

# LED - Beleuchtung

*Funktionsweise – Wirkung – Wahrnehmung*

Unterrichtsmaterial für 7. bis 10. Klasse

# Inhalt

	<b>Einführung</b>	4
<b>Kapitel 1</b>	<b>Grundlagen der LED</b>	11
	1.1 Aufbau und Funktion einer LED	12
	1.2 Farbige LEDs	15
	1.3 Physikalische Grundbegriffe Licht	18
	1.4 Die Geschichte des künstlichen Lichts	20
	1.5 Die Ökobilanz der LED	24
	1.6 Die Vielfalt der LED-Lampen	28
	1.7 Die Vielfalt der LED-Beleuchtung	30
<b>Kapitel 2</b>	<b>Auswirkung des Lichts auf den Menschen</b>	33
	2.1 Licht und biologische Vorgänge	34
	2.2 Beleuchtung mit nicht-visueller Wirkung	39
<b>Kapitel 3</b>	<b>Wahrnehmung</b>	43
	3.1 Die visuelle Wahrnehmung	44
	3.2 LED-Beleuchtung und Kunst	46
	3.3 Licht im Supermarkt	50
<b>Kapitel 4</b>	<b>LED-Umrüstung in der Schule</b>	53
<b>Unterrichtseinheiten</b>	<b>Unterrichtseinheiten Grundlagen der LED</b>	
	Licht im Alltag	58
	Aufbau und Funktion einer LED	58
	LED-Band	59
	Farbkreislauf	59
	Leuchtmittel im Vergleich	60
	Infos auf einer Lampenverpackung	61
	Vor- und Nachteile der LED	61
	Lichttrundgang in der Schule	62
	Lichtcheck Zuhause	63
	Die Geschichte des künstlichen Lichts	63
	Bau einer LED-Taschenlampe	64
	Bastel-Tipps	65
	<b>Unterrichtseinheiten Auswirkung des Lichts auf den Menschen</b>	
	Licht am Tag & in der Nacht	66
	Licht-Meinung	66
	Licht-Raum	67

	Licht-Theater	67
	Die nicht-visuelle Wirkung des Lichts	68
	Licht und Gesundheit	69
	Raumbeleuchtung	69
	<b>Unterrichtseinheiten Wahrnehmung</b>	
	Farbentest	70
	Licht-Karton	70
	Die Beleuchtung von Kunst im Museum	71
	Die LED-Beleuchtung von Kunstwerken	71
	Die Beleuchtung im Supermarkt	72
	Licht-Karton basteln	72
	<b>Unterrichtseinheiten LED-Umrüstung in der Schule</b>	
	Umfrage	73
	Plakat gestalten	73
<b>Arbeitsblätter</b>	▶ 1 Aufbau und Funktion einer LED	76
	▶ 2 Leuchtmittel im Vergleich	78
	▶ 3 EU-Energielabel	80
	▶ 4 Farbkreisel	81
	▶ 5 Vor- und Nachteile der LED	83
	▶ 5 Vor- und Nachteile der LED / Lösungen	84
	▶ 6 Lichtrundgang in der Schule	86
	▶ 7 Lichtcheck Zuhause	88
	▶ 8 Die Geschichte des künstlichen Lichts	90
	▶ 9 Umfrage	92
	▶ 10 Checkliste Beleuchtung	93
	▶ 11 Raumbeleuchtung	95
	▶ 12 Licht am Tag & in der Nacht	96
	▶ 13 Die nicht-visuelle Wirkung des Lichts	98
	▶ 14 Licht-Karton	100
	▶ 15 Die Beleuchtung im Museum	101
	▶ 16 Die LED-Beleuchtung von Kunstwerken	103
	▶ 17 Die Beleuchtung im Supermarkt	104
	▶ 18 Farb-Checker	106
	▶ 19 Farb-Checker selber malen	107
	<b>Literatur &amp; Links</b>	112
	<b>Impressum</b>	114

# Einführung

LED-Beleuchtung leistet aufgrund ihrer hohen Energieeffizienz einen bedeutenden Beitrag zum Stromsparen und zum Klimaschutz. Die LED-Beleuchtungstechnik hat sich in den letzten Jahren rasant entwickelt. Fortschritte gibt es besonders in der Effizienz, der Lichtausbeute, der Lebensdauer und der Lichtqualität.

Die „LED-Leitmarktinitiative“ der Bundesregierung unterstützt seit 2008 die Einführung der LED-Technologie als Zukunftstechnologie für den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Deutschland, sowie als Beitrag zur Energiewende. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert dazu z.B. Forschungsprojekte, Pilotprojekte zur LED-Beleuchtung im öffentlichen Raum und Maßnahmen, um die Wahrnehmung und das Verständnis der neuen „Alltagstechnologie“ in der Bevölkerung zu verbessern. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) fördert innerhalb der Kommunalrichtlinie der nationalen Klimaschutzinitiative seit 2013 insbesondere die Umrüstung von Beleuchtung in Innenräumen mit LED. Hunderte Schulen haben die Umrüstung ihrer Räume auf LED-Beleuchtung bereits durchgeführt. Schulen profitieren dabei doppelt: Die Gebäude werden kostengünstiger und umweltfreundlicher betrieben.

## Pädagogische Bedeutung der Umrüstung auf LED-Beleuchtung

Die Umrüstung der Schule auf LED-Beleuchtung bietet die Chance, die Schülerinnen und Schüler in den Sanierungsprozess einzubeziehen. Die Schülerinnen und Schüler erfassen und bewerten die Beleuchtung in der Schule, sie messen Beleuchtungsstärken, berechnen den Energieverbrauch, entwickeln eigene Ideen zu Energiesparmaßnahmen und setzen diese um. Sie setzen sich mit dem Aufbau und der Funktionsweise der LED auseinander und lernen die Vor- und Nachteile dieser Technologie kennen. Bei der LED-Technologie kommt es nicht nur auf technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit, sondern auch auf die Akzeptanz und das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer an. In Schulen und anderen Bildungseinrichtungen hat die energetische Modernisierung der Gebäude einen besonderen Stellenwert, da dort auch gesellschaftliche Werte nachhaltig geprägt werden. Das vorliegende Lehrmaterial soll Sie als Lehrkraft unterstützen, das Thema LED und Beleuchtung in den Unterricht zu integrieren.

## Was das vorliegende Bildungsmaterial bietet

Das Material richtet sich an die Klassenstufen 7 bis 10. Wissen und Kenntnisse zur LED lassen sich nicht nur im Physikunterricht, sondern auch in Fächern und Fächerverbänden wie Biologie, Naturwissenschaften, Technik und Kunst vermitteln. Daher behandelt das vorliegende Heft nicht nur die physikalischen Grundlagen der LED-Technologie, sondern auch gesundheitlichen Aspekte von Beleuchtung, Fragen der Farbwahrnehmung und des bewussten Einsatzes von LED-Beleuchtung in wirt-

schaftlichen und kulturellen Kontexten. Neben den verschiedenen fachspezifischen Einzelaspekten eignet sich das Thema LED auch für Projektstage, fächerübergreifenden Unterricht und Wahlpflichtkurse.

Das vorliegende Materialheft ist in drei Kapitel untergliedert, die einzeln und unabhängig voneinander im Unterricht eingesetzt werden können. Wir empfehlen die unterschiedlichen Themen miteinander zu verknüpfen und projektbezogen oder fächerübergreifend anzuwenden.

Kapitel 1 beinhaltet die technischen und physikalischen Grundlagen der LED-Technologie und deren Funktionsweise. Dabei wurde auf eine anschauliche und leicht verständliche Darstellungsweise geachtet, so dass dieses Kapitel im Physikunterricht, aber auch als Einführung für die Umsetzung der in Kapitel 2 und 3 enthaltenen Inhalte genutzt werden kann.

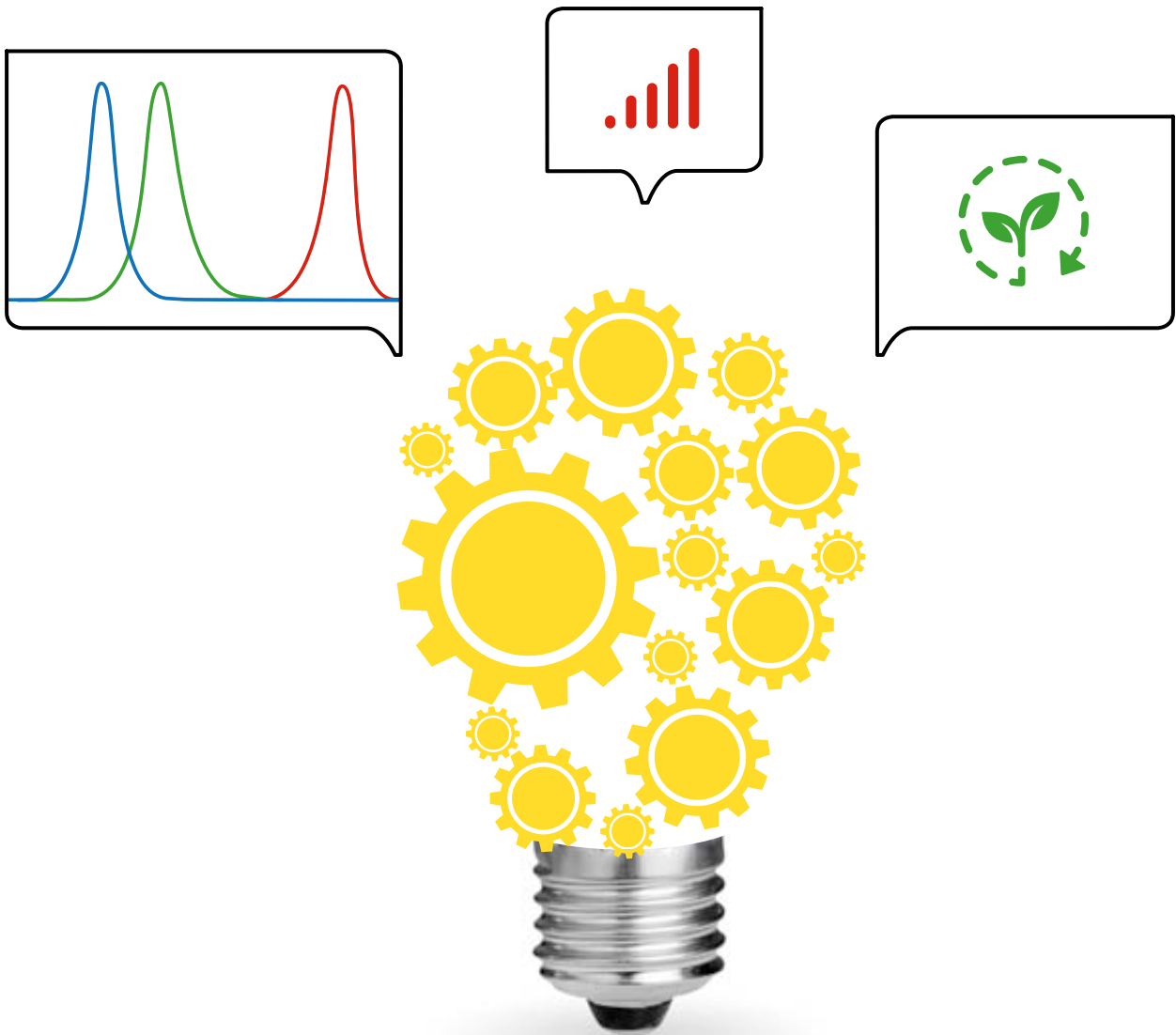
Kapitel 2 setzt sich mit der nicht-visuellen Wirkung des Lichts auf den Menschen auseinander. Erst 2002 wurden im Auge Fotorezeptoren nachgewiesen, die nicht unmittelbar dem Sehen dienen. Sie werden vielmehr durch Licht mit hohen Blauanteilen stimuliert und beeinflussen so den Tag-Nacht-Rhythmus und die Leistungskraft des Menschen. Dieses Kapitel thematisiert also die Wirkung von Licht auf den Menschen und eignet sich in besonderer Weise für den Biologieunterricht.

Kapitel 3 behandelt die Wahrnehmung und Wirkung von Licht in wirtschaftlichen und kulturellen Kontexten. So wird themati-

siert, wie die Farbtemperatur der Beleuchtung die wahrgenommenen Farben und Schatten beeinflusst, was in Supermärkten oder in der Kunst eine große Rolle spielt. Lebensmittel wirken bei bestimmten Lichtfarben appetitlicher; empfindliche Produkte bleiben durch die geringere Wärmeentwicklung der LED-Beleuchtung länger frisch. Dies und die Energieeinsparung tragen dazu bei, dass LED-Beleuchtung in immer mehr Bereichen als vorteilhaft erkannt und stetig weiterentwickelt wird. Dieses Kapitel bietet Anknüpfungspunkte zum Kunstunterricht, aber auch zu Fächern wie Arbeit und Technik oder Politikwissenschaft.

### Mögliche Bezüge des Materials zum Rahmenlehrplan

Das Ziel des vorliegenden Materials ist eine möglichst vielfältige Einsetzbarkeit im Unterricht. Insbesondere kann das Material begleitend zu Sanierungsmaßnahmen eingesetzt werden (siehe Kapitel 4), aber auch unabhängig davon zum Aufgreifen der Themen Beleuchtung und Energiesparen genutzt werden. Die folgende Tabelle (S. 6 ff.) stellt die Methoden, den Zeitaufwand, die zu vermittelnden Lernziele und Kompetenzen exemplarisch in Bezug zu den Rahmenlehrplänen der Bundesländer Brandenburg, Nordrhein-Westfalen, Thüringen und Bayern dar.



# 1 Grundlagen der LED – Bezug zum Rahmenlehrplan

Unterrichtseinheiten	Methoden/ Aktivitäten	Zeit	Lernziele & Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler:	Bezug zum Rahmenlehrplan
<b>Licht im Alltag</b>	Klassengespräch	30 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× erschließen, wann welches Licht und welches Leuchtmittel eine Rolle am Tag spielt,</li> <li>× verstehen, dass es natürliche und künstliche Lichtquellen gibt und dass die Beleuchtung jahreszeitenabhängig ist,</li> <li>× erkennen, welche große Rolle elektrisches Licht im Alltag spielt.</li> </ul>	<p><b>Brandenburg Gymnasiale Oberstufe Physik Klasse 7/8</b> P5: Gesetzmäßigkeiten in elektrischen Stromkreisen</p> <p><b>Klasse 9/10</b> P 4: Natur des Lichts W 2: Energie nutzen und bereitstellen W 3: Elektronische Bauelemente</p> <p><b>NRW Sek I Physik Jahrgangsstufen 7-9</b> Elektrizität messen, verstehen, anwenden, Energie, Leistung, Wirkungsgrad, effiziente Energienutzung, Farbzerlegung des Lichts</p> <p><b>NRW Gymnasium Gesamtschule Physik</b> QP-LK: Elektrik</p> <p><b>Thüringen Haupt- und Realschule, Gymnasium Physik Klassenstufe 8</b> Elektrische Leitungsvorgänge, Größen der Elektrizität, Stromkreise</p>
<b>Aufbau und Funktion einer LED</b>	Einzelarbeit, Klassengespräch	45 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× erarbeiten sich den Aufbau und die Funktionsweise einer LED,</li> <li>× eignen sich dabei grundlegendes Wissen über LEDs an,</li> <li>× können einzelne Bestandteile der LED benennen,</li> <li>× können die Lichterzeugung der LED erläutern</li> </ul>	
<b>Farbkreis</b>	Anfertigen eines Farbkreisels, Klassengespräch	15 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× verstehen additive Farbmischung</li> </ul>	
<b>LED-Band</b>	Beobachtung	10 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× verstehen additive Farbmischung bei LEDs</li> </ul>	
<b>Leuchtmittel im Vergleich</b>	Einzel- und Gruppenarbeit: Messungen, Berechnung des Energieverbrauchs, Bewertung von Effizienz und Energieverbrauchs	45 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× vergleichen Glühlampe, Energiesparlampe und LED,</li> <li>× lernen oder vertiefen die physikalischen Grundbegriffe Leistung, Energie und Licht,</li> <li>× errechnen den Energieverbrauch verschiedener Leuchtmittel,</li> <li>× üben den Umgang mit Messgeräten und die Erfassung von physikalischen Größen,</li> <li>× erwerben Wissen über energieeffiziente Beleuchtung,</li> <li>× können entsprechende Leuchtmittel benennen</li> </ul>	
<b>Infos auf einer Lampenverpackung</b>	Einzelarbeit, Klassengespräch	20 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× erarbeiten sich die Informationen, die auf dem EU-Energielabel und auf Lampenverpackungen angegeben sind,</li> <li>× festigen physikalische Grundbegriffe des Lichts</li> </ul>	

Unterrichtseinheiten	Methoden/ Aktivitäten	Zeit	Lernziele & Kompetenzen  Die Schülerinnen und Schüler:	Bezug zum Rahmenlehrplan
<b>Vor- und Nachteile der LED</b>	Einzelarbeit Klassengespräch	35 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× können Vor- und Nachteile von LEDs bestimmen,</li> <li>× können richtige und falsche Aussagen über LEDs zuordnen,</li> <li>× überprüfen und festigen bereits erworbenes Wissen über LED</li> </ul>	<b>Bayern Gymnasium</b> <b>Physik</b> <b>Klasse 7</b> NT 7.1.1 Elektrischer Strom NT 7.1.3. Optik/ spektrale Zerlegung von Licht Klasse 8 Ph 8.3. Elektrische Energie
<b>Lichtrundgang in der Schule</b>	Gruppenarbeit: Analyse der Beleuchtungssituation, Messungen, Auswertung im Klassengespräch	variabel	<ul style="list-style-type: none"> <li>× untersuchen die Beleuchtungssituation in der Schule,</li> <li>× erfassen mit einem Luxometer die Beleuchtungsstärke,</li> <li>× lernen und üben den Umgang mit einem Messgerät,</li> <li>× wenden physikalische Grundbegriffe an,</li> <li>× lernen richtige und falsche Beleuchtung zu beurteilen</li> </ul>	<b>Physik</b> <b>Profilbereich am NTG</b> <b>Klasse 8</b> Physik und Technik in Gesellschaft <b>Klasse 9</b> Halbleiter und Mikroelektronik
<b>Lichtcheck Zuhause</b>	Einzelarbeit: Analyse Beleuchtung zu Hause, Berechnung des Energieverbrauchs, Bewertung von Effizienz und Energieverbrauch	variabel	<ul style="list-style-type: none"> <li>× setzen sich mit der bestehenden Beleuchtung und deren Energieverbrauch zu Hause auseinander,</li> <li>× können energiesparende Alternativen und deren Kosten bestimmen</li> <li>× berechnen den Energieverbrauch verschiedener Leuchtmittel,</li> <li>× erwerben und vertiefen Wissen über energieeffiziente Beleuchtung</li> <li>× können entsprechende Leuchtmittel benennen.</li> </ul>	<b>Bayern Realschule</b> <b>Physik</b> <b>Jahrgangsstufe 9, 10</b> Elektrizitätslehre  <b>Bayern Gymnasium</b> <b>Natur und Technik</b> <b>Jahrgangsstufe 7</b> Optik: Auge/ Farben
<b>Die Geschichte des künstlichen Lichts</b>	Einzelarbeit	35 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× erwerben Wissen zur Geschichte des elektrischen Lichts</li> </ul>	
<b>Bau einer LED-Taschenlampe</b>	Einzelarbeit	variabel	<ul style="list-style-type: none"> <li>× bauen eine Taschenlampe mit LED,</li> <li>× verstehen einfache Schaltkreise und bauen einen gleichgerichteten Stromkreis mit einem Widerstand.</li> </ul>	



## 2 Auswirkungen des Lichts auf den Menschen – Bezug zum Rahmenlehrplan

Unterrichtseinheiten	Methoden/ Aktivitäten	Zeit	Lernziele & Kompetenzen Die Schülerinnen und Schüler:	Bezug zum Rahmenlehrplan
<b>Licht am Tag &amp; in der Nacht</b>	Einzelarbeit, Auswertung im Klassengespräch	15 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× untersuchen, wo ihnen Licht im Alltag begegnet,</li> <li>× beobachten die positiven und negativen Wirkungen des Lichts</li> </ul>	<b>Brandenburg Sek I</b> <b>Biologie</b> <b>Klasse 7/8</b> Aufnahme und Verarbeitung von Informationen
<b>Licht-Meinung</b>	Positionierungsspiel	15 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× bilden sich eine Meinung zu Auswirkungen des Lichts auf die SuS,</li> <li>× werden für das Phänomen Licht und seine Wirkungen auf uns sensibilisiert</li> </ul>	<b>Brandenburg Gymnasiale Oberstufe</b> <b>Physik</b> <b>Klasse 9/10</b> P 4: Natur des Lichts
<b>Licht-Raum</b>	Beobachtung	30 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× erschließen sich Wissen über farbige LEDs und welche emotionale Wirkung verschiedenfarbiges Licht auf sie hat,</li> <li>× können benennen, mit welchem farbigen Licht welche Stimmung erzeugt wird</li> </ul>	<b>Bayern Gymnasium</b> <b>Natur und Technik</b> <b>Jahrgangsstufe 5</b> Licht Der Körper des Menschen und seine Gesunderhaltung: Informationsaufnahme, -weiterleitung und -verarbeitung: Sinnesorgane und Nervensystem
<b>Licht-Theater</b>	Theaterspiel	variabel	<ul style="list-style-type: none"> <li>× erschließen spielerisch und künstlerisch, welche Stimmungen von Licht erzeugt werden können,</li> <li>× stellen einen Lebensweltbezug her</li> </ul>	<b>Bayern Gymnasium</b> <b>Biologie</b> <b>Jahrgangsstufe 9</b> Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung durch Nerven- und Hormonsystem
<b>Die nicht-visuelle Wirkung des Lichts</b>	Vortrag, Klassengespräch	20 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× erschließen sich physiologische Grundlagen der Aufnahme des Lichts durch die Augen</li> </ul>	
<b>Licht und Gesundheit</b>	Einzelarbeit, Klassengespräch	30 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× erschließen sich durch die Lektüre Wissen über die negativen und positiven Einflüsse von Licht auf die Gesundheit</li> </ul>	
<b>Raumbeleuchtung</b>	Einzelarbeit, Auswertung im Klassengespräch	30 Min	<ul style="list-style-type: none"> <li>× setzen sich mit der Beleuchtung in genutzten Räumen auseinander,</li> <li>× lernen, was für eine gute Beleuchtung wichtig ist</li> </ul>	

### 3 Wahrnehmung – Bezug zum Rahmenlehrplan

Unterrichtseinheiten	Methoden/ Aktivitäten	Zeit	Lernziele & Kompetenzen  Die Schülerinnen und Schüler:	Bezug zum Rahmenlehrplan
<b>Farbentest</b>	Beobachtung, Auswertung im Klassengespräch	20 Min	× erfahren, wie die Farbwahrnehmung von Kunstbildern durch unterschiedliche Lichtfarben beeinflusst wird	<b>Brandenburg Sek I Kunst</b> Produktion, Rezeption und Reflexion als Kompetenzbereiche ästhetisch-künstlerischer Auseinandersetzung mit Welt und Wirklichkeit Räume und Perspektiven einer veränderten und sich verändernden Weltverfahrung
<b>Licht-Karton</b>	Beobachtung, Auswertung im Klassengespräch	30 Min	× erfahren und diskutieren die Wahrnehmung von Farben und Gegenstände durch unterschiedliche Beleuchtung	<b>Brandenburg Gymnasiale Oberstufe Kunst</b> 4.1 Kommunikation in künstlerischen und medialen Welten 4.2 Lebensräume und Alltagskultur 4.3 Bilder und Bildwelten als Ausdrucksmittel des Menschen
<b>Die Beleuchtung von Kunst im Museum</b>	Beobachtung, Einzelarbeit, Exkursion	variabel	× untersuchen den Einsatz von Licht in Museen, × beschreiben die Wirkung von verschiedenen Leuchtmitteln auf Kunstwerke	<b>Thüringen Real- und Hauptschule, Gymnasium Kunst</b> <b>alle Klassenstufen</b> Lernbereich Bildende Kunst/ Malerei Lernbereich Gestaltete Umwelt/ Architektur
<b>Die LED-Beleuchtung von Kunstwerken</b>	Einzelarbeit	45 Min	× erarbeiten sich die konservatorischen Vorteile der LED-Beleuchtung sowie Unterschiede in Farbwahrnehmung durch unterschiedliche Beleuchtung am Beispiel der Sixtinischen Kapelle.	<b>Bayern Realschule Kunst</b> <b>alle Klassenstufen</b> Lernbereich Bildende Kunst Lernbereich Architektur und Design
<b>Die Beleuchtung im Supermarkt</b>	Beobachtung, Einzelarbeit, Exkursion	variabel	× untersuchen den Einsatz von Licht im Supermarkt, × beschreiben die Wirkung von verschiedenen Leuchtmitteln und Lichtfarben auf verschiedene Lebensmittel	<b>Bayern Gymnasium Kunst</b> Bildende Kunst/ Wahrnehmung





**1**

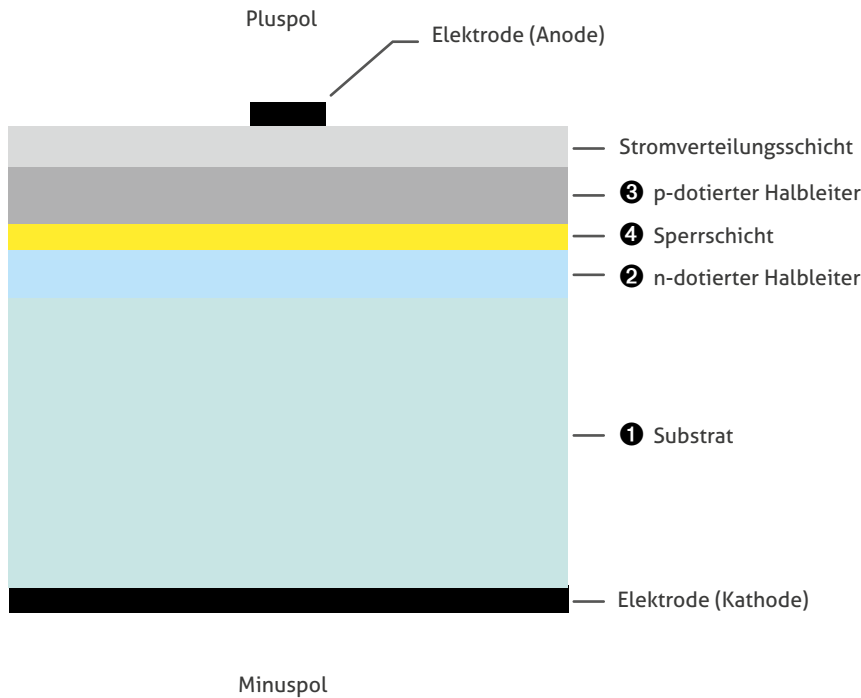
# **Grundlagen der LED**

---

# 1.1 Aufbau und Funktion einer LED

LEDs (LED = Licht emittierende Diode) produzieren Licht, haben aber sonst kaum etwas mit herkömmlichen Lampen gemeinsam, die mit einer Glühlampe oder Gasentladung arbeiten. LEDs sind kleine Elektronik-Chips, die aus aneinan-

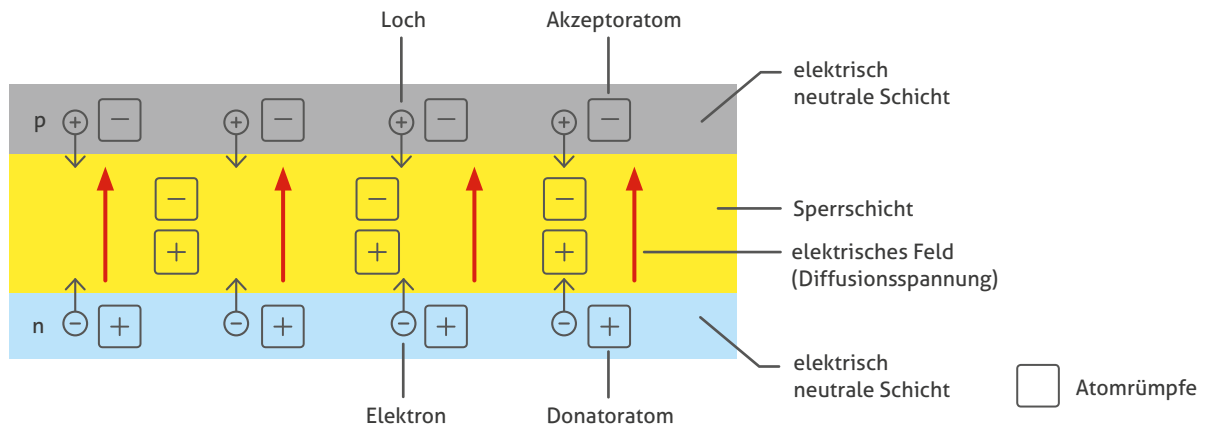
dergrenzenden Halbleiterschichten (z.B. Galliumnitrid und Indiumnitrid) bestehen. Wenn Strom fließt, „emittieren“ sie Licht. Dieser Prozess wird auch Elektrolumineszenz genannt.



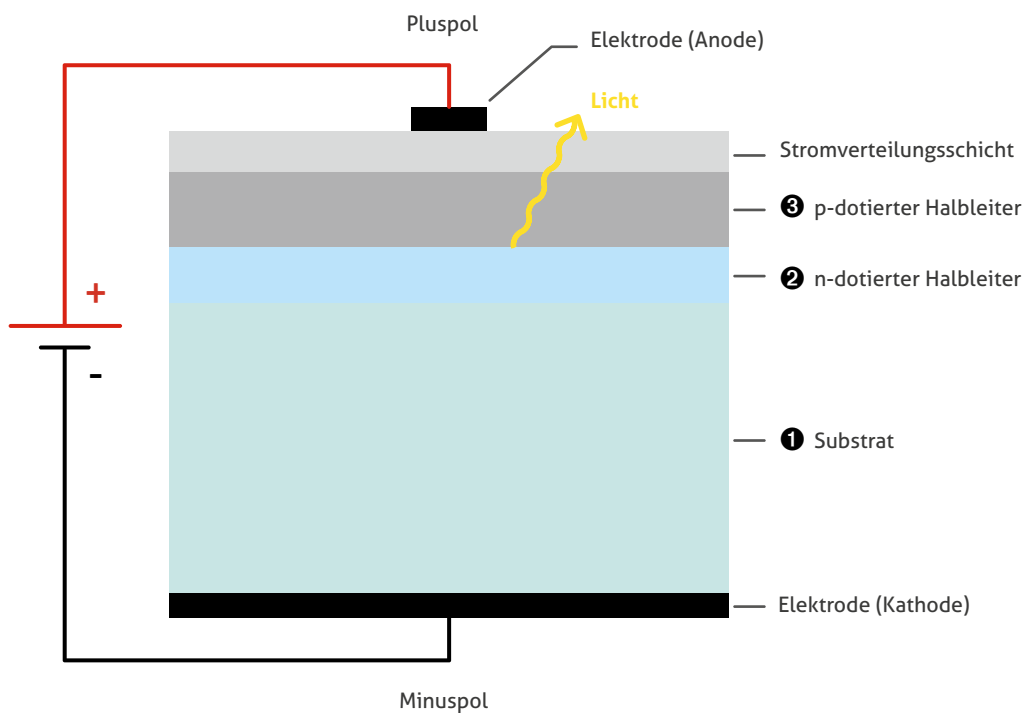
► Abb. 1: LED-Chip mit Sperrschicht

Der untere Teil der Diode besteht aus einer leitfähigen Basis, dem Substrat **1**. Der Grundhalbleiter **2** hat einen Elektronenüberschuss (=n-dotierter Halbleiter). In der darüber liegenden Halbleiterschicht **3** gibt es einen Elektronenmangel (=p-dotierte Halbleiter).

Durch Diffusion und Rekombination bildet sich zwischen den beiden dotierten Schichten eine Sperrschicht **4** aus. Diese entsteht, wenn p- und n-Halbleiter direkt aufeinander liegen. Die freien Ladungsträger (Elektronen und Löcher) diffundieren in die gegenüberliegende Schicht. Nun springen die Elektronen der n-Schicht in die Löcher der p-Schicht. Es bildet sich eine Sperrschicht aus, die keine freien Ladungsträger mehr besitzt (gelbe Schicht in Abb. 2). In dieser sind die Atome der vorigen n-Schicht jetzt positiv, die der p-Schicht negativ geladen. Dies ist die Ursache für die sogenannte Diffusionsspannung in der Raumladungszone.



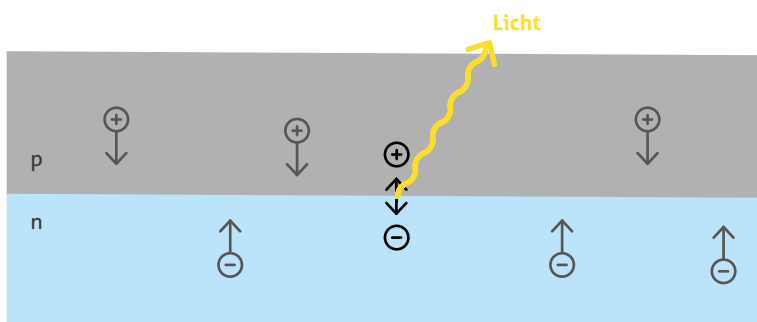
► Abb. 2: Ausbildung der Sperrschicht



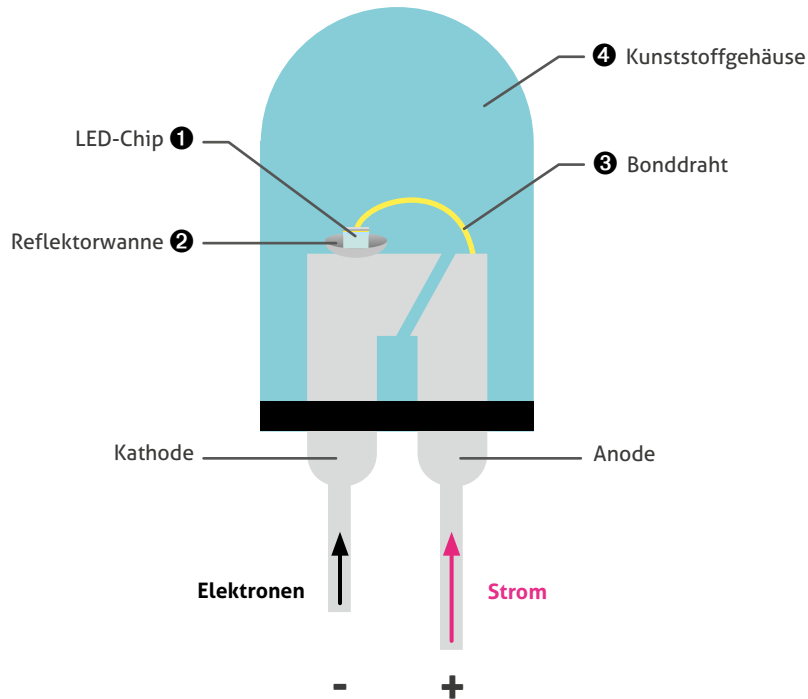
► Abb. 3: LED-Chip mit angelegter Spannung

Wenn eine Spannung in Durchlassrichtung angelegt wird, die größer als die Diffusionsspannung ist, fällt die Sperrschicht zusammen. Nun können die Elektronen vom Minuspol durch den Kristall zum Pluspol gelangen. An der Kontaktstelle sprin-

gen Elektronen der n-Schicht in die Löcher der p-Schicht und die Leerstellen werden besetzt. Dieser Vorgang wird Rekombination genannt. Dabei kommt es zur Lichtemission.



► Abb. 4: Rekombination der Ladungsträger und Lichtemission



► Abb. 5: Aufbau einer Niedrigleistungs-LED, basierend auf [licht.de](http://licht.de)

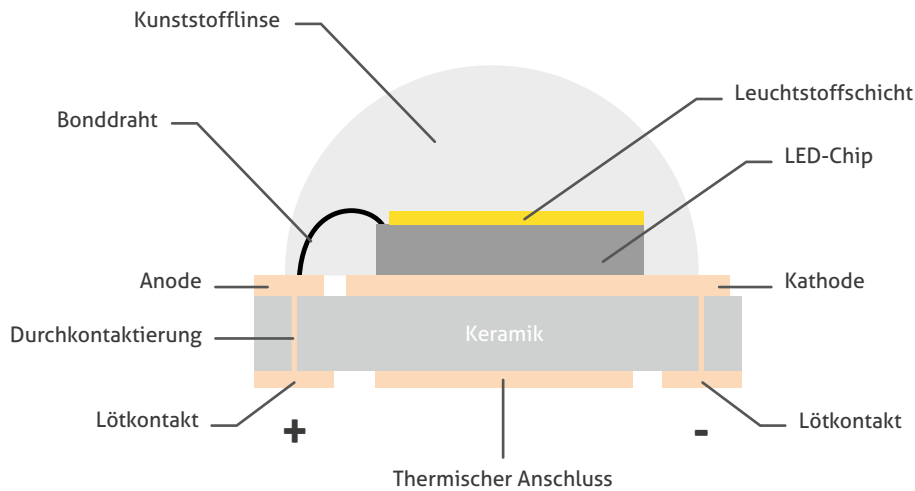
Der LED-Chip ① sitzt am Minuspol in einer Reflektorwanne, einem metallischen Kegel ②. Durch diesen Reflektor wird das Licht in einem Ausstrahlwinkel von bis zu  $180^\circ$  in den oberen Halbraum ausgestrahlt.

Der Halbleiterkristall ist mit dem Pluspol mit einem feinen Draht, dem Bonddraht ③, verbunden. So kann am Halbleiterkristall Spannung angelegt werden. Moderne und hocheffiziente LED-Chips enthalten heutzutage nur wenige Nanometer dünne Halbleiterschichten.

Zum Schutz vor Umwelteinflüssen ist der LED-Chip in einen durchsichtigen Kunststoffkörper ④ (z.B. Epoxidharzlinse) gegossen oder in ein Gehäuse eingebaut. Das verbessert auch den Lichtaustritt.

Niedrigleistungs-LEDs, die meist für Signalbeleuchtung eingesetzt werden, haben im Mittel eine Leistung von etwa 0,1 W. Dem gegenüber stehen Hochleistungs-LEDs für Straßen- oder Innenraumbeleuchtung, die mit bis zu 100-facher Leistung (10 W) betrieben werden können. Da grob die Hälfte der elektrischen Leistung nicht als Strahlung ausgesendet, sondern im

LED-Chip in Wärme umgewandelt wird, sorgen unterhalb des Chips Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit für eine gute Wärmeabfuhr. Diese Maßnahme erhöht die Lebensdauer der LED, da somit die Temperatur möglichst niedrig gehalten wird.



► Abb. 6: Aufbau einer Hochleistungs-LED, basierend auf TU Darmstadt

## 1.2 Farbige LEDs

Mit LEDs kann jede Lichtfarbe produziert werden. Ob die LED in Rot, Grün, Gelb oder Blau leuchtet, hängt von dem verwendeten Halbleitermaterial ab. Das Halbleitermaterial bestimmt die dominante Wellenlänge und damit die Farbe des emittierten Lichts. Das bedeutet, dass für LEDs keine Farbfilter benötigt werden und auch Mischfarben möglich sind.

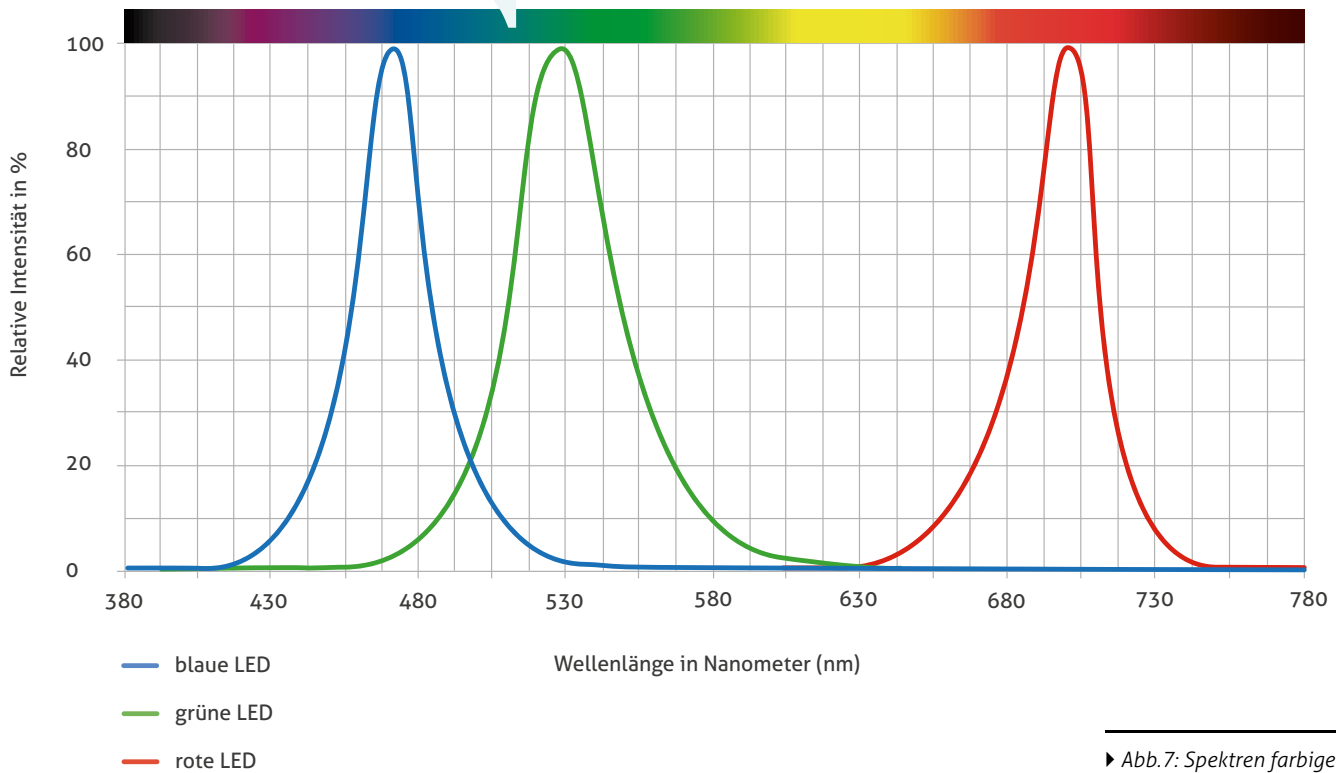
*Einfarbiges Licht lässt das menschliche Auge fast nur die Farbe des Lichts wahrnehmen, und nicht die der Gegenstände. Um Farben von Dingen richtig erkennen zu können, wird weißes Licht benötigt. Welche Farbe wahrgenommen wird, hängt von der Lichtquelle ab.*

Die wichtigsten LED-Halbleiterverbindungen sind:

Halbleitermaterial	Abkürzung	Farbe
Indiumgalliumnitrid	InGaN	Grün, Blau (Weiß)
Aluminiumindiumgalliumphosphid	AlInGaP	Rot, Orange, Gelb
Aluminiumgalliumarsenid	AlGaAs	Rot
Galliumarsenidphosphid	GaAsP	Rot, Orange, Gelb



Das Farbspektrum von Licht lässt sich durch ein Prisma veranschaulichen. Es zerlegt Licht in seine einzelnen Farbbestandteile.



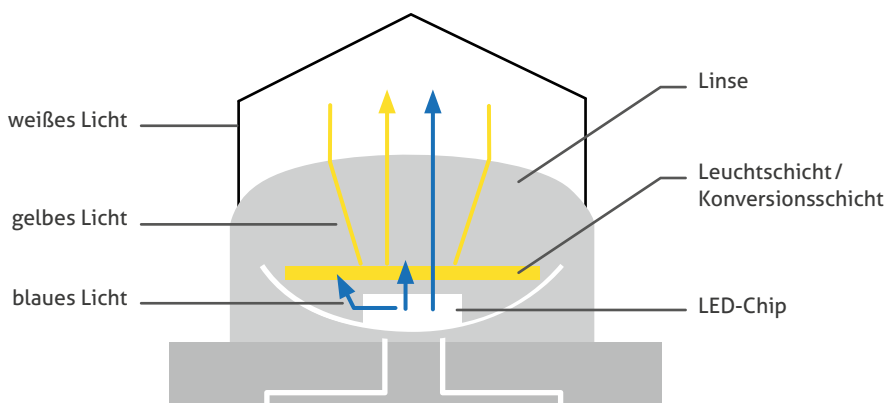
► Abb.7: Spektren farbiger LEDs, Daten: TU Darmstadt

Im weißen Licht sind Farben aller Wellenlängen zu finden. Farbanteile in weißem Licht werden wegen einer automatischen Farbkorrektur des Gehirns nur erkannt, wenn das Licht sehr stark eingefärbt ist. Das spielt beim Filmen und Fotogra-

fieren eine Rolle, wenn Einfärbungen nicht erwünscht sind. Deshalb ist hier auf die Farbtemperatur zu achten. → [Kapitel 1.3 Physikalische Grundbegriffe Licht](#)

## Um weißes LED-Licht zu erzeugen, gibt es zwei Möglichkeiten:

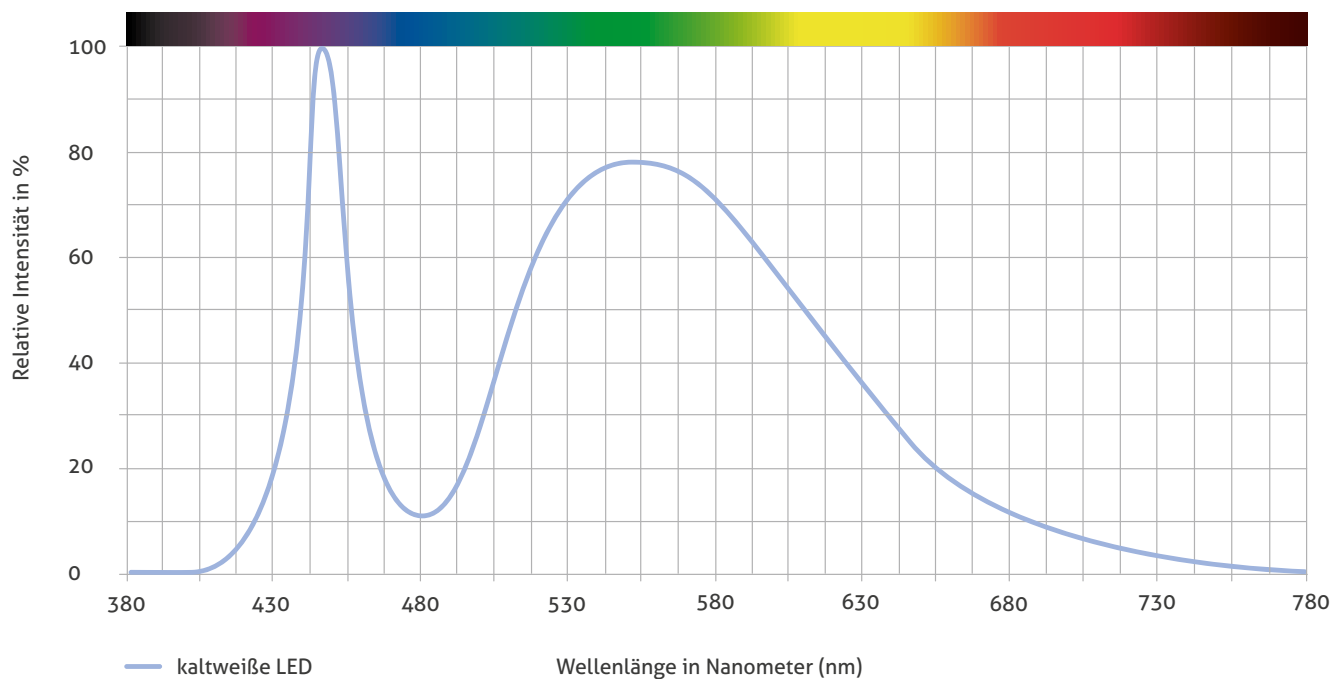
### 1. Lumineszenzkonversion: Blaue LED + gelber Leuchtstoff = weißes Licht



► Abb. 8: Weiße LED mit Leuchtstoff, basierend auf licht.de

Oberhalb eines blauen LED-Chips ist eine Leuchtschicht aufgebracht. Durch den gelben Leuchtstoff wird ein Teil des blauen Lichts absorbiert, in gelbes Licht umgewandelt und ausgesendet. Das menschliche Auge nimmt das Licht als weiß wahr. Dieses Verfahren wird Lumineszenzkonversion genannt und

auch bei Leuchtstofflampen angewendet. Dabei muss die Konzentration und chemische Zusammensetzung des Leuchtstoffs sehr genau gesteuert sein, um die gewünschte Lichtfarbe zu erhalten.



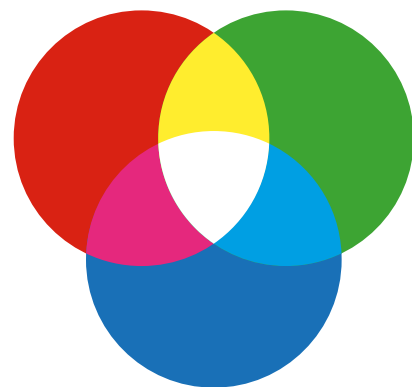
► Abb. 9: Spektrum einer kaltweißen LED (4.700 Kelvin), Daten: TU Darmstadt

## 2. Additive Farbmischung

Eine weitere Möglichkeit, um weißes Licht mit Hilfe von LEDs zu erhalten, ist die richtige Mischung von unterschiedlich farbigem Licht. Mit dieser sogenannten additiven Farbmischung von Rot, Grün, und Blau (RGB) kann auch jede andere Mischfarbe erzeugt werden. Dies hat den Vorteil, dass durch eine gezielte Ansteuerung die Lichtfarbe individuell verändert werden kann.

Mehr über die Wahrnehmung von Lichtfarben in

→ [Kapitel 3. Wahrnehmung.](#)



► Abb. 10: Additives Verfahren

## 1.3 Physikalische Grundbegriffe Licht

Um das Licht verschiedener Leuchtmittel miteinander vergleichen zu können, ist es wichtig einige Grundbegriffe zu verstehen.

### Lichtstrom

Der Lichtstrom beschreibt die von der Lampe in alle Richtungen abgestrahlte Leistung im sichtbaren Bereich und gibt die gesamte von der Lampe ausgestrahlte Lichtmenge pro Zeit in Lumen (lm) an.

### Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke wird in Lux (lx) gemessen und gibt den einfallenden Lichtstrom pro Flächeneinheit an ( $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ ). In einem Klassenraum sollten mindestens 300 lx und in einem Fachraum mindestens 500 lx messbar sein. Gemessen wird jeweils horizontal auf Tischhöhe (75 cm).

### Lichtausbeute / Energieeffizienz

Die Lichtausbeute sagt aus, wie viel Lichtstrom in Lumen (lm) pro Watt (W) ihrer Leistungsaufnahme eine Lampe erzeugt. Sie ist ein Maß für die Energieeffizienz. Je höher das Verhältnis  $\text{lm/W}$ , desto besser wird die Energie in Licht umgesetzt. Bei einer LED-Lampe kann die Energieeffizienz beispielsweise 85  $\text{lm/W}$  betragen während eine vergleichbare Halogenlampe 15  $\text{lm/W}$  und eine Glühlampe nur 12  $\text{lm/W}$  schafft. Im Handel erhältliche LED-Leuchtmittel haben zurzeit eine Lichtausbeute von 40 bis 100  $\text{lm/W}$ .

### Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe des Lichts ist für die farbliche Wirkung von farbigen Gegenständen oder Personen verantwortlich. Sie hängt vom Farbspektrum der jeweiligen Lampen ab und wird mit dem Farbwiedergabe-Index  $R_a$  bewertet. Der Index gibt an, wie natürlich Farben im Licht einer Lampe wiedergegeben werden und ist von acht häufig vorkommenden Testfarben abgeleitet. Die Farben eines angeleuchteten Gegenstandes sollten so natürlich wie möglich erscheinen. Der  $R_a$ -Index sollte in Räumen, in denen Menschen sich länger aufhalten, nicht unter 80 sein.  $R_a = 100$  ist der beste Wert. Der  $R_a$ -Index der meisten weißen LEDs liegt zwischen 70 und 98.

### Farbtemperatur

Je nach Zusammensetzung und Wellenlänge der dominanten Spektralfarbe kann weißes Licht unterschiedliche Farbtöne annehmen. Bei einem hohen Anteil kurzwelliger Blautöne im Spektrum wird Licht als kühl wahrgenommen und daher als "kaltweiß" bezeichnet. Je höher der Anteil langwelliger Spektralfarben desto wärmer wirkt das Licht. Die Lichtfarbe einer Lampe wird als Farbtemperatur beschrieben und mit Kelvin (K) angegeben. Dabei gibt es folgende Stufen (nach DIN EN 12464-1:2011):

- ☀ Warmweiß: unter 3.300 Kelvin
- ☀ Neutralweiß: 3.300 bis 5.300 Kelvin
- ☀ Tageslichtweiß / Kaltweiß: über 5.300 Kelvin

*Im Haushaltsbereich werden meistens Lampen mit warmweißem Licht (2.600–3.200 K, eher gelblich) eingesetzt, in Büros oft neutralweißes Licht.*

### Lebensdauer

Ein weiteres Qualitätsmerkmal ist die Lebensdauer in Stunden (h). Sie bezeichnet die Zeit, nach der der Lichtstrom im Mittel auf 70 % des Anfangswertes gesunken ist. Die Lebensdauer von LEDs ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wie beispielsweise vom Halbleitermaterial und der Temperatur. Hohe Temperaturen verkürzen die Lebensdauer. Daher wird in LED-Lampen ein Kühlkörper eingebaut.

Mehr dazu → [Kapitel 1.5 Die Ökobilanz der LED](#)



# 1.4 Die Geschichte des künstlichen Lichts



Viele Jahrtausende kannten Menschen nur das natürliche Licht durch die Sonne und den Mond, und waren damit vom **Tag-Nacht-Rhythmus** abhängig. Die Geschichte des künstlichen Lichts beginnt mit der **Nutzung des Feuers in der Urzeit**. **15.000 v. Chr.** wurden **erste Öllampen** aus Horn, Muscheln, Stein oder Ton genutzt. **Kerzen** aus Bienenwachs und Talg gibt es seit dem **4. Jahrtausend v. Chr.**

**1784** erfand **Aimé Argand** eine Öllampe, deren Runddocht in einem Glaszylinder brannte. **1808** trat die **Gasbeleuchtung** ihren Siegeszug in Europa an. Das aus Steinkohle gewonnene Leuchtgas wurde in Laternen verbrannt. Noch heute gibt es in Berlin oder Frankfurt / a. M. vereinzelt historische **Gaslaternen**.

*Mit der **Argandlampe** stieg die Lichtausbeute und erhöhte sich die Farbtemperatur, da der Glaszylinder und der Runddocht eine ruhige Flamme und höhere Temperaturen ermöglichen. Die bis heute bekannten Petroleumlampen funktionieren nach dem gleichen Prinzip.*

Mit der Nutzung von Elektrizität begannen **1820** auch die **ersten Experimente mit Glühlampen**, deren Glühfäden (Glühwendel) in einer Glasglocke leuchteten. **Thomas Alva Edison** verhalf **1879** der **Glühlampe** zum häufigen Einsatz, indem er einen widerstandsfähigen hochohmigen Glühfaden benutzte und die Lampen seriell anfertigen ließ.

**1890** wird der **Glühfaden aus Wolfram** hergestellt, der in einem gasgefüllten Glaskolben durch elektrischen Strom erhitzt wird, so dass neben Wärme auch Licht abgegeben wird.

*Aufgrund der geringen Effizienz der Glühlampe erließ die Europäische Kommission im Jahr 2009 die Verordnung Nr. 244/2009, das sogenannte Glühlampenverbot. Denn nur 5% des aufgenommenen Stroms werden bei Glühlampen in Licht umgesetzt, 95% werden als Wärme abgegeben. Bis 2012 wurden die Glühlampen schrittweise vom Markt genommen.*



Leuchtstofflampen machten der Glühlampe bald Konkurrenz. **1923** waren die ersten **Quecksilberdampf lampen** kommerziell erhältlich, die vorrangig in der Fotografie genutzt wurden. Ab **1926** wurden **Hochdruck-Quecksilberdampf lampen** mit Leuchtstoffen versehen, die die UV-Strahlung in sichtbares Licht umwandelten. Um **1930** wurden die **Natriumdampf-Niederdrucklampe** und die **Hochdrucklampe** entwickelt. Beide sind Gasentladungslampen und werden z.B. als **Flutlicht in Stadien** verwendet, bei **Kinoprojektoren** oder in **Plasmabildschirmen**.

Etwa 70% der künstlichen Beleuchtung basiert auf dem Prinzip der Leuchtstofflampen. Dazu gehören auch die Kompaktleuchtstofflampen, umgangssprachlich Energiesparlampen genannt. Es handelt sich dabei um Quecksilberdampf-Niederdrucklampen, die seit **1980** auf dem Markt sind.

*Energiesparlampen sind 80% effizienter als Glühlampen, allerdings enthalten sie Quecksilber (ein giftiges Schwermetall) und müssen daher aufwändig in Sammelstellen entsorgt werden.*

*Quecksilber ist gefährlich, wenn es mit dem Körper in Kontakt kommt, geschluckt oder der Dampf eingeatmet wird. Der Quecksilbergehalt in Energiesparlampen und Leuchtstofflampen ist heutzutage aber relativ gering. Trotzdem muss jeder Kontakt mit einer zerbrochenen Lampe vermieden werden. Der Raum muss gut gelüftet und die Lampe als Sondermüll entsorgt werden.*



Seit **1958** gibt es **Halogenglühlampen**. Durch den Zusatz von Jod in Glühlampen wird verhindert, dass es Niederschlag von Wolfram auf den Glaskolben gibt. Höhere Temperaturen und eine längere Lebensdauer können erreicht werden.

**1964** gab man Metalle aus seltenen Erden und Halogenverbindungen zum Gemisch der bereits bestehenden Quersilberdampf lampen hinzu. Die daraus resultierenden **Halogenmetall-dampf lampen** erreichen eine sehr gute Lichtqualität.

---

► Abb. 11a–11c: Glühlampe, Kompaktleuchtstofflampe, Halogenglühlampe



Die Geschichte der **LED (= Licht emittierende Diode)** beginnt **1907** mit einem Experiment des englischen Forschers **Henry Joseph Round**. Er legte an einen Siliziumcarbidkristall eine Spannung von 10 Volt an und brachte es dadurch zum Glimmen in gelber, roter oder blauer Farbe. Das Phänomen wird Elektrolumineszenz genannt. Der russische Physiker **Oleg Losev** beschrieb diese Entdeckung **1927** erneut.

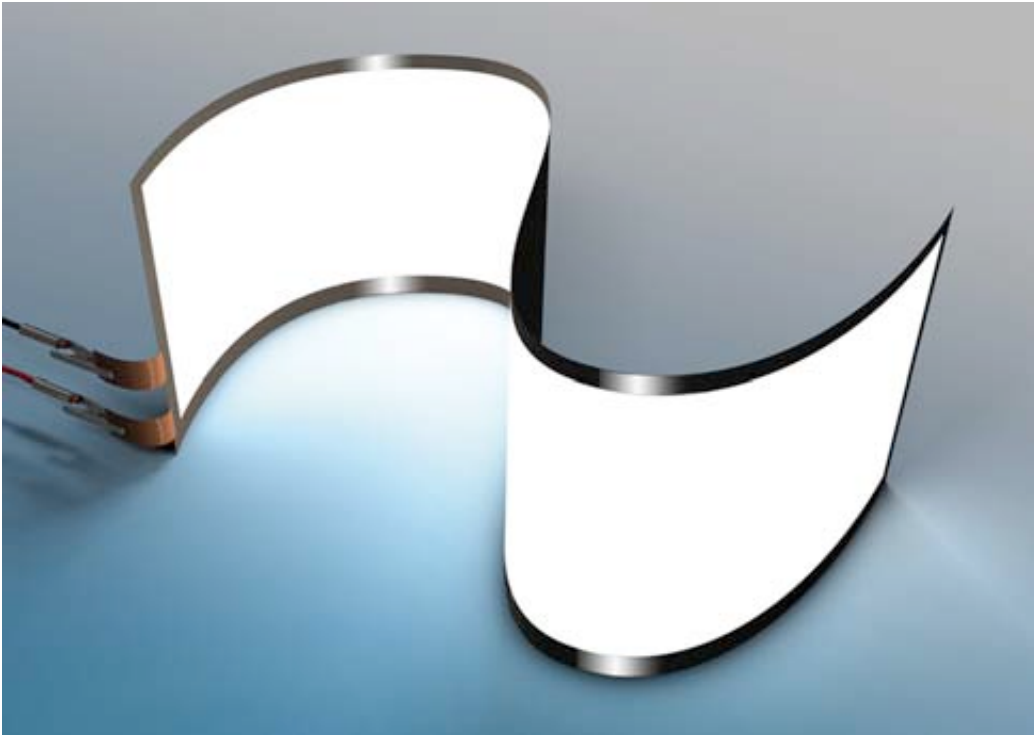
Im Jahr **1951** wurde der **Transistor** erfunden - ein elektronisches Halbleiter-Bauelement zum Steuern meist niedriger elektrischer Spannungen und Ströme. Ab **1957** konzentrierte sich die Forschung auf die **Erzeugung von Licht durch Halbleiter** insbesondere auf Basis von Galliumarsenid (GaAs) und Galliumphosphid (GaP).

**1962** kommt die **erste rote LED** auf den Markt, entwickelt von Elektroingenieur **Nick Holonyak**. **Seit 1971** gibt es **LEDs** aufgrund verbesserter Halbleitermaterialien **in den Farben grün, orange und gelb**.

**1993** wird in Japan von **Shuji Nakamura** die **erste** hell strahlende, kommerziell erfolgreiche **blaue LED** entwickelt. Das stellt die Lösung für ein seit Jahren bestehendes Problem dar: effizient erzeugtes Licht im kurzwelligen blauen und UV-Bereich. Er entwickelte auch die **effiziente grüne LED** (Indiumgalliumnitrid). **1997** kommt die **erste weiße LED** auf den Markt.

Bereits **1988** war dies einer **Forschungsgruppe um Isamu Akasaki** in Japan mit anderem Ansatz ebenfalls gelungen. Und so verwundert es nicht, dass **Isamu Akasaki, Hiroshi Amano und Shuji Nakamura 2014 den Nobelpreis für Physik** erhielten.

*Nobelpreis für Physik: der höchste Wissenschaftspreis wurde 2014 für „die Erfindung effizienter blauer Leuchtdioden, mit denen helle und energiesparende weiße Lichtquellen möglich wurden“ verliehen.*



**1987** haben **Ching W. Tang** und **Steven Van Slyke** die erste funktionierende **organische Leuchtdiode (OLED)** entwickelt. Sie besteht aus einem leuchtenden Dünnschichtbauelement aus organisch halbleitenden Materialien. **1996** wurde das **erste kommerzielle Display aus OLEDs** produziert, für die die OLED-Technologie besonders geeignet ist. Heute werden OLEDs beispielsweise für Handydisplays verwendet.

Mit OLEDs können auch transparente Beleuchtungsflächen geschaffen werden. Das Entwicklungspotential von LEDs und OLEDs ist noch nicht ausgeschöpft und ist heute Gegenstand vieler Forschungsarbeiten.

---

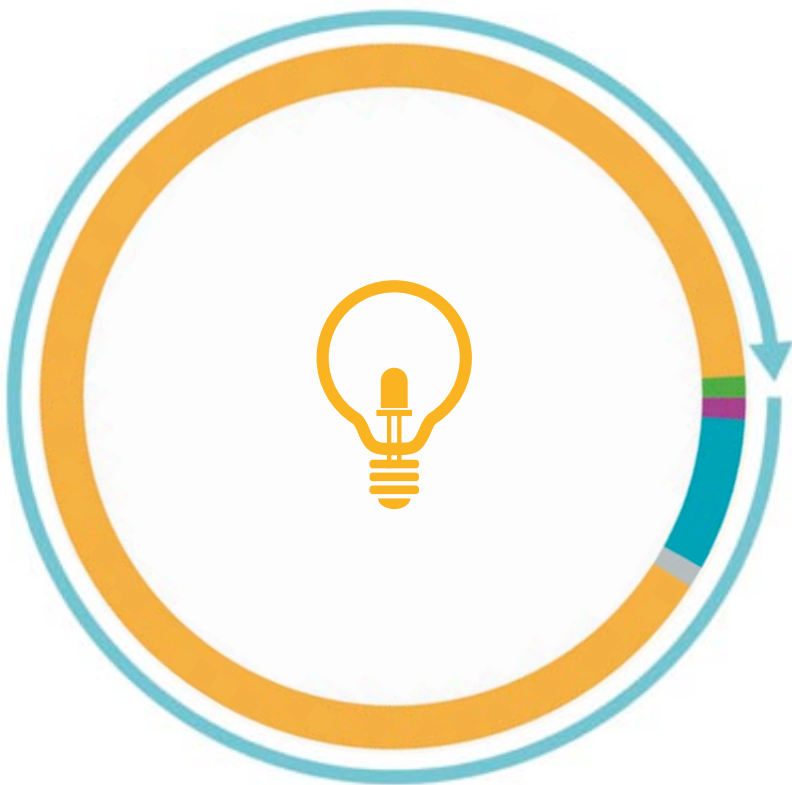
► *Abb. 11d–11e: LED-Retrofit-Lampe (links), Flexible OLED (rechts), Foto: tesa*



# 1.5 Die Ökobilanz der LED

Um zu bewerten, wie umweltverträglich eine Lampe ist, sollte der gesamte Lebenszyklus betrachtet werden. Bei der Umweltverträglichkeit wird neben dem Energieverbrauch unter anderem auch auf Auswirkungen auf Luft, Wasser und Ökosysteme geachtet.

In Bezug auf den Energieverbrauch zeigt die Abbildung die Verteilung des Energieverbrauchs einer Lampe auf Rohstoffgewinnung, Produktion, Transport, Anwendung und Recycling.



- Rohstoffgewinnung (1 %)
- Produktion (7 %)
- Transport (1 %)
- Anwendung (90 %)
- Recycling (1 %)

► Abb. 12: Energieverbrauch im Lebenszyklus einer LED, basierend auf [licht.de](http://licht.de)

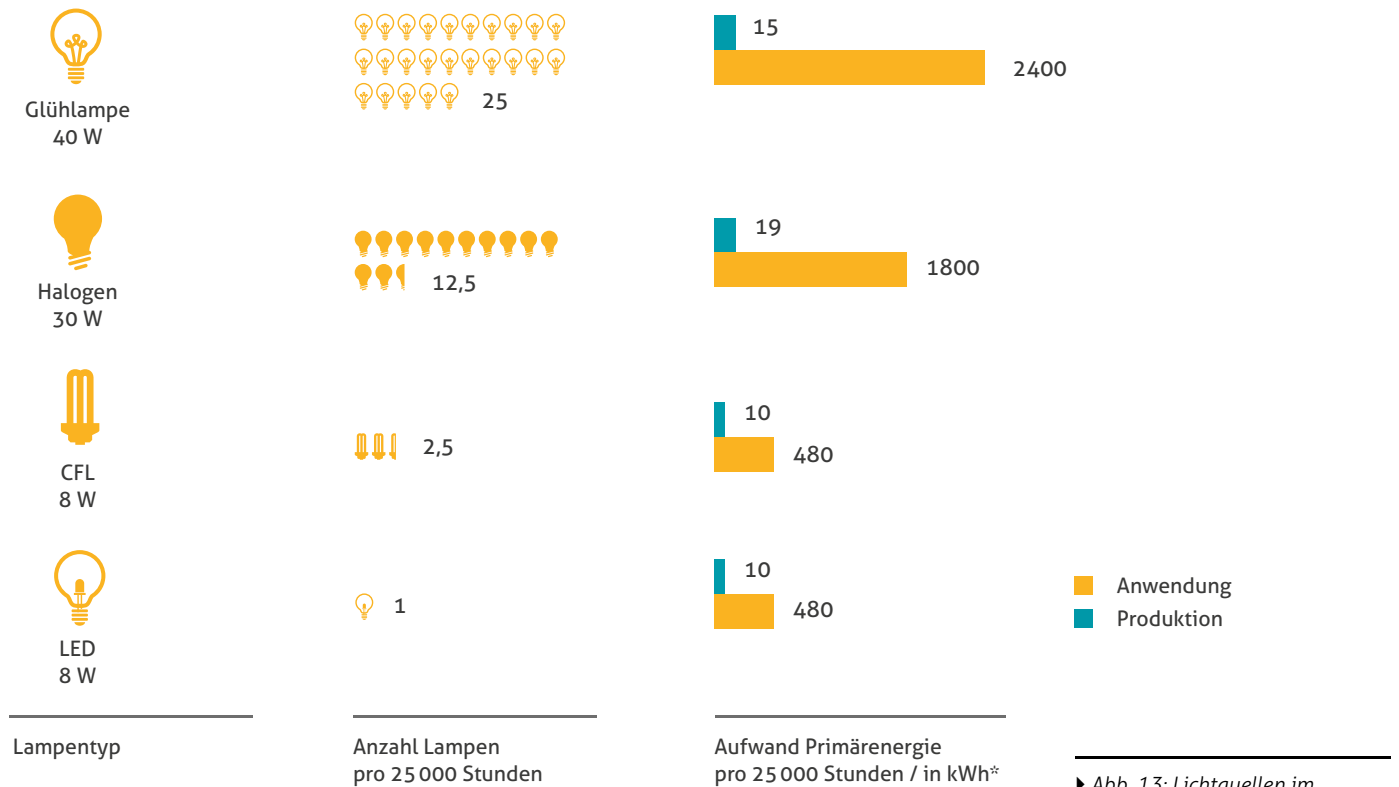
## Energieeinsparung durch LED-Lampen

Da mehr als 90 % des gesamten Energieverbrauchs einer Lampe auf den Betrieb entfallen, kann mit effizienten Leuchten viel Energie gespart werden.

Um beurteilen zu können, wieviel Energie bei der Nutzung durch LEDs eingespart werden kann, sollte die ganze LED-Lampe und nicht nur die LED-Komponenten betrachtet werden. Denn das Vorschaltgerät (elektronisches Betriebsgerät), das

Gehäuse und die Optik gehören zur LED-Lampe und sind mit Verlusten verbunden. Wird dieses mitberücksichtigt, erreichen die besten derzeit verfügbaren LED-Lampen eine Lichtausbeute von 90 lm/W. Damit liegt die Lichtausbeute über der von Glüh- und Halogenlampen, aber teilweise unter der von Leuchtstofflampen.

## Verschiedene Lampentypen im Vergleich



\* Primärenergiefaktor = Primärenergie/elektrische Energie = 2,4

► Abb. 13: Lichtquellen im Vergleich, , CFL = Kompaktleuchtstofflampe. basierend auf licht.de

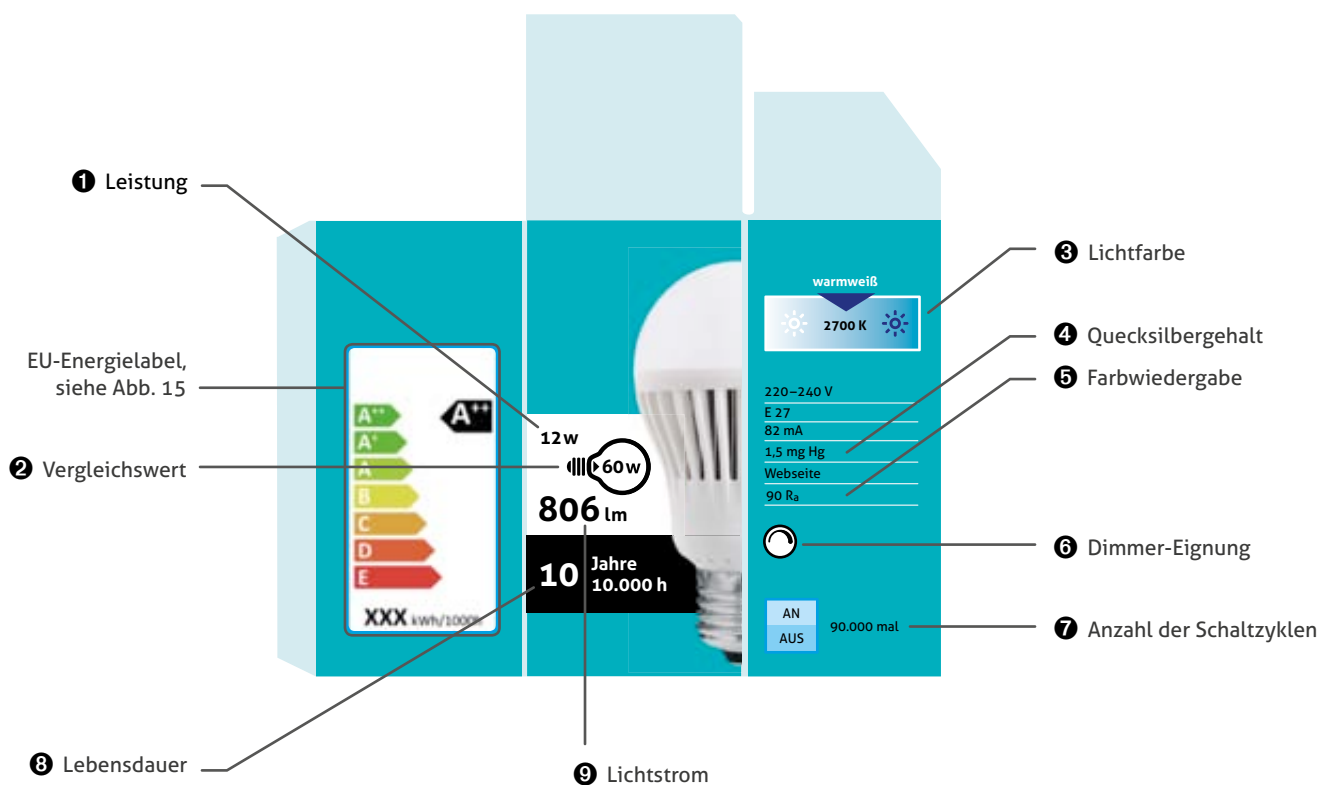
Kriterien	Glühlampe	Halogenlampe	Energiesparlampe	LED
Lichtstrom (lm)	700	700	880	806
Leistung (W)	60	46	15	9.5
Effizienz (lm/W)	11,7	15,2	58,7	84,9
Lebensdauer* (h)	1.000	2.000	15.000	25.000
Einzelkaufpreis (€)	0,99	2,49	6,99	4,99
Kaufpreis (€) pro 10 Jahre Nutzung	9,90	12,45	4,66	2,00
Energiekosten* (€) pro 10 Jahren	150	115	37,50	23,75
Gesamtkosten (€) pro 10 Jahren	159,90	127,45	42,16	25,75

\* Angaben beziehen sich auf 2 Stunden 45 Minuten Nutzung pro Tag. Daten: TU Darmstadt

## Informationen beim Lampenkauf

Lampen unterscheiden sich stark in Helligkeit, Lichtfarbe, Energieverbrauch und anderen technischen Eigenschaften. Seit März 2014 gibt es die EU-Verordnung, dass Lampen und Leuchtmittel gekennzeichnet sein müssen und Informationen

zu ihrer Qualität und Umweltfreundlichkeit deutlich auf der Verpackung ersichtlich sind. Folgende Informationen sind auf einer Lampenverpackung zu finden:



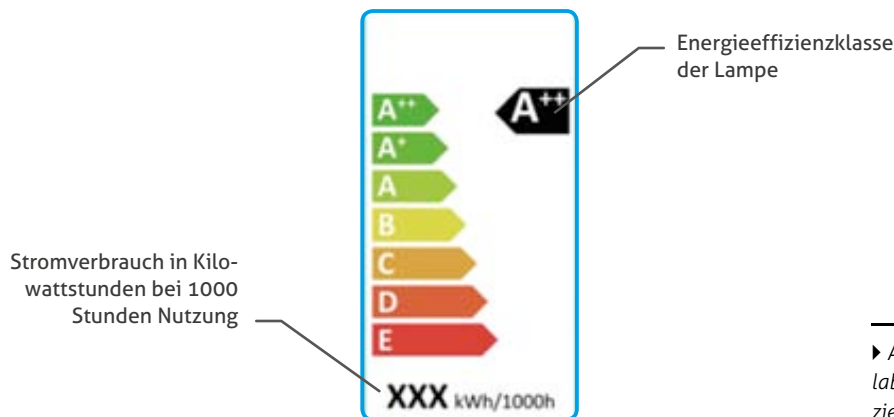
► Abb. 14: Lampenverpackung

- 1** Die elektrische Leistung der LED-Lampe wird in Watt (W) angegeben. **2** Bei LED- und Energiesparlampen wird zum Vergleich die Leistung einer Glühlampe mit vergleichbarem Lichtstrom in einem Glühlampen-Icon angegeben. **3** Die Farbtemperatur wird in Kelvin (K) angegeben. Je niedriger der Wert, desto wärmer die Lichtfarbe. Oft wird auf der Lampenverpackung einer LED-Lampe zusätzlich informiert, ob es sich um eine warmweiße oder kaltweiße LED-Lampe handelt. **4** Der Hg-Wert gibt den Quecksilbergehalt der Lampe in mg an. **5** Die Farbwiedergabe ( $R_a$ ) gibt an, wie gut Farben von beleuchteten Objekten wiedergegeben werden. **6** Mit diesem Symbol wird angegeben, ob die Lampe dimmbar ist. Das Symbol ist durchgestrichen, wenn die Lampe nicht dimmbar ist. **7** Die Schaltzyklen geben an, wie oft die Lampe an- und ausgeschaltet werden kann ohne Schaden zu nehmen. **8** Lebensdauer in Stunden oder in Jahren bei einem durchschnittlichen Betrieb von 3 Stunden pro Tag. **9** Der Lichtstrom der Lampe wird in Lumen (lm) angegeben. Je höher der Wert, desto mehr Licht wird von der Lampe ausgesendet.

## Das EU-Energielabel

Seit dem 1. März 2014 dürfen Leuchten und Lampen im Einzelhandel nur noch mit dem neuem EU-Energielabel verkauft werden. Lampen und LED-Module mit einem Lichtstrom von weniger als 30 Lumen und Lampen, die für den Batteriebetrieb vermarktet werden, müssen nicht gekennzeichnet werden. Das EU-Energielabel soll beim Kauf der richtigen Lampe helfen,

denn auf diesem ist die Effizienz der Leuchte oder Lampe für die Verbraucherinnen und Verbraucher auf einem Blick erkennbar. Aufgrund ihrer hohen Energieeffizienz können Lampen wie LEDs die Klassen A+ und A++ erhalten. Halogenlampen bekommen Klasse B bis C und Glühlampen erreichen bestenfalls die Klasse D.



► Abb. 15: Das EU-Energielabel, © Initiative Energieeffizienz/dena

## Produktion - Entsorgung - Recycling

Für die Produktion der LED-Halbleiterchips werden seltene Rohstoffe wie Indium und Gallium verwendet. Die Metalle sind nur schwach oder in hohen Konzentrationen giftig. Auch Arsen und Phosphide werden benötigt und sind giftig.

Indium und Gallium finden vor allem in der Dünnschichttechnologie Anwendung, zum Beispiel für Flachbildschirme oder Solarzellen. Sie kommen in geringen Mengen in der Erdkruste vor und werden meist als Nebenprodukte bei der Erzverhüttung anderer Metalle wie Aluminium oder Kupfer gewonnen.

Aufgrund der zunehmenden Produktion und Nachfrage wird langfristig mit steigenden Preisen beider Rohstoffe gerechnet. Prognosen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe gehen davon aus, dass sich im Jahr 2030 der globale Rohstoffbedarf für Indium und Gallium im Vergleich zu 2006 verdreifachen bzw. vervierfachen wird. Daher wird das Recycling dieser Rohstoffe ebenfalls an Bedeutung gewinnen. Aufgrund der in den LEDs verbauten Elektronikbauteile müssen sie als Elektronikschrott entsorgt werden. Komponenten wie Kühlkörper und Elektronik werden recycelt, wohingegen es kaum Erfahrungen mit dem Recyceln der LED-Lampen selbst gibt. Die Rückgewinnung der seltenen Metalle scheint nicht

wirtschaftlich. Dies könnte sich bei steigenden Preisen für diese Metalle jedoch ändern.

Als Alternative bzw. Ergänzung zu den LEDs könnte die organische LED (OLED) langfristig eine nachhaltige und entlastende Wirkung haben. Dazu muss allerdings noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden, um die OLED auf den Markt zu bringen.

*Durch die Verhüttung werden (in einer Hütte) Metalle aus den Erzen geschmolzen und für die kommerzielle Verwertung aufbereitet. Der Erzabbau und die anschließende Verhüttung bedeuten oft einen massiven Eingriff in die Natur und belasten die Umwelt und die Gesundheit des Menschen.*

*Ein verantwortungsvoller Umgang mit Beleuchtung bedeutet daher nicht nur die Verwendung von effizienten Lampen, sondern auch sie sparsam einzusetzen.*

## 1.6 Die Vielfalt der LED-Lampen

LED-Lampen gibt es in vielen verschiedenen Formen und Designs. Eine LED-Lampe ist eine Halbleiterlichtquelle mit einem standardisierten Sockel. Dieser besteht aus der LED-Lichtquelle, elektronischen Bauteilen und einem Kühlkörper. Aufgrund der Vorteile (z.B. Energieeffizienz, Langlebigkeit)

und der schnellen Technologieentwicklung werden immer mehr herkömmliche Lampen durch LED-Lampen ersetzt. LEDs, welche ohne Umbauarbeiten in die alten Leuchtsysteme eingebaut werden können, also „rückwirkend passen“, werden auch „Retrofit-LEDs“ genannt.



► Abb. 16: Retrofit-LED-Lampe

Der Glas- oder Kunststoffkolben **1** schützt das LED-Modul vor Staub und wird häufig eingesetzt, um das Licht zu streuen. Das LED-Modul **2** sitzt unter dem Glaskolben auf dem Kühlkörper. In ihm ist die gesamte Elektronik mit den LEDs zu finden. Der Kühlkörper **3** sorgt dafür, dass sich die LED-Lampe nicht überhitzt, denn auch LED-Lampen erzeugen Wärme. Steigt ihre Betriebstemperatur, werden sie weniger effizient, ihr Wirkungsgrad sinkt. Da LEDs bei niedrigen Temperaturen besonders effizient sind, werden sie in Supermärkten gerne in den Kühlabteilungen eingesetzt. Im Sockel **4** ist teilweise die Elektronik mit untergebracht. Er stellt den mechanischen und elektrischen Kontakt einer Fassung zum Stromnetz her. Oft wurden die Sockelformen von Glühlampentypen bei neuen LED-Lampentypen übernommen. So können Glühlampen leicht durch LED-Lampen ausgetauscht werden. Der Fußkontakt **5** stellt den zweiten Kontakt zum Stromnetz her. Mit dem richtigen Vorschaltgerät lassen sich LEDs einfach dimmen. Der Wirkungsgrad und die Lebensdauer können durch korrektes Dimmen sogar verbessert werden.

LED-Lampen mit einem E14 oder E27 Sockel



LED-Spots



LED-Bänder



Niedrigleistungs-LEDs in unterschiedlichen Farben

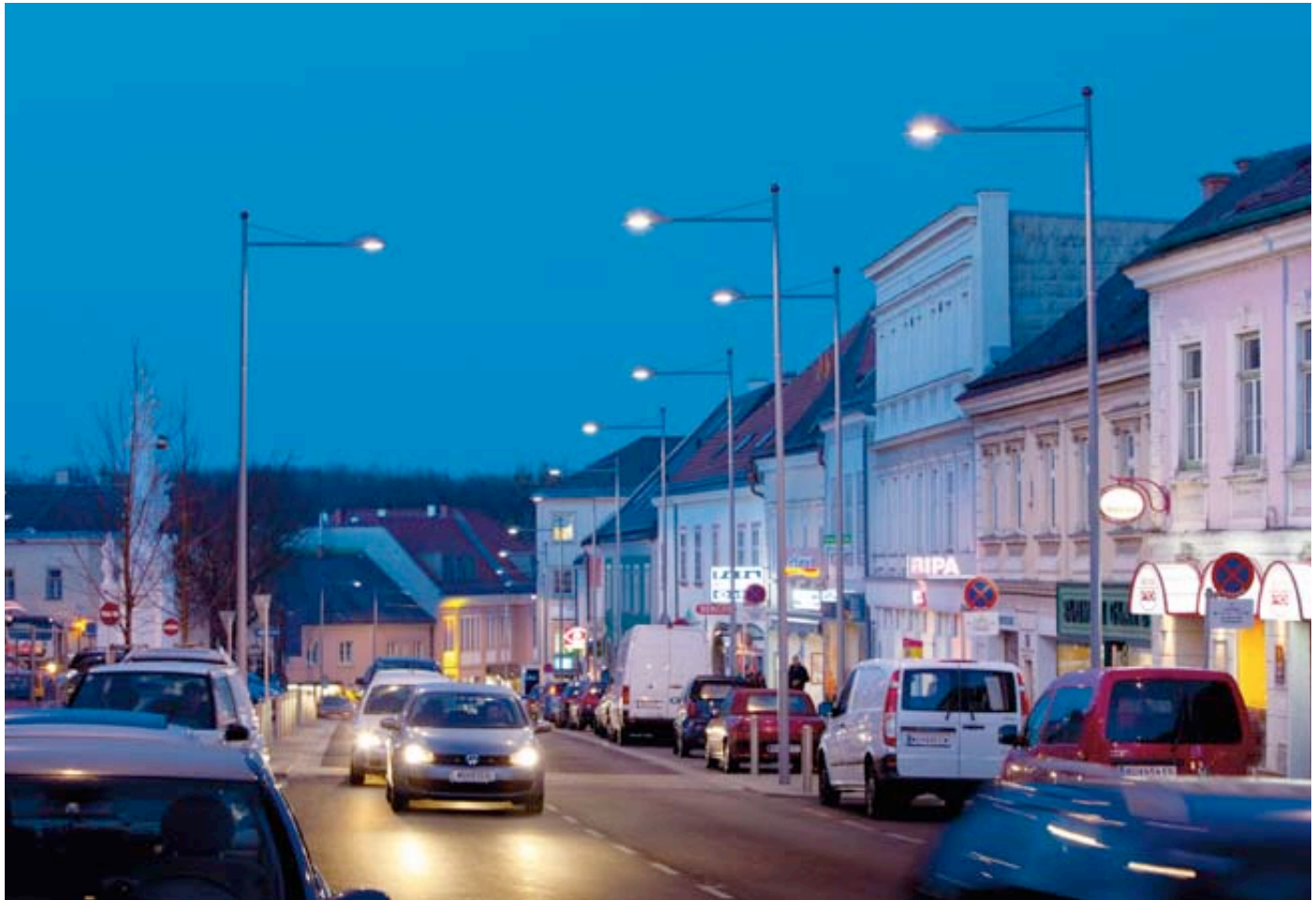
LED-Röhren



## 1.7 Die Vielfalt der LED-Beleuchtung

Die Einsatzmöglichkeiten von LEDs sind vielfältig. LEDs beleuchten Räume, werden in Anzeigen von Betriebszuständen und Messwerten verwendet, als Leuchtmittel in Taschenlampen und Taschenbeamern, im Theater und bei Konzerten als Bühnen-

scheinwerfer. Sie setzen Objekte in Museen und Galerien, aber auch Architektur ins richtige Licht, sie dienen als Straßenbeleuchtung, Ampeln und werden in Autos für die Innenbeleuchtung, die Front- sowie Heckbeleuchtung genutzt.



► Abb. 17–21: Einsatz von LEDs, z.B. in der städtischen Beleuchtung, Leuchttafeln, Taschenlampen, im Klassenzimmer (Quelle: Stadtverwaltung Trier, GWT) oder im Vergnügungspark.









2

## Auswirkungen des Lichts auf den Menschen

---

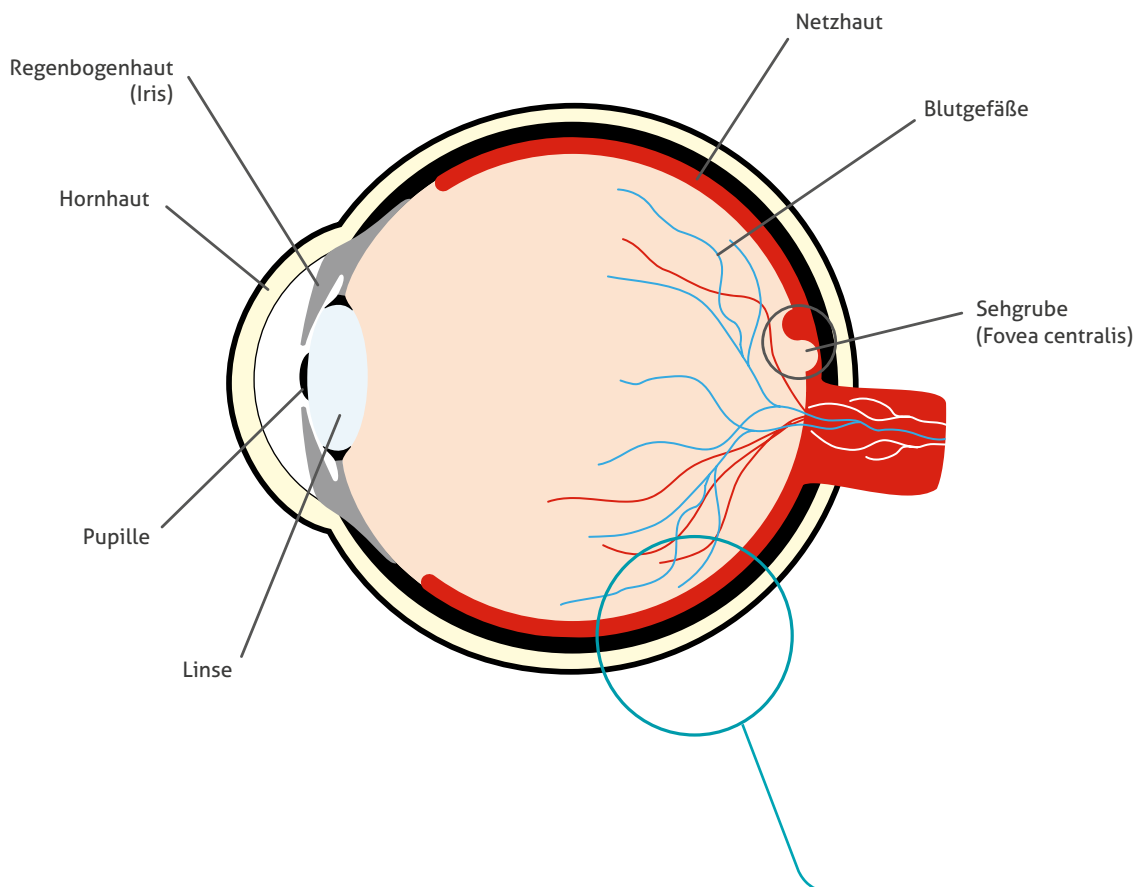
## 2.1 Licht und biologische Vorgänge

Licht ermöglicht dem Menschen, dass er sehen kann. Etwa 80 % aller Informationen werden vom Sinnesorgan Auge aufgenommen. Das Licht gelangt durch Hornhaut, Linse und Glaskörper auf die Netzhaut. Das Licht wird hier von als Fotorezeptoren spezialisierten Sinneszellen wahrgenommen. Die Sinneszellen sind die sogenannten Zapfen und Stäbchen. Durch sie wird der Lichtreiz über den Sehnerv ans Gehirn weitergeleitet und als Sinneseindruck verarbeitet.

Erst 2002 wurden in der Netzhaut des Auges Fotorezeptoren nachgewiesen, bei dem es nicht ums Sehen geht. Diese speziellen Ganglienzellen sind sehr lichtempfindlich und haben eine direkte Verbindung zum Gehirn, zum sogenannten suprachiasmatischen Nucleus (SCN) des Hypothalamus. Der SCN ist

eine zentrale Schaltstelle zwischen Lichtreiz und körperlicher Reaktion darauf und sitzt hinter der Nasenwurzel. Hier werden die vielen Uhren im Körper präzise miteinander synchronisiert. Vom SCN werden Botenstoffe gesendet, die körpereigene Rhythmen takten und den Stoffwechsel an die Tageszeiten anpassen. Enzyme werden aktiviert oder gehemmt, Hormone produziert oder blockiert.

In den nicht-visuellen Fotorezeptoren ist das lichtempfindliche Protein Melanopsin enthalten. Das ist ein Farbpigment, das bei Fröschen beispielsweise dafür verantwortlich ist, dass sie ihre Hautfarbe der Umgebung anpassen können.



Die melanopsinhaltenen Ganglienzellen sind auf der gesamten Netzhaut verteilt, reagieren aber besonders sensibel im unteren und nasalen Bereich. Das Protein Melanopsin reagiert besonders empfindlich auf blaues Licht und verhindert, dass das Hormon Melatonin ausgeschüttet wird. Melatonin sorgt beim Menschen für Müdigkeit. Somit unterstützt das Sonnenlicht den genetisch festgelegten Tag-Nacht-Rhythmus, indem es die Produktion dieses Hormons hemmt. Mit Sonnenuntergang wird die Produktion des Hormons gestartet und bereitet den Körper auf den Schlaf vor.

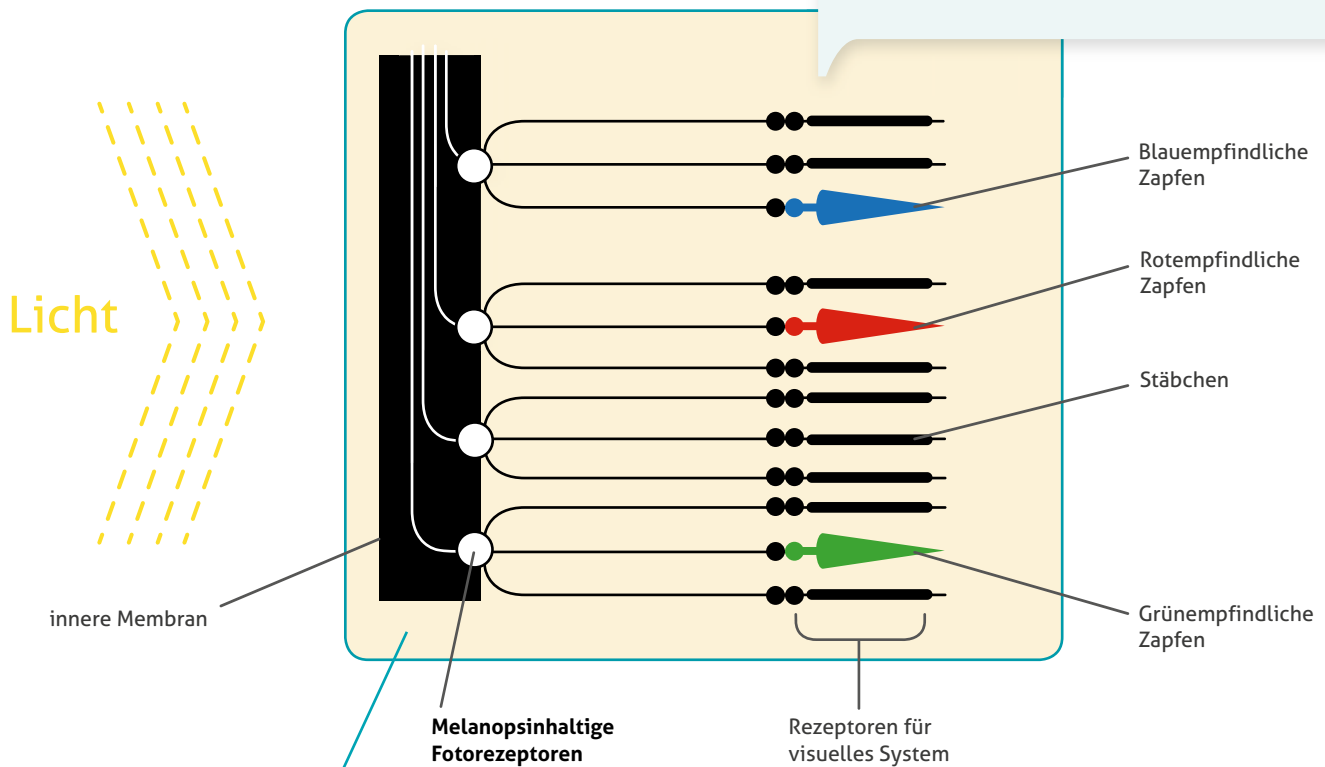
Bei künstlichem Licht abends und in der Nacht kann dem Körper bzw. den melanopsinhaltenen Ganglienzellen signalisiert werden, dass noch Tag ist und damit die Produktion von Melatonin unterdrückt werden. Das beeinflusst dann den Tag-

und Nacht-Rhythmus. Damit werden aber auch andere wichtige physiologische Prozesse beeinflusst.

Licht steuert also biologische Vorgänge und beeinflusst damit die innere Uhr (den sogenannten circadianen Rhythmus), die Leistungsfähigkeit und die Hormonproduktion .

*Die Zapfen sind nur bei ausreichender Helligkeit aktiv und für das farbliche Sehen verantwortlich. Sie befinden sich vor allem in der Sehgrube (Fovea centralis = Netzhautbereich für scharfes Sehen).*

*Die Stäbchen hingegen sind lichtempfindlicher und ermöglichen das Sehen in der Dämmerung. Mit den Stäbchen können die Helligkeitsunterschiede wahrgenommen werden, aber nicht die farblichen.*



► Abb. 22 : Darstellung der Rezeptoren auf der Netzhaut des menschlichen Auges, basierend auf [licht.de](http://licht.de)

## Die innere Uhr – der circadiane Rhythmus

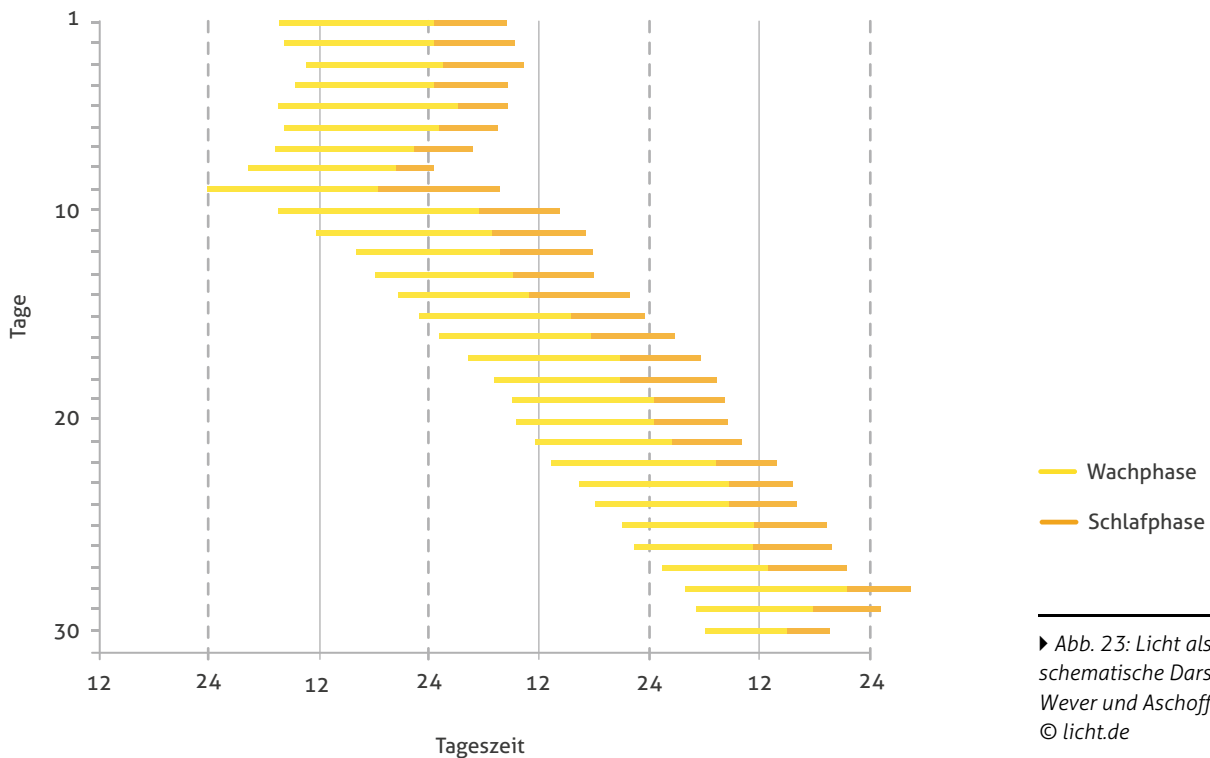
Da Licht den Stoffwechsel und den Hormonhaushalt im Körper des Menschen beeinflusst, taktet es die „innere Uhr“ und damit den Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen. Der Schlaf-Wach-Rhythmus orientiert sich an Tag und Nacht und wird auch circadianer Rhythmus genannt. Der genetisch veranlagte Rhythmus

liegt durchschnittlich bei etwas über 24 Stunden. Bei einigen sind es etwas mehr und bei anderen weniger Stunden. Die Unterschiede werden in sogenannten Chronotypen beschrieben, die „Lerche“ und die „Eule“.

Chronotyp	Lerche	Eule
Tag-Nacht-Rhythmus	23 Stunden	25 bis 26 Stunden
morgens	hellwach, auch am Wochenende	langames Wachwerden, „sozialer Jetlag“
ausgeprägte Chronotypen	anfälliger für organische Erkrankungen und höherer Konsum von Nikotin und Alkohol	

Licht ist ein Zeitgeber der inneren Uhr und kann diese beeinflussen. Von allen Zeitgebern hat Licht die stärkste Wirkung. Bei fehlendem Licht kann der Rhythmus aus dem Gleichgewicht geraten und die genetisch vorgegebene Periodenlänge stellt

sich ein. Das bedeutet, dass sich der Schlaf-Wach-Rhythmus gegenüber dem äußeren Tag verschiebt. Bei dem Chronotyp „Eule“ mit einem vorgegebenen Rhythmus von 25 Stunden sähe das etwa wie folgt aus:



► Abb. 23: Licht als Zeitgeber, schematische Darstellung nach Wever und Aschoff 1972, © licht.de

## Die Botenstoffe der inneren Uhr

Die Hormone Melatonin, Cortisol und Serotonin sind wichtige Botenstoffe für die innere Uhr des Menschen. Während vor allem Melatonin und Cortisol den circadianen Rhythmus bestimmen, da sie entgegengesetzt wirken, hat Serotonin einen positiven Einfluss auf die Stimmung.

### Melatonin

wird ab dem Abend produziert. Melatonin entschleunigt und macht müde. Stoffwechselfvorgänge werden zurückgefahren und die Körpertemperatur sinkt. Wachstumshormone werden ausgeschüttet und Zellen repariert. Der Melatoninspiegel ist um 3 Uhr nachts am höchsten. In der Hypophyse (Hirnanhangdrüse) wird die Produktion von Melatonin mit dem ersten Morgenlicht unterdrückt.

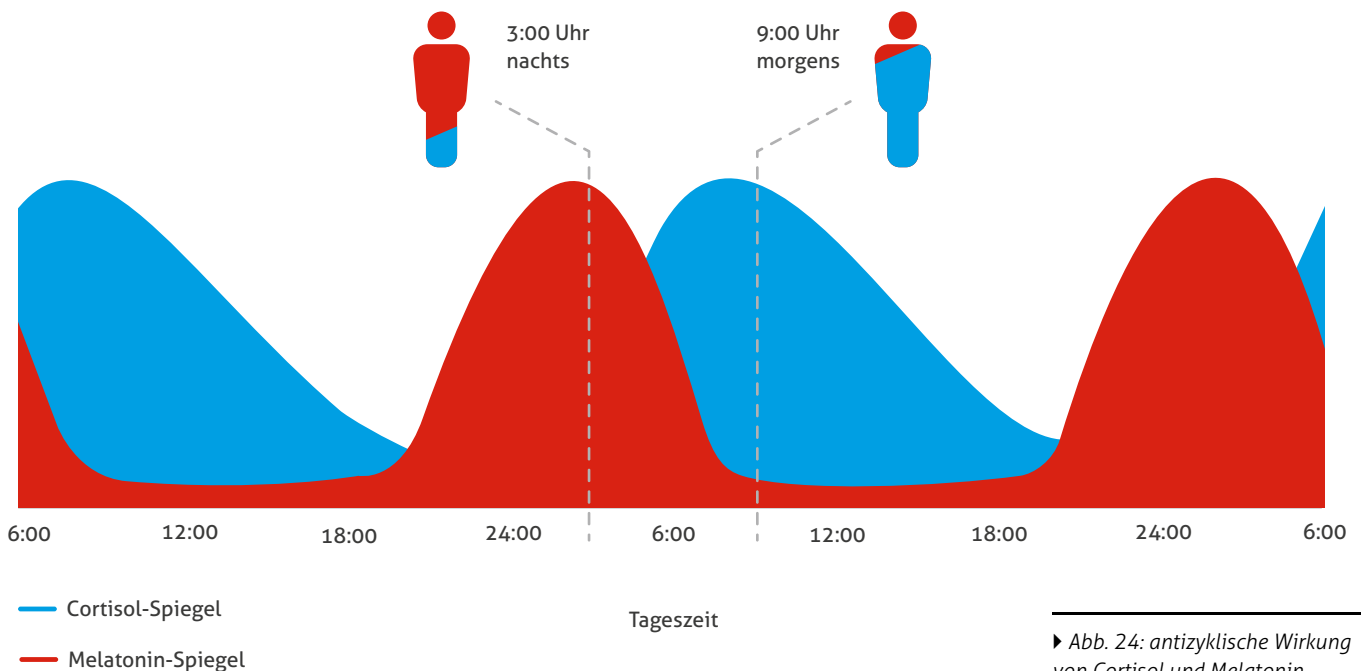
### Cortisol

wird ab 3 Uhr morgens in der Hirnnebenrinde produziert und ist ein Stresshormon. Es regt den Stoffwechsel an und stimmt den Körper auf den Tag ein. Es ist um 9 Uhr morgens im Blut am konzentriertesten und verhält sich antizyklisch zum Melatoninspiegel.

### Serotonin

wirkt stimmungsaufhellend und motivierend. Es wird mit dem ersten Morgenlicht durch die Hypophyse ausgeschüttet. Es verschafft mehrere Stimmungshochs am Tag.

*Wenn der Mensch am Tag wenig Licht bekommt, wird nachts auch weniger Melatonin ausgeschüttet. Das kann dazu führen, dass der Mensch schlechter schläft und sich am nächsten Tag müde und antriebslos fühlt. Während der dunklen Wintermonate, kann sich dieser Prozess verstärken. Das hormonelle Gleichgewicht kann durcheinander geraten, was zu einer saisonal abhängigen Depression (SAD) führen kann.*

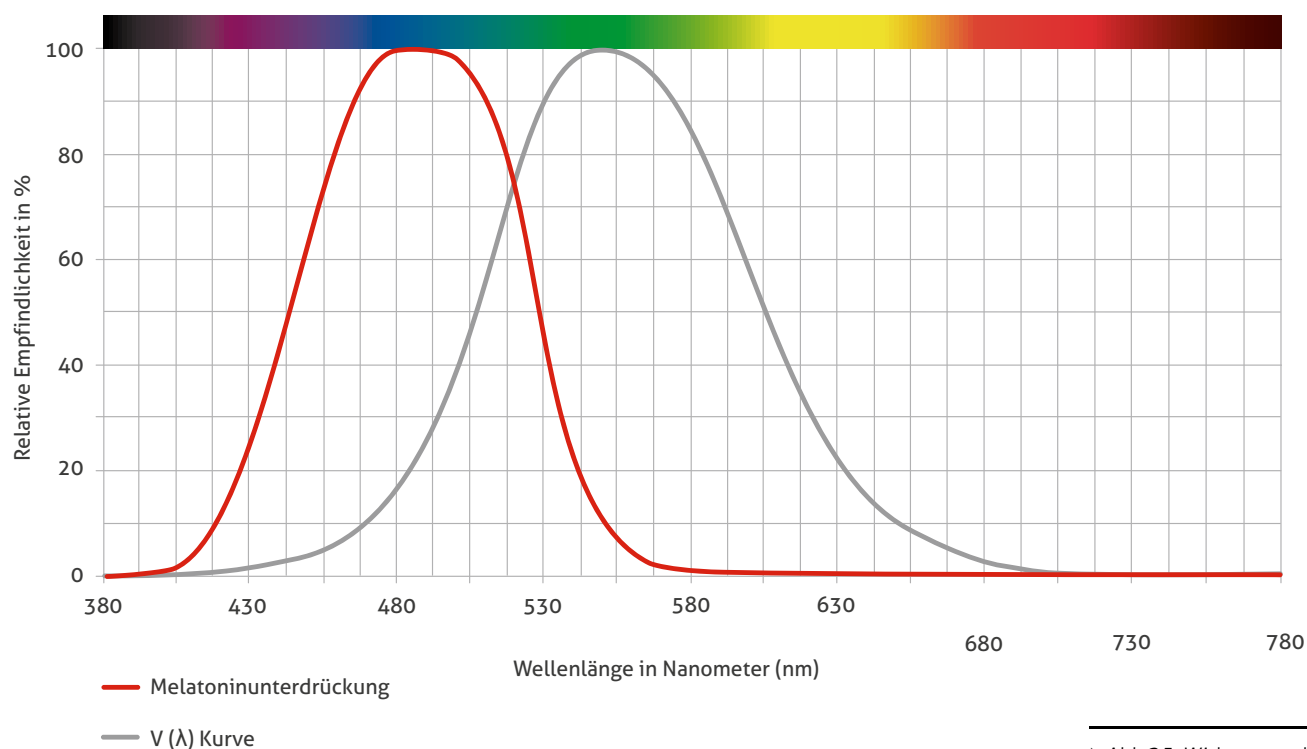


► Abb. 24: antizyklische Wirkung von Cortisol und Melatonin, basierend auf [licht.de](http://licht.de)

## Spektrale Hellempfindlichkeit und Melatoninunterdrückung

Strahlung im sichtbaren Bereich wird vom menschlichen Auge je nach Wellenlänge nicht gleichermaßen hell empfunden. Beispielsweise ist die Empfindlichkeit im gelb-grünen Farbbereich höher als im blauen und roten. Dies wird durch die Hellempfindlichkeitskurve ( $V(\lambda)$ -Kurve in grau) beschrieben. Diese Kurve steckt als Filter in fast jedem lichttechnischen Messgerät. Nur so kann erst eine lichttechnische Größe wie die Beleuchtungsstärke in Lux bestimmt werden. Ohne den Filter würde die Bestrahlungsstärke in  $W/m^2$  gemessen werden, welche beispielsweise für Solarmodule eine große Rolle spielt.

Die nicht-visuelle Wirkung von Licht auf den Menschen ist ebenfalls nicht zu unterschätzen. Kurzwelliges Licht hat abhängig vom Zeitpunkt der Wahrnehmung folgende Wirkungen: Unterdrückung der Melatoninausschüttung, schnellerer Herzschlag, Verstärkung und Verschiebung des Tag-Nacht-Rhythmus (circadianer Rhythmus). Außerdem gibt es auch Wirkungen, die innerhalb von wenigen Sekunden ablaufen. Dazu zählt der Pupillenreflex oder die Veränderung der Hirnaktivität. Folgende Abbildung zeigt das Wirkungsspektrum für die Unterdrückung von Melatonin in der Nacht sowie die Hellempfindlichkeitskurve:

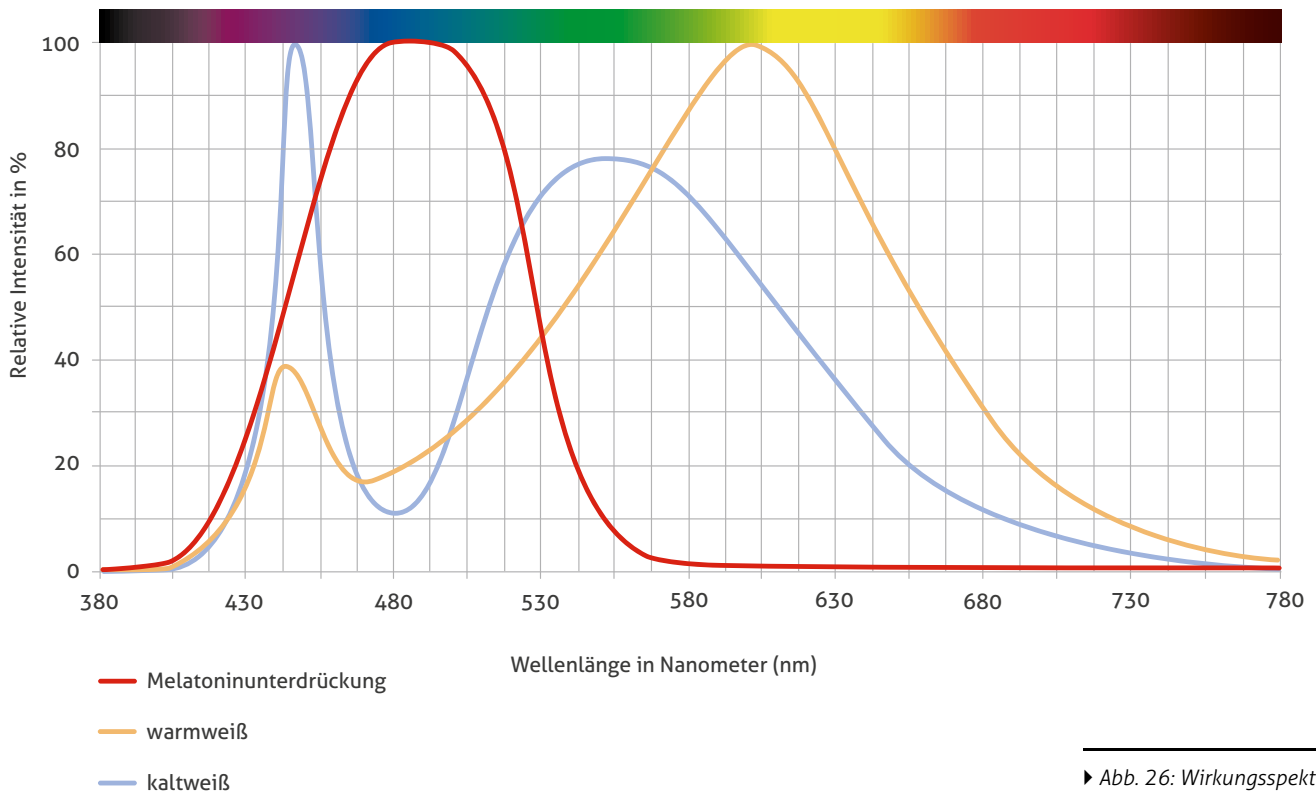


► Abb 25: Wirkungsspektrum für Unterdrückung von Melatonin in der Nacht I, Daten basierend auf Lucas et al. und der Hellempfindlichkeit  $V(\lambda)$ , Daten basierend auf Commission Internationale de l'Eclairage Proceedings, 1924

## Melatoninunterdrückung bei verschiedener Beleuchtung

Die Empfindlichkeit der melanopsinhalten Fotorezeptoren in den Augen bzw. die Unterdrückung von Melatonin ist im blauen Farbspektrum am höchsten. Dies ist auch der Grund dafür, dass kaltweißes Licht mit hohen Blauanteilen abends wieder wach machen kann. Zum Beispiel kann Zähneputzen abends

im kaltweißen Badezimmerlicht wieder munter machen. Warmweißes Licht hingegen hat höhere Rotanteile und unterdrückt die Melatoninproduktion am Abend nicht, lässt uns also müde werden. Dies wird in folgendem Diagramm verdeutlicht.



► Abb. 26: Wirkungsspektrum für Unterdrückung von Melatonin in der Nacht II, LED-Spektren basierend auf Daten der TU Darmstadt

## 2.2 Beleuchtung mit nicht-visueller Wirkung

Das Tageslicht und die Dunkelheit in der Nacht verlieren an Bedeutung, weil viele Menschen sich tagsüber und nachts in Innenräumen aufhalten. Das künstliche Licht wird dann wichtiger. Im Klassenraum, im Büro oder Zuhause ist die Intensität der Beleuchtung meist deutlich geringer als bei natürlichem Tageslicht. Selbst an bewölkten Tagen sind im Freien zwischen 10.000 und 20.000 lx, in Innenräumen sind hingegen oft nur 300 bis 500 lx zu messen.

Ob und wie die Beleuchtung auf den Menschen eine nicht-visuelle Wirkung hat, wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Die Einflussfaktoren beim Menschen sind das Alter, der Gesundheitszustand und die Chronotypen. Bei der Lichtquelle wird die Wirkung von der Beleuchtungsstärke (lx), Flächigkeit, Lichtrichtung, Farbtemperatur (Kelvin) und der Dynamik des Lichts im Tages- und Jahreszeitenverlauf beeinflusst.

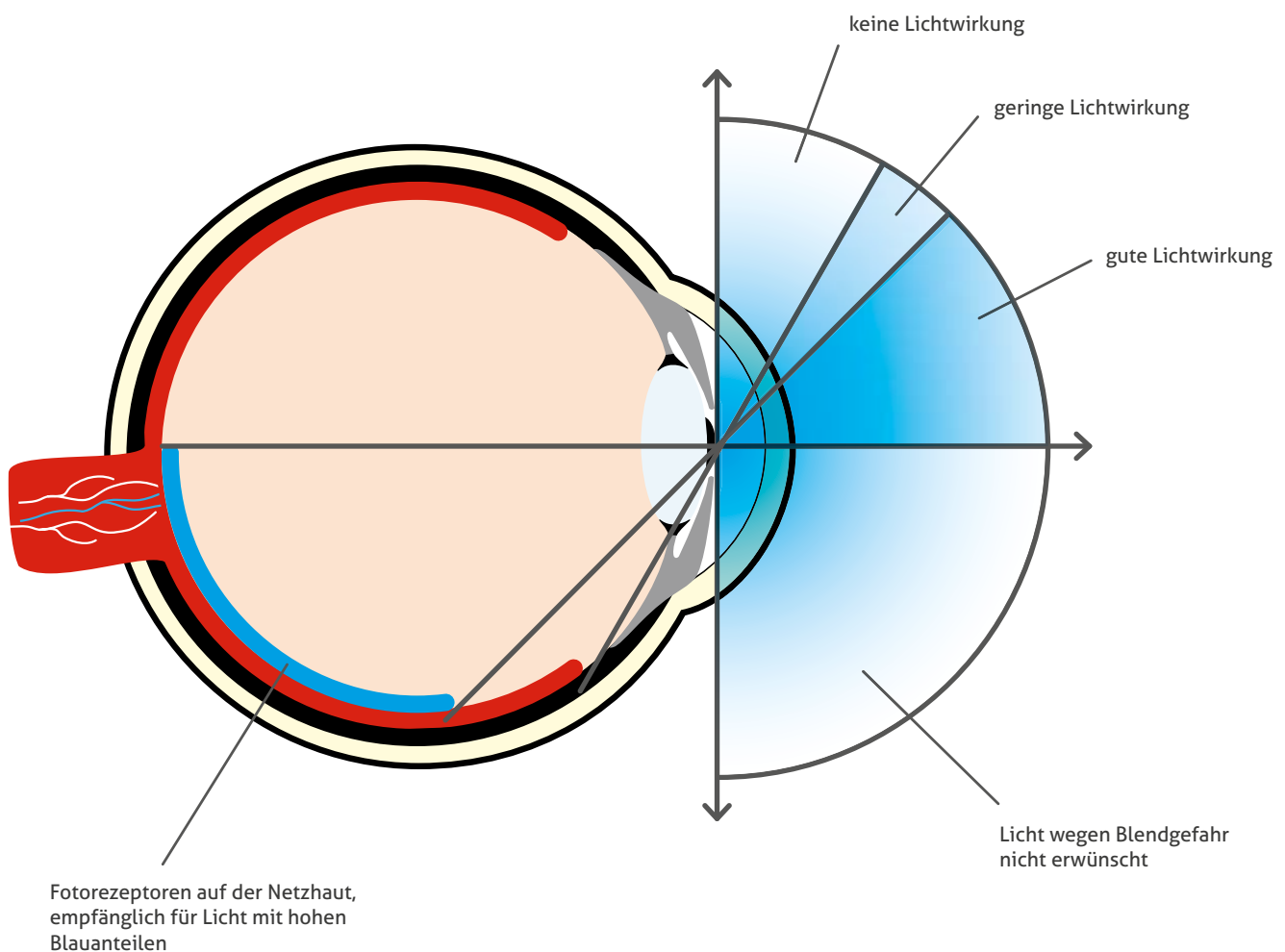
*Die nicht-visuelle Wirkung von Licht kann auch melanopische Lichtwirkung genannt werden. Das bezieht sich darauf, dass sie über spezielle Fotorezeptoren übertragen wird, die das Molekül Melanopsin tragen und sehr lichtempfindlich sind. → Kapitel 2.1 Licht und biologische Vorgänge*



## Aktiver und konzentrierter durch Licht

Tageslichtähnliches Licht mit hohen Blauanteilen in Kombination mit einer hohen Beleuchtungsstärke wirkt besonders aktivierend und konzentrationsfördernd. Dies liegt an der spektralen Empfindlichkeit der melanopsinhaltenen Fotorezeptoren im menschlichen Auge. → *Kapitel 2.1 Licht und biologische Vorgänge*

Diese Fotorezeptoren befinden sich vermehrt im hinteren und unteren Bereich des Auges. Deshalb können sie das von oben kommende Sonnenlicht besonders gut aufnehmen. Wenn eine biologische Wirkung des Lichts erwünscht ist, sollte die Beleuchtung nach diesem Vorbild installiert sein. Dabei bewirken großflächige Leuchten und variierende Blauanteile eine circadiane Wirkung.



► Abb. 27: Ansprache Fotorezeptoren, basierend auf [licht.de](http://licht.de)

Es ist möglich, das künstliche Licht mit nicht-visueller Wirkung gezielt einzusetzen, sodass es den Tag-Nacht-Rhythmus unterstützt, wenn der Mensch nicht genügend Tageslicht bekommt. Bei diesem so genannten „dynamischen Licht“ steigen die Beleuchtungsstärke und die Blauanteile im Licht bis mittags kontinuierlich an; nachmittags bis abends nehmen sie dann wieder ab. Für eine kurzfristige Aktivierung und eine Förderung der Konzentration, können „Lichtduschen“ angewendet werden. Bei dieser Variante wird die Beleuchtungsstärke nur temporär hochgefahren. Dies ist sehr energieeffizient.

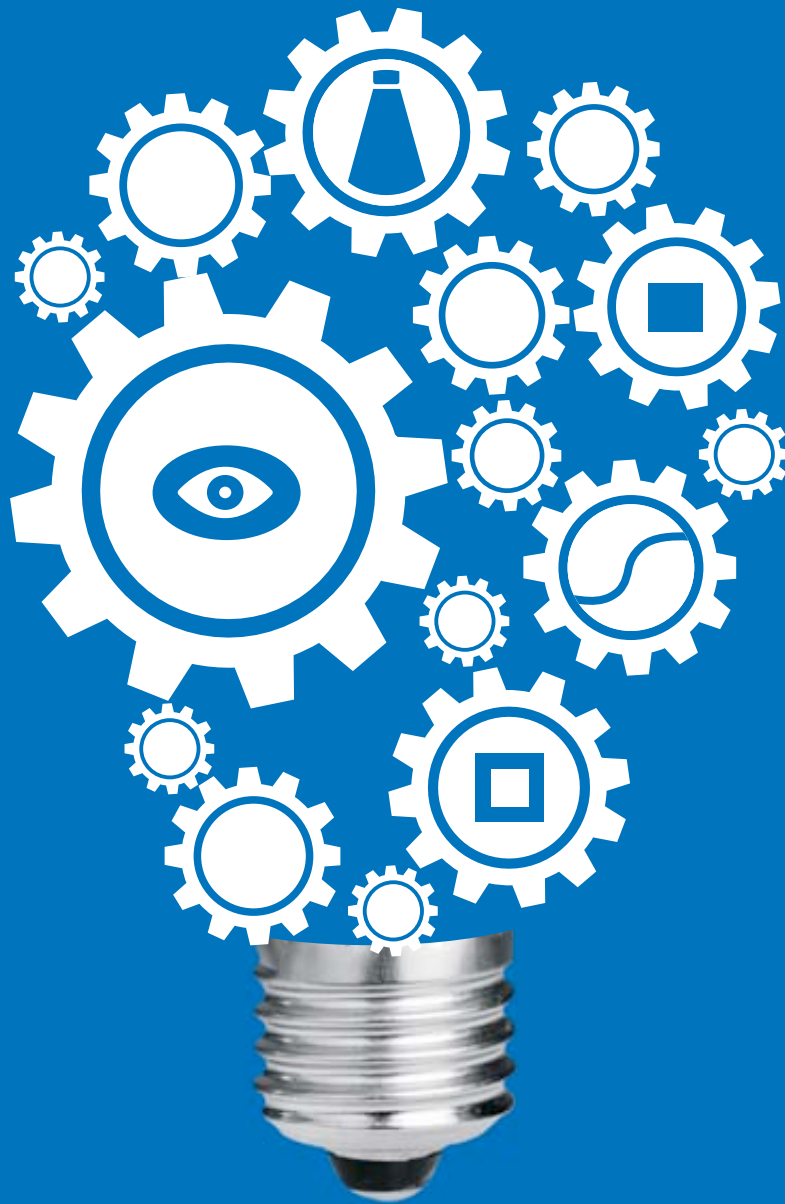
Eine aktivierende Beleuchtung sollte aber nur tagsüber angewendet werden, damit der circadiane Rhythmus nicht gestört wird. Deshalb sollten abends warmweißes Licht (unter 3.300 Kelvin) und niedrige Beleuchtungsstärken eingesetzt werden. Damit die melanopsinhaltenen Fotorezeptoren wenig stimuliert werden und die Melatoninausschüttung nicht unterdrückt wird, sollte das Licht nicht von oben ins Auge fallen, sondern gerichtet auf das zu sehende Objekt sein.



*Lichtfarben mit hohen Blauanteilen können eine aktivierende Wirkung auf den Menschen haben.*

► Abb. 28a – c:  
Badezimmer mit unterschiedlichen Lichtstimmungen.  
© licht.de





3

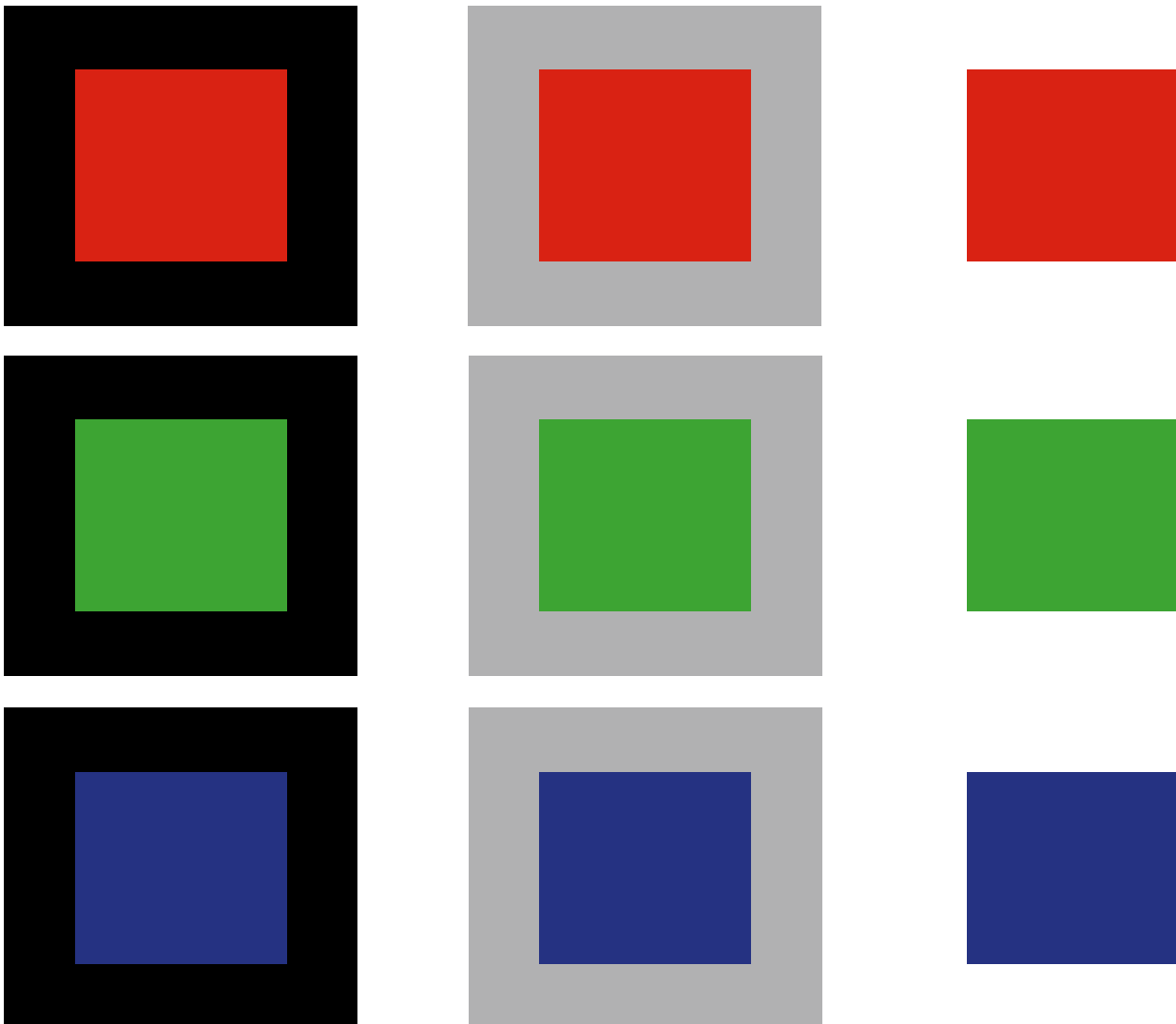
Wahrnehmung

---

# 3.1 Die visuelle Wahrnehmung

Die visuelle Wahrnehmung des Menschen wird vom Licht beeinflusst. Je nach Lichtfarbe und -stärke wirken Farben und die Schatten von Gegenständen und Oberflächen unterschiedlich. Auch die Umgebung bzw. der Hintergrund der Farben

haben einen Einfluss auf die Farbwahrnehmung. Folgende Abbildung zeigt, dass Farben auf schwarzem bzw. grauem Hintergrund heller wirken: Dieser Effekt wird Induktion oder Simultankontrast genannt.



► Abb. 29: Simultankontrast

Der Farbreiz von Gegenständen ist eine Kombination aus den Reflexionseigenschaften des Gegenstandes und der Lichtquelle. Auch der Schattenwurf von Gegenständen ist wichtig, damit wir Räumlichkeit wahrnehmen können.

Um eine Relation zwischen der menschlichen Farbwahrnehmung und dem physikalischen Ursachen des Farbreizes herzustellen, wurde von der internationalen Beleuchtungskommission das CIE-Normfarbsystem definiert. CIE steht für Commission

Internationale de l'Éclairage (= Internationale Beleuchtungskommission). Das CIE-Normfarbsystem bezieht sich auf die Farbwiedergabe der Lichtquellen. Dabei sind acht ungesättigte Farben und unter speziellen Umständen weitere sechs Farben mit relativ hoher Buntheit herangezogen worden.

Es gibt drei Farbattribute: Helligkeit, Farbton und Sättigung (Intensität der Farbe).



► Abb. 30a + 30b: Objekte unter warmweißer Beleuchtung (2.700 Kelvin) Foto: TU Darmstadt (oben), Objekte unter kaltweißer Beleuchtung (6.500 Kelvin) Foto: TU Darmstadt (unten)

## 3.2 LED-Beleuchtung und Kunst

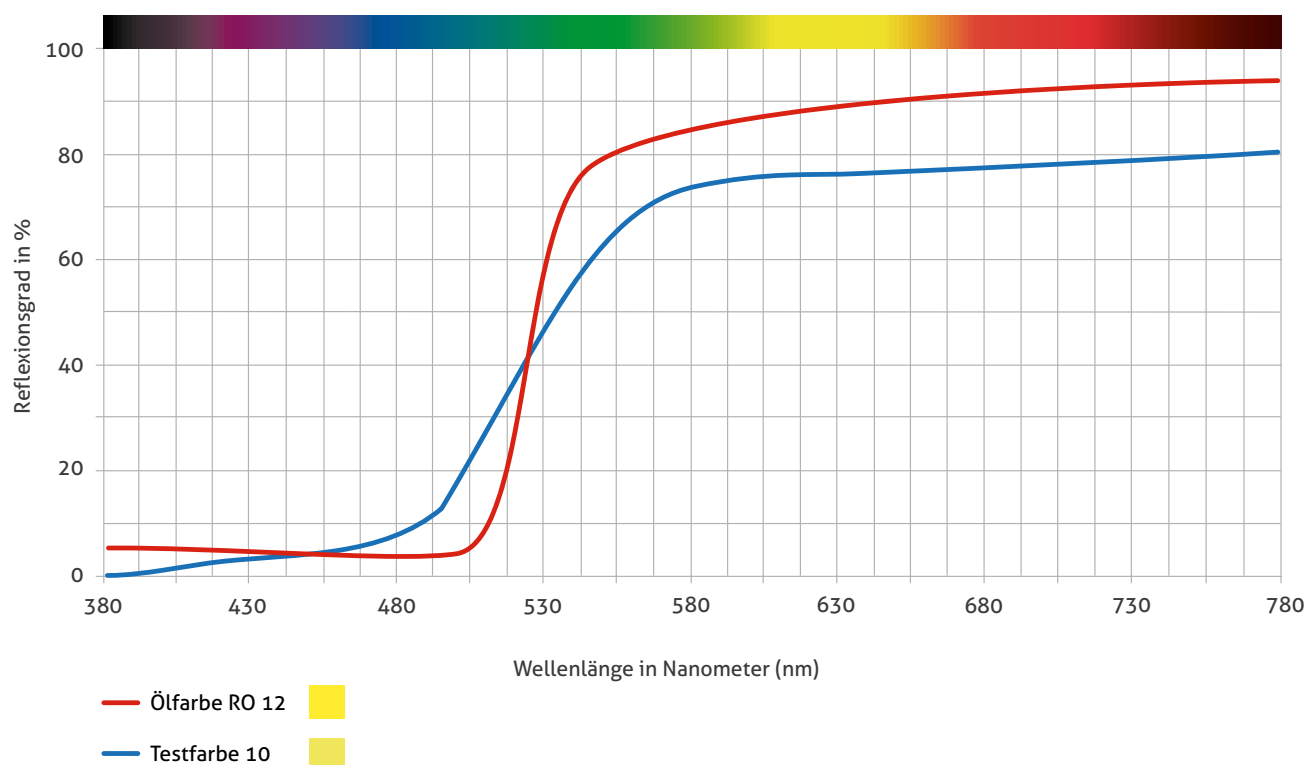
### Farbwahrnehmung in der Kunst

Oberflächenfarben wie zum Beispiel Öl- oder Aquarellfarben haben unterschiedliche Reflexionsspektren, was Auswirkungen auf die Farbwahrnehmung hat. Es gibt Untersuchungen, die zeigen, dass sich der spektrale Verlauf der Ölfarben und Aquarellfarben von den 14 CIE-Farben unterscheidet. Der Farbwiedergabe-Index ( $R_a$ ) von Ölfarben ist unterschiedlich. Das bedeutet, dass zwei Proben (Ölfarbe und CIE-Testfarbe) mit demselben Farbton unter Tageslicht oder unter einer anderen Beleuchtung verschiedene Farbtöne aufweisen können.

Dieser Unterschied kann sichtbar werden, wenn eine Lampe mit einer guten Farbwiedergabe von  $R_a$  80 auf ein Ölbild

gerichtet wird. Der Farbwiedergabe-Index für Ölfarben kann dann unter Umständen nur noch einen Wert von  $R_a$  68 betragen.

Die originalgetreue Wiedergabe der Farben von Kunstwerken hängt auch davon ab, unter welcher einer Beleuchtung der Künstler oder die Künstlerin das Bild gemalt hat. Gemälde von alten Meistern wie Michelangelo oder Rubens entstanden in der Zeit vor 1880 ohne künstliches Licht. Das heißt, die Künstler malten entweder bei Tageslicht oder bei Licht von Kerzen oder Öllampen mit einer Farbtemperatur von 2.000 bis 2.500 Kelvin.



► Abb. 31: Reflexionsspektren von gelber Ölfarbe und Testfarbe (Daten basierend auf TU Darmstadt)



## Beleuchtung in Museen

Die Beleuchtung beeinflusst die Farb- und Lichtwahrnehmung, die Wahrnehmung von Formen, Farbkontrasten und Texturen von ausgestellten Kunstwerken in Museen.

Oft sind die Wände in einem Museum nicht weiß, sondern farbig gestaltet. Die optische Strahlung der Leuchten wird durch die farbigen Wände mehrfach interreflektiert und farblich geändert. Die an den Gemälden auftreffenden Lichtspektren sind verändert und entsprechen nicht den Lichtverhältnissen, unter denen das Kunstwerk entstanden ist.

► Abb. 32: Ausstellungsraum mit farbiger Wand, © licht.de



## LED-Beleuchtung schont die Kunst

Kunstgegenstände wie beispielsweise Ölbilder, alte Papiere und Stoffe unterliegen aufgrund materialtechnischer Gründe einem Alterungsprozess. Der Alterungsprozess wird durch Temperatur, Feuchtigkeit, Gase und auch durch Licht bedingt. Da LEDs weder ultraviolette (UV) noch infrarote (IR) Strahlung abgeben, schonen sie die Kunstgegenstände. Allerdings gibt es bestimmte Farbpigmente, die bei Licht mit hohen Blauanteilen schneller altern. In diesem Fall sollte eine warmweiße LED-Beleuchtung genutzt werden.

► Abb. 33: Ausstellungsraum, © licht.de



## LED-Beleuchtung in der Sixtinischen Kapelle

Vor über 500 Jahren malte Michelangelo in der Sixtinischen Kapelle in Rom seine weltberühmten Fresken. Über Jahrhunderte konnten die Malereien nur bei Tageslicht oder Kerzenschein betrachtet werden. Wegen der Rußentwicklung wurden Kerzen dann verboten. Zwischen 1980 und 2014 wurde die Malerei mit Halogenstrahlern beleuchtet. Da die UV-Strahlung der Halogen-Beleuchtung mit seiner kurzwelligen Strahlung zerstörerisch auf die Malerei wirkt, waren die Halogenstrahler außen angebracht und strahlten durch die Fenster. An den zwölf Fenstern waren halbtransparente Kunststoffverkleidungen angebracht, um das Tages- und Kunstlicht zu reduzieren und Schäden zu vermeiden. Allerdings lag dadurch die Malerei meistens im Halbdunkeln.

Seit 2014 wird die Malerei Michelangelos nun von Leuchtdioden (LEDs) beleuchtet. Das Spektrum der LEDs enthält kaum UV- und IR-Strahlung, deshalb sind sie direkt in der Kapelle angebracht. Sie befinden sich auf einem schmalen Sims in zehn Metern Höhe und das Licht kommt aus derselben Richtung wie das Tageslicht durch die Fenster. Jeweils 20 Leuchten sind rechts und links vom Kirchenschiff angebracht. Bei Veranstaltungen können 30 zusätzliche auf dem Sims versteckte LED-Spots ausgefahren werden. Alle Leuchten sind so angebracht, dass sie für die Besucherinnen und Besucher unsichtbar sind und nicht blenden.

Diese durchdachte Beleuchtung erschließt die Farbvielfalt der Malerei. Die Beleuchtung unterstützt die gesättigten Farben der Fresken. Dafür wurden zuvor aufwendige Messungen durchgeführt. Zunächst wurde an 280 Punkten die Farbpigmentierung auf den Renaissancegemälden untersucht und das reflektierte Lichtspektrum bestimmt. Basierend auf den Ergebnissen wurden die spezialangefertigten LED-Leuchten eingestellt. Die vier Farbkanäle rot, grün, blau und warmweiß (unter 3.300 Kelvin) der Leuchten können so gesteuert werden, dass die Malerei so präsentiert wird, wie sie vermutlich Michelangelo vor 500 Jahren gesehen hat. Solch eine Feineinstellung ist derzeit nur mit LED-Technik möglich.

Obwohl die neue LED-Beleuchtung eine vielfach höhere Beleuchtungsstärke ermöglicht, wird wenig Wärme entwickelt. Außerdem verbraucht sie im Normalbetrieb etwa 60 % weniger Strom als die Halogen-Strahler zuvor.

## LED-Beleuchtung im Lenbachhaus

Ein Jahr zuvor, 2013, eröffnete das Lenbachhaus in München mit einem ausgefeilten Beleuchtungskonzept neu. Da Licht zu den zentralen Themen eines Museums zählt, wurde bei der Planung viel Wert auf Tages- und Kunstlicht gelegt. Dabei sollte das Kunstlicht die ausgestellten Kunstwerke möglichst natürlich beleuchten, konservatorische Anforderungen erfüllen und durch den Einsatz von variablen Lichtfarben neue Gestaltungsmöglichkeiten eröffnen. Die räumlichen Bedingungen im Museum sind sehr unterschiedlich. Wenn die Ausstellungsräume durch Fenster oder Lichtsheds natürliches Tageslicht bekommen, sollten sie auch durch Kunstlicht in annähernd gleicher Weise auszuleuchten sein. Räume ohne Fenster sollten in einer dem Tageslicht entsprechenden Qualität beleuchtet werden. Im Lenbachhaus sind erstmals in einem Museum alle ausstellungsrelevanten Bereiche mit derselben Lichtqualität ausleuchtbar. Jeder einzelne Raum kann lichttechnisch angesteuert und eingestellt werden.



► Abb. 34 a+b: Ausstellungsraum im Lenbachhaus vor (oben) und nach (unten) der Neueröffnung im Mai 2013, Fotos: städt. Galerie im Lenbachhaus



---

► Abb. 35 a:  
Blau und Rotes Pferd von Franz  
Marc mit schlechter Farbwieder-  
gabe, Foto: städt. Galerie im  
Lenbachhaus



---

► Abb. 35 b:  
Blau und Rotes Pferd von Franz  
Marc mit guter Farbwiedergabe,  
Foto: städt. Galerie im Lenbach-  
haus

## 3.3 Licht im Supermarkt

Die Beleuchtung im Supermarkt spielt eine wesentliche Rolle bei der Präsentation von Waren. Insbesondere Lichtfarbe und Farbwiedergabe sind dabei entscheidend. Durch den richtigen Einsatz von Licht können Obst, Gemüse und Fleisch frischer erscheinen. Zudem hat Licht Einfluss auf das Wohlbefinden der Kundschaft und kann die Kauflust steigern. Im Supermarkt hat Licht mehrere Aufgaben in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Emotionen und Orientierung der Kundschaft. Lichtwerbung außen und Schaufensterbeleuchtung bindet Aufmerksamkeit auf den Supermarkt:

✓ Eine räumliche Orientierung kann durch die Gliederung des Raums, Wegführung und Wahrnehmungshierarchien des Lichts geschaffen werden.

✓ Eine gezielte Präsentation und Inszenierung der Produkte machen auf diese aufmerksam.

✓ Funktionale Arbeitsbedingungen für die Beschäftigten im Supermarkt müssen durch eine angemessene Beleuchtung gegeben sein.

✓ Die Corporate Identity von Unternehmen und Läden kann durch „Corporate Light“-Konzepte unterstützt werden.

In Supermärkten macht die Beleuchtung einen Anteil von 25 bis 40 % des Stromverbrauchs aus. In anderen Branchen wie beispielsweise im Textilhandel, Möbelhandel oder in Baumärkten ist der Anteil sogar noch höher und liegt bei mehr als 50 %. Daher lohnt sich eine energieeffiziente LED-Beleuchtung sehr.



► Abb. 36: Gemüse-, Käse- und Obsttheken im Supermarkt

## Lebensmittel ins richtige Licht gerückt

Licht kann die Frische und natürlichen Eigenschaften von Lebensmitteln hervorheben. Die Lichtfarbe und Farbwiedergabe ist dabei entscheidend. Kontraste lassen Waren attraktiver erscheinen. Die Frische der Produkte soll unterstrichen werden, aber nicht unecht sein.



Obst und Gemüse brauchen eine warmweiße Lichtfarbe (unter 3.300 Kelvin) und eine sehr gute Farbwiedergabe ( $R_a > 80$ ).



Während gelblicher Käse in warmweißem Licht (unter 3.300 Kelvin) lecker aussieht, braucht weißer Käse eine kalte Lichtfarbe.



Frischer Fisch auf einem glitzernden Eisbett oder mit weißem Fleisch braucht kaltweißes Licht (über 5.300 Kelvin). Roter Fisch hingegen wirkt im warmtonigen Licht appetitlicher.



Bei Fleisch und Wurst mit einem hohem Rotanteil sollte darauf geachtet werden, dass das Weiß des Fettanteils sichtbar bleibt.



Backwaren wirken in goldfarbenem Licht besonders frisch und knusprig. Sahnetorten hingegen kommen unter weißem Licht am besten zur Geltung.



Bei bunten Regalwaren ist eine hohe Farbwiedergabe wichtig.



Kühltruhen und Kühlregale brauchen abhängig von den Waren eine kalte Lichtfarbe.

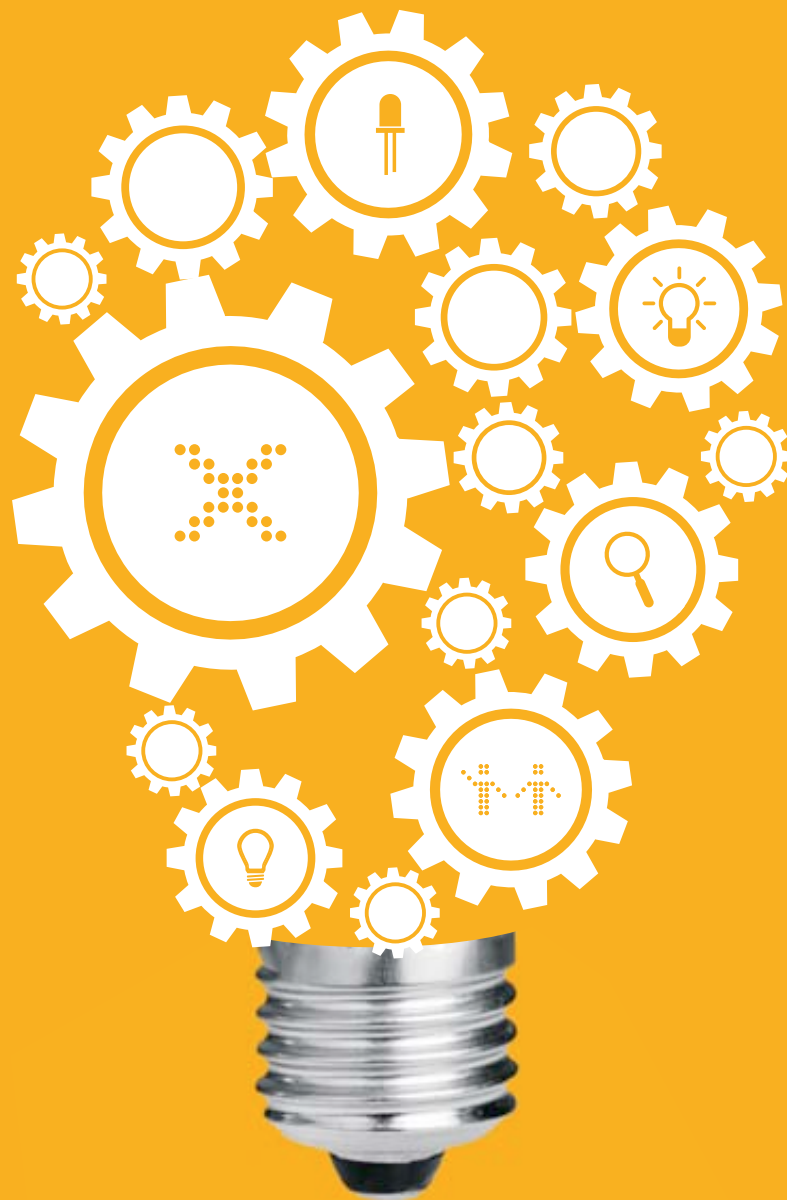
## LED-Umrüstung im Supermarkt

Bisher wurden in Supermärkten vor allem Halogen-Metall-dampflampen und Natriumdampf-Hochdrucklampen eingesetzt, in Theken und Vitrinen auch Leuchtstofflampen. Diese werden immer öfter von LED-Lampen ersetzt. Eine Lichtlösung mit LED-Beleuchtung kann den Energieverbrauch um 40 % verringern. Im Gegensatz zu bisher verwendeten Leuchtstofflampen werden LED-Lampen bei tiefen Temperaturen noch

effizienter. Das hat besonders beim Einsatz von LEDs im Tiefkühl- und Frischebereich wesentliche Vorteile.

Außerdem hat LED-Beleuchtung den Vorteil, dass sie im Gegensatz zu anderen Leuchtmitteln keine Infrarot- und ultraviolette Strahlung abgibt, was die Qualität der Waren beeinträchtigen könnte.





4

## LED-Umrüstung in der Schule

---

## Exemplarische Projektabläufe

Eine geplante LED-Umrüstung in der Schule kann Anlass für einen fächerübergreifenden Projekttag zum Thema LED sein. Zwei exemplarische Abläufe mit verschiedenen Schwerpunkten für die 8. Klasse werden hier vorgestellt. Sie helfen bei der Planung des Projekttages.

### Projektablauf 1 mit Schwerpunkt „LED-Grundlagen und Unterschiede zu anderen Leuchtmitteln“

Zeit	Ziele - Inhalte	Methoden / Unterrichtseinheiten
15 Min	Die Schüler und Schülerinnen (SuS) erfahren von der geplanten LED-Umrüstung und Fragen werden diskutiert.	Gelenktes Gespräch
30 Min	Die SuS setzen sich damit auseinander, wann welches Licht und welches Leuchtmittel am Tag eine Rolle spielt. Sie verstehen, dass es natürliche und künstliche Lichtquellen gibt und dass die Beleuchtung jahreszeitenabhängig ist.	→ UE <i>Licht im Alltag</i>
60 Min	Die SuS vergleichen Glühlampe, Energiesparlampe, LED. Sie lernen oder vertiefen die physikalischen Grundbegriffe Leistung und Energie, Licht und üben den Energieverbrauch verschiedener Leuchtmittel zu errechnen. Sie üben den Umgang mit Messgeräten und die Erfassung von physikalischen Größen. Sie erwerben Wissen über energieeffiziente Beleuchtung und können entsprechende Leuchtmittel benennen.	→ UE <i>Leuchtmittel im Vergleich</i>
45 Min	Die SuS erwerben Wissen zur Geschichte des elektrischen Lichts.	→ UE <i>Die Geschichte des künstlichen Lichts</i>
45 Min	Die SuS erarbeiten sich den Aufbau und die Funktionsweise einer LED. Sie eignen sich dabei grundlegendes Wissen über LEDs an, können einzelne Bestandteile der LED benennen und die Lichterzeugung der LED erläutern.	→ UE <i>Aufbau und Funktion einer LED</i>
40 Min	Die SuS informieren Mitschülerinnen und Mitschüler von der LED-Umrüstung durch eine Befragung.	→ UE <i>Umfrage</i>
90 Min	Die SuS bauen eine Taschenlampe mit LED. Sie verstehen einfache Schaltkreise und bauen einen gleichgerichteten Stromkreis mit einem Widerstand.	→ UE <i>Bau einer LED-Taschenlampe</i>
10 Min	Feedbackrunde	Gelenktes Gespräch

## Projektablauf 2 mit Schwerpunkt „Wahrnehmung“

Zeit	Ziele - Inhalte	Methoden / Unterrichtseinheiten
15 Min	Die Schüler und Schülerinnen (SuS) erfahren von der geplanten LED-Umrüstung und Fragen werden diskutiert.	Gelenktes Gespräch
30 Min	Die SuS setzen sich damit auseinander, wann welches Licht und welches Leuchtmittel am Tag eine Rolle spielt. Sie verstehen, dass es natürliche und künstliche Lichtquellen gibt und dass die Beleuchtung jahreszeitenabhängig ist..	→ UE <i>Licht im Alltag</i>
20 Min	Die SuS verstehen, wie LEDs funktionieren und wie Lichtfarben und weißes Licht entstehen. Additive Farbmischung im Fokus.	→ UE <i>LED-Band</i> → UE <i>Funktion und Aufbau einer LED</i> (nur Präsentation)
45 Min	Die SuS erarbeiten sich die konservatorischen Vorteile der LED-Beleuchtung sowie Unterschiede in Farbwahrnehmung durch unterschiedliche Beleuchtung am Beispiel der Sixtinischen Kapelle.	→ UE <i>Die LED-Beleuchtung von Kunstwerken</i>
30 Min	SuS erfahren und diskutieren die Wahrnehmung von Farben und Gegenständen bei unterschiedlicher Beleuchtung.	→ UE <i>Licht-Karton</i>
60 Min	Die SuS setzen sich damit auseinander, wie und aus welchen Gründen und mit welchem Ergebnis Licht im Supermarkt eingesetzt wird.	→ UE <i>Die Beleuchtung im Supermarkt</i>
60 Min	Die Schulklasse informiert die anderen SuS von der LED-Umrüstung an der Schule. Sie präsentieren ihre Ergebnisse aus dem Projekt anschaulich, sachlich und verständlich für andere, beispielsweise durch ein Plakat. Eine Kleingruppe baut einen unendlichen Spiegel. Alle Plakate und der unendliche Spiegel werden später an einem öffentlichen Ort der Schule ausgestellt.	→ UE <i>Plakat gestalten</i> → UE <i>Bastel-Tipps</i> (unendlicher Spiegel)
15 Min	Feedbackrunde	Gelenktes Gespräch

**Weiterführende Hinweise:** Praxisleitfaden – Umsetzung eines LED-Projektes an Ihrer Schule:

→ [http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Praxisleitfaden/Se\\_Leitfaden\\_B\\_LED.pdf](http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Praxisleitfaden/Se_Leitfaden_B_LED.pdf)









## Licht im Alltag

**Zeit:** 30 Minuten

**Ziele:** In einem Klassengespräch wird erschlossen, wann welches Licht und welches Leuchtmittel am Tag eine Rolle spielt. SuS verstehen, dass es natürliche und künstliche Lichtquellen gibt und dass die Beleuchtung jahreszeitenabhängig ist.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS werden nach einem „typischen“ Tagesablauf gefragt. Am Morgen angefangen kommen der Reihe nach alle SuS dran und jede Tätigkeit wird an der Tafel in Stichworten für alle sichtbar notiert. Jeweils dazu wird die genaue Lichtquelle bzw. das Leuchtmittel geschrieben, die bei der Tätigkeit eine Rolle spielen. Dabei ist es auch möglich, dass mehrere Leuchtmittel in einer Situation vorkommen, weil gleichzeitig unterschiedliche genutzt werden oder sich der Einsatz unter den SuS unterscheidet. Des Weiteren sollte zwischen künstlichem und natürlichem Licht unterschieden werden und der Zusammenhang zwischen den Jahreszeiten diskutiert werden. Da sich der Tagesablauf vieler SuS ähnelt, können auch nicht alltägliche Aktivitäten besprochen werden, wie z.B. Kino, Gartenparty, Besuch eines Fußballspiels, Shoppen. Mögliche Lichtquellen und Leuchtmittel: Tageslicht, Sonne, künstliches Licht, LED-Lampe, Glühlampe, Lichterkette, Halogenlampe, Taschenlampe, Kerze, Scheinwerfer, Leuchtreklame, Licht vom Computerbildschirm oder Handy-Display, Deckenlicht, Straßenleuchte u.a.

Anschließend kann mit den SuS erörtert werden, was sie von den Tätigkeiten noch tun könnten, wenn es kein künstliches Licht gäbe. Was wäre, wenn es sogar kein Tageslicht gäbe?

**Vorab:** keine

**Material:** Tafel oder Whiteboard

**Weiterführende Hinweise:** Die SuS suchen sich jeweils eine Situation aus ihrem persönlichen Tagesablauf aus, in der für sie die Beleuchtung eine große Rolle spielt. Sie zeichnen die Situation und verdeutlichen in der Zeichnung die Lichtquelle und die Art des Lichts.

## Aufbau und Funktion einer LED

**Zeit:** 45 Minuten

**Ziele:** Die SuS erarbeiten sich den Aufbau und die Funktionsweise einer LED. Sie eignen sich dabei grundlegendes Wissen über LEDs an, können einzelne Bestandteile der LED benennen und die Lichterzeugung der LED erläutern.

**Aktivitäten & Methoden:** Die LK verteilt das Arbeitsblatt an die SuS und lässt sie die Aufgabe 1 (die Beschreibung der Funktionsweise des LED-Chips) selbständig bearbeiten. Im Klassengespräch werden die Beschreibungen überprüft und ggf. korrigiert. Die LK hält die Ergebnisse als Tafelbild fest. Anschließend erläutert sie den Aufbau der LED anhand der Abbildung und lässt die SuS die Abbildung auf ihrem Arbeitsblatt beschriften. Nun erläutert die LK den Stromfluss und den Unterschied zwischen LEDs und Temperaturstrahlern. Die SuS halten die Erläuterungen auf dem Arbeitsblatt fest.



UE = Unterrichtseinheit

SuS = Schüler & Schülerinnen

LK = Lehrkraft

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 1 *Aufbau und Funktion einer LED* kopieren, Präsentation vorbereiten. Verwenden Sie dafür die Informationen aus → [Kapitel 1.1 Aufbau und Funktion einer LED](#)

**Material:** Laptop, Beamer, Arbeitsblatt Nr. 1 *Aufbau und Funktion einer LED*, Präsentation

**Weiterführende Hinweise:** Die Siemens-Stiftung hat ein interaktives Lehrmaterial zur LED entwickelt, das unter folgendem Link abrufbar ist: <https://medienportal.siemens-stiftung.org/portal/main.php?todo=showObjData&objID=103725>

## LED-Band

**Zeit:** 10 Minuten

**Ziele:** Die SuS verstehen, wie additive Farbmischung bei LEDs funktioniert.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS stellen sich in zwei Reihen gegenüber voneinander auf. Sie nehmen das LED-Band in die Hand, so dass alle einen kleinen Abschnitt des LED-Bandes halten und genau beobachten können. Zunächst werden die Farben Rot, Grün und Blau einzeln nacheinander mit der Fernbedienung angeschaltet und die SuS werden darauf hingewiesen, dass dabei unterschiedlich farbige LEDs aktiv sind. Dies lässt sich bei naher Beobachtung des LED-Bandes leicht sehen. Dann wird das weiße Licht des LED-Bandes aktiviert und die SuS können bei genauer Betrachtung feststellen, dass nun alle drei LED-Farben leuchten und das Licht weiß ist. Anschließend kann noch auf weitere Sonderfunktionen des LED-Bandes verwiesen werden, wie die Möglichkeit zu dimmen oder verschiedene Effekte (Strobo, Überleuchten u.a.). Wenn das LED-Band gedimmt wird, ist häufig ein Flickereffekt wahrnehmbar.

**Vorab:** RGB LED-Band besorgen

**Material:** RGB LED-Band mit Fernbedienung

**Weiterführende Hinweise:** Das LED-Band kann später beim Bau eines unendlichen Spiegels weiterverwertet werden. → UE *Bastel-Tipps*

## Farbkreis

**Zeit:** 15 Minuten

**Ziele:** Die SuS verstehen, wie die additive Farbmischung funktioniert.

**Aktivitäten & Methoden:** Der Farbkreis veranschaulicht, wie additive Farbmischung funktioniert. Wenn die farbige Scheibe mit dem Stift schnell gedreht wird, kann Weiß wahrgenommen werden.

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 4 auf einen Karton kleben, den Farbkreis ausschneiden und auf einen Stift stecken. Oder das Arbeitsblatt für die SuS kopieren.



UE = Unterrichtseinheit

SuS = Schüler & Schülerinnen

LK = Lehrkraft

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 4 *Farbkreisel*, Schere, Stift, → [Kapitel 1.2 Farbige LEDs](#)

**Weiterführende Hinweise:** Um die Farbe Weiß zu sehen, muss der Kreisel sehr schnell gedreht werden. Alternativ kann auch ein Online-Video abgespielt werden; unter dem Suchwort "Farbkreisel" werden mehrere auf Youtube angeboten.

## Leuchtmittel im Vergleich

**Zeit:** 45–90 Minuten

**Ziele:** Die SuS vergleichen Glühlampe, Energiesparlampe und LED. Sie lernen oder vertiefen die physikalischen Grundbegriffe Leistung, Energie und Licht, und errechnen den Energieverbrauch verschiedener Leuchtmittel. Sie üben den Umgang mit Messgeräten und die Erfassung von physikalischen Größen. Sie erwerben Wissen über energieeffiziente Beleuchtung und können entsprechende Leuchtmittel benennen.

**Aktivitäten & Methoden:** Den SuS werden zum Einstieg verschiedene Leuchtmittel gezeigt: Energiesparlampe, LED-Lampe und Glühlampe. Die SuS schätzen ein, welche Leistung die jeweiligen Leuchtmittel haben und sortieren sie entsprechend. Danach wird in Kleingruppen an den Licht-Stationen mit einem Energieverbrauchgerät die Leistung der Leuchtmittel gemessen und diese mit ihren Schätzungen verglichen. Die Ergebnisse werden fortlaufend in das Arbeitsblatt eingetragen.

Die SuS messen nun die Beleuchtungsstärke und die Temperatur der einzelnen Leuchtmittel. Dabei sollte der Raum abgedunkelt sein und die Deckenbeleuchtung ausgeschaltet sein, um das Ergebnis möglichst nicht zu verfälschen. Zudem sollten den Kleingruppen konkrete Anweisungen zum Messen gegeben werden: Die Beleuchtungsstärke mit dem Luxmeter muss bei allen Lampen im gleichen Abstand gemessen werden, z.B. in einer Entfernung von 20 cm. Die Temperatur wird mit dem Temperaturfühler direkt am Glas der Lampe gemessen. Bei einer LED-Lampe ist die Temperatur am Kühlkörper am höchsten.

Anschließend berechnen sie den Energieverbrauch der einzelnen Leuchtmittel. Die Mess- und Arbeitsergebnisse werden in der Klasse gemeinsam verglichen. Die LK hält die Ergebnisse als Tafelbild fest und diskutiert diese mit den SuS.

### **Auswertungsfragen:**

Welche Lampe ist aus Sicht des Energieverbrauchs und der Energieeffizienz am sinnvollsten?  
Welchen Einfluss hat das auf die Umwelt?

Dabei kann auf das Glühlampenverbot und den Anteil an Schwermetallen bei der Energiesparlampe hingewiesen werden sowie die damit verbundenen ökologischen Probleme.

**Vorab:** Leuchtmittel, Leuchten, Stromversorgung und Messgeräte besorgen (siehe Material) und damit die Licht-Stationen aufbauen. Die Anzahl der Licht-Stationen ist abhängig von der Zahl der SuS, pro Licht-Station 4–6 SuS. Die Licht-Stationen sollten alle ungefähr gleich von natürlichem Licht (Fenster) beleuchtet sein. Arbeitsblatt Nr. 3 *Leuchtmittel im Vergleich* kopieren (pro Kleingruppe eins).



**Material:** Whiteboard oder Tafel, Mehrfachstecker, bei Bedarf Verlängerungskabel, Leuchte für die Leuchtmittel, Leuchtmittel mit passender Fassung zu den Leuchten (E14 oder E27): LED 4 Watt, Glühlampe 25 Watt, Energiesparlampe 9 Watt, Messgeräte für die Erfassung von Leistung, Temperatur, Beleuchtungsstärke (Luxmeter), Arbeitsblatt Nr. 2 *Leuchtmittel im Vergleich*

**Weiterführende Hinweise:** Die UE *Infos auf einer Lampenverpackung* lässt sich gut anschließend bearbeiten.

## Infos auf einer Lampenverpackung

**Zeit:** 20 Minuten

**Ziele:** Die SuS erarbeiten sich mit Hilfe eines Arbeitsblatts die Informationen, die auf dem EU-Energielabel und auf Lampenverpackungen angegeben sind. Physikalische Grundbegriffe des Lichts werden erläutert und gefestigt. → [Kapitel 1.3 Physikalische Grundbegriffe Licht](#)

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS füllen das Arbeitsblatt aus. Anschließend wird es gemeinsam besprochen.

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 3 *EU-Energielabel* kopieren

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 4 *EU-Energielabel*

**Weiterführende Hinweise:** Zur Veranschaulichung empfiehlt es sich Lampenverpackungen mitzubringen und an die SuS zu verteilen. Die Informationen auf der Verpackung können dann besprochen und mit dem Arbeitsblatt vertieft werden.

## Vor- und Nachteile der LED

**Zeit:** 30 Minuten

**Ziele:** Die SuS können Vor- und Nachteile von LEDs bestimmen sowie richtige oder falsche Aussagen über LEDs zuordnen. Dieses Modul dient der Überprüfung und Festigung von bereits erworbenem Wissen. Das Modul kann auch als Test verwendet werden.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS sehen einen Beitrag des nano-Magazins „Leuchtdioden erhellen eine Kirche“ an. In diesem wird die Umrüstung der Beleuchtung des barocken Klosters Einsiedeln auf LED geschildert. Die SuS machen sich währenddessen Notizen, warum LEDs eingesetzt wurden. Ggf. kann der Beitrag auch als Artikel in die Klasse gegeben werden. Anschließend erhalten sie das Arbeitsblatt und beantworten die Fragen zu Vor- und Nachteilen von LED und bestimmen richtige und falsche Aussagen. Anschließend werden die Ergebnisse gemeinsam ausgewertet. Die richtigen Antworten können dem Lösungsblatt zu Arbeitsblatt Nr. 5 *Vor- und Nachteile der LED Lösungen* entnommen werden.

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 5 *Vor- und Nachteile der LED* kopieren



UE = Unterrichtseinheit

SuS = Schüler & Schülerinnen

LK = Lehrkraft

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 5 *Vor- und Nachteile der LED*, ggf. Artikel, Beamer bzw. Smartboard, Internetzugang, Beitrag: <http://www.3sat.de/mediathek/?mode=play&obj=34122>

**Weiterführende Hinweise:** Es ist vorteilhaft die Begriffe Beleuchtungsstärke, UV- und Infrarotstrahlung, Farbwiedergabe zuvor mit den SuS thematisiert zu haben. → [Kapitel 1.3 Physikalische Grundbegriffe Licht und Kapitel 3 Wahrnehmung](#)

Der Beitrag kann auch als Artikel ausgeteilt werden. Der Artikel ist unter folgendem Link abrufbar: <http://www.3sat.de/page/?source=/nano/technik/166839/index.html>

## Lichtrundgang in der Schule

**Zeit:** variabel, abhängig von der Anzahl der untersuchten Räume.

**Ziele:** Die SuS untersuchen die Beleuchtungssituation in der Schule. Sie erfassen mit einem Luxometer die Beleuchtungsstärke und schätzen die Beleuchtung ein. Sie lernen und üben den Umgang mit einem Messgerät, sie wenden physikalische Grundbegriffe an, lernen richtige und falsche Beleuchtung zu beurteilen.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS untersuchen in Kleingruppen mit Hilfe des Beobachtungsbogens die Beleuchtung in unterschiedlichen Räumen der Schule. Folgende Fragen spielen dabei eine Rolle: Ist es zu hell oder zu dunkel? Was für Lampen sind vorhanden? Gibt es unnötige Lampen? Wie lassen sich die Lampen schalten? Werden die Sollwerte (Beleuchtungsstärke) eingehalten?

Bevor die Kleingruppen zum Messen losziehen, sollten die SuS mit der Bedienung des Luxometers vertraut sein. Genaue Messanweisungen sollten kommuniziert werden. Es ist sinnvoll, dass alle Messungen auf gleicher Höhe (z.B. 1 Meter) gemacht werden.

Anschließend werden die Ergebnisse in der Klasse zusammengetragen und ausgewertet. Zusätzlich kann berechnet werden, wieviel CO<sub>2</sub> mit LED-Lampen eingespart werden kann. Pro kWh werden laut Umweltbundesamt basierend auf dem deutschen Strommix 560 g CO<sub>2</sub> emittiert.

Beispiel: Wenn eine 60-W-Glühlampe 20 Stunden in der Woche benutzt wird, wird folgende Formel angewendet:

**Energie (E) = Leistung (P) x Zeit (h)**

**Energieverbrauch pro Woche:** 60 W x 20 h = 1200 Wh = 1,2 kWh

**CO<sub>2</sub>-Emission in g/h einer 60 W Glühlampe:** 560 g/kWh x 60 W : 1000 = 33,6 g/h

**CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Woche:** 33,6 g/h x 20 h = 672 g

Entsprechend können die CO<sub>2</sub>-Emissionen anderer Lampen mit unterschiedlichen Wattangaben berechnet werden.

**Vorab:** Klären, in welchen Räumen die Messungen stattfinden sollen. Luxmeter besorgen, Arbeitsblätter Nr. 6 *Lichtrundgang in der Schule* und Nr. 10 *Checkliste Beleuchtung* kopieren. Identifikation der Lampentypen inklusive Watt-Angaben aus dem Klassenraum.



**Material:** Luxmeter, Arbeitsblatt Nr. 6. *Lichtrundgang in der Schule*, Arbeitsblatt Nr. 10 *Checkliste Beleuchtung*

**Weiterführende Hinweise:** Da die Beleuchtung nur einen Teil (ca. 11 %) des Gesamtenergieverbrauchs ausmacht, ist es sinnvoll, den Lichtrundgang im Rahmen eines Energiesparprojektes durchzuführen und auch andere Energieverbräuche in der Schule zu untersuchen. Hier gibt es mehr Informationen zu Energiesparprojekten an Schulen und Materialien:

↪ <http://www.fifty-fifty.eu/>

## Lichtcheck Zuhause

**Zeit:** variabel

**Ziele:** Die SuS setzen sich mit der bestehenden Beleuchtung und deren Energieverbrauch Zuhause auseinander und können energiesparende Alternativen und deren Kosten bestimmen. Sie üben den Energieverbrauch verschiedener Leuchtmittel zu errechnen. Sie erwerben und vertiefen Wissen über energieeffiziente Beleuchtung und können entsprechende Leuchtmittel benennen.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS erfassen auf einem Arbeitsblatt, mit welchen Leuchtmitteln wie viele Stunden am Tag die Wohnung oder ihr Zimmer beleuchtet wird. Sie berechnen den Energieverbrauch und halten ihre Überlegungen zur energieeffizienteren Beleuchtung der Wohnung oder des Zimmers fest. Sie berechnen die Kosten einer Umrüstung und die Energieersparnis. Die Ergebnisse werden im Unterricht gemeinsam ausgewertet.

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 7 *Lichtcheck Zuhause* kopieren

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 7 *Lichtcheck Zuhause*

## Die Geschichte des künstlichen Lichts

**Zeit:** 40 Minuten

**Ziele:** Die SuS erwerben Wissen zur Geschichte des elektrischen Lichts.

**Aktivitäten & Methoden:** Mit Hilfe eines Infotextes erschließen sich die SuS die Geschichte des elektrischen Lichts und ordnen anschließend wichtige Ereignisse auf dem Arbeitsblatt. Es kann ihnen zuvor als Hausaufgabe ausgeteilt werden.

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 8 *Die Geschichte des künstlichen Lichts* kopieren

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 8 *Die Geschichte des künstlichen Lichts*





UE = Unterrichtseinheit

SuS = Schüler &amp; Schülerinnen

LK = Lehrkraft

**Auflösung:**

15.000 v.Chr.	Öllampe
4.000 v.Chr.	Kerzen
1784	Argandlampe
1808	Gasbeleuchtung
1820	erste Experimente mit Glühlampe
1879	Edison-Glühlampe
1907	Entdeckung Elektrolumineszenz- Roundeffekt
1923	Quecksilberdampf lampen
1926	Leuchtstofflampe
1927	Losev entdeckt Elektrolumineszenz wieder
1962	rote LED
1964	Halogendampflampen (HMI-Lampen)
1980	Energiesparlampe (Kompaktleuchtstofflampe)
1987	OLED
1993	blaue LED
1996	OLED-Display
1997	weiße LED

**Bau einer LED-Taschenlampe****Zeit:** variabel je nach Anleitung**Ziele:** Die SuS bauen eine Taschenlampe mit LED. Sie verstehen einfache Schaltkreise und bauen einen Stromkreis mit einem Widerstand.



**Aktivitäten & Methoden:** Im Internet sind Bastelanleitungen für unterschiedliche LED-Taschenlampen zu finden. Je nach vorhandenen Werkzeug, Material, Budget kann eine ausgewählt werden. Beispielhafte Bastelanleitungen:

Taschenlampe aus Gartenschlauch: ↘ <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

Taschenlampe aus Tick-Tack-Packung: ↘ <http://www.b-kainka.de>

Taschenlampe aus Labello: ↘ <http://kleiner-bastler.ch>

**Vorab:** Bastelanleitung auswählen, austesten und kopieren, benötigtes Material besorgen. Die SuS sollten bereits mit Inhalten wie Stromstärke, Spannung, Gleichstrom, Widerstand, Lichtquelle, elektronischer Schaltung vertraut sein.

**Material:** variabel je nach Anleitung

**Weiterführende Hinweise:** Ausreichend Ersatzmaterial bereitstellen, für den Fall, dass Material falsch verbaut wird.

## Bastel-Tipps

Die Vielfalt der im Internet angebotenen Bastelanleitungen, in denen LEDs kreativ verbaut werden, ist groß und wächst. Oft sind diese auch als Video-Tutorials auf Youtube zu finden. Hier gibt es eine kleine Auswahl von möglichen LED-Bastelprojekten:

### **LED-Cube:**

Ein LED-Cube ist ein Würfel aus Niedrigleistungs-LEDs, die einzeln mit einem Mikrocontroller (z.B. Arduino) angesteuert werden können.

↘ <http://www.instructables.com/id/The-4x4x4-LED-cube-Arduino>

↘ <http://makezine.com/2007/09/06/make-a-pocket-led-cube-we>

Eine Unterrichtseinheit, in der die SuS mit Algorithmen einen LED-Cube programmieren lernen ist auf ↘ <http://www.lehrer-online.de/> zu finden.

### **Unendlicher Spiegel:**

Mit einem unendlichen Spiegel mit LEDs lässt sich ein beeindruckendes Deko-Element basteln. Für Teile des benötigten Bastelmaterials lassen sich alte Spiegel, Holz und Rahmen gut upcyclen. Bei Verwendung von LED-Bändern kann der unendliche Spiegel dynamisch mit Fernbedienung angesteuert werden und die Lichtfarbe wechseln.

↘ <https://www.youtube.com/watch?v=b2bvWArORSc>

↘ <http://www.infinitymirror.de/infinity-mirror-bauen>



## Licht am Tag & in der Nacht

**Zeit:** 15 Minuten

**Ziele:** Die SuS setzen sich damit auseinander, wo ihnen Licht im Alltag begegnet und welche Auswirkungen es auf die jeweiligen Situationen hat. SuS werden auf das Phänomen Licht und seine Wirkungen auf den Menschen sensibilisiert.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS füllen das Arbeitsblatt Nr. 12 *Licht am Tag und in der Nacht* selbstständig aus. Es kann ihnen zuvor als Hausaufgabe ausgeteilt werden. In der Folgestunde werden die Beobachtungen ausgewertet. Einzelne Abläufe können exemplarisch vorgestellt werden. Die Beobachtungen der SuS dienen als lebensweltorientierter Einstieg in das Thema.

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 12 *Licht am Tag und in der Nacht* kopieren

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 12 *Licht am Tag und in der Nacht*











## Licht-Meinung

**Zeit:** 15 Minuten

**Ziele:** In diesem räumlichen Positionierungsspiel werden die Meinungen der SuS zu verschiedenen Lichtsituationen und den damit verbundenen Auswirkungen auf die SuS erfasst. Das Spiel schließt an die Alltagsbeobachtungen der SuS an und fördert die spielerische Auseinandersetzung und Meinungsbildung mit und zu den Auswirkungen des Lichts.

**Aktivitäten & Methoden:** Im Raum wird mit dem Kreppband eine Linie gezogen. An einem Ende wird ein Papier, auf dem „JA“ oder „Ich stimme zu.“ steht ausgelegt. Am anderen Ende steht auf dem Papier „NEIN“ oder „Ich stimme nicht zu.“. Die Aussagen (s.u.) werden nacheinander vorgelesen. Nach jeder Aussage positionieren sich die SuS dazu im Raum, je nachdem ob sie der Aussage zustimmen oder nicht. Die SuS werden gebeten ihre Positionierung zu erläutern. Dabei sollten möglichst viele SuS zu Wort kommen.

Folgende Aussagen können verwendet und beliebig ergänzt werden:

-  *Helles Licht am Morgen macht mich wach.*
-  *Wenn der Wecker klingelt und es dunkel ist, dann komme ich schwer aus dem Bett.*
-  *Wenn es hell ist, kann ich nicht schlafen.*
-  *Kerzenlicht ist romantisch.*
-  *Lesen bei Kerzenlicht finde ich gut.*
-  *Wenn ich abends noch mit Freundinnen auf dem Handy schreibe, kann ich lange nicht einschlafen.*
-  *Wenn es draußen grau ist, bekomme ich schlechte Laune.*
-  *Wenn ich auf unbeleuchteten Wegen laufe, verunsichert mich das.*
-  *LED-Lampen sind immer so krass hell.*
-  *Wenn das Licht ausgeht, während ich die Treppen runterlaufe, kann mich das kurz aus dem Gleichgewicht bringen.*



UE = Unterrichtseinheit

SuS = Schüler & Schülerinnen

LK = Lehrkraft

**Vorab:** Platz für Linie im Raum festlegen und mit JA- und NEIN-Karten markieren. Ggf. können die Aussagen auf Karten geschrieben werden und beim Vorlesen den SuS gezeigt werden.

**Material:** Kreppband, Papier und Stifte für die Aussagen

## Licht-Raum

**Zeit:** 30 Minuten

**Ziele:** Die SuS erschließen sich Wissen über farbige LEDs und welche emotionale Wirkung verschiedenfarbiges Licht auf sie hat. Sie können benennen, mit welchem farbigen Licht welche Stimmung erzeugt wird.

**Aktivitäten & Methoden:** Das Klassenzimmer, in dem der Lichtraum eingerichtet ist, wird abgedunkelt. In fünf aufeinander folgenden Lichtsituationen beobachten die SuS, wie verschiedenfarbiges LED Licht auf sie wirkt. Im Licht-Raum werden Gegenstände ausgelegt und ein Stuhl aufgestellt, auf welchen sich eine Person setzt. Nacheinander werden folgende Lichtsituationen mit den Lampen erzeugt: kaltweißes Licht, warmweißes Licht, rotes Licht und bei Bedarf zwei weitere Lichtfarben.

**Mögliche Auswertungsfragen:**

Welche Lichtstation hat euch am besten gefallen und warum? Welche Stimmung erzeugt welches Licht? Welches farbige LED-Licht würdest du verwenden, um eine harte, kalte oder freundliche Stimmung zu erzeugen? Warum ist es von Vorteil LEDs einzusetzen, wo farbiges Licht effizient erzeugt werden soll? Nenne mindestens 5 Orte, Gegenstände, Möglichkeiten, wo farbiges LED-Licht eingesetzt wird.

**Vorab:** Im Klassenzimmer einen Raum mit Stellwänden abtrennen. Verschiedene Lampen (siehe Material) besorgen. Lampen und Raum einrichten.

**Material:** RGB-LED-Lampe oder RGB-LED-Band, LED-Lampe in kaltweiß, neutral- und warmweiß, passende Leuchten, Steckleisten, Stuhl, Gegenstände

**Weiterführende Hinweise:** Im Rahmen der Übung können die verschiedenen Halbleitermaterialien thematisiert werden. → [Kapitel 1.2 Farbige LEDs](#)

## Licht-Theater

**Zeit:** variabel

**Ziele:** Die SuS setzen sich damit auseinander, welche Stimmungen wie von Licht erzeugt werden können und stellen einen Lebensweltbezug her.

**Aktivitäten & Methoden:**

Die SuS entwickeln in Kleingruppen (3–4 Personen) kurze Theaterszenen. Jede Gruppe bekommt



UE = Unterrichtseinheit

SuS = Schüler &amp; Schülerinnen

LK = Lehrkraft

einen Zettel mit einer zu spielenden Situation. Die Situationen dürfen unter den Kleingruppen nicht ausgetauscht oder verraten werden.

**Mögliche Situationen:**

- ☼ *Eine Nachtwanderung bei Mondschein im Wald*
- ☼ *Lernen für eine Klassenarbeit*
- ☼ *Ein gemütlicher Winterabend Zuhause*
- ☼ *Eine Gartenparty*
- ☼ *Ein Fußballspiel am Abend im Freien*
- ☼ *Ein relaxter Tag am Strand*
- ☼ *Heimweg auf einem schlecht beleuchteten Weg*
- ☼ *Ein Restaurantbesuch*
- ☼ *Computerspielen kurz vorm Schlafengehen*

Zunächst schreibt jede Kleingruppe ein Drehbuch, das beschreibt, welche Requisiten benötigt werden und wie die Szene beleuchtet werden soll. Die SuS beleuchten ihre Szene mit den vorhandenen Lampen aus. Jede Gruppe spielt ihre Szene den anderen vor. Die anderen SuS erraten dann, was für eine Situation dargestellt wurde. Wie wurde das Licht eingesetzt? Welche Stimmungen wurden damit erzeugt?

**Vorab:** Auswahl von Theaterszenen. Jede wird auf einen Zettel notiert.

**Material:** verschiedene LED-Lampen oder LED-RGB-Band, mögliche Requisiten wie beispielsweise Tisch und Pflanzen

**Weiterführende Hinweise:** In der Übung kann thematisiert werden, welche Hormone (Melatonin, Cortisol, Serotonin) in der Szene besonders aktiv sind. → [Kapitel 2.1 Licht und biologische Vorgänge](#) und → UE *Die nicht-visuelle Wirkung des Lichts*

## Die nicht-visuelle Wirkung des Lichts

**Zeit:** 20 Minuten

**Ziele:** Die SuS verstehen die nicht-visuellen Wirkungen des Lichts auf den Menschen und setzen sich mit der Bedeutung des Lichts auf die Gesundheit auseinander.

### **Aktivitäten & Methoden:**

Die LK erläutert in einer Präsentation die nicht-visuelle Wirkung von Licht. Anschließend erarbeiten sich die SuS mit Hilfe des Arbeitsblattes die physiologischen Grundlagen für die Aufnahme des Lichts durch die Augen, welche Rezeptoren daran beteiligt sind und welche Auswirkungen das Licht auf Menschen hat.

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 13 *Die nicht-visuelle Wirkung von Licht* kopieren und Präsentation vorbereiten. Für Präsentation kann Kapitel 2.1 Licht und biologische Vorgänge verwendet und ausgeteilt werden.

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 13 *Die nicht-visuelle Wirkung des Lichts* und → [Kapitel 2.1 Licht und biologische Vorgänge](#)

**Weiterführende Hinweise:** Übung kann mit UE Licht und Gesundheit vertieft werden.



## Licht und Gesundheit

**Zeit:** 30 Minuten

**Ziele:** Die SuS erarbeiten sich durch die Lektüre eines Artikels den Einfluss des Lichts auf den Schlaf.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS lesen einen Artikel oder in 2 Gruppen 2 unterschiedliche Artikel. Die Artikel berichten über die positiven und negativen Wirkungen von Licht mit hohem Blauanteil. Sie erschließen sich durch die Lektüre Wissen über die Einflüsse von Licht auf die Gesundheit. In einem anschließenden Klassengespräch können folgende Auswertungs- und Diskussionsfragen verwendet werden:

Was führt zu Schlafstörungen? Warum macht blaues Licht wach? Welche Geräte verwenden blaues Licht? Wie ist dein eigenes Nutzungsverhalten?

Die Beispiele werden an der Tafel oder auf dem Smartboard festgehalten.

**Vorab:** Es stehen zwei verschiedene Artikel zur Verfügung, die ausgedruckt und kopiert werden können: Heike Le Ker *Handys und Tablets, Blaues Licht stört den Schlaf* und Stefanie Maeck *Licht und Wohlbefinden. 10.000 Lux für das pure Glück*. Beide Artikel sind auf <http://www.spiegel.de> zu finden.

**Material:** Artikel (siehe Vorab), Tafel oder Smartboard

## Raumbelichtung

**Zeit:** 30 Minuten

**Ziele:** Die SuS setzen sich mit der Beleuchtung in genutzten Räumen auseinander und lernen was für eine gute Beleuchtung wichtig ist.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS bearbeiten das Arbeitsblatt – Raumbelichtung selbstständig. Anschließend werden die Ergebnisse und Zeichnungen in der Klasse besprochen.

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 11 *Raumbelichtung* kopieren

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 11 *Raumbelichtung*

**Weiterführende Hinweise:** Die SuS können ihre Raumskizzen direkt auf eine Folie zeichnen, die im Plenum besprochen werden kann.



## Farbentest

**Zeit:** 20 Minuten

**Ziele:** SuS erfahren die Farbwahrnehmung von gemalten Bildern unter unterschiedlichen Lichtfarben.

**Aktivitäten & Methoden:** Die von den SuS gemalten Bilder werden für alle sichtbar ausgestellt und bei Tageslicht von allen betrachtet. Dann wird der Raum abgedunkelt und die Bilder werden nach und nach in wechselnden Lichtfarben beleuchtet. Im Plenum wird bei jeder Lichtfarbe diskutiert, was die SuS beobachten.

**Mögliche Auswertungsfragen:**

Wie ändern sich die Farben auf dem Bild in den unterschiedlichen Lichtfarben? Gibt es Farben, bei denen besonders auffällige Änderungen zu beobachten sind? Welche Lichtfarbe würdet ihr für das Bild auswählen, um es auszustellen? Warum?

**Vorab:** Bilder malen (Aquarell, Acryl u.a.) und LED-Lampen besorgen

**Material:** gemalte Bilder, RGB (Rot Grün Blau)-LED-Lampe sowie kaltweiße und warmweiße LED-Lampe

## Licht-Karton

**Zeit:** 30 Minuten

**Ziele:** SuS erfahren und diskutieren die Wahrnehmung von Farben und Gegenständen unter unterschiedlicher Beleuchtung. Wahrnehmung von Schattenwurf und Farben

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS betrachten die unterschiedlichen Farben und Schattenwürfe in den Licht-Kartons anhand des ausgeteilten Arbeitsblattes. Die Ergebnisse werden gemeinsam ausgewertet.

**Mögliche Auswertungsfragen:**

Wie wirken die Gegenstände in den Licht-Kartons?

Welche Unterschiede fallen auf?

Welche Beleuchtung gefällt euch besser und warum?

Wenn mit Kunstbildern gearbeitet wird, kann auf die Auswirkung von Licht (UV- und Infrarotstrahlung) auf Bilder hingewiesen werden. LED-Lampen sind ohne UV- und Infrarotstrahlung und schonen somit Bilder. In Galerien und Museen werden u.a. deshalb immer öfter LEDs eingesetzt. Außerdem bieten diese eine dynamische Beleuchtung, d.h. Farben und Formen von Kunstobjekten können in gewünschten Farbstimmungen und Lichtstärken beleuchtet werden.

→ [Kapitel 3 Wahrnehmung – Die LED-Beleuchtung von Kunstwerken](#)

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 14 *Licht-Karton* kopieren. Einrichten von 2 Licht-Kartons mit identischen Gegenständen (siehe Material). Licht-Karton 1: kaltweiße LED-Lampe, mindestens 500 Lux; Licht-Karton 2: RGB-LED-Lampe. Es ist auch möglich einen Licht-Karton mit Trennwand einzurichten.



UE = Unterrichtseinheit

SuS = Schüler & Schülerinnen

LK = Lehrkraft

**Material:** 2 Kartons und Tische, 1 kaltweiße LED-Lampe, mindestens 500 Lux, 1 LED-Lampe RGB dimmbar, Arbeitsblatt Nr. 14 *Licht-Karton*, Tomate, Apfel, grüne Blätter oder Salat, 2 Farb-Checker (Arbeitsblatt Nr. 18 oder Nr. 19), Gemälde. Das Gemälde kann ein Kunst-Druck sein, möglich sind auch selbstgemalte Bilder aus dem Kunstunterricht.

**Weiterführende Hinweise:** Die Übung kann auch nur mit einem Licht-Karton ohne Trennwand oder auf einem Tisch durchgeführt werden. Wenn die Übung ohne Karton stattfindet, ist es wichtig, dass der Raum gut abgedunkelt werden kann. Der Farb-Checker kann selbst gemalt werden. Dafür kann nach Belieben Acryl oder eine andere Farbe verwendet werden.

## Die Beleuchtung von Kunst im Museum

**Zeit:** variabel

**Ziele:** SuS lernen, wie im Museum Kunstobjekte beleuchtet werden.

**Aktivitäten & Methoden:** Im Rahmen einer Exkursion und mit Hilfe des Arbeitsblattes in einem Kunst-Museum oder einer Kunst-Ausstellung untersuchen die SuS, wie und aus welchen Gründen und mit welchem Ergebnis Licht in Museen eingesetzt wird. Nach dem Museumsbesuch werden die Ergebnisse im Plenum besprochen.

**Vorab:** Gruppe im Museum anmelden und versuchen eine Führung mit einer Person zu vereinbaren, die über das Beleuchtungskonzept der Ausstellung berichten kann. Arbeitsblatt Nr. 15 *Die Beleuchtung im Museum* kopieren.

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 15 *Die Beleuchtung im Museum*

## Die LED-Beleuchtung von Kunstwerken

**Zeit:** 45 Minuten

**Ziele:** Die SuS erarbeiten sich die konservatorischen Vorteile der LED-Beleuchtung sowie Unterschiede der Farbwahrnehmung durch unterschiedliche Beleuchtung am Beispiel der Sixtinischen Kapelle.

**Aktivitäten & Methoden:** Die LK verteilt den Text zur Sixtinischen Kapelle an die SuS und lässt sie diesen lesen. Aufkommende Fragen werden geklärt. Anschließend wird das Arbeitsblatt verteilt und von den SuS selbstständig oder in Kleingruppen bearbeitet. Die Aufgaben werden abschließend in der Klasse besprochen.

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 16 *Die LED-Beleuchtung von Kunstwerken* und Info-Text → [Kapitel 3.2 LED-Beleuchtung in der Sixtinischen Kapelle](#) kopieren

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 16 *Die LED-Beleuchtung von Kunstwerken* und Info-Text → [Kapitel 3.2 LED-Beleuchtung in der Sixtinischen Kapelle](#)





UE = Unterrichtseinheit

SuS = Schüler &amp; Schülerinnen

LK = Lehrkraft

## Die Beleuchtung im Supermarkt

**Zeit:** variabel

**Ziele:** Die SuS setzen sich damit auseinander, wie und aus welchen Gründen und mit welchem Ergebnis Licht im Supermarkt eingesetzt werden.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS untersuchen in 2er-Teams und mit dem Arbeitsblatt – *Die Beleuchtung im Supermarkt* die Beleuchtung im Supermarkt. Anschließend werden die Beobachtungen im Plenum diskutiert. Die Beleuchtungssituationen können in der Abschlussbesprechung mit Fotos aus dem Supermarkt veranschaulicht werden.

**Vorab:** Ausgewählten Supermarkt auf die Beleuchtung untersuchen und Arbeitsblatt Nr. 14 *Die Beleuchtung im Supermarkt* kopieren. Supermarktleitung über den geplanten Besuch informieren und klären, ob Fotos gemacht werden dürfen.

**Material:** Arbeitsblatt Nr. 14 *Die Beleuchtung im Supermarkt*

## Licht-Karton basteln

**Zeit:** variabel

**Ziele:** SuS erfahren die Wahrnehmung von Farben und Gegenständen in unterschiedlicher Beleuchtung. Wahrnehmung von Schattenwurf und Farben und gestalten diese nach.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS gestalten in Kleingruppen aus den Schuhkartons Licht-Kartons. Alle Gruppen sollten mit ausreichend Material ausgestattet sein. Der Karton wird so aufgestellt, dass die Öffnung zur Seite zeigt und möglichst wenig Licht von außen hinein fällt. Pro Karton wird eine LED-Farbe festgelegt. Die LEDs werden mit den Beinchen (Kathode, Anode) auf die Batterien gesetzt. Wenn die LEDs durchgängig leuchten sollen, sollten sie mit Klebeband an den Batterien befestigt werden. Im Karton sollten die LEDs so befestigt werden, dass sie nicht auffallen, aber die Gegenstände ausreichend beleuchten. Zum Beispiel können die LEDs durch kleine Löcher in der Kartondecke gesteckt werden, so dass die Beinchen mit Batterie außerhalb des Kartons sind. Jeder Karton sollte mit möglichst identischen Gegenständen ausgestattet sein. Anschließend werden die Licht-Kartons im abgedunkelten Raum im Plenum präsentiert.

**Vorab:** → UE *Licht-Karton*, Arbeitsblatt Nr. 18 *Farb-Checker* und Bastelmaterial besorgen

**Material:** Klebeband, Scheren, Schuhkartons und identische Requisiten zum Bestücken der Schuhkartons: farbige Textilien, Obst und Gemüse (Tomaten, Äpfel, Salat etc.), Laub, pro Schuhkarton etwa 6 kleine LEDs in Rot, Weiß, Blau und nach Bedarf auch in anderen Farben, pro LED eine Knopfzelle Batterie und Arbeitsblatt Nr. 18 oder Nr. 19 *Farb-Checker*

**Weiterführende Hinweise:** Der Farb-Checker kann von den SuS auch leicht selbstgemalt werden. Die gestalteten Licht-Kartons können an einem öffentlichen Ort der Schule ausgestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass der Ausstellungsort möglichst abgedunkelt ist. Außerdem können die Licht-Kartons ergänzend für UE Plakat gestalten und UE Interview genutzt werden.



## Umfrage

**Zeit:** 45 Minuten + Schulpause

**Ziele:** Die SuS informieren Mitschülerinnen und Mitschüler von der LED-Umrüstung und beteiligen sie durch eine Befragung.

**Aktivitäten & Methoden:** Die SuS bauen vor der Pause einen Tisch im Pausenraum oder auf dem Schulhof auf. Sie sprechen aktiv in der Pause Mitschülerinnen und Mitschüler an und bitten sie den Fragebogen Arbeitsblatt – Befragung auszufüllen. Die Fragebögen sollten sofort wieder eingesammelt werden. Wenn bereits vorhanden, können ausgestaltete Informationen zum Thema LED und der geplanten Umrüstung ausgelegt werden. Die Fragebögen werden anschließend von den SuS ausgewertet. Dabei kann in Kleingruppen, z.B. eine Gruppe pro Frage, gearbeitet werden. Die Ergebnisse werden gemeinsam besprochen und visualisiert.

**Vorab:** Arbeitsblatt Nr. 9 *Umfrage* kopieren

**Material:** Stifte, Arbeitsblatt Nr. 9 *Umfrage*, Karton zum Einwerfen der ausgefüllten Fragebögen, Ausstellungsmaterial zum Thema LED wie entstandene Installationen oder LED

**Weiterführende Hinweise:** Die Ergebnisse sollten an einem öffentlichen Ort der Schule (Schwarzes Brett) ausgehangen werden. Dies lässt sich mit der UE *Plakat gestalten* kombinieren.

Alternativ kann die Umfrage ohne Fragebögen durchgeführt werden. Stattdessen können Fragen-Behälter vorbereitet werden, in welche die Befragten Kügelchen werfen, wenn sie der Antwort zustimmen. Dabei darf jeweils nur eine Kugel eingeworfen werden. Die Behälter sollten so gestaltet sein, dass in diese von oben nicht eingesehen werden können.

## Plakat gestalten

**Zeit:** variabel

**Ziele:** Die Schulklasse informiert die anderen SuS von der LED-Umrüstung an der Schule. Sie präsentieren ihre Ergebnisse aus dem Projekt anschaulich, sachlich und verständlich für andere.

### **Aktivitäten & Methoden:**

Die SuS gestalten Plakate zu unterschiedlichen Themen.

Mögliche Themen der Plakate:

- Ergebnisse des Licht-Rundgangs, Licht-Raum, Befragung etc.
- Infos zur LED-Technologie: Funktionsweise, Vorteile und Nachteile etc.
- Auswirkung von Licht auf Körper und Gesundheit

Die Plakate werden an hoch frequentierten Orten aufgehängt, um die Schulöffentlichkeit zu informieren.

**Vorab:** Auswahl von möglichen Themen für die Plakate



UE = Unterrichtseinheit

SuS = Schüler & Schülerinnen

LK = Lehrkraft

**Material:** Plakat, Stifte, Scheren, großes Papier, Kleber

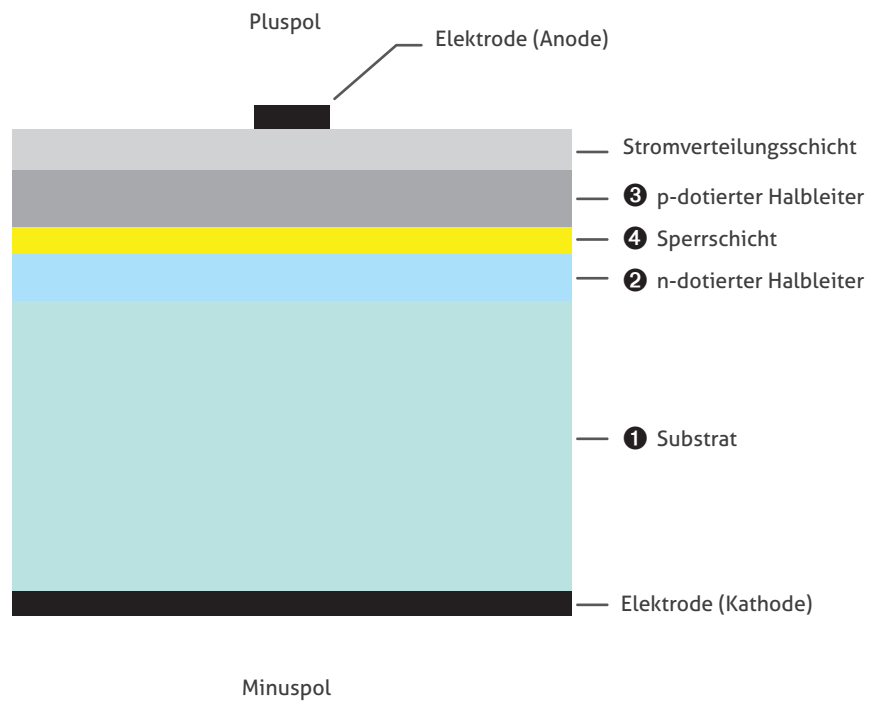
**Weiterführende Hinweise:**

Es können Objekte ausgestellt werden, die während des LED-Projektes entstanden sind oder verwendet wurden, z.B. verschiedene Lampen im Vergleich. Die Inhalte der Plakate können auf einer eigenen Internetpräsenz, z.B. wordpress.com, facebook oder in der Schülerzeitung veröffentlicht werden.



**ARBEITSBLÄTTER**

# Aufbau und Funktion einer LED



1. Beschreibe mit Hilfe der Abbildung wie ein LED-Chip funktioniert!

-----

-----

-----

-----

-----

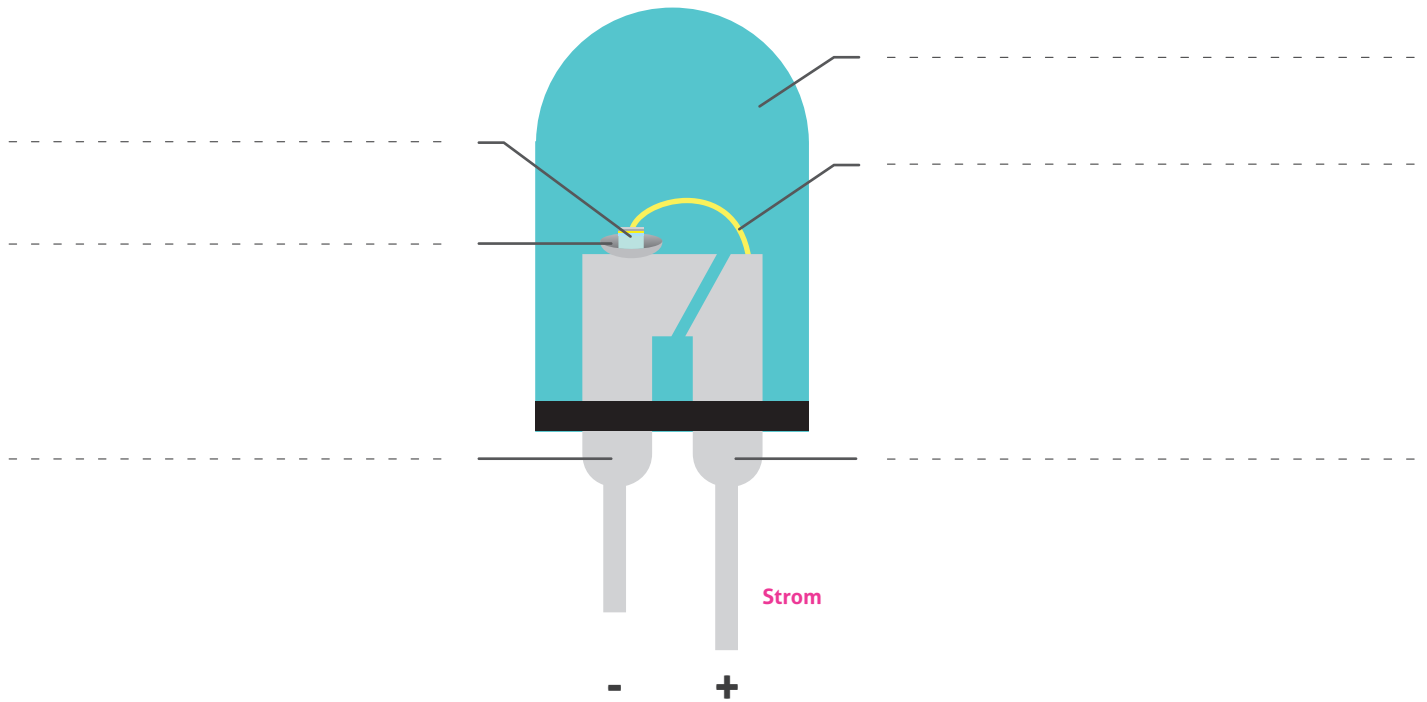
-----

-----

-----

2. Wie ist eine LED aufgebaut? Beschrifte die Abbildung mit folgenden Begriffen:

LED-Chip – Reflektorwanne – Kathode – Anode – Bonddraht – Kunststoffkörper (z.B. Epoxidharzlinse)



3. Zeichne mit einem Pfeil in die Abbildung ein, in welche Richtung sich die Elektronen bewegen!

4. Wie unterscheiden sich LEDs und Glühlampen?

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

# Leuchtmittel im Vergleich



## Physikalische Begriffe / Einheiten / Formeln

**Leistung:** Leuchtmittel haben eine Leistung, die zu jedem beliebigen Zeitpunkt gemessen werden kann. Die Leistung wird in Watt (W), Kilowatt (kW), Megawatt (MW) und Gigawatt (GW) angegeben. Auf jeder Lampe findet man die Leistungsangabe durch den Hersteller.

**Energie:** Die Energie bzw. der Energieverbrauch wird über eine Zeitspanne gemessen und berechnet.

Die Energie wird in Wattsekunden (Ws), Wattstunden (Wh) und Kilowattstunden (kWh) angegeben.

**Formel:  $E = P \times t$  (Energie = Leistung  $\times$  Zeit)**

Die **Beleuchtungsstärke** wird in Lux (lx) gemessen und gibt an, wie viel Lichtstrom auf eine bestimmte Fläche fällt.

### 1. Sortiere die Leuchtmittel nach Leistung.

-----

-----

-----

-----

-----

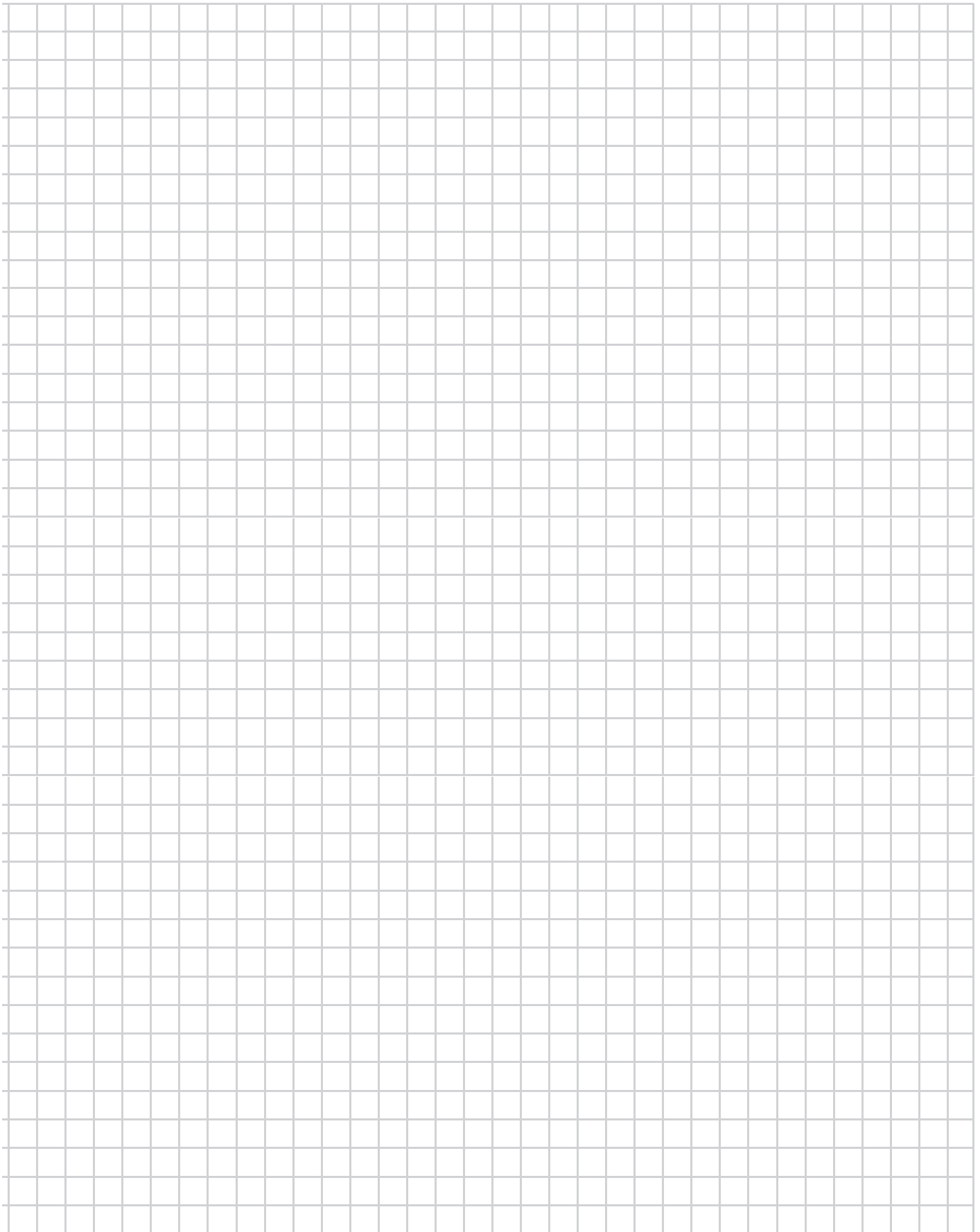
-----

### 2. Erfasse mit dem Messgerät die Leistung, Beleuchtungsstärke und Temperatur der Leuchtmittel.

Miss die Beleuchtungsstärke mit dem Luxmeter in einem Abstand von 20 cm von den Lampen.

Leuchtmittel	Leistung (P) in Watt (W)	Beleuchtungsstärke in Lux (lx)	Temperatur in °C	Energieverbrauch in Wh

3. Berechne den Energieverbrauch der drei Leuchtmittel, wenn sie 6 Stunden am Tag betrieben werden, mit der Formel:  $E = P \times t$  (Energie = Leistung  $\times$  Zeit). Trage die Ergebnisse in die Tabelle ein.

A large grid of graph paper, consisting of 20 columns and 30 rows of small squares, intended for the student to perform calculations and record results.

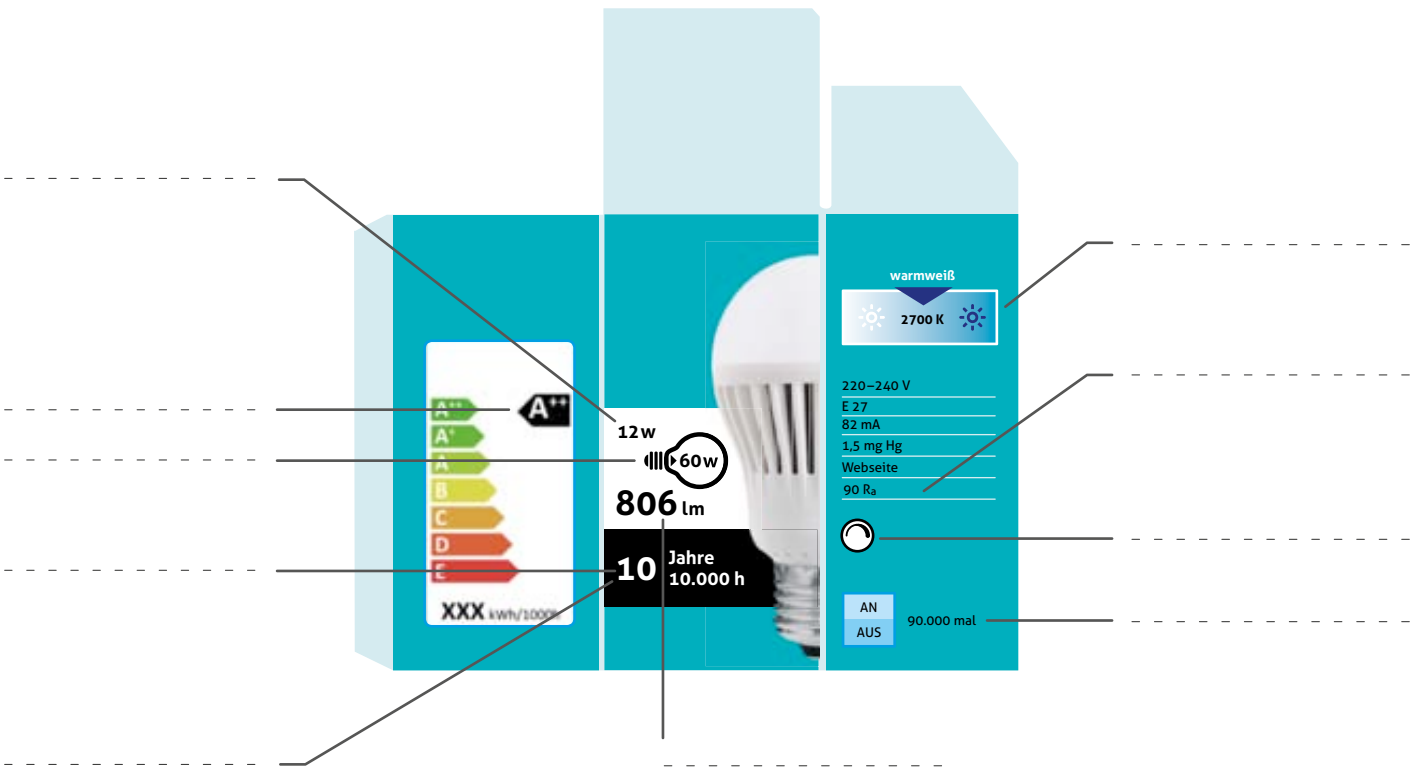


# EU-Energielabel



## 1. Beschrifte die Abbildung mit folgenden Begriffen:

Leistung / Energieeffizienzklasse / mittlere Lebensdauer in Stunden / Dimmer-Eignung / Anzahl der Schaltzyklen / Farbwiedergabe / Lichtstrom / Vergleichswert / Lichtfarbe



## 2. Worauf musst du achten, wenn du eine energiesparende Lampe kaufen möchtest?

-----

-----

-----

## 3. Erkläre, was die Farbwiedergabe aussagt!

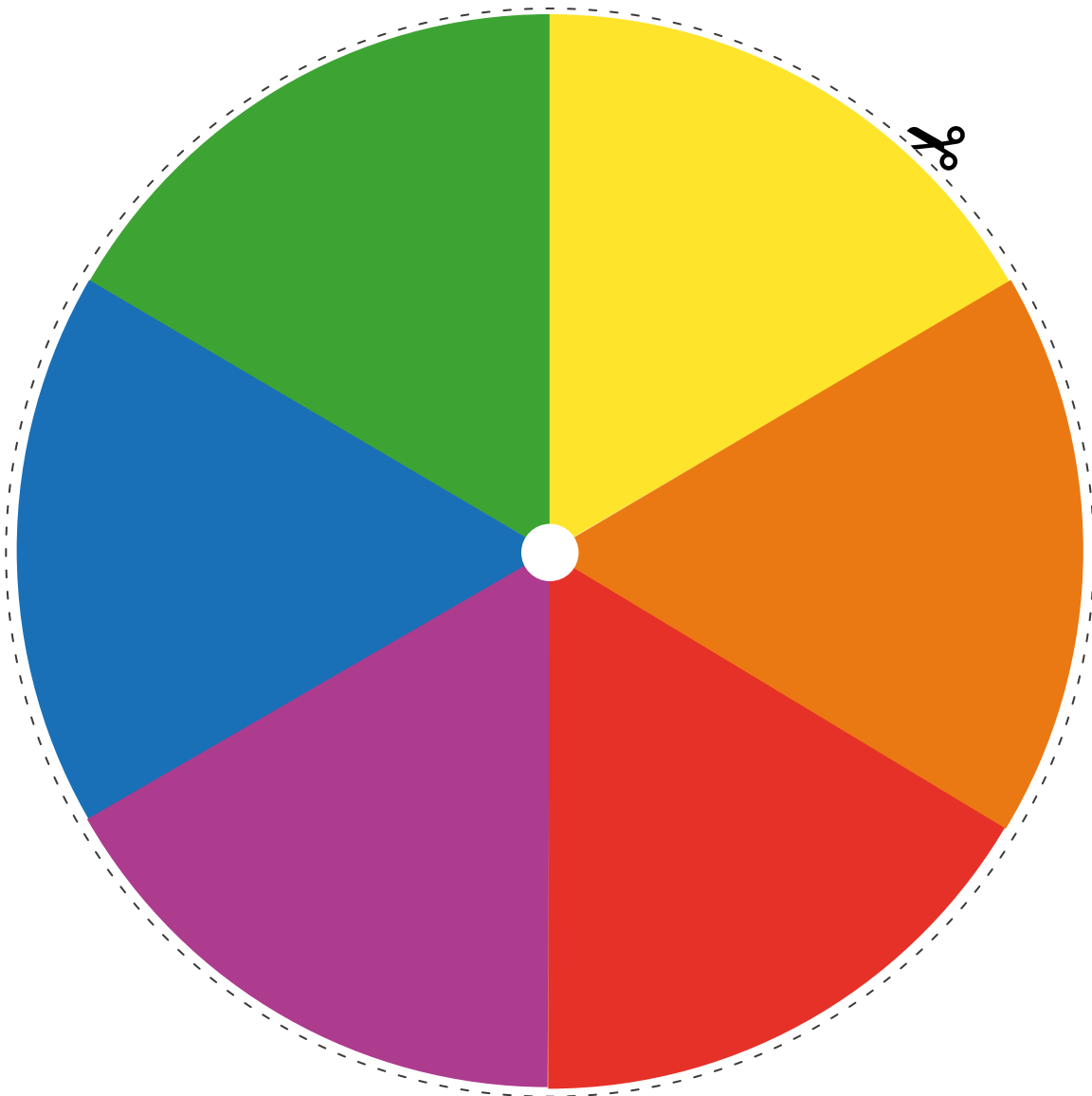
-----

-----

# Farbkreisel



1. Klebe dieses Blatt auf einen festen Karton.
2. Schneide den Farbkreis aus.
3. Bohre in die Mitte des Kreises ein kleines Loch und stecke einen Bleistift durch. Der Bleistift muss fest sitzen. Dafür kannst du ihn z.B. mit einem Klebeband befestigen.
4. Nun fange an, den Farbkreisel schnell zu drehen. Ganz schnell!





# Vor- und Nachteile der LED



Lies dir die Aussage durch. Ist sie richtig oder falsch? Schätze anschließend ein, ob das ein Vor- oder ein Nachteil ist. Kreuze entsprechend an.

Aussage	richtig	falsch	Vorteil	Nachteil
1. LEDs sind sehr effizient und verbrauchen weniger Strom als andere Lampen, dadurch entsteht auch weniger CO <sub>2</sub> .				
2. LEDs enthalten wie Energiesparlampen Quecksilber.				
3. Bei der Produktion von LEDs werden seltene Rohstoffe benötigt, die schwer zu gewinnen und daher nur begrenzt verfügbar sind.				
4. Bestimmte LEDs lassen sich stufenlos dimmen.				
5. LED-Lampen müssen oft ausgetauscht werden, weil sie schnell kaputt gehen.				
6. Mit LEDs kann nur kaltweißes Licht erzeugt werden.				
7. Bei hoher Umgebungstemperatur verlängert sich die Lebensdauer von LEDs.				
8. LEDs eignen sich besonders für die Beleuchtung in Museen, da die fehlende UV- und Infrarotstrahlung die Kunstwerke schont.				
9. LEDs weisen eine gute Farbwiedergabe auf.				
10. LEDs sind in der Anschaffung teurer als andere Leuchtmittel.				

# Vor- und Nachteile der LED Lösungen



Lies dir die Aussage durch. Ist sie richtig oder falsch? Schätze anschließend ein, ob das ein Vor- oder ein Nachteil ist. Kreuze entsprechend an.

Aussage	richtig	falsch	Vorteil	Nachteil
1. LEDs sind sehr effizient und verbrauchen weniger Strom als andere Lampen, dadurch entsteht auch weniger CO <sub>2</sub> .	<b>x</b>		<b>x</b>	
<p>Die Effizienz von Leuchtmitteln wird durch ihre Lichtausbeute bestimmt, die in Lumen pro Watt gemessen wird. Die Lichtausbeute von LED-Lampen liegt bei der im Lehrmaterial besprochenen LED bei 85 lm/W, während sie z.B. bei Energiesparlampen bei 59 lm/W und bei Glühlampen sogar nur bei 12 lm/W liegen. Das eingesetzte Vorschaltgerät ist mit Verlusten verbunden. → <a href="#">Kapitel 1.5 Die Ökobilanz der LED</a>            Film: „LEDs sind sparsam, langlebig und wartungsarm.“ Im Vergleich zu den alten Lampen sollen die LEDs 60 % der Energie verbrauchen.</p>				
2. LEDs enthalten wie Energiesparlampen Quecksilber.		<b>x</b>	<b>x</b>	
<p>Da LEDs kein Quecksilber enthalten, treten keine Dämpfe aus, wenn sie zu Bruch gehen, wie dies bei Energiesparlampen der Fall ist.            → <a href="#">Kapitel 1.5 Die Ökobilanz der LED</a></p>				
3. Bei der Produktion von LEDs werden seltene Rohstoffe benötigt, die schwer zu gewinnen und daher nur begrenzt verfügbar sind.	<b>x</b>			<b>x</b>
<p>Da die Elektronikbauteile von LEDs seltene Rohstoffe enthalten, müssen sie als Elektronikschrott entsorgt werden, um recycelt werden zu können. Bisher gibt es kaum Erfahrungen mit dem Recycling von LED-Lampen. Die Rückgewinnung der seltenen Metalle scheint bisher nicht wirtschaftlich. Komponenten wie Kühlkörper und Elektronik sind bereits recycelbar. → <a href="#">Kapitel 1.5 Die Ökobilanz der LED</a></p>				
4. Bestimmte LEDs lassen sich stufenlos dimmen.	<b>x</b>		<b>x</b>	
<p>Mit dem richtigen Vorschaltgerät lassen sich LEDs einfach dimmen; Wirkungsgrad und Lebensdauer können durch korrektes Dimmen sogar verbessert werden. → <a href="#">Kapitel 1.6 Die Vielfalt der LED-Lampen</a></p>				

Aussage	richtig	falsch	Vorteil	Nachteil
5. LED-Lampen müssen oft ausgetauscht werden, weil sie schnell kaputt gehen.		<b>x</b>	<b>x</b>	
Die Lebensdauer von LED-Lampen ist mit mehr als 25.000 Stunden im Vergleich zu anderen Leuchtmitteln höher. Sie können öfter als z.B. Glühlampen an- und ausgeschaltet werden (Schaltfestigkeit). → <a href="#">Kapitel 1.5 Die Ökobilanz der LED</a>				
6. Mit LEDs kann nur kaltweißes Licht erzeugt werden.		<b>x</b>	<b>x</b>	
Mit LEDs kann jede Lichtfarbe produziert werden. Ob die LED in Rot, Grün, Gelb oder Blau leuchtet, hängt von dem verwendeten Halbleitermaterial ab. Anfangs gab es hauptsächlich kaltweiße LEDs, die häufig als kühl empfunden werden. Inzwischen gibt es warmweiße LED-Lampen auf dem Markt, d.h. mit einer Farbtemperatur von unter 3.300 Kelvin. → <a href="#">Kapitel 1.2 Farbige LEDs</a>				
7. Bei hoher Umgebungstemperatur verlängert sich die Lebensdauer von LEDs.		<b>x</b>		<b>x</b>
LEDs benötigen eine ausreichende Wärmeabfuhr, da sie sonst durch Überhitzung schnell an Lebensdauer einbüßen. Je geringer die Umgebungstemperatur, desto effizienter sind LEDs. → <a href="#">Kapitel 1.6 Die Vielfalt der LED-Lampen</a> und <a href="#">3.3 Licht im Supermarkt</a>				
8. LEDs eignen sich besonders für die Beleuchtung in Museen, da die fehlende UV- und Infrarotstrahlung die Kunstwerke schont.	<b>x</b>		<b>x</b>	
Da LEDs für den sichtbaren Bereich weder ultraviolette (UV), noch infrarote (IR) Strahlung abgeben, schonen sie Gemälde und Kunstgegenstände. Halogen-Beleuchtung wirkt aufgrund kurzweiliger UV-Strahlung zerstörerisch auf die Malerei. → <a href="#">Kapitel 3.2 LED-Beleuchtung und Kunst</a>				
9. LEDs weisen eine gute Farbwiedergabe auf.	<b>x</b>		<b>x</b>	
Die Farbwiedergabe des Lichts ist für die farbliche Wirkung von farbigen Gegenständen oder Personen verantwortlich. Sie hängt vom Farbspektrum der jeweiligen Lampen ab und wird mit dem Farbwiedergabe-Index $R_a$ bewertet. Der Index gibt an, wie natürlich Farben im Licht einer Lampe wiedergegeben werden und sollte in der Regel nicht unter $R_a=80$ liegen. Der allgemeine Farbwiedergabeindex $R_a$ von weißen LEDs liegt zwischen 70 und 98. → <a href="#">Kapitel 1.3 Physikalische Grundbegriffe Licht</a>				
10. LEDs sind in der Anschaffung teurer als andere Leuchtmittel.	<b>x</b>			<b>x</b>
Der Einzelkaufpreis der im Lehrmaterial betrachteten LED-Lampe liegt bei 4,99 Euro, während eine Glühlampe 0,99 Euro und eine Halogenlampe 2,49 Euro kostet. Aber durch den geringeren Stromverbrauch werden mit LED-Lampen die Kosten schnell wieder eingespart. → <a href="#">Kapitel 1.5 Die Ökobilanz der LED</a> Zudem ist davon auszugehen, dass die Preise aufgrund des steigenden Wettbewerbs sinken.				

# Lichtrundgang in der Schule



Etwa 11 % der Energie, die wir in Deutschland verbrauchen, ist auf die Beleuchtung zurückzuführen. Mit dem Lichtrundgang soll die Beleuchtungssituation in der Schule untersucht werden.

- Richtwerte:**
- ☘ 300 lx im Klassenraum
  - ☘ 100 lx in Fluren, Treppenhäusern
  - ☘ 500 lx in Fachräumen (Kunst, Physik, Bio, Chemie, Werken etc.)
  - ☘ 200 lx in Aula, Mensa, Nebenräumen (Lagerräumen)

## 1. Wie viele und was für Lampen beleuchten den Raum?

Untersucht den Raum genau und tragt die Informationen in die Tabelle ein!

## 2. Messt die Beleuchtungsstärke und tragt die Werte ebenfalls in die Tabelle ein!

Um die Beleuchtungsstärke in den Räumen zu messen, benötigst du ein Luxmeter. Die Beleuchtungsstärke sollte immer 75 cm über dem Boden gemessen werden.

Raum: \_\_\_\_\_

Raumseite	Lampentyp	Anzahl der Lampen	Beleuchtungsstärke in lx	Persönliche Einschätzung (zu hell / zu dunkel / genau richtig)	Licht einschaltbar (ja / nein)
Fenster					
Wand					
Tafel					

Raum: .....

Raumseite	Lampentyp	Anzahl der Lampen	Beleuchtungsstärke in lx	Persönliche Einschätzung (zu hell / zu dunkel / genau richtig)	Licht einschaltbar (ja / nein)
Fenster					
Wand					
Tafel					

### 3. Werden alle Räume sinnvoll beleuchtet? Wo sollte es heller oder dunkler sein?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



# Lichtcheck Zuhause



Etwa 11 % des Energieverbrauchs in Deutschland werden für die Beleuchtung aufgewendet. LED-Lampen benötigen zur Lichterzeugung weniger Strom als die meisten anderen Lampen. Sie sind energieeffizient. Jedoch sind LED-Lampen oft teurer, halten aber länger. Kann bei der Umstellung auf LED-Lampen Geld eingespart werden?

1. Wie viele Lampen gibt es bei dir Zuhause? Welche Lampen (Glühlampe, Energiesparlampe, LED, Halogen) werden genutzt? Gehe die einzelnen Zimmer durch und notiere die Lampen mit der aktuellen Watt-Angabe in der Tabelle auf der Rückseite.
2. Trage bei allen Lampen ein, wie lange du sie in der Woche nutzt.
3. Berechne den Energieverbrauch der Lampen und die daraus entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Woche.

**Formel: Energie (E) = Leistung (P) × Zeit (h)**

Beispiel: Wenn du eine 60-W-Glühlampe 20 Stunden in der Woche benutzt, wird dies wie folgt gerechnet:

Energieverbrauch pro Woche:  $60 \text{ W} \times 20 \text{ h} = 1200 \text{ Wh}$   
CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Woche:  $33,6^* \text{ g/h} \times 20 \text{ h} = 672 \text{ g}$

\* Pro kWh werden 560 g CO<sub>2</sub> emittiert. Diese Angabe basiert auf dem deutschen Strommix, der jährlich bekannt gegeben wird auf [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) | CO<sub>2</sub>-Emission in g/h einer 60 W Glühlampe:  $560 \text{ g/kWh} \times 60 \text{ W} : 1000 = 33,6 \text{ g/h}$   
Entsprechend können die CO<sub>2</sub>-Emissionen anderer Lampen mit unterschiedlichen Wattangaben berechnet werden.

4. Berechne die Stromkosteneinsparung, wenn alle Lampen durch LED-Lampen ersetzt würden, und trage es in die Tabelle ein!

**Formel: 1 Kilowattstunde (kWh) = Kilowatt (kW) × Stunden (h)**  
**1 kW = 1.000 Watt (W)**

Beispiel: Bei einem Strompreis von 29,1 Cent pro kWh (2014) und einer Lampe mit einer Betriebsdauer von 8.000 Stunden wird wie folgt gerechnet:

Mit einer Glühlampe 60 W:  $0,06 \text{ kW} \times 8.000 \text{ h} \times 0,29 \text{ Euro/kWh} = 139,20 \text{ Euro}$   
Mit einer LED-Lampe 10 W:  $0,01 \text{ kW} \times 8.000 \text{ h} \times 0,29 \text{ Euro/kWh} = 23,20 \text{ Euro}$

Damit werden 116 Euro gespart.



# Die Geschichte des künstlichen Lichts



Lies dir den Text zur Geschichte der Beleuchtungstechnik durch. Auf dem Arbeitsblatt findest du die verschiedenen Jahreszahlen. Ordne die entsprechenden Ereignisse zu, und notiere in Stichworten, was in dem Jahr geschah.

**15.000 v.Chr.**

-----

**4000 v.Chr.**

-----

**1784**

-----

**1808**

-----

**1820**

-----

**1879**

-----

**1907**

-----

**1923**



**1926**



**1927**



**1962**



**1964**



**1980**



**1987**



**1993**



**1996**



**1997**



# Umfrage



## 1. Wie findest du die Beleuchtung in unserer Schule? Du kannst Noten von 1 bis 6 geben.

in den Klassenräumen:      - - - - -      in der Turnhalle:      - - - - -

in den Fluren:      - - - - -      in den Pausenräumen:      - - - - -

## 2. Falls du etwas schlecht benotest hast: begründe warum!

zu hell            zu dunkel     

Sonstiges:

-----

-----

## 3a. Kennst du LEDs?

ja            nein     

## 3b. Hast du LED-Lampen zu Hause?

ja            nein     

## 4. Was sollte deiner Meinung nach unbedingt bei der neuen Beleuchtung mit LED im Klassenraum bedacht werden?

heller            unterschiedliche Lichtstimmungen            Lichtinseln     

viele Möglichkeiten Licht an- und auszuschalten     

Sonstiges:

-----

-----

-----

# Checkliste Beleuchtung



## Beleuchtungssituation der Schule klären und auswerten

- Beleuchtungsstärke (immer 75 cm über dem Boden) der verschiedenen Lampen im ganzen Schulgebäude messen
- Kontrollieren, ob die Beleuchtungsstärken mit den Richtwerten übereinstimmen
- Nicht benötigte Lampen stilllegen (z.B. durch Herausdrehen des Leuchtmittels) oder
- Leuchtmittel mit geringerer Leistung wählen\*
- Lampenabdeckungen bzw. Leuchtkörper reinigen (Erhöhung der Lichtausbeute)
- Einsatz effektiverer Beleuchtungssysteme (Verantwortlichkeit: Schulträger)\*

## Sparsame Verwendung von künstlichem Licht

- Lampen nicht unnötig eingeschaltet lassen (z.B. bei ausreichend Tageslicht, in Pausen ab 5 Minuten und in der unterrichtsfreien Zeit)
- Lichtschalter markieren, um eine bessere Zuordnung zwischen Schalter und Lampen für die bedarfsgerechte Beleuchtung zu ermöglichen
- Raumgestaltung so verbessern, dass weniger Licht benötigt wird (z.B. möglichst helle Raumgestaltung, Einfall von Licht durch die Fenster nicht behindern, saubere Fensteroberflächen)
- Statt künstlicher Beleuchtung zur Verhinderung von Spiegelungen an der Tafel: Raumgestaltung ändern, spezielle Rasterlampen\* montieren oder die Anzahl der eingeschalteten Lampen minimieren
- Beleuchtungsschaltung ändern, wenn vom Tageslicht ausgeleuchtete Flure zusätzlich künstlich beleuchtet werden\*
- Bei Reinigungsarbeiten Beleuchtung nur dort einschalten, wo gerade geputzt wird bzw. Arbeiten (z.B. Reinigung) bei Tageslicht durchführen bzw. durchführen lassen
- Zeitschaltuhren und Bewegungsmelder in Räumen einsetzen, in denen häufig unnötig Licht brennt\*
- Nutzungen in den Abendstunden auf Teilbereiche konzentrieren

## Effizientere Beleuchtungssysteme verwenden

- Auf LED-Lampen umrüsten (v.a. bei > 2 h Einschaltdauer pro Tag)\*
- Elektronische Vorschaltgeräte einbauen lassen
- Bewegungsmelder\*

*\* mit Kosten verbunden*

# Raumbeleuchtung



Wie ein Raum beleuchtet wird, hängt von der Nutzung ab. Soll konzentriert gearbeitet werden, ist es gut, wenn der Raum hell beleuchtet ist. Wenn du dich gemütlich entspannen möchtest, sollte es nicht zu hell sein.

Die Beleuchtungsstärke wird in Lux (lx) gemessen und gibt an, wie viel Lichtstrom ( $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2$ ) auf eine be-

stimmte Fläche fällt. Auf dem Schreibtisch sollten es mindestens 500 lx sein, in der Aula oder beim Essen reichen 200 lx und in Fluren oder auf der Treppe sogar 100 lx.

Zum Vergleich: Im Freien werden tagsüber selbst an bewölkten Tagen 10.000 bis 20.000 lx gemessen.

**Überleg dir, wie ein Raum der Nutzung entsprechend gut beleuchtet werden kann.**

1. Welchen Raum möchtest du bearbeiten? (z.B. Klassenraum, Wohnzimmer, dein Zimmer, Küche etc.)

2. Skizziere den Raum auf einem Extrablatt und zeichne die Einrichtung inklusive der Leuchten/Lampen, die es im Raum gibt, mit ein!

3. Was wird in diesem Raum gemacht? (Schlafen, Lernen, Spielen, Lesen, Essen etc.) Viele Tätigkeiten in einem Raum sind möglich!

4. Skizziere die Bereiche in deiner Zeichnung, wo die Tätigkeiten stattfinden und beschrifte diese!

5. Ist die Beleuchtung gut so, wie sie ist? Welche der von dir eingetragenen Tätigkeiten braucht vielleicht ein anderes Licht? Wie könntest du das ändern?



# Licht am Tag & in der Nacht



1. Beschreibe deinen Tagesablauf vom Aufwachen bis zum Einschlafen und mit welchen Lichtquellen die einzelnen Ereignisse verbunden sind.

*Beispiel:*

**Tätigkeit**

Der Wecker klingelt und ich stehe auf.



**Lichtquelle**

Sonnenlicht scheint in mein Zimmer.

Ich frühstücke.



Küchenlampe, Energiesparlampe und Sonnenlicht durchs Fenster.

Ich fahre mit dem Bus zur Schule.



Künstliches Licht im Bus.

**Tätigkeit**

**Lichtquelle**

-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----

## Tätigkeit

## Lichtquelle

-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----

### 2. Welche Rolle spielt die Jahreszeit dabei?

-----
-----
-----
-----
-----
-----

### 3. Markiere im Tagesablauf, wo dir LEDs begegnen. Welche dieser Tätigkeiten könntest du ohne künstliche Lichtquelle tun?

# Die nicht-visuelle Wirkung des Lichts



Licht ermöglicht, dass wir gut sehen können. Aber es hat auch nicht-visuelle Wirkungen auf uns. Erst 2002 wurde in der Netzhaut des Auges Fotorezeptoren nachgewiesen, bei denen es nicht ums Sehen geht.

1. Wie werden die Fotorezeptoren genannt, die nicht dem Sehen dienen?

-----

2. Womit sind diese speziellen Fotorezeptoren verbunden?

-----

3. Welche Aufgabe haben die Ganglienzellen und der suprachiasmatische Nucleus des Hypothalamus?

-----

-----

4. Welche Reaktionen löst blaues Licht in den Ganglienzellen aus?

-----

-----

5. Beschreibe mit deinen Worten, was mit der „inneren Uhr“ gemeint ist.

-----

-----

-----

-----

-----

6. Welche zwei Chronotypen gibt es und was macht ihren Unterschied aus?

-----

-----

-----

-----

7. Nenne die Botenstoffe der inneren Uhr.

-----

-----

8. Beschreibe, welche Vorgänge im Körper durch die jeweiligen Botenstoffe bewirkt werden.

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

9. Erkläre, was passiert, wenn wir zu wenig Licht bekommen.

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

# Licht-Karton



Betrachte die Gegenstände im Karton genau und beschreibe, was dir auffällt!

1. Welche farblichen Unterschiede fallen dir auf? Suche dir zwei bis drei Gegenstände aus und beschreibe ihre Farben und wie sich diese im anderen Licht verändern!

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

2. Wie verändert sich der Schatten der Gegenstände? Suche dir zwei bis drei Gegenstände aus und beschreibe, wie sich ihr Schattenwurf verändert! Die beschriebenen Gegenstände können dieselben wie in Aufgabe 1 sein.

-----

-----

-----

-----

-----

-----

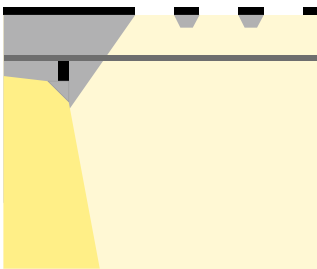
-----

# Die Beleuchtung im Museum

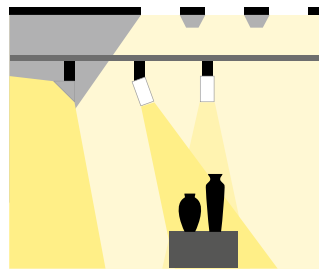


Ausstellungsräume in Museen werden mit diffusem und mit gerichtetem Licht beleuchtet. Die jeweiligen Anteile und die daraus resultierende Mischung bestimmen die Härte der Schatten von Bilderrahmen, die Plastizität von

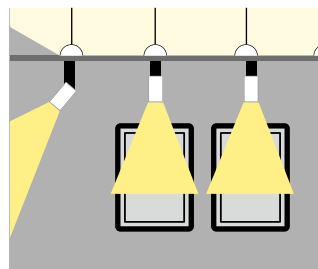
Skulpturen und räumlicher Objekte. Die Mischung beider Lichtanteile ist außerdem verantwortlich für das gesamte Erscheinungsbild des Raumes.



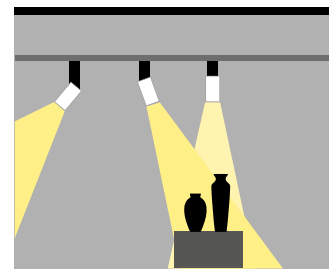
Gerichtetes Licht für die Wand, diffuses Licht für den Raum



Zusätzliches gerichtetes Licht für Objekte im Raum



Indirektes wirkt als diffuses, das direkte als gerichtetes Licht



Ausschließlich gerichtetes Licht

Untersuche, wie im Museum Kunstwerke beleuchtet werden. Suche dir dafür einen Raum im Museum aus.

## 1. Wie ist das Raumlicht?

Tageslicht durch Fenster o. Glasdecke       Künstliches Licht       Tageslicht und künstliches Licht

## 2. Wie wirkt der Raum?

Hell       Dunkel

## 3. Wie ist die Beleuchtung?

Diffus       Direkt

## 4. Wie werden die Exponate beleuchtet?

Gerichtet       Indirekt

## 5. Welche Leuchtmittel werden eingesetzt?

## 6. Wie wirken die Objekte durch die Beleuchtung?

-----

-----

-----

Suche dir ein Exponat (Skulptur oder Gemälde) aus und skizziere dieses. Zeichne ein, wie und womit es beleuchtet wird.

# Die LED-Beleuchtung von Kunstwerken



1. Warum wurden in der Sixtinischen Kapelle die Halogen-Strahler durch LED-Beleuchtung ausgetauscht?  
Nenne die Gründe.

-----

-----

-----

-----

2. Wie unterscheiden sich Helligkeit, Farben und Farbsättigung in beiden Bildern?

-----

-----

-----

-----



Franz Marc: *Rotes und Blaues Pferd* (1912),  
© Fotos: städt. Galerie im Lenbachhaus



# Die Beleuchtung im Supermarkt



Licht kann die Frische der Produkte und natürlichen Eigenschaften von Lebensmitteln hervorheben. Frische der Produkte soll unterstrichen werden, aber nicht unecht wirken.

Die Lichtfarbe und Farbwiedergabe ist dabei entscheidend. Kontraste lassen Ware attraktiver erscheinen.

Untersucht mit welchen Lampen (LEDs, Halogen etc.) und in welchen Lichtfarben (kaltweiß, gelb, rot, etc.) die jeweiligen Produkte beleuchtet sind!

**Achtung!**

*Schaut dabei nicht direkt in das Licht der Scheinwerfer, damit ihr nicht geblendet werdet!*

1. Wie sind Obst und Gemüse ausgeleuchtet?

---

---

---

---

---

---

---

---

2. Wie ist das Fleisch beleuchtet? Wie ist die Frische-Theke beleuchtet und wie die Kühltruhen?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Wie ist der Fisch beleuchtet?

-----

-----

-----

-----

4. Wie sind Brot und Backwaren beleuchtet?

-----

-----

-----

5. Beschreibe, wie die Gänge zwischen den Regalen und die Angebotstische beleuchtet sind! Wie unterscheiden sich die Lampen?

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

6. Gibt es im Supermarkt LED-Lampen? Wenn ja, wo?

-----

-----

-----

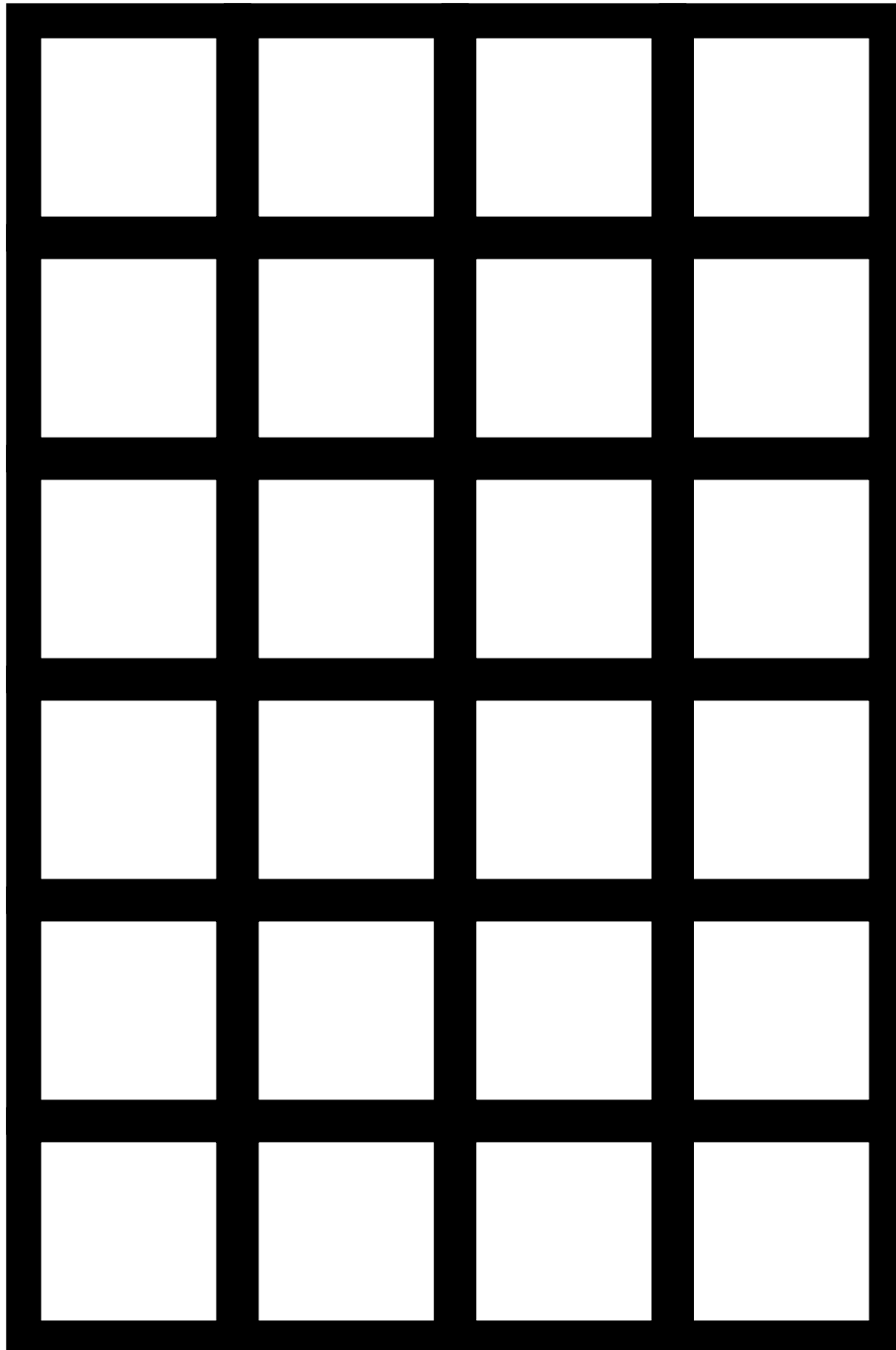
-----



# Farb-Checker selber malen



Malt jedes Kästchen mit einer anderen Farbe aus. Es können auch ähnliche Farbtöne nebeneinander gemalt werden. Diese sind je nach Beleuchtung besser oder schlechter zu unterscheiden.





Lined writing area consisting of multiple horizontal dashed lines.







# Literatur & Links

## Literatur zum Thema LED und Licht

**Khanh, T. Q. (2013):** Lichttechnik I – Skript zur Vorlesung, TU Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik.

**Khanh, T. Q. et al. (2013):** „Farbwiedergabe von konventionellen und Halbleiter-Lichtquellen“, Pflaum Verlag.

**Khanh, T. Q.:** „Intelligentes dynamisches Licht“, Vortrag auf der VDI-Tagung „Intelligente Beleuchtungssysteme mit LED“ am 25. und 26. November 2014.

**Khanh, T. Q. et al. (2014):** „LED Lighting- Technology and Perception, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

**licht.de:** Auswahl und für dies Bildungsmaterial relevante Publikationen der Schriftenreihe: 02 Besser lernen mit gutem Licht (2012), 04 Licht im Büro, motivierend und effizient (2012), 06 Shopbeleuchtung, attraktiv und effizient (2011), 17 LED: Das Licht der Zukunft (2010), 18 Gutes Licht für Museen, Gallerien, Ausstellungen (2006), 19 Wirkung des Lichts auf den Menschen (2014), 20 Nachhaltige Beleuchtung (20014).

→ *Schriftenreihe kann als PDF auf [www.licht.de/lichtwissen](http://www.licht.de/lichtwissen) heruntergeladen werden.*

**Lucas, R. J. et al. (2014):** Measuring and using light in the melanopsin age. Trends in Neuro Sciences, 37 (1), 1–9.

**Möller, K. et al (2014):** „Vergleich von LED und Leuchtstofflampen in Ihrer Wirkung auf Befinden und Leistungsfähigkeit in der Büroumgebung - eine Laborstudie“, Tagungsband, Lichttechnische Tagung der deutschsprachigen Länder, Den Haag.

**Moosmann, C. (2015):** Visueller Komfort. In: A. Wagner, G. Höfker, T. Lützkendorf, C. Moosmann, K. Schakib-Ekbatan & M. Schweiker, Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden - Empfehlungen für Planung und Betrieb. Stuttgart: Fraunhofer IRB.

→ *Aktuelle Erkenntnisse im Bereich des visuellen Komforts u. a. zur Wirkung von LED-Beleuchtung auf Gesundheit, Sehaufgabe und Leistung sowie Befunde zur biologischen Lichtwirkung werden beschrieben. Der Anwendungsbereich des Büroarbeitsplatzes ist auf den schulischen Bereich übertragbar, Studien aus dem schulischen Kontext wurden einbezogen.*

**Pepler, W., Schiller, C. & Khanh, T. Q. (2013):** Kommunen in neuem Licht. Praxiserfahrungen zur LED in der kommunalen Beleuchtung. TU Darmstadt.

→ *Wettbewerb, in dem der Transfer und die Markteinführung der LED-Technologie in die Allgemeinbeleuchtung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert werden. Er ist*

*Teil der LED-Leitmarktinitiative, die im Rahmen der HighTech-Strategie der Bundesregierung genau diesen Technologietransfer fördert. Online auf [www.photonikforschung.de/forschungsfelder/beleuchtungled/abgeschlossene-foerdermassnahmen/kommunen-in-neuem-licht0/](http://www.photonikforschung.de/forschungsfelder/beleuchtungled/abgeschlossene-foerdermassnahmen/kommunen-in-neuem-licht0/) oder [www.bmbf.de/pubRD/Kommunen-in-neuem-Licht-2013\\_mid.pdf](http://www.bmbf.de/pubRD/Kommunen-in-neuem-Licht-2013_mid.pdf).*

**Thema, J. & Irrek, Prof. Dr. W. (2010):** Umwelt- und Ressourcenaspekte einer verstärkten Nutzung von Leuchtdioden (LED). Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Hochschule Ruhr West.

→ *Kurzexpertise des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung online auf [http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRess\\_AP14\\_4.pdf](http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRess_AP14_4.pdf).*

**Udovičić, L. et al (2013):** Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED).

→ *Abschlussbericht zum Projekt „Messverfahren zur Risikobewertung von Licht emittierenden Dioden (LED) online auf [www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2115.html](http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2115.html).*

**VDI Technologiezentrum GmbH:** Photonik Forschung Deutschland

→ *Nachrichten, intelligente Beleuchtung, LED-Leitmarktinitiative, Funktionsweise einer LED, Fördermaßnahmen online auf [www.photonikforschung.de/forschungsfelder/beleuchtungled](http://www.photonikforschung.de/forschungsfelder/beleuchtungled).*

**ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. (2013):** Leitfaden – Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung. Begriffe, Definitionen und Messverfahren: Grundlagen für Vergleichbarkeit. ZVEI – Fachverband Licht.

→ *online auf [www.schuch.de/sites/default/files/ZVEI\\_Planungssicherheit\\_LED\\_ES\\_14.11.13.pdf](http://www.schuch.de/sites/default/files/ZVEI_Planungssicherheit_LED_ES_14.11.13.pdf).*

## Bildungsmaterialien zum Thema Licht

**Heybrock, E. & Schlichting, H. J. (2005):** Lukas Experimente mit Licht. VDI Technologiezentrum GmbH.

→ *Bildungsmaterial für 7- bis 11jährige online auf [www.vditz.de](http://www.vditz.de).*

**Heybrock, E. (2009):** Luka und das Licht der Zukunft - Lukas Experimente III; Green Photonics Band 1. Licht und LED-Experimente für 7- bis 13-jährige.

→ *online auf <http://www.faszinationlicht.de>.*

**Siemens Stiftung (2014):** So funktioniert eine Leuchtdiode.

→ *interaktives Tafelbild für Klasse 7 bis 13 online auf <https://medienportal.siemens-stiftung.org/portal>.*

**Unabhängiges Institut für Umweltfragen eV:** Praxisleitfaden – Umsetzung eines LED-Projektes an Ihrer Schule.

→ *Praxisleitfaden online auf [www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Praxisleitfaden/Se\\_Leitfaden\\_B\\_LED.pdf](http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Praxisleitfaden/Se_Leitfaden_B_LED.pdf).*

**VDI-Technologiezentrum (2003):** Faszination Licht – Eine Reise in die Welt des Lichts.

→ *online auf [www.photonik-campus.de/assets/Eine-Reise-in-die-Welt-des-Lichts-mit-Umschlag.pdf](http://www.photonik-campus.de/assets/Eine-Reise-in-die-Welt-des-Lichts-mit-Umschlag.pdf).*

Videoclip: Leuchtdioden erhellen eine Kirche. 4:33 Minuten. **Beitrag in der 3sat Mediathek vom 20.12.2012.**

→ *Online auf [www.3sat.de/mediathek/?mode=play&obj=34122](http://www.3sat.de/mediathek/?mode=play&obj=34122) oder als Artikel auf [www.3sat.de/page/?source=/nano/technik/166839/index.html](http://www.3sat.de/page/?source=/nano/technik/166839/index.html).*

## Bildungsmaterial zum Thema Energie und Klimaschutz

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB):** Bildungsmaterialien.

→ *Bildungsmaterialien zu Umweltthemen für verschiedene Altersstufen online auf [www.bmub.bund.de/themen/umweltinformation-bildung/bildungsservice/bildungsmaterialien](http://www.bmub.bund.de/themen/umweltinformation-bildung/bildungsservice/bildungsmaterialien).*

**Deutschen UNESCO-Kommission e.V.:** Portal Bildung für nachhaltige Entwicklung.

→ *„Bildung für nachhaltige Entwicklung“: 47 verschiedene Themen von Agrarwirtschaft über Lebensstile und Konsum bis hin zu Zukunft online auf [www.bne-portal.de](http://www.bne-portal.de).*

**Draeger, I. et al (2010):** Schulpaket Klimaschutz und Wohnen für 5. und 6. Klasse. UfU e.V.

→ *Unterrichtsmaterialien zu Energie und Wohnen.*

**Draeger, I. et al (2010):** CO<sub>2</sub>-frei zum Energiesparkonto für Schulen – Materialien für Schulen und Bildungseinrichtungen. UfU e.V.

**BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.:** Energie macht Schule.

→ *„Lehr und Lernportal des BDEW“: 9 Themenfelder im Bereich Energie. Im Unterrichtsheft „Energieeffizienz“ für die Sekundarstufe I findet sich auch eine kurze Einheit zu LEDs. Online auf [www.energie-macht-schule.de](http://www.energie-macht-schule.de).*

**Kliche, F. (2009):** Schulpaket fifty/fifty – Energiesparen an Schulen. Materialien für Schulen und Bildungseinrichtungen. UfU e.V.

→ *Unterrichtsmaterialien für die Mittel- und Sekundarstufe 5 bis 10.*

**Eduversum GmbH:** Naturwissenschaften entdecken.

→ *„Ein Projekt von lehrer-online“: Verschiedene Themen, unter anderem Material für den Physik-Unterricht in der Mittel- und Oberstufe zum Thema Beleuchtung allgemein online auf [www.naturwissenschaften-entdecken.de](http://www.naturwissenschaften-entdecken.de).*

**Unabhängiges Institut für Umweltfragen eV:** Bildungsmaterialien.

→ *diverse Bildungsmaterialien zu Umweltthemen für alle Altersstufen online auf [www.ufu.de/de/bildung/bildungsmaterialien.html](http://www.ufu.de/de/bildung/bildungsmaterialien.html).*

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB):** Umwelt im Unterricht.

→ *Bildungsservice des Bundesumweltministeriums mit Materialien zu aktuellen Umweltthemen. Wöchentlich neue Unterrichtsmaterialien. Unter anderem gibt es Material zur Energieeffizienz verschiedener Leuchtmittel für die Sekundarstufe. Online auf [www.umwelt-im-unterricht.de](http://www.umwelt-im-unterricht.de).*

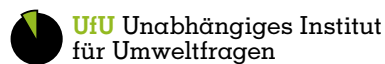
## Literatur zu den Themen Wirkung von Sanierungen auf den Schulalltag und Behandlung von Energiethematen

**Reiß, J., Erhorn, H., Geiger, M., Roser, A., Gruber, E., Schakib-Ekbatan, K., Winkler, M. & Jensch, W. (2013):** Energieeffiziente Schulen - EnEff: Schule. Stuttgart: Fraunhofer IRB.

→ *Anhand einzelner Demoprojekte wird neben technischen Aspekten die Bewertung der Sanierungsmaßnahmen auf die Lernumgebung aus Sicht der Schülerinnen, Schüler und Lehrkräfte beschrieben, die Einbindung der Sanierungsmaßnahmen in den Unterricht erläutert sowie Ergebnisse zur Behandlung der Themen Energie, Energiesparverhalten im Unterricht dargelegt.*

## Herausgeber

Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. - UfU -  
Greifswalder Str. 4, 10405 Berlin  
Tel: + 49 30 4284 993-0  
Fax: + 49 30 4280 0485  
www.ufu.de



## Autor\*innen

Schirin Shahed (UfU e.V.) unter Mitarbeit von: Dr. Bianca Schemel (UfU e.V.), Max Wagner (TU Darmstadt), Edith Holländer (IREES), Ulrike Koch (UfU e.V.), Dr. Annette Roser (IREES), Karin Schakib-Ekbatan (IREES), Almuth Tharan (UfU e.V.), Lisa Häfner (UfU e.V.)

## Projektpartner



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



FACHGEBIET  
LICHTTECHNIK



Institut für Ressourceneffizienz  
und Energiestrategien

## Gestaltung

Katja Hommel, [www.katjahommel.com](http://www.katjahommel.com)

## Papier

Innenteil: Circle Offset Premium White - Recycling-Offset 120 g,  
Umschlag: Maschinengraukarton 350 g, recycled

**Druckerei:** Oktoberdruck AG

**Auflage:** 1.500

August 2015

Das Lehrmaterial kann kostenlos als PDF heruntergeladen werden:

**[www.ufu.de/led-lehrmaterial](http://www.ufu.de/led-lehrmaterial)**

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

### Bildnachweise

S. 20–22 lamp row\_Foto: stockphoto-graf\_Quelle: Fotolia S. 24/25 light bulb\_© Dani Rolli\_Quelle: thenounproject.com S. 28 Candle, tungsten bulb, fluorescent, halogen and LED bulb\_Foto: chones\_Quelle: Fotolia / Set of color LEDs\_Foto: Oleksiy Mark\_Quelle: Fotolia / led strip tape convolute on the plastic spool\_Foto: Бурдюков Андрей\_Quelle: Fotolia / Led stripe in coil isolated on white. Diode strip\_Foto:nys\_Quelle: Fotolia S. 29 set of LED bulbs (lamps) with different sockets isolated on white\_Foto: YamabikaY / set of LED isolated on white background\_Foto: mnowicki / led fluorescent light\_Foto: yakiniku\_Quelle: Shutterstock S. 30 Lunapark\_Foto: Monika Olszewska\_Quelle: Fotolia / Yellow-green led aluminum flashlight on a white background\_Foto: Velizar Gordeev\_Quelle: Fotolia / LED display alphabet. Vector.\_Foto: Alhovik\_Quelle: Shutterstock S. 37 men\_© Jens Tärning\_Quelle: thenounproject.com S. 51 Supermarket\_Foto: adisa\_Quelle: Fotolia / Cheese shop\_Foto: adisa\_Quelle: Fotolia / Fresh fish on iced market display, horizontal shot\_Foto: nickola\_che\_Quelle: Fotolia / Fresh Meat Purchase\_Foto: Mikael Damkier\_Quelle: Fotolia / Auswahl an Brötchen\_Foto: Floydine\_Quelle: Fotolia / Gesundes Gemüse\_Foto: megakunstfoto\_Quelle: Fotolia



