

Licht und Lampen – Aufbau und Eigenschaften moderner Lichtquellen und Strahler

Licht – und damit auch die künstliche Beleuchtung – hat großen Einfluss auf das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit von uns Menschen. Deshalb müssen die Lichtquellen an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Nur wenn die Beleuchtung nach geeigneten Güte Merkmalen wie z. B. Lichtfarbe, Farbwiedergabe normenkonform (vgl. EN 12464-1) und/oder besonders nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgewählt und geplant wird, ist das Ergebnis am Ende auch zufriedenstellend.

Welche Lichtquelle und damit auch welche Lampenart zum Einsatz kommen soll, sollte ganz am Anfang einer Lichtplanung stehen:

direkte oder indirekte Beleuchtung, warmes Glühlampenlicht für eine gemütliche Atmosphäre oder eher kühl-geschäftsmäßig und anregend für den Arbeitsplatz? Dadurch wird festgelegt, welche und wie viele Leuchten benötigt werden, egal ob neue Lichanlage oder Sanierung einer alten. Wird ein Raum vielfältig genutzt, ist eine eindeutige Entscheidung oft nicht möglich. Da bleibt nur der Einsatz eines flexiblen Systems (z. B. Schienensystem oder Lichtmanagementanlage). Da können dann – je nach Bedarf – verschiedenste Leuchten- und Lampentypen eingesetzt werden.

In diesem Lichtbrief stellen wir die grundsätzlichen Lampentypen vor.

Lampenarten

Welche Lichtquellen gibt es?

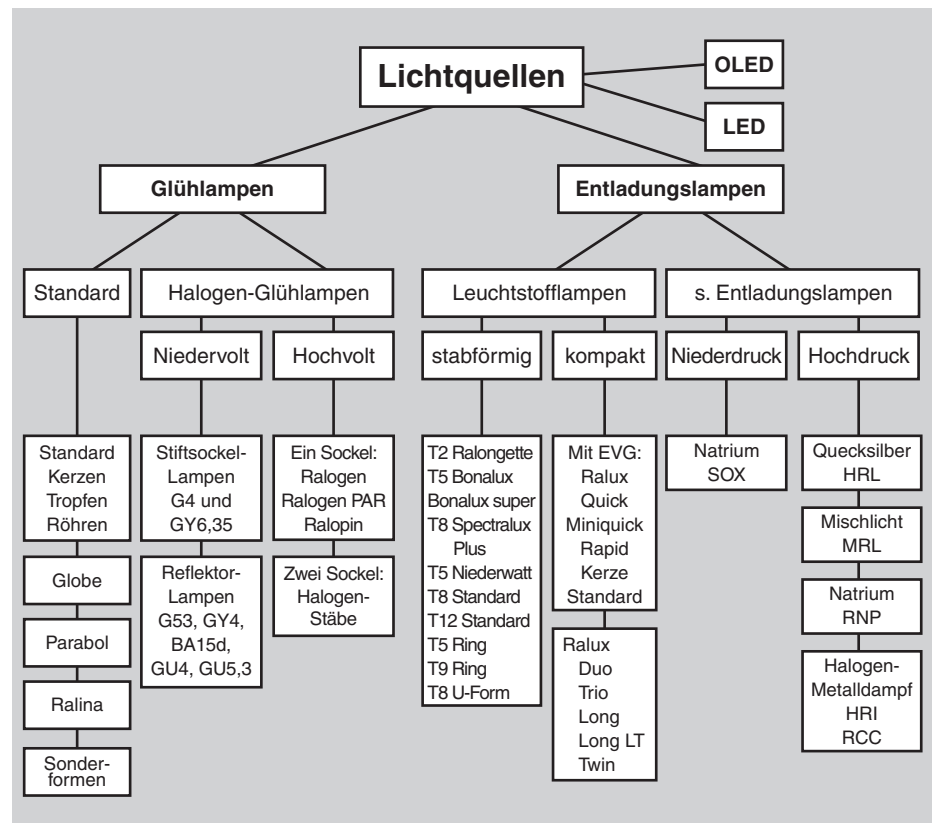
Je nach Art der Lichterzeugung unterscheidet man – neben der LED/OLED – grundsätzlich zwei Lampenfamilien: Glühlampen und Entladungslampen. Diese werden dann nach weiteren Kriterien wie Bauformen, Sockel, Fülldruck und Lampenfüllungen (Füllgase und Zusätze zur Erzeugung bestimmter Lichtfarben bei Entladungslampen) gegliedert, so dass sich ein „Lampenstammbaum“ ergibt.

LEDs kann man sowohl nach Lichtfarben als auch nach Bauformen weiter gliedern.

Neue Licht und Lampentechnologien wie z. B. in der Vergangenheit Kompaktleuchtstofflampen und heute LEDs bzw. OLEDs erobern einen Teil des Lichtmarkts und erschließen neue Einsatzgebiete.

Während bei den Glühlampen die einfache Anwendungstechnik und die perfekte Farbwiedergabe im Vordergrund steht, bestechen Entladungslampen vor allem durch ihren oft sehr wirtschaftlichen Betrieb.

Gute Lichtplanung nutzt alle diese Eigenschaften und setzt auch in den gleichen Räumen verschiedene Lampentypen zusammen ein.



Standardlampen (Glühlampen)



klare Standardglühlampe

Lichterzeugung

Ist die Lampe eingeschaltet, fließt elektrischer Strom durch die Wolframdrahtwendel. Dadurch wird sie auf ca. 2800K, etwa 2500°C erhitzt und gibt dann sichtbare elektromagnetische Strahlung – Licht – ab. Die Glühlampe ist also ein Temperaturstrahler. Die Strahlung wird vorwiegend als Wärmestrahlung abgegeben. Das Strahlungsmaximum von Temperaturstrahlern liegt somit im Infrarot-Bereich (über 800nm Wellenlänge).

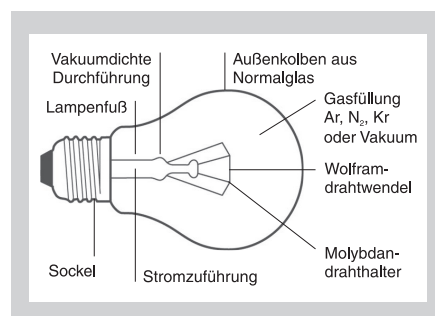
Je höher die Wendeltemperatur im Betrieb ist, desto höher wird die Lichtausbeute der Lampe. Nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz kommt das Strahlungsmaximum ab ca. 3000K Wendeltemperatur in den Bereich des sichtbaren Lichts (ca. 380nm bis 780nm). Im Gegenzug verkürzt sich aber die Lebensdauer, denn mit der höheren Temperatur dampft mehr Wolfram-Material von der Wendel ab.

Meist setzen sich die Wolfram-Atome innen auf der Glaskolbenwand wieder ab. Wenn diese Schicht mit der Zeit immer dicker wird, wird sie sichtbar und dann „schwärzt“ die Lampe. Gleichzeitig wird die Wendel durch den Materialverlust immer dünner, dadurch stoßempfindlicher und die Gefahr des „Durchbrennens“ steigt.

Jeder Glühlampentyp braucht zur Lichterzeugung Wolframdraht einer bestimmten Dicke und Länge. Um diese Drahtlänge in der Lampe unterzubringen, wird er zur Wendel gewickelt. Besonders dünne und lange Drähte

werden u. U. doppelt oder sogar dreifach gewandelt. Doppelwendellampen sind von vornherein stoßempfindlicher und haben eine höhere Lichtausbeute.

Durch entsprechende Füllgase im Lampenvolumen kann sowohl die Lebensdauer als auch die Lichtausbeute verbessert werden. Edelgase mit hohem Molekulargewicht wie Krypton oder Xenon und ein hoher Fülldruck reduzieren die Verdampfungsgeschwindigkeit der Wolfram-atome und verlängern damit die Lebensdauer. Aufgrund der geringeren Wärmeleitfähigkeit von Krypton oder Xenon kann die Wendel mit weniger Aufwand (= elektrischer Energie) heißer betrieben werden und damit ist die Lichtausbeute höher. So haben Krypton gefüllte Lampen gegenüber den üblichen Stickstoff-Argonlampen eine höhere Lichtausbeute.



Aufbau einer Standardglühlampe

Technische Daten

Bei der Glühlampe hängen alle technischen Angaben und Anwendungshinweise mit der Wendel zusammen. So gilt: je niedriger die Versorgungsspannung bzw. je höher die Leistung (z.B. 24V – 100W), desto dicker und robuster ist die Wendel. Umgekehrt gilt aber auch, je höher die Versorgungsspannung bzw. je niedriger die Leistung (z.B. 240V – 25W), desto dünner muss der Wolfram-Wendeldraht ausgelegt werden.

Für Anwendungsgebiete wie Bergbau oder Verkehr, wo u. U. starke Erschütterungen auftreten, gibt es Lampen mit zusätzlichen Wendelhalterungen. Ein unabhängiges staat-

liches Prüfamts vergibt ein Zertifikat für diese stoßfesten Lampen, wenn sie den Kriterien der „Vereinigung zur Güteüberwachung stoßfester Glühlampen e.V.“ entsprechen.

In Bergbau und der chemischen Industrie werden Lampen gebraucht, die bestimmte Temperaturgrenzen nicht überschreiten, damit sich dort nichts entzünden kann. Sie sind mit dem T-Zeichen versehen.

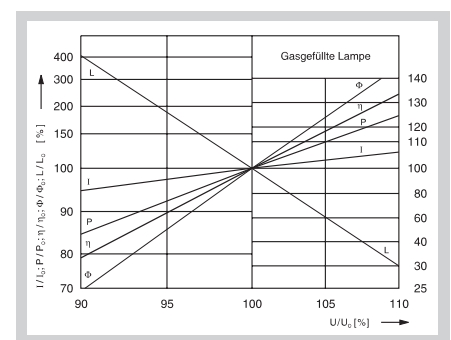
Glühlampen sind mit allen bekannten Dimmern regelbar, dabei wird die Lichtfarbe wärmer und die Lichtausbeute deutlich geringer. Die Lebensdauer der einzelnen Lampe hängt entscheidend von der Belastung ihrer Wendel ab: je geringer deren Temperatur, desto länger ist die Lebensdauer. Überspannung (auch als Spannungsspitzen) verkürzt die Lebensdauer von Glühlampen erheblich.

Als Faustregel gilt:
5% Überspannung entspricht
50% (also der halben) Lebensdauer!

Deshalb kann es in der Nähe eines Kraftwerks oder einer Umspannstation sinnvoll sein, Lampen einer höheren Nennspannung, z.B. 240 statt 230V, einzusetzen.

Umweltfreundlichkeit

Die Bewertung durch das sogenannte Energylabel bringt zum Ausdruck, wie effizient ein Stromverbraucher arbeitet. Es wird vor allem für Elektro-



Abhängigkeit des Lichtstroms und der Lebensdauer von der Versorgungsspannung

geräte zum Gebrauch im Haushalt (wie z.B. Kühlschränke) angegeben. Die Einteilung erfolgt in Klassen von A bis G. Dabei ist A die beste Klasse und zeichnet Lampen mit hoher Lichtausbeute aus. Glühlampen haben eine vergleichsweise geringe Lichtausbeute, verbrauchen also mehr Energie zur Lichterzeugung als andere Lampentypen. Energy-Label E, F, G

Entsorgung

Glühlampen können zum Hausmüll gegeben werden.

Halogenglühlampen

Halogen-Glühlampen sind – rein technisch gesehen – eine Weiterentwicklung herkömmlicher Glühlampen. Der wesentliche Unterschied liegt in der Zusammensetzung des Füllgases. In geringer Menge sind die namensgebenden Halogene (meist Jod oder Brom) beigefügt.

Die hohen Temperaturen und z. T. auch Fülldrücke machen eine Verwendung von Quarz- oder Hartglas für die Brennergefäße notwendig. Quarz- oder Hartglas als Kolbenmaterial ist hitzebeständiger als Weichglas und hat eine sehr geringe bzw. praktisch keine Wärmedehnung (Quarz).

Werden Quarzlampen beim Austausch direkt mit der Haut berührt, kann sich an diesen Stellen die



Struktur verändern (inneres Entglasen) und die Lampe kann im äußersten Extremfall platzen. Deshalb sollten alle Quarzbrenner nur mit einem Tuch oder Stück Papier ergriffen werden.

Die Wendel in Glüh- oder Halogenlampen wird meist von Drähten aus Wolfram oder Molybdän in etwa in der Mitte des Lampenkolbens gehalten. Bei der Noppentechnologie wird die Wendel durch Verformungen des Quarz-Kolbens gehalten. Diese Technologie sorgt für stossfestere Lampen (shock proof).

Lichterzeugung

Im sogenannten Halogenkreisprozess verringern die Halogene die Schwärzung des Lampenkolbens während der Betriebszeit deutlich.

Der Halogenkreisprozess läuft ab wie folgt:

Aufgrund der hohen Betriebstemperatur dampfen Wolframatome von der Wendel ab. Die meisten davon werden nun aber von den Halogenen „eingefangen“ anstatt sich auf der Kolbenwand abzusetzen. Die Schwärzung des Außenkolbens wird dadurch deutlich verringert.

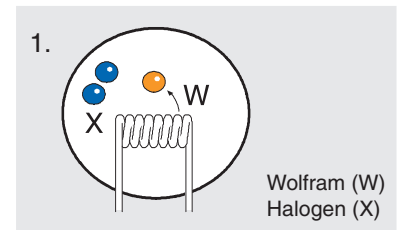
Kommt dieser Halogen-Wolfram-Komplex durch Konvektion in der Lampe in die Nähe der Wendel, trennt er sich und das Wolfram-Atom wird wieder auf der Wendel abgelagert.

Der Halogenkreisprozess funktioniert allerdings nur vollständig, wenn die Lampe nicht zu stark gedimmt wird: er benötigt eine Mindesttemperatur (Wendel $\geq 2700^\circ\text{C}$, Lampenkolben $\geq 200^\circ\text{C}$). Dafür ist er aber in der Lage, eine durch zu starke Dimmung geschwärzte Lampe im Betrieb mit Nenn-Spannung wieder klar zu brennen.

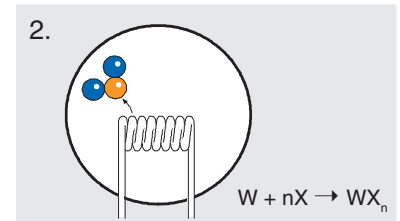
Halogenglühlampen werden je nach Brennspannung Hochvolt- oder Niedervoltlampen zugeordnet.

Hochvolt-Halogenglühlampen können ohne Trafo betrieben werden und sind deshalb überall einfach

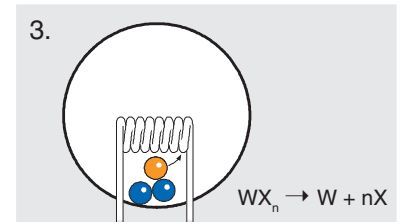
einsetzbar. Durch die Xenon-Technologie lässt sich die Effizienz dieser Lampen steigern.



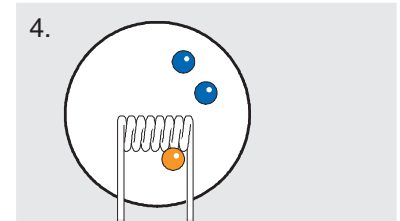
Ein Wolframatom löst sich von der Wendel



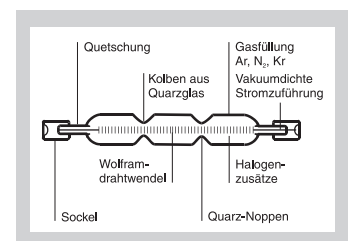
Das Wolframatom wird vom Halogen gas eingefangen und komplex gebunden



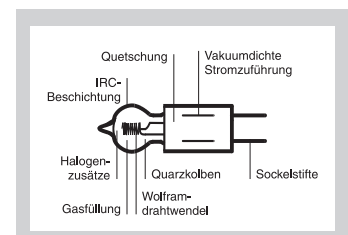
Das Wolframatom wird vom Halogen gas an der Wendel wieder abgegeben



Wolfram ist wieder auf der Wendel und Halogen gas frei im Lampenvolumen



Aufbau einer Hochvolt-Halogenglühlampe



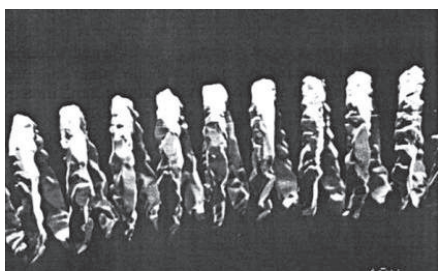
Aufbau einer Niedervolt-Halogenglühlampe in IRC-Technologie

Xenon-Technologie

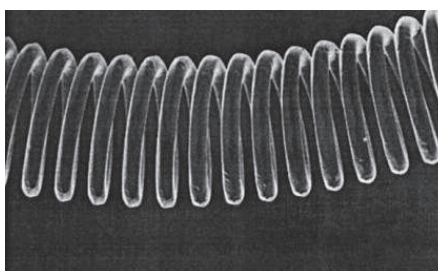
Durch Zugabe des Edelgases Xenon zum Lampenfüllgas wird das Abdampfen der Wolframatomte von der Wendel verlangsamt. Außerdem hat Xenon eine geringere Wärmeleitfähigkeit, die Wärmeenergie geht nicht nach außen, sondern bleibt in der Lampe. Zum Heizen der Wendel wird – bei gleichem Lichtstrom – weniger elektrische Energie benötigt.

Skylight Niederdrucktechnologie

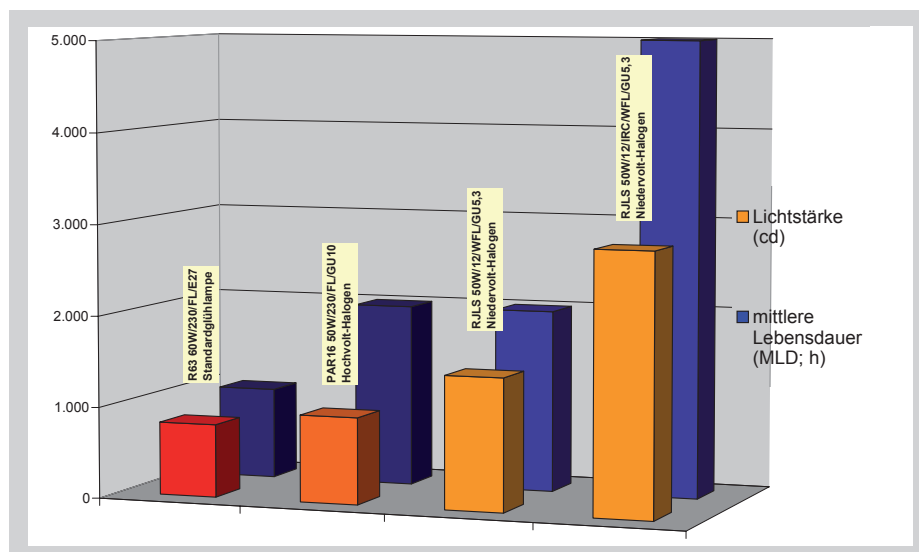
Wenn Gefäße mit Gasfüllung in hohem Fülldruck überlastet werden, also z.B. zu heiß werden, können sie möglicherweise platzen. Sie dürfen deshalb nur mit Schutzscheibe betrieben werden. Niedervolt-Halogenglühlampen für den Betrieb in offenen Leuchten wie z.B. Stiftsockellampen in einem Sternenhimmel sind mit geringem Fülldruck gefertigt. Dadurch ist die Konvektion im Inneren des Brenners ruhiger und gleichmäßiger, Wärme wird langsamer abtransportiert. Allerdings läuft der Halogenkreisprozess dann etwas weniger effektiv, von der Wendel abgedampfte Wolframatomte werden nicht ganz so schnell wieder dorthin zurückgebracht.



Hochdrucklampe 5W/12V
nach 1.800 Betriebsstunden



Skylight Niederdrucklampe 5W/12V
ebenfalls nach 1.800 Betriebsstunden



Vergleich der Lichtstärken und Lebensdauern verschiedener Glüh- und Halogenlampen bei in etwa gleichem Ausstrahlwinkel (30-36°)

Anwender aus dem Profi-Bereich legen besonderen Wert auf Lichttechnik und Wirtschaftlichkeit, also hohe Lichtausbeuten und lange Lebensdauern.

Eine Steigerung der Lichtausbeute wird durch die IRC-Technik erreicht.

IRC-Technik

Da Halogenglühlampen Temperaturstrahler sind, fällt bei der Lichterzeugung sehr viel Abwärme an. Ein Großteil dieser Abwärme wird in Form von Infrarotstrahlung von „normalen“ Lampen durch die Brennerwand nach außen abgegeben und ist damit verloren.

Die Beschichtung des IRC-Halogenbrenners reflektiert die Infrarotstrahlen wieder in seinen Innenraum zurück (Einfallswinkel = Ausfallwinkel). Durch die kugelhähnliche Bauform fallen die Strahlen wieder auf die Wendel und halten die Wärmeenergie damit in der Lampe.

Zum Heizen der Wendel wird – bei gleichem Lichtstrom – weniger elektrische Energie benötigt.

Dies ist alternativ nutzbar: Entweder kann bei festgelegtem Lichtbedarf Energie gespart, oder bei gleichem Energieverbrauch die Beleuchtungsstärke deutlich erhöht werden.

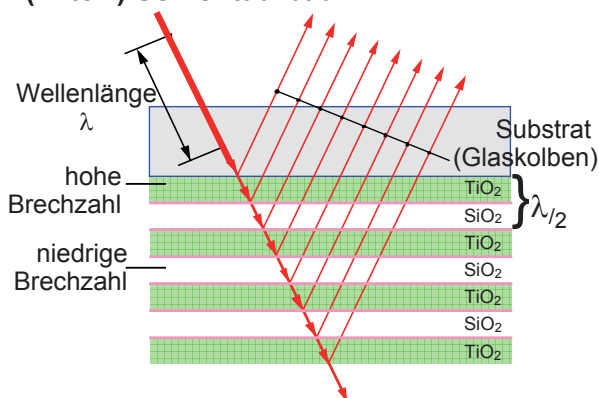
Wenn z.B. statt einer normalen 50W Kaltlichtspiegellampe eine 35W IRC eingesetzt wird, verringert sich damit der Energieverbrauch um bis zu 30% – bei gleicher Lichtstärke! Dazu nimmt die Wärmebelastung der Leuchten und ihrer Umgebung deutlich ab, was z.B. in abgehängten Decken durchaus sinnvoll sein kann.

Außerdem kann durch eine geringere Belastung der Klimaanlage eine weitere mögliche Energieeinsparung realisiert werden. Die individuelle Ersparnis kann mit dem Radium HalogenCostControl-Rechner ermittelt werden:

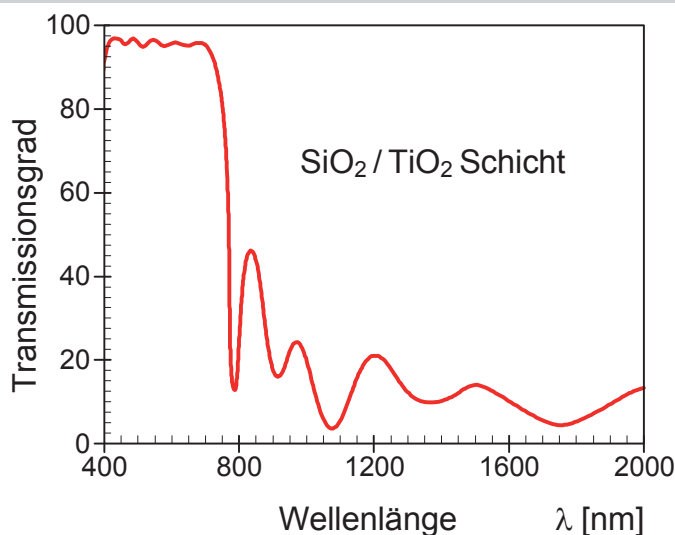
www.radium.de/IRC

Halogenlampen werden im Betrieb sehr heiß und stellen daher hohe Anforderungen an die Leuchte. Hochwertige Leuchten tragen das ENEC-Zeichen, das heißt, sie sind von einem unabhängigen, akkreditierten Labor geprüft.

(Filter-) Schichtaufbau



IRC-Dünnschichtbeschichtung



Transmission
(Durchlässigkeit)
der Beschichtung

Reflektorlampen gibt es mit unterschiedlichsten Reflektor-Arten und Ausstrahlwinkeln für professionelle Beleuchtungszwecke. Je kleiner der Ausstrahlwinkel eines Reflektors, umso größer ist die Lichtstärke einer bestimmten Lampe. Damit lassen sich hervorragende Lichteffekte erzielen (z.B. Spot).

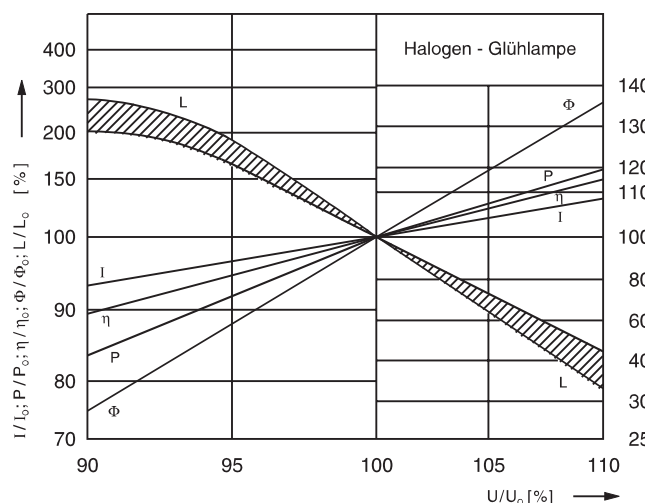
Die Reflektorbeschichtungen sind für die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten passend wählbar. Einfache Kaltlichtreflektoren (cool beam) können nur eingesetzt werden, wenn der Wärmeabtransport nach hinten möglich ist. Diese Reflektoren zeigen dann auf der Rückseite oft verschiedene Farben. Eine einheitlich blaue Rückstrahlung haben hochwertige Lampen wie z.B. RJLS Mega. Soll die Wärme möglichst nach vorne abgestrahlt werden (z.B. bei wärmeempfindlichem Material in einer abgehängten Decke), müssen Alureflectoren oder -beschichtungen verwendet werden. So reduziert z.B. die Mini-Reflektorlampe Skystar die Wärmelast auch in Leuchten, die eigentlich für Stiftsockellampen gedacht sind.

Technische Daten

Ähnlich wie Standardglühlampen sind Halogenglühlampen dimmbar, hier ist jedoch der Betriebstemperatur-Bereich des Halogenkreisprozesses zu beachten. Die Betriebscharakteristik ist daher nicht ganz linear.

Halogenglühlampen sind in sehr vielen Bauformen und für verschiedenste Anwendungszwecke erhältlich. Den Trend zur Miniaturisierung gibt es auch bei Lampen: Für moderne, interessante Leuchten gibt es Lampen mit oder ohne Reflektor in kleinsten Abmessungen wie z.B. Stiftsockellampen, Skystar oder Ralopin. Damit können die Leuchten sehr kompakt gebaut werden.

Als Ersatz für Standardglühlampen sind Halogenglühlampen mit verschiedensten Hüllkolben auf dem Markt – wie Ralogen® BT oder Kerzen.



Betriebscharakteristik

Lampentyp		RJL Alu	RJL mit Scheibe GU4 GU5,3		RJL einfach	RJL Mega GU4 GU5,3		RJL Mega IRC
Leistung	Ausstrah- lungswinkel	Lichtstärke in cd						
10W	36°	–	300	–	–	–	–	–
20W	10°	–	3 200	3 000	3 150	–	5 000	6 000
	24°	–	–	–	–	–	–	2 300
	36°	700	500	480	510	700	780	1 000
	60°	–	–	–	–	–	350	450
35W	10°	–	5 000	6 000	–	–	9 100	12 500
	24°	–	–	–	–	–	3 100	4 400
	36°	1 100	900	1 000	1 050	1 350	1 500	2 200
	60°	–	–	–	–	–	700	1 100
50W	10°	–	–	7 800	–	–	12 500	15 000
	24°	–	–	–	–	–	4 400	5 700
	36°	1 800	–	1 450	1 500	–	2 200	2 850
	60°	–	–	840	700	–	1 100	1 430

Vergleich der Lichtstärken verschiedener Kaltlichtspiegellampen

Standardglühlampen können einfach mit Gleichstrom (Batterie/Notstrom) betrieben werden. Für Halogenglühlampen muss dieser Anwendungsfall differenziert betrachtet werden.

Grundsätzlich gilt: je dicker der Wolfram-Wendeldraht, desto robuster die Lampe (siehe auch S. 2). Je robuster die Wendel, desto unempfindlicher ist sie gegenüber dem Gleichstrombetrieb. So sind z.B. in der gleichen Wattagestufe Einfachwendeln (SC) robuster gegen Gleichstrombetrieb als Doppelwendeln (CC), weil sie aus dickerem Draht bestehen.

Für Niedervolt-Halogenglühlampen mit einer Leistungsaufnahme von 10W oder darüber stellt der Betrieb an Gleichstrom kein Problem dar, bei Lampen mit kleinerer Leistung muss jedoch mit einer Reduzierung der mittleren Lebensdauer gerechnet werden. Die Wirkung ist bei Hochvolt-Halogenglühlampen demgegenüber viel ausgeprägter. Die Lebensdauer der betroffenen Lampen verkürzt sich. So hat z.B. eine 60W/230V – Lampe bei Wechselstrombetrieb eine mittlere Lebensdauer von 2000 Stunden, bei Gleichstrombetrieb nur noch etwa 300 Stunden.

Umweltfreundlichkeit

Halogenlampen haben eine vergleichsweise geringe Lichtausbeute, verbrauchen also relativ viel Energie zur Lichterzeugung. Energy-Label C,D,E

Entsorgung

Halogenlampen können zum Hausmüll gegeben werden.

Glühlampen für spezielle Anwendungsfälle

Licht wird nicht nur für die Beleuchtung gebraucht, sondern auch für Pflanzen, Farb- oder Fluoreszenzeffekte.

Pflanzenlicht

Pflanzen brauchen verstärkt Strahlung in bestimmten Wellenlängenbereichen, z.B. um zu Wachsen oder zu Blühen. Dafür gibt es Glühlampen mit entsprechendem Filter. An dieser Stelle können aber auch Leuchtstofflampen, Halogenmetall dampf- oder Natriumdampfhochdrucklampen eingesetzt werden.

Farbiges Licht

Die farbige Beschichtung bzw. der farbige Lampenkolben filtert das erzeugte weiße Licht entsprechend.

Farbiges Licht kann man aber auch direkt erzeugen. Das ist technisch zwar etwas anspruchsvoller, aber heute kein Problem mehr: Für Allgemeinbeleuchtung und Effekte stehen LED in allen Farben zur Verfügung, für hohe Beleuchtungsstärken wie z.B. bei Anstrahlungen können Hochdruck-Entladungslampen eingesetzt werden. Gelbes, blaues, grünes oder magenta-farbenes Licht wird durch die Füllungssysteme direkt erzeugt und kann daher ohne Filter eingesetzt werden.

Schwarzlicht

Für Spezialeffekte bei Veranstaltungen, auf Bühnen und in privaten Party-Kellern wird gerne „Schwarzlicht“, also blau-violette Wellenlängen und langwellige UV-Strahlung eingesetzt. Dafür muss fast der gesamte Anteil sichtbares Licht ausgefiltert werden. Aus diesem Grund tragen die Lampen eine tieftintenblaue bzw. schwarze Beschichtung. Dieser Effekt kann auch mit Entladungslampen (UV-Strahler oder schwarze Leuchtstofflampen) erreicht werden.

IR-Strahler

Bei diesen Lampen wird nicht vorrangig das sichtbare Licht, sondern die Wärme-Strahlung, die Infrarot- oder IR-Strahlung (Wellenlänge ab 800nm) genutzt. Glühlampen bzw. Halogen-glühlampen geben als Temperaturstrahler ca. 90% ihrer Strahlungsenergie als Wärme ab, deshalb sind sie für diesen Zweck ideal.

IR-Strahler sind Temperaturstrahler in vielfältigen Bauformen: Häufig sind es stabförmige Halogen-glühlampen, deren Wendeln so ausgelegt sind, dass bestimmte Wellenlängenbereiche im Infraroten verstärkt abgestrahlt werden. Durch Rotfilter und/oder Einsatz von Reflektoren lässt sich die Wirkung verstärken bzw. die Strahlung zielgerichtet einsetzen.



verschiedene IR-Strahler

Die Wärmestrahlung wird v.a. zur Trocknung (z.B. in der Papierfertigung) oder zum Wärmen von Lebewesen (Heizstrahler, Sauna, Tieraufzucht) eingesetzt, kann aber auch zum Kochen verwendet werden (Ceran-Feld).

Aktuelle IR-Systeme arbeiten mit kurzwelliger Infrarotstrahlung, die Luft durchdringt, ohne sie zu erwärmen. Damit werden angestrahlte Personen oder Objekte effektiv erwärmt – ohne Energieverlust.

LED

Wenn wenig Licht – weiß oder in Farbe – gebraucht wird und dafür außerdem wenig elektrische Energie aufgewendet werden soll, dann kommen LEDs zum Einsatz. Sie sind durch ihre Langlebigkeit für schwer zugängliche Orte besonders geeignet.

Lichterzeugung

LEDs erzeugen – wie Laser – je nach der im pn-Übergang eingesetzten Stoffkombination monochromatisches Licht, also Strahlung einer bestimmten Wellenlänge. Farbiges Licht wird direkt erzeugt und muss nicht erst aufwändig herausgefiltert werden.

Weißes Licht kann mit LEDs auf verschiedene Weise erzeugt werden: entweder durch RGB-Farbmischung in einer sogenannten Multi-LED mit 3 farbigen Chips in einem LED-Gehäuse vergossen oder durch Einsatz von Leuchtstoffen in der Vergussmasse um einen blauen Chip.

Um brauchbare Farbwiedergabewerte ($R_a > 70$) bei weißen LEDs mit Leuchtstoffen zu bekommen, wird meist gelb-oranger und gelb-grüner Leuchtstoff zusammen eingesetzt.

Technische Daten

LEDs brauchen grundsätzlich eine Gleichspannungs-Versorgung, die den Betrieb am verfügbaren Netz sichert. Deshalb ist zu jedem LED-Modul ein geeignetes Netzteil zu verwenden (Herstellerhinweise beachten!). Zu hohe Betriebsströme schaden der LED, Lebensdauereinbußen sind dann vorprogrammiert. Umgebungsbedingungen wie erhöhte Feuchtigkeit oder Wärme führen ebenfalls zu verringerter Lebensdauer oder u.U. auch zu sofortigem Ausfall. Feuchtigkeit greift die Vergussmasse an und zersetzt die Leuchtstoffe in den weißen LEDs. Die Lagertemperaturen sollten im Normalfall zwischen -40°C und $+100^\circ\text{C}$ liegen, die Betriebstemperaturen zwischen -20°C und $+50^\circ\text{C}$ (je nach LED/OLED).

Leuchtstofflampen

Leuchtstofflampen sind aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit in der Allgemeinbeleuchtung weit verbreitet.



Kompaktleuchtstofflampe mit Stecksockel



Stabförmige Leuchtstofflampe

Lichterzeugung

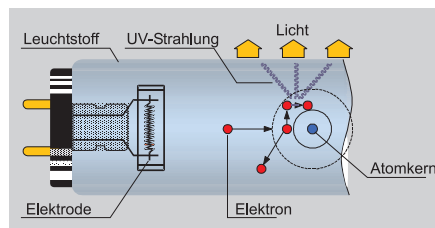
Leuchtstofflampen sind Entladungslampen, d.h. das Licht wird durch eine Entladung zwischen zwei Wendelektroden an den beiden Enden eines vakuumdicht geschlossenen, gasgefüllten Glasrohres erzeugt. Als Niederdruck-Entladungslampen ist ihr Fülldruck gering.

Beim Einschalten (Anlegen der Netz-Spannung) fließt Strom durch Drossel und Starter bzw. das elektronische Vorschaltgerät (EVG) und die Wendelektroden (Vorheizphase). Ein Spannungsimpuls aus Drossel und Starter bzw. EVG zündet danach die Lampe. Ohne die Begrenzung des Lampenstroms im Betrieb z.B. durch eine Drosselspule (Vorschaltgerät) würde ein zu hoher Strom fließen, der die Elektroden zerstören könnte. Deshalb ist der Betrieb von Entladungslampen nur mit passendem Vorschaltgerät möglich.

Der Vorheiz-Strom in den Elektroden sorgt dafür, dass Elektronen in das Lampenvolumen austreten. Diese Elektronen ionisieren das Füllgas in der Umgebung der Elektroden. Ist das Füllgas genügend stark ionisiert (leitfähig), genügt ein Impuls des Starters oder EVG, um die Lampe „durchzuzünden“.

Gleichzeitig regen die freien Elektronen Quecksilberatome an, auf die sie im Lampenvolumen zufällig treffen. Dazu muss das zunächst flüssige oder feste Quecksilber durch Erwärmung gasförmig werden. Damit das nicht zu schnell geht, ist die Lampe mit Puffergas (Argon oder Argon-Krypton-Gemisch) gefüllt.

Wird ein Quecksilberatome angeregt, nimmt es Energie vom ankommenden Elektron auf und hebt damit ein eigenes Elektron auf ein höheres Energieniveau. Beim Zurückfallen auf die ursprünglichen Bahn gibt es Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung ab. Diese Strahlung ist in ihrer Wellenlänge spezifisch für jedes chemische Element und seine jeweiligen Energieniveaus. Bei Quecksilber ist das vor allem Strahlung im UV- und blau-violetten Bereich (Hauptspektrallinien, UV: 185nm, 254nm).



Aufbau und Funktionsprinzip von Leuchtstofflampen

Erst durch die Leuchtstoffschicht, die innen auf den Lampenkolben aufgebracht ist, wird die unsichtbare UV-Strahlung mit Hilfe von Lumineszenzprozessen in sichtbares Licht umgewandelt. Dabei nimmt der Leuchtstoff die kurzwellige Strahlung auf und wandelt sie in langwelligere, sichtbare Strahlung um. Nicht umgewandelte UV-Strahlung wird zu großen Teilen vom Glas der Kolbenwand absorbiert.

Jeder Leuchtstoff hat ein spezifisches Spektrum. So ist Lage, Anzahl und Abstände der Spektrallinien von der Zusammensetzung des Leuchtstoffs bzw. der Mischung der Leuchtstoffe abhängig. Die Lage der Spektrallinien bestimmt die Lichtfarbe.

Ein höherer Strahlungsanteil im roten Bereich ergibt warme Lichtfarben für den Wohnbereich und für gemütliche Atmosphäre. Für Bürobeleuchtung wird dagegen gern eine kältere Lichtfarbe wie z.B. Skylux mit hohem Blauanteil gewählt, die anregend wirkt und Konzentration fördert.

Die Anzahl und Nähe der Spektrallinien zueinander bestimmt die Farbwiedergabe-Eigenschaften und macht damit die Qualität des Lichts aus. Einfache Standardleuchtstoffe kommen beim Ra nur auf Werte bis zu 75, 3-Banden-Leuchtstoffe haben einen Ra von 85 und 5-Banden-Leuchtstoffe (de luxe) können Ra 97/98 erreichen. Für einige Anwendungen sind Mindestwerte wie z.B. am Arbeitsplatz Ra 80 nach entsprechenden Normen und Vorschriften zu beachten wie z.B. EN 12464-1 oder von den Berufsgenossenschaften.

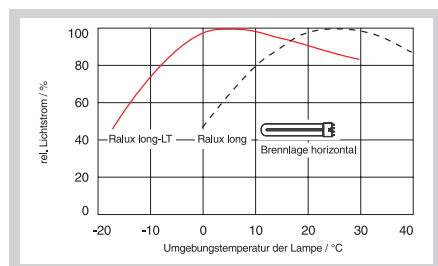
Lampen mit Splitterschutz haben einen speziellen Kunststoffschlauch über dem Lampenkolben aufgeschraubt. Dieser verringert das Risiko des Herabfallens von Glassplintern bei Lampenbruch und reduziert gleichzeitig die UV-Strahlung der Lampe.

Technische Daten

Leuchtstofflampen sind nur mit Vorschaltgerät (VG) zu betreiben, um die Lampe mit ihrem Lampen-Nennstrom zu versorgen. Diese Vorschaltgeräte müssen für das jeweilige Netz bzw. dessen Nennspannung ausgelegt sein.

Im Normalfall ist das VG in die Leuchte eingebaut. Der Nutzer muss also nur darauf achten, in die Leuchte eine elektrisch und geometrisch passende Lampe (Größe und Sockel) einzusetzen. Bis auf wenige Ausnahmen sind hier keine Verwechslungen möglich, da z.B. bei Kompaktleuchtstofflampen mit Stecksockel die Sockel typspezifisch sind. Bei stabförmigen Leuchtstofflampen sind die Längen unterschiedlich.

ausrichten und auf ausreichenden Abstand (min. 30 mm) achten.



Brennlage- und Temperaturabhängigkeit von Kompaktleuchtstofflampen

Grundsätzlich gilt: je größer der Durchmesser des Glasrohrs, desto höher ist die Lichtausbeute bei tiefen Temperaturen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass dies nur die direkte Umgebung der Lampe betrifft. Der Nutzer kann also durch Auswahl einer entsprechend geschlossenen Leuchte dafür sorgen, dass sich die Lampe darin selbst erwärmen und warm halten kann.

Wenn neue Entladungslampen wie Leuchtstofflampen in Betrieb genommen werden, empfiehlt sich eine Einbrennzeit unter Volllast von 100 Stunden. In dieser Zeit sollten die Lampen nicht bewegt (z. B. wieder herausgenommen und neu eingesetzt), nicht gedimmt, möglichst wenig geschaltet werden und keinem Luftzug ausgesetzt sein. T5/16mm-Lampen können u. U. ihre lichttechnischen Daten ohne ausreichende Einbrennphase gar nicht erreichen.

Umweltfreundlichkeit

Ihre Effizienz bzw. hohe Lichtausbeute machen Leuchtstofflampen besonders energiesparend. Durch ihren Einsatz kann der CO₂-Ausstoß verringert werden. Energy-Label A, B, C

Entsorgung

Leuchtstofflampen enthalten geringe Mengen Quecksilber zur Lichterzeugung, nach RoHS (= **R**estriction of the use of certain **H**azardous **S**ubstances in electrical and electronic equipment; EG-Richtlinie 2002/95/EG) max. 5mg, Sondertypen bis zu 10mg.

Deshalb müssen sie als Sondermüll entsorgt werden. Aufgrund der WEEE-Verordnung der EU (**W**aste **E**lectrical and **E**lectronic **E**quipment; Richtlinie 2002/96/EG) wurde ein Entsorgungs-System der Lampenhersteller gegründet. Alt-Lampen werden bei offiziellen Sammelstellen abgegeben. Weitere Information zur Entsorgung in Deutschland im Internet unter www.lightcycle.de

Energiesparlampen

Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem EVG und Schraub- oder Bajonettsockel werden Energiesparlampen genannt, da ihre Lichtausbeute deutlich höher ist als die von Glühlampen. Sie können aber (fast) wie Glühlampen eingesetzt werden.



Energiesparlampen – Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem EVG

Kerzen-, Standard-, Globe- und Parabol-Lampen																	
Watt		15	25	40	60	20	25	40	60	75	100	120	150	75	100	75	100
Ralux Miniquick		3	5	7	11												
Ralux Kerze		5	7	9													
Ralux Quick						5	7	11									
Ralux Quick									15	20	23	30					
Ralux Rapid E14				8	12												
Ralux Rapid E27							8	12	16	21							
Ralux Dim										20							
Ralux Ready E14					10												
Ralux Ready E27								10	14	18							
Ralux Standard					5	7	10	15									
Ralux Globe													15	20			
Ralux Reflecta															15	20	

Lampenaustauschtabelle

Energiesparlampen passen häufig in die vorhandenen Leuchten, da ihre Maße mit jeder neuen Lampengeneration kleiner werden. Ist die Leuchte dennoch etwas eng, kann es für das integrierte EVG möglicherweise zu warm werden.

Für die meisten Energiesparlampen ist Dimmen derzeit noch nicht möglich, da dafür besondere EVG benötigt werden. Ausnahmen werden von den Herstellern gekennzeichnet, wie z.B. Ralux DIM.

Für manche Anwendungsfälle (z.B. im Treppenhaus) empfehlen sich besonders schaltfeste Lampen mit schnellerem Anlauf, wie z.B. Ralux Ready. Die speziellen EVG machen außerdem einen Betrieb an Gleichspannung möglich (Nennstrombetrieb).

Die technischen Eigenschaften von Energiesparlampen sind vergleichbar mit Leuchtstofflampen. Ihr Lichtstrom ist also ebenfalls temperaturabhängig und auch die Brennlage spielt beim Einsatz eine Rolle. Details dazu sind im vorigen Kapitel ausführlich beschrieben.

Für den richtigen Austausch Glühlampe – Energiesparlampe bieten viele Lampenhersteller Tabellen an. Es gibt aber auch elektronische Berechnungswerkzeuge, mit denen die individuelle Ersparnis ermittelt werden kann.

Adresse Radium CO₂-Rechner:
www.radium.de/klimaschutz
www.radium.de/plug_and_save

Induktionslampen – Elektrodenlose Leuchtstofflampen

Für Anwendungszwecke in großen Höhen oder auf belebten Verkehrsflächen (also Stellen, an denen Lampenwechsel schwierig sind) gibt es langlebige Induktionslampen. Sie haben keine Elektroden, die als Verschleißteile ausfallen, und können so Brenndauern bis zu 60.000 Stunden erreichen.

Lichterzeugung

Die eigentliche Lichterzeugung der Induktionslampe funktioniert genau wie in der Leuchtstofflampe: in Niederdruck-Entladungslampen werden Quecksilberatome angeregt.

Sie nehmen Energie von einem ankommenden Elektron auf und heben damit eigene Elektronen auf ein höheres Energieniveau. Beim Zurückfallen auf die ursprünglichen Bahnen wird Energie in Form UV-Strahlung abgegeben. Durch die Leuchtstoffschicht innen auf dem Lampenkolben wird die unsichtbare UV-Strahlung in sichtbares Licht umgewandelt.

Der große Unterschied zwischen Induktionslampe und Leuchtstofflampe besteht in der Erzeugung der freien Elektronen, die die Quecksilberatome anregen sollen. Während bei Leuchtstofflampen ein Entladungsbogen zwischen zwei Elektrodenwendeln steht, wird bei Induktionslampen die Energie über elektrische Felder in die Lampe eingekoppelt.

Man kann sich das ähnlich einem Trafo vorstellen: Ein stromdurchflossener Ferritkern überträgt als „Primärwicklung“ seine Ladung an die „Sekundärwicklung“ Füllgas im Lampenvolumen (das lichterzeugende Plasma).

Diese Ladung erzeugt freie Elektronen zur Anregung der Quecksilberatome.

Technische Daten

Induktionslampen sind nur mit passendem elektronischen Vorschaltgerät (EVG) zu betreiben. Denn nur diese sind in der Lage, die entsprechende Hochspannung mit einer zum Start erforderlichen Regelung zu liefern.

Die Lampen sind in ringförmiger Bauart oder in Kolbenform auf dem Markt.

Umweltfreundlichkeit

Induktionslampen sind effizient und energiesparend, da sie eine hohe Lichtausbeute ähnlich wie Leuchtstofflampen haben.

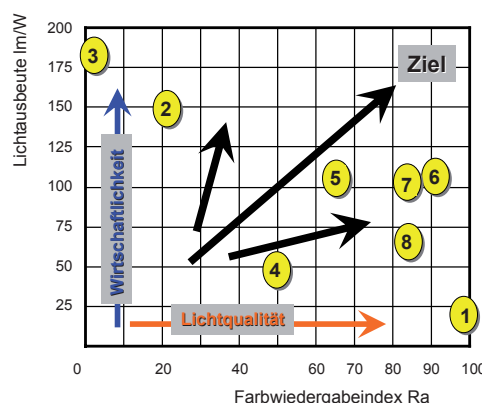
Sie sind nicht für Anwendung in Haushalten gedacht, daher gibt es für sie kein Energy-Label.

Entsorgung

Die Entsorgung im Lampen-Recycling erfolgt analog den Leuchtstofflampen.

Lichtausbeute oder Farbwiedergabe

Lichtausbeute oder Farbwiedergabe?



- ⇒ Je höher der Farbwiedergabeindex Ra, desto besser die Lichtqualität
- ⇒ Je höher die Lichtausbeute, desto wirtschaftlicher ist die Lampe
- ⇒ Ziel: hohe Lichtqualität und hohe Lichtausbeute unter Berücksichtigung des besonderen Bedarfs beim Anwender

	1 HRL	2 HRI	3 RCC	4 RNP	5 SOX
Leistungen von – bis /W	50 1000	70 3500	20 250	50 1000	35 180
Lichtströme von – bis /klm	1,6 57	4,7 320	1,7 26	3,5 130	4,6 32
Lichtausbeuten von – bis / lm/W	32 57	64 110	85 107	70 150	124 173
Farbtemperaturen von – bis /K	3200 4200	3000 7250	3000 4200	2000	–
Farbwiedergabe Ra von – bis	43 60	63 93	82 95	≤ 25	–

Vergleich von Entladungslampen

1 Quecksilberdampflampen

2 Halogenmetaldampflampen mit Quarzbrenner

3 Halogenmetaldampflampen mit Keramikbrenner

4 Natriumdampf-Hochdrucklampen

5 Natriumdampf-Niederdrucklampen

Entladungslampen

Ist der Lichtbedarf sehr hoch, würde bei hochwattigen Glüh- und Halogen-glühlampen eine extreme Wärmelast entstehen. Leuchtstofflampen sind zwar effizient, aber nur in relativ kleinen Wattagen auf dem Markt. Damit würden viele Leuchten auf engem Raum gebraucht. Sie sind zudem temperaturabhängig, was die Lichtplanung für den Außenbereich (wie z.B. Parkhäuser) u.U. sehr schwierig macht. Gute Lichtlenkung wie z.B. durch Leuchten mit engstrahlenden Reflektoren ist aufgrund der geringen Leuchtdichte von Leuchtstofflampen außerdem kaum realisierbar.

Deshalb werden bei Bedarf an hohen Beleuchtungsstärken und guten Lichtlenkungeigenschaften gern leistungsfähige Entladungslampen wie Halogenmetaldampf-, Natriumdampf-hochdruck- und Quecksilberdampf-lampen eingesetzt.

Bei der Auswahl der Lampenart für die Praxis entscheidet, worauf der Anwender großen Wert legt. Es muss also geklärt sein, ob es vor allem auf die Farbwiedergabe ankommt oder nur auf die Wirtschaftlichkeit, sprich Anlagenkosten und Lichtausbeute.

Sind – wie z.B. in der Straßenbeleuchtung – die Anforderungen an die Farbwiedergabe gering, können hocheffiziente Natriumdampflampen eingesetzt werden. Für gute Lichtqualität stehen Halogenmetaldampflampen mit Quarz- oder Keramikbrenner zur Verfügung.

Quecksilberdampflampen

Quecksilberdampf-Hochdrucklampen sind die ältesten Entladungslampen. Sie werden trotz eher mittelmäßiger lichttechnischer Eigenschaften noch häufig in Industrieanlagen oder zur Straßenbeleuchtung eingesetzt.



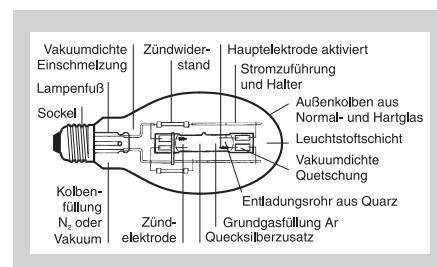
Quecksilberdampflampe mit beschichtetem Ellipsoid-Außenkolben

Lichterzeugung

Im Inneren des mit Leuchtstoff beschichteten Außenkolbens einer Quecksilberdampf-Hochdrucklampe befindet sich erst das eigentliche Entladungsgefäß: ein beidseitig gequetschter Quarzbrenner. Dieser Brenner enthält Haupt- und Zündelektroden, etwas Quecksilber und eine Argon-Gasfüllung.

Die Zündung erfolgt ähnlich wie bei der Leuchtstofflampe: Das Füllgas wird ionisiert, Quecksilber verdampft durch die Erwärmung. Wenn der Ionisationsgrad ausreicht, kann die normale Netz-Spannung (230V), die über einen Begrenzungswiderstand an den Zündelektroden anliegt, die Lampe zünden.

Wenn der Brenner seine Betriebstemperatur erreicht hat, ist die gesamte Quecksilberfüllung verdampft und wird zur Lichterzeugung genutzt. Das im Spektrum des Brenners fehlende Rot wird vom Leuchtstoff aus der entstehenden UV-Strahlung erzeugt.



Aufbau einer Quecksilberdampflampe

Technische Daten

Quecksilberdampf-Hochdrucklampen brauchen zum Betrieb nur Drosselspulen als Vorschaltgeräte (VG). Sie haben relativ niedrige Lampenströme. Die damit vergleichsweise geringen Anforderungen an die Isolierung der Wicklungen macht die Geräte preisgünstig. Zündgeräte (ZG) im Stromkreis würden die Lampe(n) schädigen, da die erzeugte Zündspannung viel zu hoch wäre.

Lampenregelung ist bei Entladungslampen grundsätzlich nicht zu empfehlen. Quecksilberdampflampen lassen sich aber bis 50% der Nennleistung dimmen, wenn das Anlaufen bei 100% Nennleistung erfolgt ist. Die Dimmung kann durch Spannungsabsenkung, Phasenregelung (=Phasenanschnitt bzw. -abschnitt) und Amplitudenmodulation (= Erhöhung der Drosselimpedanz und damit Verringerung des Lampenstroms) erfolgen.

Für ausgeschaltete Lampen oder nach einem Stromausfall sind mindestens 5 Minuten Abkühlzeit nötig, bevor eine Wiederzündung erfolgen kann.

Entsorgung

Quecksilberdampflampen müssen ebenfalls besonders als Sondermüll entsorgt werden (siehe Leuchtstofflampen).

Halogenmetallampfen

Die Theorie der Technik der Halogenmetallampfe wurde parallel zur Quecksilberdampflampe entwickelt. Ende der 1960er begann die Ära der Halogenmetallampfen mit ersten Stadionbeleuchtungen. Heute werden sie in großer Typenvielfalt in fast allen Anwendungsbereichen eingesetzt.



Halogenmetallampfe mit klarem, röhrenförmigen Außenkolben



Langbogen-Halogen-Metall-Dampflampe ohne Außenkolben



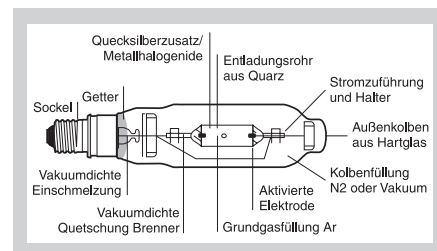
Halogenmetallampfe mit kugelförmigem Keramikbrenner

Während der Brenner der Quecksilberdampflampe als metallisches Füllungelement nur Quecksilber enthält, sind in Halogenmetallampfen weitere Elemente zur direkten Erzeugung von Licht mit bestimmten spektralen Eigenschaften zugesetzt. Sie verbessern die lichttechnischen Eigenschaften der Lampen erheblich.

Durch geschickte Auswahl bzw. Kombination der Füllungelemente kann somit Lichtfarbe, Farbwiedergabe und die Lichtausbeute wesentlich beeinflusst werden. Sie werden in Form von Halogenid-Verbindungen in den Brenner eingebracht. Der Halogenkreisprozess verhindert auch hier die Schwärzung und den Materialabtrag von den Wolfram-Elektroden.

Halogenmetallampfen zeichnen sich also generell durch hohe Lichtausbeute, gute Farbwiedergabe und lange Lebensdauer aus. Sie kommen punktförmigen Lichtquellen nahe, weil mit dem Entladungsbogen viel Licht auf engem Raum erzeugt wird. Dadurch lässt sich das Licht sehr gut lenken.

Lichterzeugung



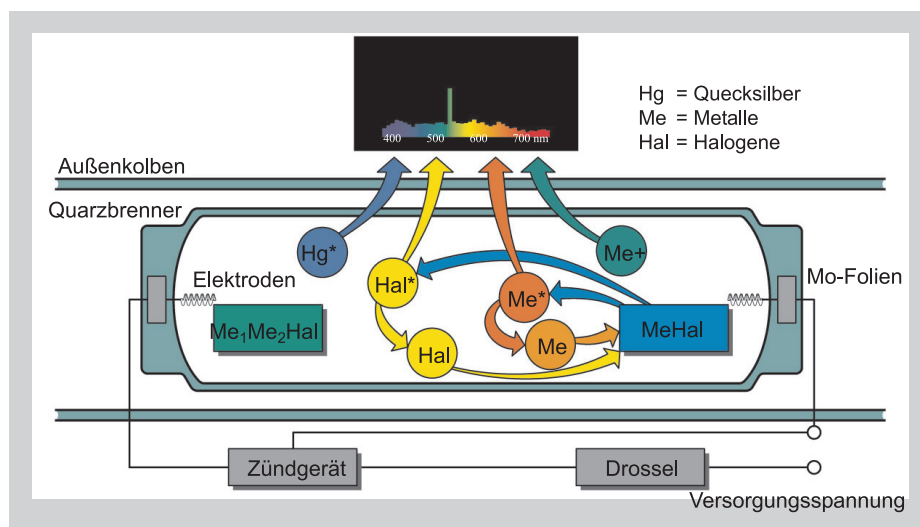
Aufbau einer Halogenmetallampfe

Zwischen den Haupt- oder Haupt- und Hilfselektroden entsteht durch externe Zündung eine Glimmentladung in der Argon-Gasfüllung. Sie ist zwar kaum sichtbar, aber dadurch verdampft Quecksilber, das bei weiter steigender Temperatur einen Entladungsbogen bildet. Damit steigt der Lichtstrom langsam an. Bei der weiteren Erwärmung der Füllung gehen immer mehr Elemente in den gasförmigen Zustand über und tragen ihre Spektralanteile zum ausgesandten Licht bei. So kommen die Farben nach und nach (blau-grün/gelb-rot) bis die Lampe nach einigen Minuten in weißem Licht erstrahlt und ihren vollen Lichtstrom erreicht hat.

Halogenmetallampfen können je nach Auswahl der Füllungs-elemente in verschiedenen Licht-farben-Bereichen liegen. Am häufigsten werden die Elemente der seltenen Erden benutzt, um tageslichtähnliche Strahlung mit bester Farbwiedergabe zu erhalten. Neutralweiße und warme Lichtfarben sind ebenfalls weit verbreitet. Es besteht aber auch die Möglichkeit, farbiges Licht (v.a. blau und grün) direkt zu erzeugen und nicht erst aufwändig aus weißem Licht herauszufiltern. Damit entsteht die Farbe sehr effizient – ohne Filterverluste.

Im Laufe der Lebensdauer können Füllungselemente „verschwinden“ (z.B. chemisch gebunden werden, sich im Brennergefäß absetzen oder durch die Kolbenwand diffundieren). So sind Änderungen der Lichtfarbe und ein gewisser Lichtstrom-Rückgang unvermeidlich. Jeder Lampen-typ hat deshalb seine eigene „Main-tenance“, d.h. ein unter Labor-bedingungen statistisch ermitteltes Lichtstrom-Verhalten im Laufe der Brenndauer.

Das Lichtstrom-/Lebensdauer-verhalten kann im praktischen Einsatz der Lampe anders aussehen als die Maintenance, denn im Labor brennt die Lampe unter definierten Bedin-gungen, wie sie in den nationalen und internationalen Normen fest-gelegt sind. Dazu gehören z.B. ein bestimmter, fester Schaltrhythmus, die optimale Brennlage, definierte Temperaturen und keine Erschüt-te-rungen.



Funktion von Halogenmetallampfen

Folgende Kennzeichen stehen für das Lebensdauerende einer Halogen-metallampfe: Farbveränderung, Helligkeitsverlust, keine Zündung mehr, periodisches Zünden und Verlöschen. Ist das Lebensdauer-ende einer Lampe erreicht, sollte sie schnellstmöglich gewechselt werden, um Schäden an Zünd- und/oder Vorschaltgerät zu vermeiden.

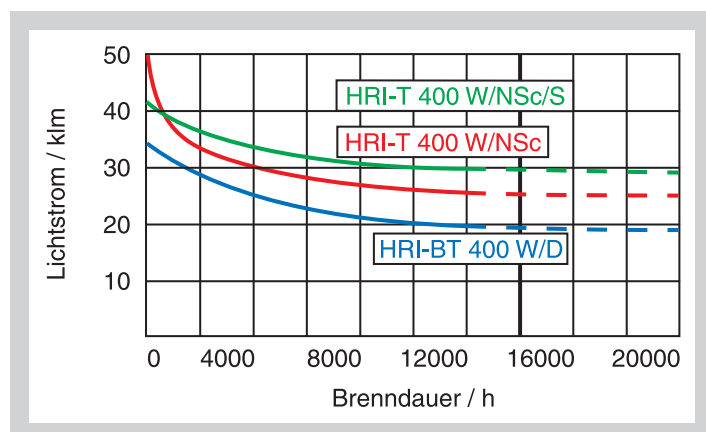
Technische Daten

Halogenmetallampfen brau-chen zum Betrieb Vorschaltgeräte (VG) und Zündhilfen. Meist setzt man Drosselspulen als VG ein. Als Zündhilfe nimmt man externe Zünd-geräte (ZG), interne Zünder oder spezielle Gasfüllungen und ZG mit geringerer Zündspannung.

Alternativ zu Drosselspule und ZG können für Lampen bis max. 400W elektronische Vorschaltgeräte (EVG) verwendet werden. Die genauen Anforderungen einer bestimmten Lampe bzgl. der Betriebsgeräte ent-nehmen Sie bitte den technischen Informationen zu dieser Lampe.

Für Halogenmetallampfen höherer Wattagen (ab 2.000W) sollten Beleuchtungs-Anlagen mit 400V (Drehstrom) als Versorgungs-spannung geplant werden, da sonst die Betriebs-Ströme sehr hoch werden. Dadurch entsteht dann größerer Auf-wand: Der Kabelquerschnitt muss entsprechend gewählt werden.

Für ausgeschaltete Lampen oder nach einem Stromausfall sind ca. 5 – 15 Minuten Abkühlzeit nötig, bevor eine Wiederzündung erfolgen kann. Zweiseitig gesockelte Halogen-metallampfen (TS) sind in der Regel sofort wieder zündbar, wenn die Füllung dafür geeignet ist. So ist die neutralweiße Langbogenlampe 2kW nicht wieder heiß zündbar. Alle anderen Lampen benötigen dazu spezielle Zündgeräte, die Hoch-spannungsimpulse von 25 bis 60 kV liefern, je nach Lampentyp.



Beispiele von Maintenance-Kurven verschiedener Entladungslampen

Halogenmetallampfen sind im Betrieb heiße Hochdruckgefäße, deren Strahlung außerdem einen gewissen UV-Anteil besitzt. Da ein Zerspringen der Lampenkolben nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, müssen die Leuchten dafür ausgelegt sein: Sie müssen vollständig geschlossen und mit einer temperaturwechselfesten und bruchsicheren Abdeckscheibe ausgestattet sein. Ausnahme kann nur sein, wenn die Lampen explizit für den Betrieb in offenen Leuchten zugelassen sind.

Für diese sogenannten Protected-Lampen gibt es zwei Philosophien: Entweder wird der Außenkolben mit Silikon beschichtet, damit dieser im Falle eines Brennerplatzers die Form behält wie beim Sicherheitsglas und keine heißen Scherben herunterfallen können. Oder das Brennergefäß selbst wird mit einer Art Schutzschild aus Quarz und/ oder Metalldrahtgitter versehen, „Shroud“ genannt. Dieser verhindert eine Beschädigung des Außenkolbens schon im Ansatz. Diese eingebaute Sicherheit wird durch geringeren Lichtstrom der Lampen (= geringere Effizienz) und bei jedem Lampenwechsel durch erhöhten Materialeinsatz erkauft.

Das Brennergefäß kann entweder aus hochtemperaturfestem, durchsichtigem Quarzglas oder aus einer milchig durchscheinenden Spezialkeramik bestehen.

Bei Quarzbrennerlampen ohne oder mit klarem Außenkolben kann der Lichtbogen direkt abgebildet werden, kann also mit Hilfe von Reflektoren oder über Spiegelwerfersysteme gut fokussiert bzw. gelenkt werden. Damit sind eventuelle Streuverluste geringer und die Beleuchtung als Gesamtsystem wird effizienter.

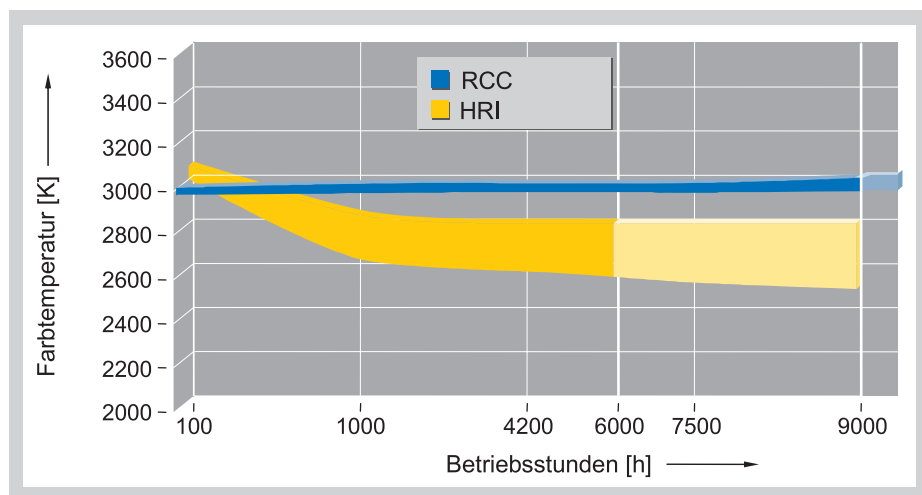
Ist der Lichtbogen besonders kurz, also der Abstand zwischen den Elektroden gering, haben die Lampen besonders gute Lichtlenkungseigenschaften, weil die Lampe dann als punktförmige Lichtquelle betrachtet werden kann. Langbogenlampen sind dagegen besser zur Flächenausleuchtung geeignet.

Hochwattige Halogenmetallampfen mit Außenkolben z.B. für Anstrahlungen oder Stadionbeleuchtung sind sehr groß. Sie brauchen deshalb auch große, schwere Leuchten, die an die hohen Masten dann eine entsprechend große Windlast bringen. Werden deutlich kleinere Lampen ohne Außenkolben eingesetzt, können auch wesentlich leichtere und kompaktere Leuchten verwendet werden. Sie bieten nicht nur weniger Wind-Angriffsfläche, sondern sind auch noch effizienter: die Lichtausbeute ist in der Regel 15% höher.

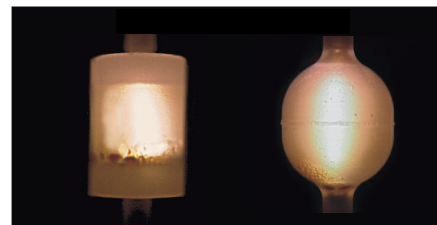
Keramikbrenner für Halogenmetallampfen halten höhere Wandtemperaturen aus. Damit steigt der Anteil der Füllungselemente im Plasma, also im Brennervolumen. So ergeben sich höhere Lichtausbeuten und deutlich bessere Farbwiedergabe, vor allem beim kritischen Rot (Testfarbe R9). Das keramische Brenner-Material lässt sich mit geringeren Maß-Toleranzen als Quarz herstellen, deshalb streuen die elektrischen und lichttechnischen Daten dieser Lampen weniger. Außerdem ist die Keramik robuster gegen die chemisch aggressive Füllung, dadurch verbessert sich die Maintenance.

Bei Keramikbrennern gibt es auf dem Markt verschiedene Bauformen, das zylindrische Entladungsgefäß und das annähernd kugelförmige mit konstanter Wanddicke.

Die runde Brennerform ermöglicht noch höhere Betriebstemperaturen und damit höhere Lichtausbeute und Farbwiedergabe. Da an den jeweiligen Enden keine dicken Stopfen wie bei den zylindrischen Brennern nötig sind, kann bei schnellerem Anlauf insgesamt ein höherer Lichtstrom erzeugt werden. Die gleichmäßige Verteilung der Masse sorgt für einen gleichmäßigeren Temperaturverlauf im Lampenbetrieb, dadurch leben sie länger und es gibt weniger Frühausfälle.



Farbstabilität von Halogenmetallampfen mit Keramikbrenner im Laufe der Lebensdauer



Vergleich zylindrische und runde Bauform von Keramikbrennern bei Halogenmetallampfen



nach 9.000h



Brenndauer

nach 16.000h

Halogenmetallampfen mit Keramikbrenner strahlen diffus. Dennoch können besonders die runde Brennerbauformen aufgrund ihrer kleinen Abmessungen und ihrer gleichmäßigen Abstrahlcharakteristik als punktförmige Lichtquelle betrachtet werden.

Ein leistungsreduzierter Betrieb wie dimmen ist für Halogenmetallampfen mit Quarzbrenner oder Keramikbrenner in der Regel nicht zulässig, denn hier können erhebliche Farbabweichungen, schlechtere Maintenance und Lebensdauerverkürzung auftreten. Bei Glühlampen wird die Lichtfarbe beim Dimmen wärmer, aber sie bleibt weiß. Die Lichtfarbe von Halogenmetallampfen wandert häufig in kältere Bereiche (grün) und das wird bei schwachen Beleuchtungsstärken als unangenehm empfunden.

Die höhere thermische Belastbarkeit der runden Keramikbrenner ermöglicht ein verbessertes Dimmverhalten in Lichtausbeute und Farbwiedergabe gegenüber Halogen-Metallampfen mit Quarzbrenner bzw. mit der üblichen zylindrischen Keramik. Bei Dimmung tritt aber nach wie vor eine Farbortwanderung auf. Gedimmt betriebene Lampen weisen einen stärkeren Lichtstromrückgang und eine stärkere Farbortstreuung über die Lebensdauer aus. Die Art der Dimmung hat dabei großen Einfluss auf die Ergebnisse. Empfohlen wird die Dimmung mittels regelbaren Rechteck-EVG bis maximal 50% der Lampenleistung, wenn der Anlauf bei 100% Leistung – mindestens 15 Minuten – erfolgt ist. Gänzlich abzuraten ist von Dimmen durch Spannungsabsenkung oder durch Phasenanschnitt. Für gedimmt betriebene Lampen kann die Einhaltung der zugesicherten Produkteigenschaften nicht garantiert werden.

Entsorgung

Halogenmetallampfen müssen ebenfalls gesondert entsorgt werden (siehe Leuchtstofflampen).

Natriumdampf-Hochdrucklampen

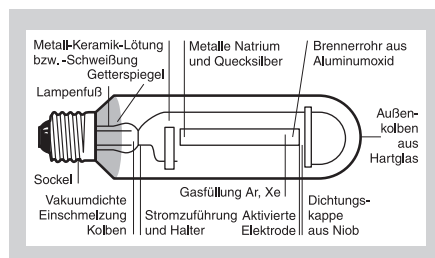
Metallisches Natrium ist ein sehr aggressives chemisches Element. Die amorphe Struktur von Glas würde dem zwar standhalten, nicht aber den hohen Betriebsdrücken und -temperaturen der Lampen. Quarzgefäße sind für die Brenner von Natriumdampf-Hochdrucklampen auch nicht geeignet, da sich das Natrium im Laufe der Zeit an die Wand anlagern würde, das Material kristallisieren ließe und damit luftdurchlässig machen würde.

Eine spezielle Aluminiumoxyd-Keramik ist aber ausreichend widerstandsfähig gegen Natrium. So sind Natriumdampf-Hochdrucklampen an den matten, langen und dünnen Entladungsrohren im Außenkolben erkennbar.



Natriumdampf-Hochdrucklampe mit klarem, röhrenförmigen Außenkolben

Der Einbau der Elektroden muss mit besonderer Sorgfalt erfolgen, denn je dichter der Brenner, desto länger ist die Lebensdauer der Lampe. Die Brennerkappen werden deshalb entweder mit Glaslot abgedichtet oder in einem speziellen Verfahren geschweißt.



Aufbau einer Natriumdampf-Hochdrucklampe

Lichterzeugung

Das Zündgerät durchschlägt mit seiner hohen Zündspannung von ca. 2,5 kV oder 4,5 kV die zunächst isolierende Gasstrecke zwischen den Elektroden und sorgt damit für eine Glimmentladung. Die Füllung aus Natrium und Quecksilber beginnt sich zu erwärmen und zu ionisieren. Bei genügender Ionisation zündet der Lichtbogen zwischen den Elektroden, unterstützt durch einen metallischen Zündstreifen auf der Brennerwand. Die weitere Erwärmung der Füllung sorgt dafür, dass immer mehr Natrium in den gasförmigen Zustand übergeht und zum ausgesandten Licht beiträgt. Je nach Wärmekapazität des Brenners ist dann nach 6–10 Minuten der volle Lichtstrom erreicht.

Mit Natriumdampflampen können sehr hohe Lichtausbeuten von 70 bis 150 lm/W erzielt werden, sie sind daher sehr wirtschaftlich (siehe Tabelle).

Reine Natriumdampflampen würden monochromatisch gelbes Licht aussenden (siehe Natriumdampf-Niederdrucklampe). Durch den hohen Druck im Brenner steigt der Bogenwiderstand. Dadurch werden die Spektrallinien verbreitert. Das Spektrum wird außerdem im blauen Bereich durch Zugabe von Quecksilber zur Füllung ergänzt. Dennoch bleibt die Farbwiedergabe von Natriumdampf-Hochdrucklampen bescheiden ($R_a \leq 25$).

Technische Daten

Natriumdampf-Hochdrucklampen sind wie Halogenmetalldampflampen zu betreiben und häufig sogar in der gleichen Leuchte austauschbar: entweder mit VG und ZG oder insgesamt mit EVG (bis 400W).

Eine Lampenregelung ist bei Entladungslampen grundsätzlich nicht zu empfehlen. Natriumdampflampen lassen sich aber bis 50% der Nennleistung dimmen, wenn das Anlaufen bei 100% Nennleistung erfolgt ist. Die Dimmung kann mit Phasenregelung oder Amplitudenmodulation durchgeführt werden.

Für ausgeschaltete Lampen oder nach einem Stromausfall sind ca. 1–5 Minuten Abkühlzeit nötig, bevor eine Wiederzündung erfolgen kann. Zweiseitig gesockelte Lampen (TS) sind heiß wieder zündbar.

Da die allermeisten Natriumdampf-hochdrucklampen durch undichte Brenner ausfallen, haben speziell abgedichtete Brenner besonders lange Lebensdauer. Diese Lampen (in der Bezeichnung LR für long run) haben deutlich verringerte Ausfallraten. Damit kann z. B. in der Straßenbeleuchtung ein 4-Jahres-Lampenwechsel-Rhythmus realisiert werden.

Xenon-Zugabe im Füllgas erhöht den Lichtstrom um bis zu 15% („RNP Super“). Farbtemperatur und Farbwiedergabe-Eigenschaften ändern sich dadurch unwesentlich.

Entsorgung

Natriumdampf-Hochdrucklampen müssen gesondert entsorgt werden. Die Verwertung sollte unbedingt in einem geeigneten Verfahren durchgeführt werden, da metallisches Natrium chemisch stark mit Wasser reagiert (ähnlich einer explosionsartigen Verbrennung).

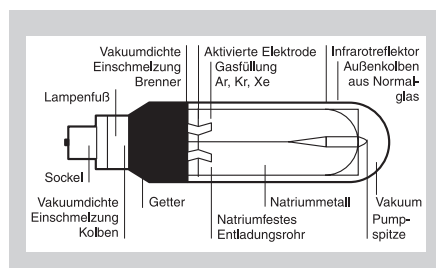
Natriumdampf-Niederdrucklampen

Durch den geringen Druck im Brennergefäß und der daraus resultierenden niedrigen Betriebstemperatur kann für das Entladungsrohr Glas verwendet werden. Es ist durch die charakteristische Biegung (U-Rohr) und den Niederschlag von metallischem Natrium eindeutig zu erkennen.



Natriumdampf-Niederdrucklampe mit klarem, röhrenförmigen Außenkolben

Damit die Temperatur darin im Betrieb bei ca. 290°C gehalten werden kann, ist das Entladungsgefäß zur Wärmeisolation in einem hochevakuierten Außenkolben mit Wärmestrahlungsreflektor (vgl. IRC-Technik) untergebracht. Getter (meist ein Getterspiegel im Sockelbereich) reinigt nach dem Herstellprozess (Vakuumpumpen) das Lampenvolumen noch einmal „nach“.



Aufbau einer Natriumdampf-Niederdrucklampe

Lichterzeugung

Bei Stromdurchgang wird das Natrium ionisiert und erwärmt, dabei geht immer mehr Natrium in den gasförmigen Zustand über und trägt zum ausgesandten Licht bei. Nach ca. 12 – 15 Minuten ist dann der volle Lichtstrom erreicht.

Mit Natriumdampf-Niederdrucklampen können höchste Lichtausbeuten erzielt werden, sie sind daher besonders wirtschaftlich.

Allerdings senden sie monochromatisch gelbes Licht aus (589nm): außer gelb-orange sind keine anderen Farben zu erkennen. Deshalb ist die klassische Farbwiedergabe-Kennzeichnung hier nicht anwendbar.

Technische Daten

Natriumdampf-Niederdrucklampen können in verschiedenen speziell darauf abgestimmten Schaltungen mit Streufeld-Trafo oder in Hybrid-Schaltungen betrieben werden. Am weitesten verbreitet ist der Betrieb mit Streufeldtrafo. Durch die hohe Leerlaufspannung des VG ist in dieser Schaltung kein ZG erforderlich, die Lampen zünden so.

In Hybridschaltungen werden verschiedene Drosseln bzw. Trafos eingesetzt. Als ZG ist evtl. ein Zündpuls erforderlich.

Eine Lampenregelung wie Dimmen ist bei Natriumdampf-Niederdrucklampen nicht möglich.

Entsorgung

Natriumdampf-Niederdrucklampen sollten aufgrund des Natriumgehalts gesondert entsorgt werden (siehe Natriumdampf-Hochdrucklampen).

Entladungslampen für spezielle Anwendungsfälle

Anwendungen wie Anstrahlungen, Pflanzenaufzucht, Aquarienbeleuchtung, Bräunung oder Sterilisation erfordern besondere Strahlungsquellen.

Diese Strahlung wird von Leuchtstofflampen in speziellen Lichtfarben oder Halogenmetalldampflampen mit eigens dafür entwickelten Füllungen erzeugt.

Pflanzenlicht

Pflanzen brauchen entweder Strahlung im blauen oder gelb-orangen Wellenlängenbereich, um wachsen und gedeihen zu können.

Für kleinere Flächen sind Leuchtstofflampen oder Kompaktleuchtstofflampen gut geeignet. Sie enthalten alle erforderlichen Strahlungsanteile und sind besonders wirtschaftlich.

Für größere Flächen gibt es spezielle Halogenmetalldampf- oder Natriumdampfhochdrucklampen.

Aquarien-Beleuchtung

Je weiter man eintaucht ins Wasser, desto „blauer“ erscheint es, denn die langwelligen Anteile des Lichts werden eher absorbiert. Die Aquarienbeleuchtung wird in der Lichtfarbe entsprechend angepasst: „kalte“ Töne herrschen vor, auch als Farbtemperaturen von 10.000K oder 20.000K bekannt.

Dabei entspricht 10.000K einem blau-grünen Licht (HRI Aqua) und 20.000K rein blauem Licht (HRI AquaStar oder HRI blau).

Farbiges Licht

Effekte, die nur wenig Licht erfordern, lassen sich mit LED realisieren.

Für farbiges Licht in hohen Beleuchtungsstärken stehen verschiedene Hochdruckentladungslampen zur Verfügung. Da die Betriebsweise bzw. die Anforderungen an die Betriebsgeräte für Lampen gleicher Watt-Stufe meist ähnlich genug sind, kann die Farbe auch gewechselt oder weißes Licht eingesetzt werden.



Farbige Anstrahlung

Schwarzlicht

„Schwarzlicht“, also die blau-violetten Wellenlängen im Spektrum und die langwellige UV-Strahlung bringt weiße oder fluoreszierende Farben zum Leuchten. Soll alles andere im Dunkeln bleiben, muss dafür das sichtbare Licht ausgefiltert werden. Aus diesem Grund tragen die Lampen eine dunkle Beschichtung.



Schwarzlichtlampen

UV-Strahler

UV-Strahler für unterschiedlichste Anwendungsbereiche lassen sich vor allem aus Entladungslampen bauen. Sie nutzen zur Lichterzeugung Quecksilber mit seinen Hauptspektrallinien bei 185nm und 254nm.

So gibt es „langwellige“ bzw. blaue Lichtquellen für bestimmte biologisch-chemische Prozesse, Bräunungsstrahler für Sonnenstudios oder Strahler mit auch für Menschen gefährlicher UV-C-Strahlung zur Entkeimung von Wasser, Raumluft oder Oberflächen.



Wasserentkeimung

UV-Strahlungsquellen basieren entweder auf der Niederdruck-Entladung, also der Leuchtstofflampe verwandt. Oder sie setzen Hochdruckentladung ein, vergleichbar einer Halogenmetalldampflampe mit Quecksilberfüllung aber ohne seltene Erden, dafür mit Eisenmetallen (Fe, Co, Ni).

Die genaue spektrale Strahlungsverteilung hängt ab von den verwendeten Gläsern der Entladungsgefäße, der Füllungszusammensetzung und evtl. dem Leuchtstoff. So kann das Lampenspektrum so eingestellt werden, dass bestimmte Bakterien, Algen oder Pilzsporen abgetötet werden, weil sie besonders empfindlich auf Strahlung einer artspezifischen UV-Wellenlänge sind.

Weitere Anwendungsbereiche für UV-Strahler und -Systeme werden derzeit intensiv erforscht.