

Licht und Keime

Wie stromsparende LED-Beleuchtung Wohlbefinden und Raumhygiene verbessert

Mit der schrittweisen Ablösung der Glühfadenlampe durch lichtemittierende Halbleiter (LEDs) begann vor rund 50 Jahren das Zeitalter der energiesparenden Beleuchtung. Viel Entwicklungsarbeit war erforderlich, um das LED-Licht spektral dem des Sonnenlichts anzugleichen. Heute hat man sich dem natürlichen Vorbild bereits sehr stark angenähert, und LED-Licht wird als angenehm und wohltuend empfunden. Ein weiterer Vorteil ist durch die Beschichtung der LED-basierten Leuchtmittel mit Titandioxid hinzugekommen. Der dabei wirksame photokatalytische Effekt bildet in Verbindung mit dem umgebenden Luftsauerstoff freie Radikale, die äußerst wirksam Bakterien, Viren und Keime abtöten und flüchtige organische Verbindungen in Form von Ausdünstungen sowie unangenehme Gerüche neutralisieren. Dieser Effekt ist keiner Abnutzung unterworfen und bleibt über die Lebensdauer des Leuchtmittels erhalten.



Als im Jahre 1962 der amerikanische Physiker und Ingenieur Nick Holonyak die erste im sichtbaren Lichtbereich emittierende Laserdiode erfand und demonstrierte, war dies die Geburtsstunde der industriell gefertigten LEDs (LED: Light Emitting Diode = lichtemittierende Diode). Im Zuge seines langen Lebens (3.11.1928–18.9.2022) konnte der Wissenschaftler die ungeheuren Fortschritte auf dem Gebiet dieser vielseitigen, langlebigen und energieeffizienten Lichtquelle nahezu bis zum heutigen Stand der Entwicklung verfolgen. Holonyak promovierte 1954 (Bild 1) als erster Doktorand von John Bardeen, der gemeinsam mit den Physikern William B. Shockley und Walter Brattain am 23. Dezember 1947 den Transistoreffekt entdeckte und mit diesen 1956 den Nobelpreis erhielt.

Dieser Artikel will sich nicht dem weiten Feld der Halbleiterphysik um die LED widmen, sondern einem Effekt, der den Nutzen der LED noch einmal erheblich steigern kann. Die Rede ist von einer Beschichtung von LED-Leuchtmitteln mit einer transparenten photokatalytischen Schicht. Deren Wirkung wird in einer Druckschrift „[Photokatalytische Oberflächen – Herstellung, Charakterisierung und Bewertung](#)“ des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB wie folgt beschrieben:

„Photokatalyse ist die Umwandlung chemischer Substanzen unter dem Einfluss von Licht. Der Photokatalysator absorbiert die Energie des Lichts, überträgt sie auf eine reaktive Verbindung und löst so – häufig über die Bildung von Radikalen – eine chemische Reaktion aus... Ein gebräuchlicher Photokatalysator ist Titandioxid (TiO_2)... Mit photokatalytischen Prozessen lassen sich organische Materialien abbauen. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Vermeidung eines mikrobiellen Bewuchses an Oberflächen, unterstützen Reinigungsprozesse und werden auch zur Luftreinhaltung und Wasseraufbereitung verwendet... Im Idealfall werden in Anwesenheit des Photokatalysators und von UV-Strahlung infolge der Radikalbildung organische Substanzen von der Oberfläche abgelöst und zersetzt.“

Wenn es nur um eine knappe Zusammenfassung der Wirkung der Photokatalyse geht, ist dem kaum etwas hinzuzufügen. Dennoch sollen einige Begriffe näher erklärt und mit Hintergrundinformationen versehen werden.

Katalysator

Eine Substanz, die die Geschwindigkeit eines chemischen Vorgangs beeinflusst (meistens beschleunigt), ohne dabei selbst verbraucht zu werden, nennt man Katalysator. Bei Photokatalysatoren erfolgt die katalytische Wirkung unter dem Einfluss von Strahlung im sichtbaren und vorzugsweise im höherenergetischen UV-Bereich (UV: Ultraviolett) durch Bildung sogenannter reaktiver Sauerstoffradikale (englisch: reactive oxygen species, ROS) an der Katalysatoroberfläche.

In biologischen Organismen entstehen reaktive Sauerstoffspezies u. a. durch Entzündungszellen, um so Viren und Bakterien zu schädigen und unwirksam zu machen. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass reaktive Sauerstoffradikale eine abtötende Wirkung für Krankheitserreger, aber auch eine zersetzende Wirkung auf eine Vielzahl anderer organischer Substanzen haben. Weil der Photokatalysator sich bei der Radikalbildung nicht verbraucht, bleibt seine Wirkung über lange Zeiträume erhalten.

Titan ist ein chemisches Element mit dem Symbol Ti und der Ordnungszahl 22 im Periodensystem der Elemente. Es gehört zu den zehn häufigsten Elementen in der Erdkruste und kommt dort meist in gebundener Form vor, also legiert mit anderen Metallen in Gestalt von Mineralien.

Titandioxid (TiO_2) ist die Verbindung von Sauerstoff und Titan und tritt in fünf in der Natur vorkommenden Modifikationen auf. Die photokatalytische Wirkung der Variante Anatas ist am stärksten. 2015 lag die weltweite Produktion von Titandioxidpigmenten bei ca. 5,3 Millionen Tonnen.



Bild 1: Der ukrainischstämmige US-amerikanische Physiker Nick Holonyak kann als Vater der Leuchtdiode gelten. Das Bild zeigt ihn als Doktoranden an der University of Illinois. Bild: <https://news.illinois.edu/view/6367/1920044460>

Titandioxid hat in der industriellen Fertigung viele Anwendungen. So auch für die Herstellung von weißen und bunten Farben, Lacken und Druckfarben. Nicht zuletzt findet sich das Weißpigment in Kosmetikprodukten, Sonnencreme oder Zahncreme, aber auch im Farbstoff E171 in Lebensmitteln wegen seiner aufhellenden und Glanz erzeugenden Wirkung. Seine Verwendung als Lebensmittelzusatz ist seit dem 1. August 2022 verboten. Heute gilt die allgemeine Empfehlung, TiO_2 in Lebensmitteln und Kosmetika, besonders in Form von Nanopartikeln, wegen des Verdachts gesundheitlicher Schädigungen gänzlich zu meiden.

Bei der Beschichtung von Leuchtkörpern spielen derartige Bedenken keine Rolle. Hier erfolgen die lichtinduzierten chemischen Radikal-Reaktionen ausschließlich an der Oberfläche, und es tritt eine durchaus erwünschte UV-Schutzwirkung durch das TiO_2 auf. Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sind nicht bekannt.

Auf der Homepage der [Titanium Dioxide Manufacturers Association](#) (TDMA = Verband der Hersteller von Titandioxid,) beim European Chemical Industry Council (CEFIC) ist nachzulesen, welche vielfältige und nachhaltigkeitssteigernde Rolle Titandioxid im Gebäude- und Bausektor spielen kann. Bei allen positiv zu bewertenden Eigenschaften von TiO_2 lassen sich aber bis heute noch nicht restlos alle Langzeitfolgen abschätzen.

Radikale

Als Radikale bezeichnet man in der Chemie besonders reaktionsfreudige Atome oder Moleküle. Dazu müssen diese mindestens ein freies (ungepaartes) Elektron in der äußeren Elektronenhülle aufweisen. Radikale, wie die bereits erwähnten reaktiven Sauerstoffspezies, spielen bei einer Vielzahl biologischer Prozesse eine wichtige Rolle, können aber auch Zellschäden hervorrufen. Eben das ist in der

Anwesenheit von Keimen, Bakterien und Viren erwünscht, weil das deren Leben beendet. Freie Radikale entfalten ihre destruktive Wirkung vor allem durch eine Schädigung der DNA (deoxyribonucleic acid = Desoxyribonukleinsäure DNS: Träger des Erbguts), die in der weiteren Zellteilung weitergegeben wird und damit einen lebensunfähigen Organismus erzeugt.

TiO²-Beschichtung der Oberfläche von LED-Lampengläsern

Die photokatalytische Beschichtung von Gläsern oder Lampenkörpern aus Kunststoff oder Glas mit Nano-TiO² hat zwei wesentliche positive Wirkungen auf die Gesundheit:

1. Ausfiltern von energiereichen UV-Anteilen aus dem LED-Licht und daraus resultierend
2. Bildung von freien Sauerstoffradikalen auf der Oberfläche des Lampenglases.

Bei den von der Firma LEDVANCE (Abspaltung des Geschäftsbereichs Allgemeinbeleuchtung der Siemens-Tochter Osram im Jahr 2016) unter dem Namen SUN@HOME vertriebenen [LED-Leuchtmitteln bzw. LED-Leuchten](#) wird auf die positive biologische Wirkung von künstlicher Beleuchtung mit sonnenlichtähnlichem Spektrum verwiesen.

Sonnenlicht

Das von der Sonne abgestrahlte, an der Erdoberfläche messbare Spektrum der elektromagnetischen Strahlung wird vom Einfallswinkel in die Atmosphäre sowie deren Feuchtigkeits- und Feinstaubgehalt stark beeinflusst. Das menschliche Auge hat sich im Laufe der Evolution an diese spektrale Verteilung angepasst und empfindet demnach das Spektrum von künstlichem Licht umso „natürlicher“, je ähnlicher es dem der Sonne ist.

Das Spektrum des für den Menschen sichtbaren Lichts beginnt am langwelligen Ende von Infrarot (Wärmestrahlung) kommend mit Rot, um dann in Richtung kurzwelligerer Strahlung über Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett in den ultravioletten Bereich überzugehen (Tabelle 1). Die UV-Strahlung ist wiederum in die Bereiche UV-A, UV-B und UV-C unterteilt, die jeweils spezifische Wirkungen auf den menschlichen Organismus haben.

UV-A-Strahlung wird von der Atmosphäre nur in geringem Ausmaß gefiltert und ist nahezu unabhängig von der Jahreszeit und dem Bewölkungs-



Sonnenlicht: CRI = 100 Herkömmliche LED: CRI > 80 SUN@HOME: CRI > 95

Bild 2: Der Color-Rendering-Index (CRI) ist ein Maß für die Farbtreue, mit der Objekte unter künstlicher Beleuchtung erscheinen. Je höher der CRI, umso mehr ähnelt das künstliche Licht dem natürlichen Sonnenlicht.

Spektrum des für den Menschen sichtbaren Lichts		
Strahlungsbereich	Wellenlänge/nm	Frequenz/THz
Ultraviolett (UV)	UV-C	100–280
	UV-B	280–315
	UV-A	315–380
Sichtbares Licht	Violett	380–436
	Blau	436–495
	Grün	495–566
	Gelb	566–589
	Orange	589–627
	Rot	627–780
Infrarot	780–1000	384–300

grad. Auch Fensterglas und Autoscheiben haben kaum schwächende Wirkung. UV-A-Strahlung dringt tief in die menschliche Haut ein. Sie macht nicht in der Epidermis (Oberhaut) halt, sondern erreicht auch die darunterliegende Dermis (Lederhaut), wo sie lokale entzündliche, kollagenabbauende Prozesse auslöst. Weil Kollagene starke Auswirkungen auf die Festigkeit des Bindegewebes haben, führt ein Kollagenabbau zu Elastizitätsminderung und Faltenbildung. Eselsbrücke: A wie Alterung.

UV-B-Strahlung wird bis zu 90 Prozent durch die Ozonschicht der Erde ausgefiltert und schwankt in ihrer Intensität jahres- und tageszeitlich. Hinzu kommen Einflüsse wie Höhenlage und Wolkenbedeckungsgrad, sodass die UV-B-Strahlung an einem wolkenlosen Sommertag am Strand (wo sie Hautbräunung durch Melaninbildung und im Übermaß Sonnenbrand hervorruft) erheblich kräftiger als an einem wolkenverhangenen Wintertag ist. Nur UV-B-Strahlung hat mit der Anregung zur Bildung des körpereigenen Vitamins D für den Knochenstoffwechsel den einzigen bekannten positiven biologischen Einfluss von UV-Strahlung auf den menschlichen Organismus. Eselsbrücke: B wie Bräunung.

UV-C-Strahlung ist nicht in der Lage, die Erdatmosphäre zu durchdringen, und hat deshalb keinen Einfluss auf die Haut.

Künstliches Licht

LEDs als künstliche Lichtquellen haben ein vom natürlichen Sonnenlicht teilweise stark abweichendes Spektrum. Davon hängt in besonderem Maß der Farbwiedergabeindex CRI (Color Rendering Index) ab, der alternativ auch mit dem allgemeinen Referenzindex Ra zwischen 0 und 100 Prozent (natürliches Sonnenlicht) beziffert wird. Dabei bewirkt ein Wert von Ra nahe bei 100 Prozent eine nahezu perfekte Farbwiedergabe des angestrahlten Objekts, kleinere Ra-Werte verleihen dem Objekt einen Farbstich (Bild 2).

Sichtbares Licht

Elektromagnetische Schwingungen im Wellenlängenbereich von 380 bis 780 nm, entsprechend einem Frequenzbereich von 789 THz bis 384 THz, sind für das menschliche Auge als Licht sichtbar. Die Intensitäten der verschiedenen Wellenlängenkomponenten führen zu einem Farbmischeindruck (Tönung, z. B. rötlich, bläulich, grünlich, gelblich) des Lichts. Sind alle Wellenlängen gleich stark vertreten, entsteht weißes Licht.

Nach der DIN 12464 wird der Weißgrad von Licht in drei Farbtemperaturklassen (CCT: correlated color temperature) unterteilt:

- Warmweiß (ww) < 3300 K
- Neutralweiß (nw) 3300–5300 K
- Tageslichtweiß (tw) > 5300 K

Je höher die Farbtemperatur ist, desto kälter erscheint das Licht.

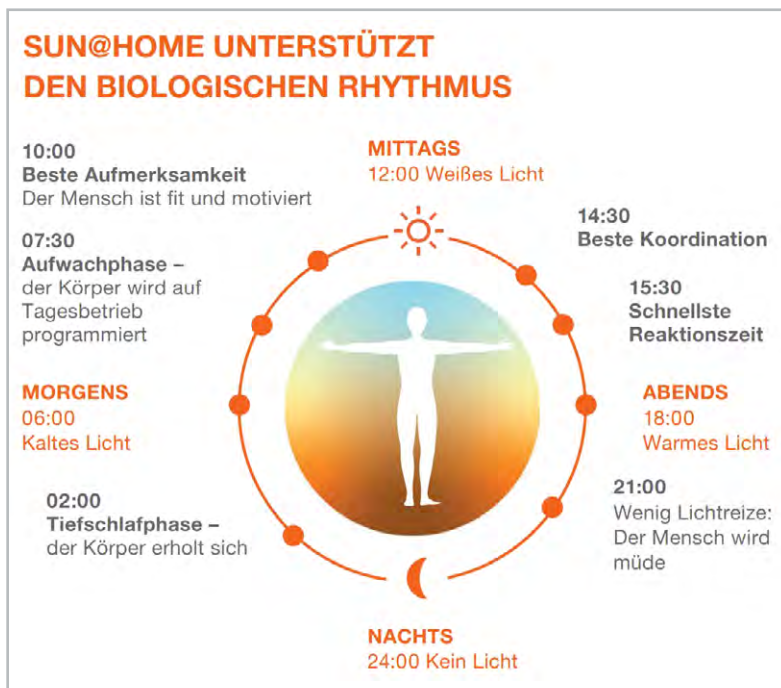


Bild 3: Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit des Menschen sind am besten, wenn die Beleuchtung dem natürlichen Verlauf des Sonnenlichts folgt. Bild: LEDVANCE GmbH

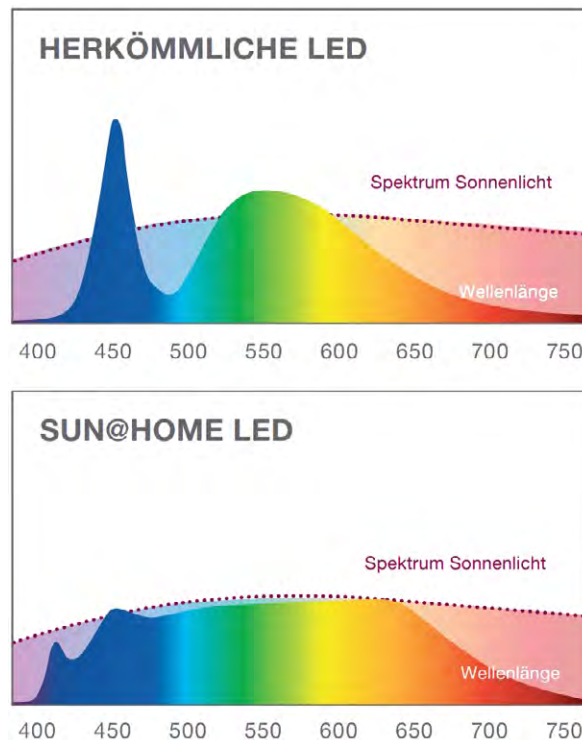


Bild 4: SUN@HOME-Leuchtmittel auf LED-Basis zeichnen sich durch ein Lichtspektrum aus, das dem der Sonne sehr nahekommt. Bild: LEDVANCE GmbH

LEDVANCE-Vollspektrum-LEDs (SunLike) lassen sich durch die Steuerung der Farbtemperatur dem Biorhythmus anpassen. Dabei kann der Tagesverlauf der Farbtemperatur des natürlichen Sonnenlichts als Orientierung dienen (Bild 3). Die Veränderbarkeit der Farbtemperatur wird als Tunable White bezeichnet. Sie steigert durch die tageszeitliche Anpassung Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden des Menschen und trägt damit zu dessen Gesundheit bei. Dank der einzigartigen Sunlike-Vollspektrum-LEDs der SUN@HOME-Lampen und -Leuchten fühlt sich das Licht fast an wie draußen (Bild 4).

Weniger Blauanteil im Licht – mehr Hygiene in der Raumluft

Durch die TiO_2 -Beschichtung der Glas- oder Kunststoffabdeckung des LED-Beleuchtungsmittels wird auf der Oberfläche durch die Bildung von freien Sauerstoffradikalen eine lebensfeindliche Umgebung für Keime, Bakterien und Viren aller Art geschaffen (Bild 5).

Weil die Raumluft in der Regel durch Zirkulation ständig umgewälzt wird, streicht sie im Lauf der Zeit mehrfach an der TiO_2 -beschichteten photokatalytischen Fläche vorbei und büßt dabei einen Teil der enthaltenen Bakterien und VOCs ein. VOC steht für Volatile Organic Compound (flüchtige organische Verbindung), wie sie als Ausdünstungen von Klebstoffen, Lösemitteln, Kunststoffen, Farben, Waschmitteln und vielen anderen synthetisch hergestellte Substanzen auftreten.

Die Erfolge sind nach Angaben von LEDVANCE beträchtlich. So war nach 24 Stunden Einwirkungsdauer ein Rückgang von Escherichia Coli (Darmkeim) um ca. 60 Prozent und von Staphylococcus aureus (antibiotikaresistentes Bakterium) um ca. 50 Prozent zu verzeichnen. Influenza-A-Viren (die gefährlichsten Grippeviren) wurden im selben Zeitraum zu über 90 Prozent deaktiviert und Formaldehyd als Vertreter der Gruppe der VOCs bis zu 92,6 Prozent abgebaut. Nicht zuletzt verbessert die langfristig wirksame Neutralisation von Gerüchen das Raumklima.

Eine weitere Folge der photokatalytischen Beschichtung ist die Selbstreinigung der LED-Lampen- bzw. Leuchtmitteloberfläche, was für den Erhalt von Leuchtkraft und Effizienz sorgt.



Bild 5: Wenn organische Schadstoffe in der Luft (Bakterien, Keime, Gerüche und flüchtige Verbindungen) mit Licht bestrahlte TiO_2 -beschichtete Oberflächen passieren, werden die Schadstoffe dezimiert. Ein wichtiger Beitrag zur Hygiene. Bild: LEDVANCE GmbH

Fazit

Die Nanobeschichtung von LED-Leuchtmitteln mit Titandioxid (TiO_2) bietet zahlreiche Vorteile. Als extrem wirksamer UV-Filter mit minimaler Durchgangsdämpfung im Bereich des sichtbaren Lichts wird eine hocheffiziente, langlebige Beleuchtung ermöglicht.

Die Bildung von freien Sauerstoffradikalen wirkt keimtötend, eliminiert chemische Ausdünstungen und bewirkt eine starke Selbstreinigungskraft. Zudem generieren die SunLike-Vollspektrum-LEDs ein augenfreundliches und in der Farbwiedergabe präzises Licht.

ELV