenraumbeleuchtung stehen heute vier Leuchtmittelarten zu Verfügung, die auf physikalisch sehr unterschiedliche Weise elektrische Energie in Licht (und Wärme) wandeln.

(Halogen-) Glühlampe
Dem Universalgenie Thomas Edison ist Ende des 19. Jahrhunderts die Erfindung wie auch die kommerzielle Nutzung der Glühlampe gelungen. Sie basiert auf einem in einer Vakuumglaskugel befindlichen Metallfaden aus Wolfram, der durch die Zufuhr elektrischer Energie zum Glühen gebracht wird und damit als sogenannter Planckscher Strahler ein kontinuierliches Spektrum elektromagnetischer Strahlung (Licht + Wärme) emittiert. Die Zugabe von Halogenen erlaubte die Erhöhung der Betriebstemperatur auf wenige hundert Grad unter dem Schmelzpunkt des Wolframs, womit eine höhere Farbtemperatur (2900 - 3000K bei Allgebrauchs-Halogenlampen) und eine wesentlich höhere Lebensdauer erreicht wird. Die modernste Form, das sogenannte IRC-Niedervolt-Halogenleuchtmittel besitzt einen runden Glaskolben mit einer Beschichtung (IRC = Infra Red Coating), die einen Großteil der Wärmestrahlung zurück auf die Wendel reflektiert, wodurch weniger Energie zugeführt werden muss und damit der Wirkungsgrad enorm (um ca. 50%) gesteigert wird. Das Halogen-Leuchtmittel ist die einzige elektrisch

betriebene Lichtquelle, die ein ausschließlich kontinuierliches Spektrum besitzt. Dieses kommt dem der Sonne ziemlich nahe, die Farbwiedergabe ist extrem ausgewogen, das Licht wird als brillant und angenehm empfunden.

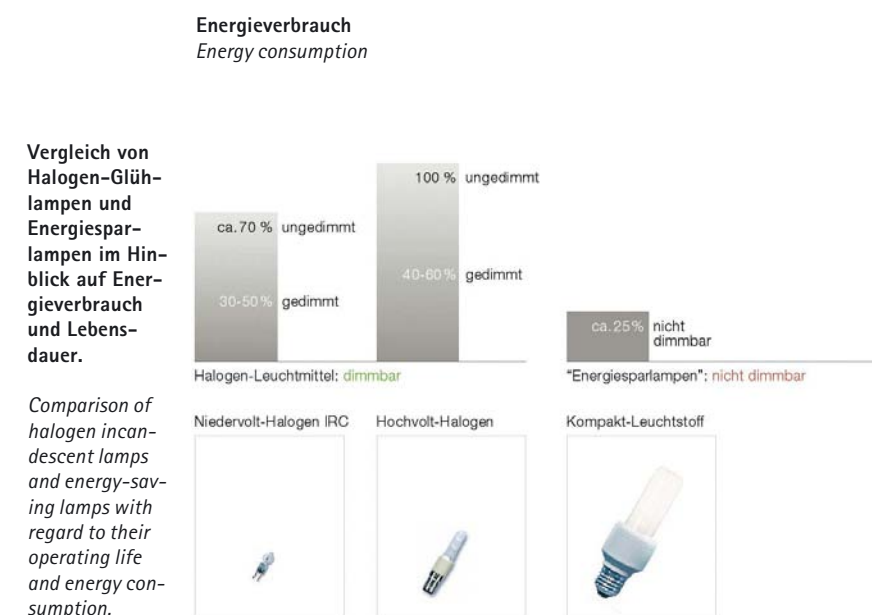
(Kompakt-) Leuchtstofflampe
In den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde die Emission farbigen Lichts durch den Gasentladungsprozess in einer mit Neon gefüllten Glasröhre ("Neon-Röhre") entdeckt. Später stimmte man die Gasentladung durch die Inhaltsstoffe so ab, dass ultraviolette (hochenergetische) Strahlung emittiert wurde und beschichtete die Glasröhre mit einem Leuchtstoff, der die unsichtbare UV-Strahlung in sichtbares Licht unterschiedlicher Wellenlängen wandelte, die vom Menschen in ihrer farblichen Zusammensetzung als weißes Licht empfunden werden. Seit gut 20 Jahren sind sogenannte Kompakt-Leuchtstofflampen auf dem Markt. In dieser Bauform ist die Leuchtstoffröhre gefaltet oder spiralförmig "aufgewickelt" um eine kompaktere Bauform zu erzielen. Außerdem ist das zum Betrieb notwendige elektronische Vorschaltgerät integriert. Typen mit den gängigen E27 und E14 Sockeln machen es möglich, konventionelle Glühlampen problemlos auszutauschen. Leuchtstofflampen emittieren prinzipbedingt ein sogenanntes Bandenspektrum aus einzelnen Wellenlängen. Die Anzahl und Lage dieser Frequenzbanden (= Farben) bestimmt die Farbtemperatur (Warmton, Kaltweiß), die Farbqualität (neutral/Farbstich) und die Effizienz. Auf Grund der Lücken im abgestrahlten Spektrum werden nicht alle Farben mit der selben Intensität abgestrahlt. Leuchtstofflicht wird daher oft als nicht ganz farbneutral, das Licht als wenig gesättigt empfunden.

Metallampflampe
Die Metallampflampe entwickelte sich parallel zur Leuchtstofflampe und ist physikalisch mit dieser verwandt. Im Gegensatz zur Leuchtstoff-Lampe (Niederdruck-Gasentladung) befindet sich hier Halogen in einem kleinen mit Hochdruck befüll-

ten Glaskolben (Hochdruck-Gasentladung). Die Metallampflampe emittiert die Kombination eines Spektrums einzelner Farben (Bandenspektrum) und eines "weißen" Kontinuums (kontinuierliches Spektrum). Heute sind sehr kleine Bauformen geringer Leistung mit hoher Effizienz und recht guter Farbwiedergabe verfügbar. Diese kommen noch nicht ganz an die Neutralität eines Halogenleuchtmittels heran, sind aber beim Einsatz im Innenraumbereich, insbesondere für Büroanwendungen exzellent geeignet.

(weiße) LED
Die Technologie der Lichtemission auf Halbleiterbasis (LED = Light Emitting Diode) ist erst ein halbes Jahrhundert alt. Seit wenigen Jahren sind neben den ursprünglich farbigen LEDs auch weiße erhältlich. Diese basieren auf blauen LEDs, die mit einem Leuchtstoff (Phosphor) beschichtet sind, welcher einen Anteil des hochfrequenten blauen Lichts in langwelligere Strahlung (grün, rot) wandelt wodurch in Kombination "weißes" Licht entsteht. Durch die Abstimmung der Phosphorbeschichtung lässt sich die Farbtemperatur den Bedürfnissen der Leuchtmittelanwendung anpassen: cool white/5000 - 6000K = tageslichtähnlich, neutral white/4000 - 4500K, warm white/2700 - 3500K = halogenähnlich. In der weißen LED steckt ein riesiges Anwendungspotenzial, die Beleuchtungsstärke nimmt jährlich zu, so dass sie bald verstärkt Einzug in die Allgemeinbeleuchtung finden wird. Das Spektrum lässt sich als eine Mischung aus Banden- und kontinuierlichem Spektrum beschreiben: Ein Kontinuum mit typischerweise zwei breiten Peaks im blauen (Ursprungswellenlänge) und im gelben (Leuchtstoff).

Zur Lichtqualität
Die Lichtqualität stellt das entscheidende Merkmal für die Auswahl der Lichtquelle in Innenräumen dar. Denn Lichtqualität heißt Lebensqualität: Licht im Privatbereich soll eine angenehme ausgewogene Farbwiedergabe haben mit einer warm-weißen Farbtemperatur. Zudem sollte die



Comparison of halogen incandescent lamps and energy-saving lamps with regard to their operating life and energy consumption.

problemlose Dimmbarkeit gewährleistet sein. Im öffentlichen Bereich und bei Büroanwendungen darf die Farbtemperatur der Lichtquelle etwas höher sein, insbesondere da es tagsüber zu Mischlichtsituationen zwischen künstlichem Licht und Tageslicht kommt. Auf Grund der viel längeren Brenndauer steht hier die Leuchtmittelleffizienz stärker im Vordergrund, während der Anspruch an die Lichtqualität nicht ganz so hoch ist – trotzdem sollte ein hohes Maß an Farbneutralität gewährleistet sein, da diese das Wohlbefinden und damit die Arbeitsleistung positiv beeinflusst. Die Leuchtmittel-Hersteller haben zur Klassifizierung der Lichtqualität der unterschiedlichen Lichtquellen den sogenannten Farbwiedergabe-Index (Color Rendering Index CRI) eingeführt. Dies ist eine Bewertungsskala von 0 bis 100, wobei 100 der (optimalen) Farbwiedergabequalität der Sonne entspricht. Niedervolt-Halogenlampen erreichen mit 95, Hochvolt-Halogenlampen mit 90 Spitzenwerte. Die besten Leuchtstoff- und Metallampflampen liegen bei guten CRI 80 - 85, erreichen aber nicht ganz die Farbneutralität und den Lichtkomfort von Halogenlicht. Im Bereich weißer LEDs ist die Entwicklung noch voll im Gange: Bis vor Kurzem legten die LED-Hersteller insbesondere bei warm-weißen LEDs mehr Wert auf eine gute Lichtausbeute als auf eine gute Farbwiedergabe was in CRI-Werten zwischen 70 und 80 und einem ausgeprägten Grün- oder Magenta-Farbstich resultierte. Solche LEDs lassen sich als Taglichtscheinwerfer im Automobilbereich einsetzen aber nicht in Wohnräumen. Auf der diesjährigen 'Light+Building' waren mehr warm-weiße LEDs mit CRI Werten oberhalb von 80 und sogar erste Exemplare mit Werten zwischen 90 und 95 zu sehen. Solche Lichtquellen lassen das Herz eines jedes anspruchsvollen Leuchtenentwicklers natürlich höher schlagen!

Anwendungen
Das Halogen-Leuchtmittel stellt die ideale Lichtquelle für Anwendungen im Privatbereich und gehobenen Objektbereich dar. Also überall dort, wo

der Mensch sympathisches, in der Beleuchtungsstärke der Stimmung und der Tageszeit anpassbares Licht bevorzugt und das künstliche Licht nur wenige Stunden pro Tag in Betrieb ist. In großen Büroräumen, im öffentlichen und im Außenbereich werden andere Präferenzen gesetzt: Hier geht es nicht in erster Linie um die bestmögliche Lichtqualität, in der Regel ist eine hohe Lichtstärke gefragt, die Leuchten müssen selten dimmbar sein, sie werden typischerweise zu festen Zeiten ein- und ausgeschaltet und sind durchgehend acht bis zwölf Stunden pro Tag in Betrieb. Leuchtstoff- und Metallampfleuchtmittel sind prädestiniert für diesen Einsatz. Weiße LEDs werden die drei genannten Leuchtmittel in vielen Anwendungsbereichen sinnvoll ergänzen. Die verfügbaren Farbtemperaturen (warmweiß, neutralweiß und kühlweiß), die problemlose Dimmbarkeit, die hohe Lebensdauer (10 000 - 50 000 h bei ausreichender Kühlung) und die geringe Baugröße der Lichtquelle machen die LED zur Lichtquelle der Zukunft. Wann diese Zukunft Gegenwart wird, hängt davon ab, wie schnell die LED-Hersteller das "magische Dreieck" schaffen: Die technische Schwierigkeit besteht nämlich darin, der LED gleichzeitig drei Eigenschaften zu geben, die sich physikalisch eigentlich widersprechen: (1) hoher Farbwiedergabe-Index (> CRI 90 = vergleichbar Halogen), (2) warm-weiße Lichtfarbe (3000 K = vergleichbar Halogen) und (3) hoher Wirkungsgrad (> 80 lm/W = vergleichbar Leuchtstoff und Metallampflampe). Mit der Erreichung dieser Eckwerte wird die LED die positiven Eigenschaften der bisherigen Lichtquellen in einer vereinigten. Zwei Anmerkungen zum Thema LED seien an dieser Stelle noch gestattet: 1. Die LED ist entgegen der weitläufigen Meinung nicht kalt! Hochleistungs-LEDs mit einem oder mehreren Watt Leistungsaufnahme werden im Betrieb 100°C warm und darüber. Das ist zwar weniger als die 2700°C Wendeltemperatur einer Glühlampe, aber diese Wärme muss über einen Kühlkörper abgeführt werden, andernfalls brennt die LED innerhalb von Minuten durch, d.h. die Lebens-

dauer einer LED ist direkt abhängig von deren Kühlung sowie den Betriebsbedingungen in der Leuchte. 2. Die LED ist klein, um nicht zu sagen winzig. Stimmt. Die Kühlung einer leistungsstarken, kleinen LED erfordert aber einen Kühlkörper, dessen Volumen das 100- bis 1000-fache der LED beträgt (oder einen Lüfter!). Lichtstarke LED-Leuchten lassen sich daher nicht beliebig klein realisieren, da die Kühlung der LED und nicht die LED selbst die Hauptbaugröße im Reflektorkopf darstellt.

Halogen-Glühlampen versus Energiesparlampen im Privatbereich
Als Beitrag zur aktuellen Energiespar-Diskussion zwischen (Halogen-)Glühlampen und Kompaktleuchtstofflampen möchte ich abschließend ein paar physikalische Aspekte anführen, die hohe Relevanz besitzen, aber selten genannt werden.

Lebensdauer
Halogen-Glühlampen haben im ungedimmten Betrieb eine mittlere Lebensdauer von 2000 h (Hochvolt-Halogen) bzw. 4000 h (Niedervolt-Halogen). Durch die spezielle Eigenschaft des Wolfram-Glühfadens werden aber bei Dimmung sehr viel höhere Lebensdauern erreicht: Pro 5 % Verringerung der Betriebsspannung durch Dimmung verdoppelt sich die Lebensdauer des Leuchtmittels! Dies bedeutet, dass bereits durch geringfügige Dimmung auf 90 - 95 % – wie sie bei Anwendungen im Privatbereich und im gehobenen Objektbereich sehr typisch und sinnvoll ist – sich die Lebensdauer des Halogenleuchtmittels auf die Größenordnung der nicht dimmbaren Kompaktleuchtstofflampen ("Energiesparlampen") erhöht. Anders ausgedrückt: Energiesparlampen haben den Nachteil, nicht dimmbar zu sein, besitzen aber im praktischen Einsatz oftmals keinen signifikanten Vorteil bezüglich ihrer Lebensdauer im Vergleich zu gedimmten Halogenlampen. Kompakt-Leuchtstofflampen verbrauchen weniger Energie als Halogen-Glühlampen. Dies Aussage hat aber nur Gültigkeit, so lange ungedimmte Halogenlampen mit Kom-

pakt-Leuchtstofflampen verglichen werden. Durch Dimmung des Halogenleuchtmittels sinkt dessen Energieverbrauch überproportional stark ab, nämlich mit dem Quadrat der Absenkung der Betriebsspannung. Bei Dimmung der Betriebsspannung auf 70 % sinkt der Energieverbrauch beispielsweise bereits auf die Hälfte ab! Die sogenannten Energiesparlampen sind dagegen prinzipbedingt (bis auf teure Spezialversionen) überhaupt nicht dimmbar. Aufgrund ihres verzögerten Startverhaltens beim Einschalten werden sie darüber hinaus oft nicht ausgeschaltet, was den theoretischen Vorteil im Energieverbrauch in der Praxis zunichte macht.

Ökobilanz
Ein entscheidender Aspekt beim Vergleich der Öko-Bilanzen von Halogen- und Leuchtstoff-Leuchtmittel stellt die zur Herstellung und zur Entsorgung benötigte Energiemenge dar. Die Produktion einer Kompakt-Leuchtstofflampe erfordert den bis zu 40-fachen Energieaufwand, die zur Herstellung einer Halogen-Lampe notwendig ist. Ähnlich sieht es bei der Entsorgung aus: Die Zerlegung, Sortierung und das Recycling der vielen verschiedenen Inhaltsstoffe einer Kompakt-Leuchtstofflampe benötigt ebenfalls ein Vielfaches an Energie, verglichen mit der simplen Entsorgung eines Halogen-Leuchtmittels.

Entsorgung
Halogenlampen aller Art können (genauso wie Glühlampen) mit dem Hausmüll entsorgt werden, da sie nur wenige, ungiftige Stoffe beinhalten, hauptsächlich Glas und Keramik. Leuchtstofflampen und Kompakt-Leuchtstofflampen ("Energiesparlampen") sind speziell gekennzeichnet und unterliegen der WEEE Verordnung (Waste from Electrical and Electronic Equipment). Auf Grund des Materialmixes und der u.a. giftigen Inhaltsstoffe (Quecksilber) dürfen diese nicht mit dem Hausmüll entsorgt werden, sondern müssen an Sondermüll-Annahmestellen abgegeben werden. Im Hinblick auf die Entsorgung ist das Ha-

Halogenlicht: ausgewogen, angenehm, warm. Farbwidrigkeitsindex CRI 95.

Halogen light: balanced, agreeable, warm. Colour rendering index CRI 95.



Leuchtstofflicht: leichter Farbstich, geringere Farbsättigung als Halogen. Farbwidrigkeitsindex CRI 80.

Fluorescent light: slight colour cast, less colour saturation than with halogen. Colour rendering index CRI 80.

Metalldampf: relativ ausgewogen, bei nominell gleicher Farbtemperatur von 3000K leicht kühler als Halogen. Farbwidrigkeitsindex CRI 80.

Metal vapour: relatively balanced, with the nominally same colour temperature of 3000 K slightly cooler than halogen. Colour rendering index CRI 80.



LED: relativ ausgewogen, leicht kühl, es fehlt noch an Brillanz, verglichen mit Halogenlicht. Farbwidrigkeitsindex CRI 80.

LED: relatively balanced, slightly cool, compared with halogen light less brilliant. Colour rendering index CRI 80.

logen-Leuchtmittel also sowohl bezüglich der Inhaltsstoffe als auch bezüglich des benötigten Energieaufwands das wesentlich ökologischere Leuchtmittel.

Resümee

Die unterschiedlichen Prioritäten auf der Anwendungsseite bezüglich Lichtkomfort, Brenndauer, Leuchtmittel-Lebensdauer, Energie-Effizienz und Dimmbarkeit lassen sich bis auf weiteres nicht mit einem "idealen" Leuchtmittel abdecken. Die Aufgabe der Leuchtenindustrie und der Lichtplaner liegt also darin, Leuchten mit den verfügbaren Leuchtmittel-Technologien Halogen, Leuchtstoff, Metalldampf und LED im Privat- wie im öffentlichen Bereich situationsbedingt optimal einzusetzen.

Christoph Kügler

■ In this article, we will discuss light sources that emit white light. In this context, it is important to know that an object may be white, but there is no such thing as white light! A light source whose light we describe as being white, emits in fact a mixture of many individual colours. The light of the sun that arises from nuclear fusion possesses a uniform distribution of all visible colours (frequency), and therefore its spectrum is referred to as being continuous. For our eyes, sunlight is the reference from which we humans take our cue when judging its combination of light beams and heat radiation as being most comfortable, most "neutral" and most beneficial to our health. For interior lighting we currently have four light-source variants at our disposal that transform electrical energy into light (and heat) in physically quite different ways.

The halogen lamp

It was Thomas Edison, a universal genius, who invented the light bulb toward the end of the 19th century and made it commercially usable. Its basis is a vacuum glass sphere with a metal filament of tungsten inside that is heated by an electric current that passes through it; in this way, it emits a continuous spectrum of electromagnetic radiation (light + heat) according to Planck's law of black-body radiation. By adding halogens, a higher

operating temperature to just a few hundred degrees below the melting point of tungsten was made possible, whereby a higher colour temperature (2900 – 3000 K in the case of universal and halogen lamps) and a far longer operating life are achieved. The most recent version, the so-called IRC low-voltage halogen light source, consists of a coated round glass bulb (IRC = Infra Red Coating) that reflects the major part of the heat radiation back to the filament. Thus a lesser amount of energy must be supplied, and the efficacy can be increased enormously (by about 50 %). The halogen bulb is the only electrically operated light source that exclusively possesses a continuous spectrum. This is very close to sunlight; the colour rendition is extremely balanced, and the light is felt as being brilliant and agreeable.

The (compact) fluorescent lamp

In the 1920s, emission of coloured light by a gas-discharge process in a neon-filled glass tube ("neon tube") was discovered. Later on, the gas discharge was adjusted, by adding other ingredients, such that ultraviolet light (high-level) radiation was emitted, and the glass tube was coated on the inside with a fluorescent material that transformed the invisible ultraviolet radiation into visible light with different wave lengths, the colour composition of which is perceived by human beings as white light. For more than 20 years now, so-called compact fluorescent lamps have been available on the market. In this version, the fluorescent tube is bent or wound up in a spiral to achieve a more compact shape. Over and above that, an electronic ballast is enclosed that is needed for operation. Types with ordinary E27 and E14 sockets enable unproblematic replacement of conventional incandescent lamps. Basically, fluorescent lamps emit a so-called band spectrum of individual wave lengths. The number and the position of these frequency bands (= colours) determine the colour temperature (warm white, cool white), the colour quality (neutral/colour cast) and the efficacy. Due to the gaps in the emitted spectrum, not all colours are emitted with the same intensity, and therefore fluorescent light is often perceived as not quite neutral, and the light as being not very saturated.

The metal-vapour lamp

Metal-vapour lamps were developed in parallel with the fluorescent lamp and are physically closely related. In contrast to the fluorescent lamp, which is a low-pressure gas-discharge lamp, metal-vapour lamps work with halogens that are enclosed in a glass bulb filled under high pressure (high-pressure gas discharge). Metal-vapour lamps emit a combination of a spectrum consisting of individual colours (band spectrum) plus a "white" continuum (continuous spectrum). Currently very small versions with low capacity and high efficacy plus a reasonably good colour rendition are available. They do not, however, quite achieve the neutrality of a halogen light source, but are perfectly suitable for interior use, especially so in offices.

(White) LEDs

Light emission by semiconductor diodes (LED = Light-Emitting Diode) was discovered only half a century ago. Apart from the originally coloured LEDs, white variants have also been available for some years now. They are based on blue LEDs, coated with a fluorescent material (phosphor) which transforms a part of the high-frequency blue light into radiation with longer waves (green, red); combined they produce "white" light. By changing the phosphor coating, the colour temperature can be adjusted to the requirements the light source has to fulfil: cool white/5000 – 6000K = near daylight, neutral white/4000 – 4500K, warm white/2700 – 3500K = near halogen. White LEDs have a huge application potential; their brightness is augmented year after year so that they will soon be increasingly used in general lighting. The spectrum may be described as a mix of band and continuous spectra, the continuum typically consisting of two broad peaks in the blue (original wave length) and in the yellow (luminescent medium) ranges.

On light quality

The decisive feature for the selection of interior light sources is the light quality. This is because light quality means quality of life. In the private area, light should be rendered with an agreeable balanced colour and a warm white colour temperature. In addition, dimming should be completely

unproblematic. The colour temperature of the light source may be slightly higher in the public sector and in offices, because in these cases there will often obtain a mix of artificial light and daylight during daytime. Because these light sources will be kept switched on for a considerably longer time, the efficacy of the light source is more important, while expectations as to the light quality are not quite as high; nevertheless, a high level of colour neutrality should be guaranteed because this will influence people's wellbeing and job performance in a positive way. To classify the light quality of various light sources, light-source manufacturers have introduced the Colour Rendering Index CRI. This is a rating scale ranging from 0 to 100, where 100 corresponds to the (optimal) colour rendering quality of the sun. Low-voltage halogen lamps and high-voltage halogen lamps achieve peak ratings of 95 and 90 respectively. The best fluorescent and metal-vapour lamps render a good CRI of 80 to 85, but they don't quite match the colour neutrality and the light comfort of halogen light. As far as white LEDs are concerned, development is still in full swing. Until recently, LED manufacturers attached more importance to a good luminous efficiency especially for warm-white LEDs than to a good colour rendering, the result being CRI values between 70 and 80 and a marked green or magenta colour cast. This type of LEDs can be used as daylight headlamps in automobiles but not in living rooms. This year's 'Light + Building' showed more warm-white LEDs with CRI values above 80 than ever before and even first specimens with values of between 90 and 95. It goes without saying that light sources such as these make all demanding light developers' hearts swell!

Applications

Halogen light sources are ideally suited for applications in the private area and in the up-market contract bracket. In other words, in all places where we prefer pleasant light that can be adapted in its intensity to our mood and the time of day and where artificial lighting will be used only for several hours a day. In big offices and in the public and outdoor areas the top priorities are different: The task here is

not, first and foremost, to achieve the best possible light quality but, as a general rule, a high luminous intensity. The luminaires rarely must be dimmable; they will be switched on and off at fixed times and will be operating continuously for eight to twelve hours per day. For this application, fluorescent and metal-vapour lamps are the ideal solutions. The three above-mentioned light sources can be complemented by white LEDs in many application areas in a useful way. LEDs are the light source of the future thanks to the available colour temperatures (warm white, neutral white, cool white), their unproblematic dimmability, their long operating life (10,000 – 50,000 h if cooled sufficiently) and their compact dimensions. When this target will be reached depends on how quickly LED manufacturers will master the "magic triangle": it is technically difficult to impart the following three characteristics to the LED at one and the same time as they actually contradict each other physically: (1) a high colour rendering index (> CRI 90 = near halogen), (2) a warm-white light colour (3000 K = near halogen) and (3) a high coefficient of efficiency (> 80 lm/W = near fluorescent or metal-vapour lamps). As soon as LEDs achieve these benchmark figures, they will combine all the positive features of all the previous light sources. Two remarks on the subject of LEDs may be permissible in this connection:

1. Contrary to received opinions, LEDs are not cold! High-performance LEDs with a power-handling capacity of one or more watts will heat up to 100° C and more during operation. This is, let's face it, less than the 2,700° C reached in the filament of an incandescent lamp, but in LEDs the heat must be removed via a heat sink, otherwise the LED will blow in a matter of minutes. In other words: the operating life of an LED directly depends on its cooling and on the operating conditions in the lamp.
2. LEDs are small, if not tiny. Correct. In order to cool a high-performance small LED, a heat sink will be needed whose dimensions amount to a hundred or a thousand times as much (or you will need a fan!). LED lamps with a high luminous intensity can therefore not be realised in as small sizes as you would like, because the

cooling element determines the main dimensions in the reflector head and not the LED as such.

Halogen lamps versus energy-saving lamps in the private area

I would like to comment on the current discussion on the energy-saving features of (halogen) incandescent lamps versus compact fluorescent lamps and quote, in conclusion, some physical aspects that are highly relevant but rarely mentioned.

Operating life

When operated undimmed, halogen incandescent lamps have a medium operating life of 2,000 h (high-voltage halogen) or 2,000 h (low-voltage halogen) respectively. If dimmed, considerably higher operating lives can be achieved due to the special features of the tungsten filament: by every 5% of operating-voltage reduction by dimming, the double life of the light source is reached! This means that by slight dimming to 90 – 95 %, which is typical and sensible for the private and up-market contract application areas, the operating life of a halogen light source can be raised to the level of non-dimmable compact fluorescent lamps (energy-saving lamps). In other words: the disadvantage of energy-saving lamps is that they are not dimmable, and in practical use they often offer no significant advantage compared with dimmed halogen lamps as far as their operating life is concerned. Compact fluorescent lamps consume less energy than halogen incandescent lamps. This statement is, however, only valid when undimmed halogen lamps are compared with compact fluorescent lamps. By dimming the halogen light source, its energy consumption declines disproportionately, i.e. with the square of the reduction in the operating voltage. Example: when the operating voltage is dimmed to 70 %, the energy consumption will already come down to half of it! Due to their operating principle, so-called energy-saving lamps are never dimmable (apart from expensive special variants). Due to their longer starting time they will also often not be switched off and thus their theoretical advantage of consuming less energy will be practically cancelled out.

Economic balance

When comparing the economic balances of halogen versus fluorescent light sources, one of the decisive aspects is the energy needed for their production and disposal. Up to 40 times the energy is needed for the production of a compact fluorescent lamp than for the production of a halogen lamp. A similar situation obtains when it comes to their disposal: Disassembly, sorting and recycling of the many parts of a compact fluorescent lamp use up a multiple amount of energy compared with the simple disposal of a halogen light source.

Disposal

All types of halogen lamps (same as incandescent lamps) can be disposed of with domestic waste seeing that they contain only a few nontoxic materials, i.e. essentially glass and ceramics. Fluorescent lamps and compact fluorescent lamps (energy-saving lamps) have a special identifying marking and are subject to the WEEE directive (Waste from Electrical and Electronic Equipment). Due to the material mix they consist of and due to their sometimes toxic ingredients (mercury), they must not be disposed of with domestic waste but have to be returned to hazardous-waste collecting points. So halogen lamps are by far the more ecological light sources, not only as far as their ingredients are concerned, but also because of the amount of energy involved.

Summary

For the time being, the different priorities obtaining at the application end – light comfort, operating life, lifespan of the light source, energy efficiency and dimmability – cannot be fulfilled with one single "ideal" light source. Consequently, it will be the task of the lighting industry to deploy lamps equipped with the available light-source technologies (halogen, fluorescent, metal-vapour and LED) in the private and the public sectors optimally and according to the situation in hand.

In der weißen LED steckt ein riesiges Anwendungspotenzial.

White LEDs have a huge application potential.

