



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Lampen – System- und Wirtschaftlichkeitsanalyse  
Entsorgungspraxis in Österreich

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Verfasserin / Verfasser: Christina Pfeifer-Yousif  
Matrikel-Nummer: 9209008  
Studienrichtung /Studienzweig (lt. Studienblatt): LA Biologie und Warenlehre  
Betreuerin / Betreuer: o. Univ.-Prof. Ing. Mag. Dr. Gerhard Vogel

Wien, im November 2008



## INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG .....	1
2.	ENTWICKLUNGSGESCHICHTE DER LICHTTHEORIEN.....	2
3.	HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER LAMPENTECHNIK .....	5
3.1	Entwicklungsfolge der Beleuchtungssysteme .....	5
3.2	Anfänge des Beleuchtungswesens.....	6
3.3	Entwicklung der Gasbeleuchtung.....	8
3.4	Entwicklung der elektrischen Beleuchtung.....	12
3.41	Erfindung der Bogenlampe und der Differentialbogenlampe.....	12
3.42	Erfindung der Glühlampe.....	13
3.43	Erfindung der Halogenglühlampe.....	19
3.44	Entwicklung der Gasentladungslampe.....	19
3.5	Geschichte der Lampenindustrie bis 1945 .....	22
4.	AUFBAU UND FUNKTION DES MENSCHLICHEN AUGES .....	27
4.1	Aufbau des Auges .....	27
4.2	Eigenschaften der Netzhaut.....	29
4.3	Elementarvorgänge in den Empfängerelementen der Netzhaut .....	31
4.4	Sehbahn .....	32
5.	PHYSIKALISCHE UND LICHTTECHNISCHE GRUNDLAGEN.....	35
5.1	Physikalische Grundlagen .....	35
5.2	Aufgabenbereiche der Lichttechnik .....	36
5.3	Lichttechnische Größen und Einheiten .....	36
5.4	Räumliche Bewertung der Beleuchtung.....	39
5.5	Lichteinheit.....	40
5.6	Wirkungsgrade und Nutzeffekte .....	40
5.7	Stoffkennzahlen.....	41
5.8	Lichtmessung.....	41
5.81	Visuelle Photometrie.....	41
5.82	Physikalische Photometrie .....	42
5.9	Farbmessung.....	42
6.	LAMPENSYSTEME .....	45
6.1	Arten von Strahlungsquellen.....	45
6.2	Thermische Strahlungsquellen .....	46
6.21	Glühlampen.....	46
6.211	Aufbau und Wirkprinzip.....	46

6.212	Lebensdauer .....	48
6.213	Lichtausbeute .....	48
6.214	Anwendungsbereiche .....	49
6.22	Halogenlampen .....	50
6.221	Aufbau und Wirkprinzip .....	50
6.222	Lebensdauer .....	52
6.223	Lichtausbeute .....	52
6.224	Anwendungsbereiche .....	53
6.3	Gasentladungslampen .....	54
6.31	Prinzip der Niederdruck-Gasentladung .....	54
6.32	Prinzip der Hochdruck-Gasentladung .....	56
6.33	Strahlungsumwandlung in Leuchtstoffen .....	57
6.34	Niederdruck-Entladungslampen .....	58
6.341	Leuchtstofflampen (L-Lampe) .....	59
6.342	Kompakt-Leuchtstofflampen (Energiesparlampen) .....	63
6.343	Natriumdampf-Niederdrucklampen .....	65
6.35	Hochdruck-Entladungslampen .....	66
6.351	Quecksilberdampf-Hochdrucklampe .....	67
6.352	Halogen-Metalldampf Lampe .....	68
6.353	Natriumdampf-Hochdrucklampe .....	69
6.354	Xenon-Hochdrucklampe .....	71
6.4	Lichtemittierende Dioden (Light Emitting Diode - LED) .....	71
6.41	Aufbau und Wirkprinzip .....	71
6.42	Lebensdauer .....	73
6.43	Lichtausbeute .....	73
6.44	Anwendungsbereiche .....	73
7.	WIRTSCHAFTLICHKEITSVERGLEICH .....	74
7.1	Energieeffizienz .....	74
7.2	Energiesparmaßnahmen .....	77
7.21	Lampentausch: Glühlampe gegen Kompakt-Leuchtstofflampe .....	77
7.22	Umrüstung der Vorschaltgeräte .....	79
7.23	Maßnahmen mit geringem Investitionsbedarf .....	80
7.24	Maßnahmen mit höherem Investitionsbedarf .....	81
8.	LAMPENENTSORGUNG IN ÖSTERREICH .....	82
8.1	Rechtliche Rahmenbedingungen .....	82
8.11	Grundsätze und Ziele der Abfallminimierung .....	82
8.12	Die EAG-Verordnung .....	83
8.121	Rechtliche Basis .....	84
8.122	Zielsetzung .....	85
8.123	Geltungsbereich .....	85
8.124	Ausnahmen vom Geltungsbereich .....	87
8.125	Verbot gefährlicher Stoffe .....	87
8.126	Begriffsbestimmungen .....	87



---

8.127	Wiederverwendungs- und Verwertungsquoten .....	88
8.128	Kennzeichnungspflichten .....	88
8.129	Informationspflicht .....	89
8.1210	Elektronische Registrierungspflicht.....	89
8.1211	Meldepflicht.....	89
8.1212	Eigenimporteur .....	89
8.1213	Rückerstattung von Pfandbeiträgen.....	89
8.2	Sammlung und Rückgabe von Elektroaltgeräten .....	90
8.21	Sammelstellen von Gemeinden oder Gemeindeverbänden .....	90
8.211	Abholkoordinierung.....	90
8.212	Koordinierungsstelle.....	95
8.213	Sammelstellen von Herstellern .....	96
8.214	Rückgabemöglichkeit beim Letztvertreiber .....	96
8.22	Rückgabemöglichkeit für Letztvertreiber .....	97
8.3	In Verkehr gesetzte Massen von Gasentladungslampen .....	97
8.4	Sammelmassen von Gasentladungslampen.....	98
8.5	Verwertung der Gasentladungslampen .....	98

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abb. 1: Lichtwelle nach Maxwell	2
Abb. 2: Äußerer Photoeffekt	3
Abb. 3: Entwicklung der Wellen- und Teilchentheorie und Zusammenführung in die Quantentheorie	4
Abb. 4: "Lichterziehen", alte Methode der Kerzenproduktion	7
Abb. 5: Argand-Lampe	8
Abb. 6: Gasglühlichtbrenner von Auer von Welsbach	11
Abb. 7: Kontakt-Bogenlampe von Hefner-Alteneck	13
Abb. 8: Glühlampe von Goebel	14
Abb. 9: Typische Grundform der Edison-Lampe	15
Abb. 10: Kohlefadenlampe mit Swan-Fassung	16
Abb. 11: Kohlefadenlampe mit Edison-Schraubgewindefassung	16
Abb. 12: Wotan-Lampe	17
Abb. 13: Natriumdampf-Niederdrucklampe von Philips, 1932	20
Abb. 14: Quecksilberdampf-Hochdrucklampe "Osira" der GEC, 1932	21
Abb. 15: Produktionsraum mit Einschmelz-Pumpmaschine bei Philips um 1945	26
Abb. 16: Horizontalschnitt durch das rechte menschliche Auge	27
Abb. 17: Spektrale Empfindlichkeitskurven des menschlichen Auges bei Helligkeitsadaptation für Tag- und Nachtsehen nach DIN 5031	29
Abb. 18: Schema der Netzhautschichten	30
Abb. 19: Schema der Sehbahn im Gehirn des Menschen	34
Abb. 20: Gesamtspektrum der elektromagnetischen Strahlung	35
Abb. 21: Lichtstrom einer Lichtquelle	37
Abb. 22: Leuchtdichte einer Lichtquelle	38
Abb. 23: Beleuchtungsstärke	38

---

Abb. 24: Lichtstärke	39
Abb. 25: Aufbau einer modernen Glühlampe mit E 27-Schraubsockel	47
Abb. 26: Allgebrauchsglühlampe von Osram, Classic A	48
Abb. 27: Osram Allgebrauchsglühlampen der Serie Decor A verschiedene Farben	49
Abb. 28: Wirkungsprinzip des Halogen-Kreisprozesses	51
Abb. 29: Halogenbrenner mit ICR-Beschichtung	52
Abb. 30: Philips MASTER Line ES, MASTER Line 111 und MASTER Line TC	53
Abb. 31: Zündphasen einer Niederdruck-Gasentladung	54
Abb. 32: Schematischer Aufbau einer Glimmentladung	55
Abb. 33: Lichterzeugungsmechanismus und Schaltskizze einer Leuchtstofflampe	60
Abb. 34: Prinzip der OSRAM-Endura-Lampe	63
Abb. 35: Osram Kompakt-Leuchtstofflampe DULUX EL, 12 W	64
Abb. 36: Aufbau und Spektrum der Natriumdampf-Niederdrucklampe	66
Abb. 37: Quecksilberdampf-Hochdrucklampe: Zündung mittels Hilfselektrode und Beschichtung des äußeren Hüllkolbens mit Fluoreszenzfarbstoff	68
Abb. 38: Ausführungsform einer HQI-T mit Klarglaskolben	69
Abb. 39: Aufbau zweier Natriumdampf-Hochdrucklampen	70
Abb. 40: Aufbau von 5 mm Standard-LEDs und High-Flux-LEDs	72
Abb. 41: Energieetikett für Lampen	75
Abb. 42: Innovative Lampentechnologie	76
Abb. 43: Kompaktleuchtstofflampen als Glühlampenersatz	77
Abb. 44: durchschnittlicher Stromverbrauch pro Jahr	78
Abb. 45: positive Auswirkungen des Einsatzes von EVGs	80
Abb. 46: stabförmige Leuchtstofflampen auf Palette	93
Abb. 47: Kompakt-Leuchtstofflampen und Sonderformen im Karton	93
Abb. 48: stabförmige Leuchtstofflampen im 200 l Müllgefäß	94

Abb. 49: stabförmige Leuchtstofflampen auf einer Palette

94

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tab. 1:	Vergleich der OSRAM-Lampen in den Jahren 1906 bis 1936	18
Tab. 2:	Quoten der Verkaufsstelle Vereinigter Glühlampenfabriken (VVG)	23
Tab. 3:	Gegenüberstellung strahlungsphysikalischer und lichttechnischer Größen	36
Tab. 4:	Stufen des Farbwiedergabeindex	44
Tab. 5:	Lampenbezeichnungstabelle	46
Tab. 6:	Daten einiger Allgebrauchslampen der Hauptreihe 230 V, mit Doppelwendel	49
Tab. 7:	Daten einiger Niedervolt-Halogenglühlampen ohne Reflektor, 3000 K	53
Tab. 8:	Eigenschaften von Entladungen	57
Tab. 9:	Leuchtstoffe und deren Anwendung	58
Tab. 10:	Daten wichtiger Dreibandleuchtstofflampen	61
Tab. 11:	Daten von Natrium-Niederdrucklampen mit infrarotreflektierender Schicht	66
Tab. 12:	Daten von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen des Standardprogramms	67
Tab. 13:	Vorschaltgeräte-Klassen	75
Tab. 14:	Energieeffizienz verschiedener Lampentypen	76
Tab. 15:	Berechnung der jährlichen Einsparung durch Lampenwechsel	79
Tab. 16:	Sammelstellenausstattung für Gasentladungslampen	92
Tab. 17:	In Verkehr gesetzte Massen von Gasentladungslampen 2005 – 2007	97
Tab. 18:	Sammelmassen von Gasentladungslampen 2005 – 2007	98
Tab. 19:	Verfahren für die Verwertung von Entladungslampen	98



## 1. EINLEITUNG

Leuchtstofflampen erzeugen heute weltweit ca. 70 % des Kunstlichtes. Sie zeichnen sich durch eine hohe Lichtausbeute und Energieeffizienz sowie eine lange Lebensdauer aus. Im industriellen und gewerblichen Bereich kommen vor allem stabförmige Leuchtstofflampen zum Einsatz.

In Privathaushalten ist weiterhin die Glühlampe die bevorzugte Lichtquelle. Kompaktleuchtstofflampen, auch Energiesparlampen genannt, verbrauchen wesentlich weniger Strom bei viel geringerem Wärmeverlust und haben eine höhere Lebensdauer als Glühlampen. Ihre höheren Anschaffungskosten rechnen sich schon im ersten Anwendungsjahr. Aufgrund ihrer Formenvielfalt können sie fast jede Glühlampe ersetzen, sodass künftig eine Steigerung des Anteils an Kompaktleuchtstofflampen in der Allgemeinbeleuchtung zu erwarten ist. Der traditionell von den großen Produzenten Osram, Philips und General Electric beherrschte europäische Markt kämpft bereits mit Nischenanbietern und Konkurrenten aus den Billiglohnländern. Gleichzeitig besteht die Gefahr von Imitationen.

Ausgediente Gasentladungslampen sind aufgrund ihres Quecksilbergehaltes als besonders überwachungsbedürftige Abfälle eingestuft. Sie sollen getrennt vom Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbe- und Industrieabfällen gesammelt, transportiert und von zugelassenen Anlagen fachgerecht recycelt oder als Sondermüll deponiert werden.

Ziel der Diplomarbeit ist es, die verschiedenen Lampensysteme zu beschreiben, deren spezifische Einsatzbereiche aufzuzeigen und einzelne Lampentypen im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit zu vergleichen.

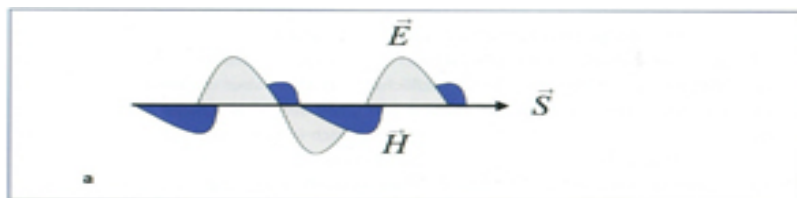
Zudem soll die Entsorgungspraxis im Rahmen der gesetzlichen und normativen Vorgaben für den in Haushalt, Gewerbe und Industrie anfallenden Problemstoff Gasentladungslampe skizziert werden.

Die Arbeit ist derart aufgebaut, dass über die theoretischen Grundlagen in den Bereichen der Physik, Biologie und Lichttechnik sowie einer ausführlichen historischen Zusammenschau als Basis zu den eigentlichen Problemstellungen, einer System- und Wirtschaftlichkeitsanalyse und eines Screenings der derzeitigen Entsorgungspraxis von Gasentladungslampen in Österreich hingeführt wird.

## 2. ENTWICKLUNGSGESCHICHTE DER LICHTTHEORIEN

Erste grundlegende wissenschaftliche Arbeiten zur Natur des Lichtes stammen aus dem 17. Jahrhundert: Die Korpuskulartheorie von Newton<sup>1</sup> und die Wellentheorie von Huygens<sup>2</sup>. Die Korpuskulartheorie Newtons beschreibt das Licht als einen Strom von Teilchen (Korpuskeln), die je nach Farbe eine unterschiedliche Größe besitzen. Damit ließen sich die geradlinige Ausbreitung des Lichtes, die Reflexion und die Lichtfarben erklären. Die teilweise Reflexion und Brechung an Grenzflächen, vor allem aber die Beugung des Lichtes, konnte mit dieser Theorie nicht erklärt werden. Hier erwies sich der Ansatz Huygens als überlegen, demzufolge sich das Licht in Form von schwingenden Wellen ausbreitet. "Jeder Punkt des Wellenfeldes wird als Erregerzentrum einer neuen, sich kugelförmig ausbreitenden Welle angesehen (Huygenssches Prinzip)."<sup>3</sup>

Die wissenschaftliche Autorität Newtons verhinderte nahezu hundert Jahre lang die Anerkennung der Wellentheorie. Erst als Ende des 18. Jahrhunderts durch Young<sup>4</sup> und Fresnel<sup>5</sup> nachgewiesen wurde, dass sich mit der Wellentheorie sämtliche bekannte Interferenzerscheinungen und Beugungsphänomene erklären lassen, gelangte die Theorie zum Durchbruch und fand 1861 ihre Bestätigung in der von Maxwell<sup>6</sup> aufgestellten elektromagnetischen Feldtheorie:<sup>7</sup> "Eine Lichtwelle breitet sich im Vakuum immer geradlinig aus. Dabei oszillieren ein Magnet- ( $\vec{H}$ ) und Elektrisches Feld ( $\vec{E}$ ) wechselseitig und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung (Poynting-Vektor,  $\vec{S}$ )". Die Gleichung lautet  $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$ .<sup>8</sup>



**Abb. 1: Lichtwelle nach Maxwell**

Quelle: HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rüthen 2006, S. 14

<sup>1</sup> Isaac Newton, 1643 - 1727

<sup>2</sup> Christiaan Huygens, 1629 - 1695

<sup>3</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rüthen 2006, S. 13

<sup>4</sup> Thomas Young, 1773 - 1829

<sup>5</sup> Auguste Jean Fresnel, 1788 - 1827

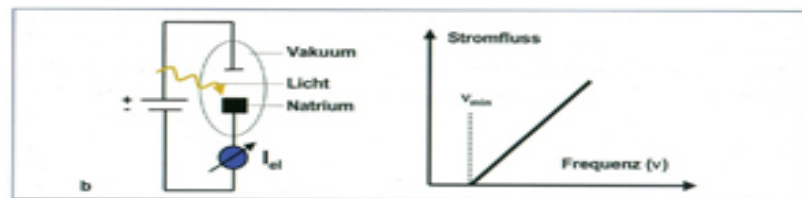
<sup>6</sup> James Clerk Maxwell, 1831 - 1879

<sup>7</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 3

<sup>8</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rüthen 2006, S. 13



Unbefriedigend war nach wie vor die Tatsache, dass sich in manchen Experimenten das Licht doch wie ein Partikelstrom verhält. Die im Jahre 1901 von Planck<sup>9</sup> aufgestellte Photonen- oder Quantenhypothese geht davon aus, dass eine Lichtquelle in schneller Folge eine große Zahl sehr kleiner Teilchen (Lichtquanten, Photonen) der Energie ( $E_{\text{phot}}$ ) und Frequenz ( $\nu$ ) emittiert. Die Gültigkeit dieses Ansatzes konnte Einstein<sup>10</sup> 1905 mit dem äußeren Photoeffekt beweisen: "Die Zahl der aus einer mit Licht bestrahlten Metalloberfläche emittierten Elektronen ist nicht proportional zur Amplitude der Lichtwelle, sondern zu ihrer Frequenz. Erst ab einer bestimmten Mindestfrequenz und damit Mindestenergie des Lichts ist dessen Energie ausreichend, um aus einer Metalloberfläche Elektronen herauszuschlagen".<sup>11</sup>



**Abb. 2: Äußerer Photoeffekt**

Quelle: HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe zum Laser, Rütten 2006, S. 14

Vollständige Aufklärung der Natur des Lichts konnte erst die Quantenelektrodynamik (QED) bringen, die in den Jahren 1925 bis 1927 von Heisenberg<sup>12</sup>, Schrödinger<sup>13</sup> und Dirac<sup>14</sup> entwickelt wurde und ihren vorläufigen Abschluss in den vierziger Jahren durch Feynman<sup>15</sup>, Schwinger<sup>16</sup> und Tomonaga<sup>17</sup> fand.<sup>18</sup> Sie baut auf den Grundlagen der Quantentheorie und der speziellen Relativitätstheorie auf und beinhaltet sowohl den Welle-Teilchen-Dualismus als auch die Äquivalenz von Energie und Masse sowie die Lichtgeschwindigkeit als konstante Größe.<sup>19</sup>

<sup>9</sup> Max Planck, 1858 - 1947

<sup>10</sup> Albert Einstein, 1879 - 1955

<sup>11</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 14

<sup>12</sup> Werner Heisenberg, 1901 - 1976

<sup>13</sup> Erwin Schrödinger, 1887 - 1961

<sup>14</sup> Paul Adrien Maurice Dirac, 1902 - 1984

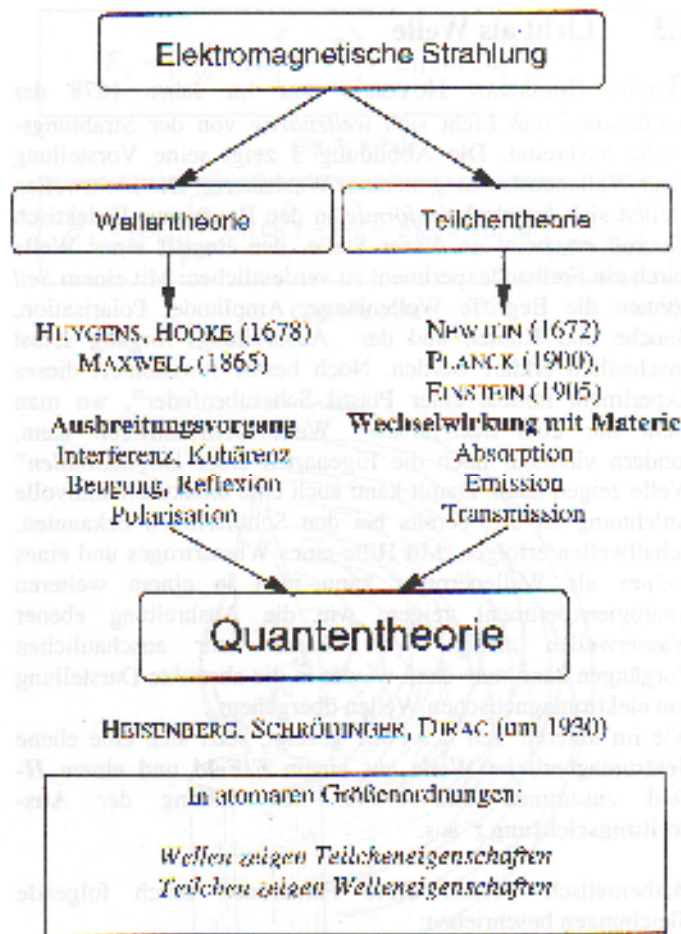
<sup>15</sup> Richard Phillips Feynman, 1918 - 1988

<sup>16</sup> Julian Schwinger, 1918 - 1994

<sup>17</sup> Shinichiro Tomonaga, 1906 - 1979

<sup>18</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 19

<sup>19</sup> [http://de.encyclopedia.msn.com/encyclopedia\\_721537222/Quantenelektrodynamik.html](http://de.encyclopedia.msn.com/encyclopedia_721537222/Quantenelektrodynamik.html), vom 14. 10. 2008



**Abb. 3: Entwicklung der Wellen- und Teilchentheorie und Zusammenführung in die Quantentheorie**

Quelle: HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 23

### 3. HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER LAMPENTECHNIK

Bei der Konzeption dieses Kapitels stand nicht der Anspruch auf Vollständigkeit sondern die Auswahl entscheidender Entwicklungsschritte im Vordergrund.

Eine Historie der Beleuchtung ist besonders reizvoll, weil das Licht jeden Menschen betrifft und fast alle Bereiche des Lebens von der künstlichen Beleuchtung beeinflusst werden.<sup>20</sup>

#### 3.1 Entwicklungsfolge der Beleuchtungssysteme

Die Entwicklungsfolge der Beleuchtungssysteme beginnt mit dem ursprünglichsten Beleuchtungssystem, der natürlichen Leuchtflamme. Der Kienspan, die Fackel und die Kerze, die Öl- und Petroleumlampe, der Acetylenbrenner und der offene Leuchtgasbrenner haben die selbstleuchtende Flamme gemeinsam. Das Leuchten der Flamme wird durch ausgeschiedene und auf Weißglut erhitzte Kohlenstoffteilchen hervorgerufen. Die Rußteilchen sind der natürliche Leuchtkörper, der in der wärmegebenden Flamme enthalten ist. Eine Verbesserung der Lichtwirkung selbstleuchtender Flammen ließ sich erreichen, indem durch Beimengungen die Abscheidung der Kohlenstoffteilchen begünstigt wurde oder durch Erhöhung der Flammentemperatur infolge besserer Luftzufuhr die Weißglut der Kohlenstoffteilchen gesteigert wurde.

Ein völlig neues Beleuchtungssystem entstand, als der in der Flamme enthaltene, natürliche Leuchtkörper durch einen künstlichen ersetzt wurde. Dieses System, die Inkandeszenzbeleuchtung, bot den Vorteil, nicht mehr vom Kohlenstoff abhängig zu sein, sondern verschiedene Leuchtmassen wählen zu können. Verwendung fanden Platin, feuerfeste Oxyde, Kalk, Magnesia, Zirkonoxyd und seltene Erden. Die Ausschaltung des natürlichen Leuchtkörpers ließ die Flamme zur nichtleuchtenden, reinen Heizflamme werden. Es wurden entweder Wasserstoff-, Wassergas- und Spiritusflammen verwendet oder die Flammen wurden mit Gebläse oder Bunsenbrenner entleuchtet.

Ein Beleuchtungssystem ist durch die Art der Energiezufuhr und durch die Art des lichtausstrahlenden Körpers charakterisiert. Wurde beim Übergang von der Leuchtflamme zum Inkandeszenzlicht der Leuchtkörper geändert, die Art der Energiezufuhr aber beibehalten, so ist der Übergang zur nächsten Entwicklungsphase dadurch gekennzeichnet, dass der künstliche Leuchtkörper beibehalten, die Art der Energiezufuhr aber geändert wurde. Bei den Beleuchtungssystemen dieser dritten Entwicklungsstufe wird der künstliche Leuchtkörper nicht mit der Energie des

---

<sup>20</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 7

chemischen Prozesses der Verbrennung beheizt, sondern durch Zufuhr elektrischen Stromes. Die Vielfalt der elektrischen Lampen ergibt sich ähnlich wie beim Gasinkandeszenzlicht aus der Verwendung verschiedener Glühkörper wie Kohlefäden, Metallfäden aus Osmium, Tantal, Wolfram, feuerfeste Oxyde. Außer den elektrischen Glühlampen gehört auch die Bogenlampe in diese Gruppe.

Die nächste Entwicklungsphase ist durch die Beibehaltung der elektrischen Betriebsenergie und den Wechsel des Leuchtkörpers charakterisiert. An die Stelle des festen Glühkörpers tritt ein verdünntes Gas. Dieses System wird in der Form der Quarzlampe, der Glimmlampe, der farbigen Leuchtröhre oder der Natrium-Quecksilberdampf Lampe angewendet.

Beim Übergang von einem System zum anderen wechseln die Beibehaltung und Abänderung von Leuchtkörper und Energiezufuhr ab. Diese Abfolge ist einerseits von einer beständigen Steigerung der Wirtschaftlichkeit begleitet, andererseits verschwinden die ungünstigen Eigenschaften der Beleuchtungsarten von einer Stufe zur nächsten.<sup>21</sup>

### 3.2 Anfänge des Beleuchtungswesens

Wann es den Menschen zum ersten Mal gelang, sich das Feuer als wärmende Flamme und als Licht dienstbar zu machen und es nach Belieben anzuzünden, ist nicht bekannt.<sup>22</sup> Archäologische Funde lassen vermuten, dass der Mensch bereits im Altpaläolithikum (ca. 1 Mio. v. Chr.) Feuer für Beleuchtungszwecke nutzte. Im Jungpaläolithikum (ca. 20000 v. Chr.) wurden schon Lampen zur künstlichen Beleuchtung verwendet. Einen Beweis dafür lieferte die Entdeckung von Dochtlampen in der Höhle von Lascaux in Südfrankreich. Mit der Sesshaftwerdung und dem Beginn des Ackerbaues im Neolithikum (ca. 5000 v. Chr.) wurde die Gewinnung von Olivenöl, Lein- und Sesamöl möglich und Öllampen kamen in allgemeinen Gebrauch.<sup>23</sup>

Die Lichtquellen des Altertums waren Kienspan, Fackeln, Dochtlampen in kunstvoller Ausführung und Kerzen.<sup>24</sup> Während beim Kienspan und der Fackel Brennstoffe identisch sind, zeigen Öllampe und Kerze eine Trennung zwischen Brennstoff und Brennstelle in Form des Dochtes, wodurch sie leichter zu transportieren sind, weniger Emissionen verursachen und eine längere Haltbarkeit aufweisen.<sup>25</sup> Auch Laternen waren bereits in der Antike gebräuchlich. Sie bestanden

<sup>21</sup> SEDLACEK, F.: Auer von Welsbach, Blätter für Geschichte der Technik, Zweites Heft, Wien 1934, S. 56 f

<sup>22</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 13

<sup>23</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 111

<sup>24</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 16

<sup>25</sup> <http://www.planet-wissen.de/pw/Artikel,,,,,,,,,07CF2CF1866449CFE0440003BA5E08D7,,,,,,,,,,,,,html>, vom 25. 10. 2008

aus einem Gehäuse aus lichtdurchlässigen, dünn geschabten Hornplatten, Tierblasen oder geölter Leinwand. Aus den Schriften Homers ist bekannt, dass Leuchtfeuer an den Küsten der antiken Welt die Schiffe leiteten.<sup>26</sup>

Die Erfindung der Kerze in der Form, wie sie auch heute verwendet wird, kann in das 3. Jahrhundert datiert werden. Sie bestand aus Talg oder Wachs. Kerzen aus Wachs waren bis in das 14. Jahrhundert sehr kostbar, sodass ihre Verwendung der Kirche und dem Adel vorbehalten war.<sup>27</sup> Zur Zeit Faradays (1791 – 1867), der den Nachweis erbrachte, dass der Brennstoff einer Wachskerze in gasförmigem Zustand vorliegt, wurden Kerzen aus Talg, Stearin, Bienenwachs, Fett des Pottwals und Paraffin hergestellt. Die Franzosen Gay-Lussac<sup>28</sup> und Chevreul<sup>29</sup> professionalisierten die Produktion der Talgkerzen. Sie erhielten 1825 ein Patent auf die Anwendung von Fettsäuren.<sup>30</sup>



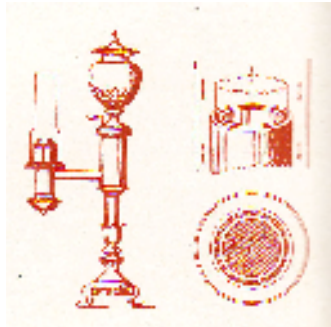
**Abb. 4: "Lichterziehen", alte Methode der Kerzenproduktion**

Quelle: REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 25

- <sup>26</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 16  
<sup>27</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 25 f  
<sup>28</sup> Joseph Louis Gay-Lussac, 1778 - 1850  
<sup>29</sup> Michel Eugene Chevreul, 1786 - 1889  
<sup>30</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 113

Die vom Schweizer Erfinder Argand<sup>31</sup> 1783 konstruierte Argandlampe stellte eine Weiterentwicklung der Petroleumlampe dar. Anstelle der bisherigen unvollkommenen Verbrennung bewirkte der röhrenförmige Runddocht, durch dessen inneren Hohlraum der Flamme ebenfalls Luft zugeführt wurde, eine entscheidende Verbesserung der Öllampe. Mit Hilfe des zusätzlich verwendeten Glaszylinders wurde der Luftzug verstärkt, sodass die Flamme stetiger brannte und die Lichtausbeute höher wurde.<sup>32</sup> Als Brennstoff wurde Rüböl verwendet.

Die Argand-Lampe war sehr beliebt und ersetzte in privaten Haushalten, Opernhäusern und Theatern die Beleuchtung mit Kerzen und Öllampen. Dennoch hatte weder Argand "... noch seine Familie je irgend einen Nutzen von seiner Erfindung gehabt, ja der Undank der Zeit nannte die neuen Lampen nach seinem Gehilfen Quinquet". In einem Patentstreit mit Quinquet 1785 wird Argand als Erfinder des für die Argandlampe verwendeten Glaszylinders bezeichnet.<sup>33</sup>



**Abb. 5: Argand-Lampe**

Quelle: REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 28

Die Pflege des Kerzen- und Öllichtes war vergleichbar dem Hüten des Herdfeuers und erforderte ständige Aufsicht und Betreuung. "Wüßt nicht, was sie Besseres erfinden könnten, als daß Lichter ohne Putzen brennten." Mit diesen Worten fasste Goethe den Wunsch seiner Zeitgenossen nach einer bequemeren Beleuchtung zusammen.<sup>34</sup>

### 3.3 Entwicklung der Gasbeleuchtung

Die Gasbeleuchtung ist eine Beleuchtungsform, bei der ein brennbares Gas (Leuchtgas, heute Erdgas) als Energiequelle herangezogen wird. Die brennbaren Bestandteile des Gases, das bei der trockenen Destillation der Steinkohle entsteht, sind

<sup>31</sup> Aime Argand, 1750 - 1803

<sup>32</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 185

<sup>33</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 28 f

<sup>34</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 117

Wasserstoff, Methan und Kohlenoxyd. Diese Stoffe brennen mit blasser Flamme und weisen keinerlei Leuchtkraft im technischen Sinne auf. Erst ein Nebenbestandteil, das bis zu 5 % im Leuchtgas enthaltene Äthylen, sondert bei der Verbrennung Rußteilchen ab, die in der Flamme weißglühend werden und die Flamme zum Leuchten bringen. Die festen Kohlenstoffteilchen in der leuchtenden Flamme, sei sie eine Gas-, Petroleum-, Öl-, Acetylen-, Kerzen- oder Kienspanflamme, übernehmen die Rolle eines Glühkörpers.

Obwohl bereits seit Ende des 17. Jahrhunderts bekannt war, dass sich aus Steinkohle brennbares Gas gewinnen läßt, gelang es erst 1785 Minckelaers<sup>35</sup> in Löwen eine funktionierende Gaslampe zu bauen und damit seinen Hörsaal zu beleuchten. Als eigentlicher Begründer der Leuchtgastechnik gilt jedoch Murdock<sup>36</sup>, der in den neunziger Jahren des 18. Jahrhunderts die ersten Gasanlagen in England baute und damit Werkstätten und Fabriken beleuchtete.

Bestrebungen, die Leuchtkraft der Gasflamme zu verstärken, führten zunächst in drei Richtungen. 1805 erfand der Engländer Stone den Schnittbrenner, durch den die Flamme flach ausgebreitet wurde. Außerdem wurde versucht, das Prinzip der Argand'schen Öllampe, das darin bestand, der Flamme auch von innen Verbrennungsluft zuzuführen und sie dadurch leuchtender zu machen, auf die Gasbeleuchtung zu übertragen. Drittens wurde durch Zumischen von Benzol- oder Naphtalindämpfen die Rußmenge erhöht.<sup>37</sup>

Nachdem bereits in amerikanischen und englischen Städten ganze Straßenzüge und Stadtteile mit Gas beleuchtet wurden, entdeckte auch Kontinentaleuropa das Gaslicht zur Illumination der Städte. Lampadius<sup>38</sup> führte versuchsweise die Straßenbeleuchtung mit Gas in Freiberg in Deutschland ein. 1810 wurde die erste Gasgesellschaft, die Chartered Company vom englischen Parlament bestätigt. In Wien unternahm Prechts<sup>39</sup>, Direktor des Polytechnischen Institutes, im Jahre 1818 Versuche einer Straßenbeleuchtung mittels Leuchtgas. 1819 erhielt Paris sein erstes Gaswerk. In England wurde 1820 die Imperial Continental Gas Association gegründet, die auch in Deutschland erste Gasanstalten baute. Erst 1823 wurden in New York Gaslampen zur Straßenbeleuchtung in Betrieb genommen. Mit der Industrialisierung der Gasbeleuchtung errichteten in den 30er und 40er Jahren des 19. Jahrhunderts viele europäische Städte Gasanstalten. In den Anfängen der Gasbeleuchtung wurden die öffentlichen Gaslaternen von Laternenanzündern entflammt. Später wurde dieser Vorgang automatisiert.<sup>40</sup>

---

<sup>35</sup> Jan Pieter Minckelaers, 1748 - 1824

<sup>36</sup> William Murdock, 1754 - 1839

<sup>37</sup> SEDLACEK, F.: Auer von Welsbach, Blätter für Geschichte der Technik, Zweites Heft, Wien 1934, S. 20 f

<sup>38</sup> Wilhelm August Lampadius, 1772 - 1842

<sup>39</sup> Johann Joseph Prechts

<sup>40</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 31 ff



Einige Daten zur Entwicklung der öffentlichen Gasbeleuchtung in Wien:

Die "Österreichische Gesellschaft zur Beleuchtung mit Gas" verlegte 1834 vom Gaswerk Roßau ausgehend die erste Teilstrecke des geplanten Rohrnetzes über das Glacis zum Schottentor. Im Jahre 1845 schloss die Gemeinde Wien mit der englischen "Imperial Continental Gas Association" (I.C.G.A.) einen mehrjährigen Beleuchtungsvertrag zur Errichtung und zum Betrieb der öffentlichen Gasbeleuchtung ab. Der Vertrag wurde 1852 und 1875 verlängert. Anfänglich wurden nur die Innere Stadt und die Hauptstraßen der Vorstädte beleuchtet. Die finanzielle und versorgungstechnische Überlegenheit der I.C.G.A. führte zu ihrer Monopolstellung bei der Gasversorgung in Wien. Daher beschloss 1896 der Wiener Gemeinderat, den Vertrag mit der I.C.G.A. auslaufen zu lassen. Drei Jahre später wurde das städtische Gaswerk Simmering in Betrieb genommen. Bis 1912 gelang es, das ganze Wiener Stadtgebiet an die städtische Versorgung anzuschließen: 679 Laternenwärter betreuten über 37.000 Gaslaternen.<sup>41</sup>

Zunächst erfüllte das Gaslicht den Wunsch der Bevölkerung nach mehr Bequemlichkeit und Helligkeit. Die Nachteile des Gaslichtes zeigten sich in Explosionen, Gasvergiftungen und nicht vermeidbaren Wärmeentwicklungen. In geschlossenen Räumen verbrauchte das Gaslicht viel Sauerstoff. Die Folgen waren Übelkeit und Schwindel.<sup>42</sup>

Diese Unzulänglichkeiten des Gaslichtes veranlassten Wissenschaftler und Techniker ein Beleuchtungssystem zu entwickeln, bei dem die Flamme nur dazu benützt wird, einen festen Körper anzuheizen, der dann, auf Weißglut gebracht, die Lichtquelle bildet.<sup>43</sup> Dieses Beleuchtungssystem wurde Inkandescenz- oder Glühlicht genannt und bot den Vorteil, dass statt des Kohlenstoffes als einziger natürlicher Leuchtkörper auch andere Leuchtmassen verwendet werden konnten.

Die Voraussetzungen für die Verwendungsmöglichkeit des Steinkohlenleuchtgases zu einer Inkandescenzbeleuchtung schuf 1850 Bunsen<sup>44</sup> mit dem Bunsenbrenner. Bei diesem wird schon vor der Verbrennung das Gas mit Luft vermischt. "Die Luft tritt in den unteren Teil des Brennerrohres durch seitliche Öffnungen ein, vermischt sich mit dem Gas und das Gas-Luft-Gemenge verbrennt oben nach dem Verlassen des Brennerkopfes. Die Verbrennung ist vollkommen, es kommt zu keiner Kohlenstoffabscheidung und daher auch zu keiner Leuchtflammenbildung." Die Bunsenflamme ist eine reine Heizflamme.<sup>45</sup>

---

<sup>41</sup> <http://www.wien.gv.at/licht/gesch.htm>, vom 25. 10. 2008

<sup>42</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 118

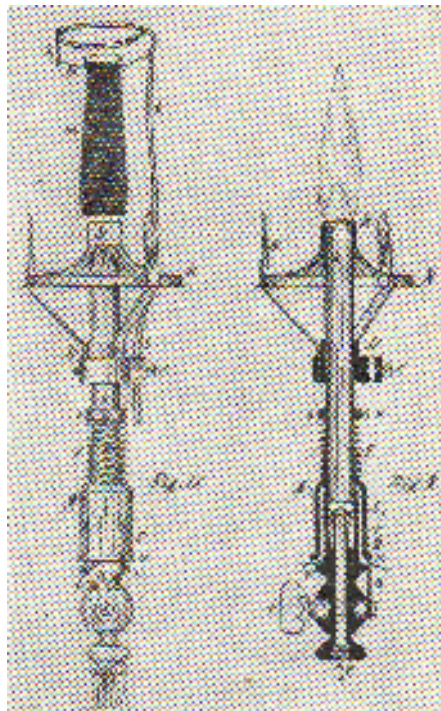
<sup>43</sup> SEDLACEK, F.: Auer von Welsbach, Blätter für Geschichte der Technik, Zweites Heft, Wien 1934, S. 21

<sup>44</sup> Robert Wilhelm von Bunsen, 1811 - 1899

<sup>45</sup> SEDLACEK, F.: Auer von Welsbach, Blätter für Geschichte der Technik, Zweites Heft, Wien 1934, S. 25 f



Der Bunsenbrenner wurde zum Ausgangspunkt des von Auer von Welsbach<sup>46</sup> 1885 erfundenen Gasglühlichtes. Es enthielt einen Leuchtkörper, Glühstrumpf genannt, der aus Baumwollgarn hergestellt und mit einer Lösung von Zirkonoxyd und Lanthanoxyd imprägniert war. Der Glühstrumpf wurde durch eine Bunsenflamme zur Weißglut erhitzt. Die Vorteile gegenüber dem Gaslicht waren der geringe Gasverbrauch, die geringe Wärmeentwicklung und das intensive, fast weiße Licht. Neu war, dass sich der Leuchtkörper nicht verflüchtigte, an der Luft nicht veränderte und nach langer Brennzeit keine Abnahme seines Emissionsvermögens eintrat. Diese Eigenschaften wies keiner der Bestandteile des Leuchtkörpers für sich auf. Auer von Welsbach sah den Kern seiner Erfindung nicht in einem Verfahren, feuerfeste Körper in eine bestimmte, für die Lichtemission geeignete Form zu bringen, sondern in der durch viele Experimente erhärteten Tatsache, "daß molekulare Mischungen gewisser Oxyde Eigenschaften annehmen können, die sich aus den Eigenschaften der Komponenten nicht hätten ableiten lassen". Ein Journalist des Neuen Wiener Tagblattes gab der Erfindung, die Auer von Welsbach ursprünglich "Aktinophor" nannte, den Namen "Gasglühlicht".<sup>47</sup>



**Abb. 6: Gasglühlichtbrenner von Auer von Welsbach**

Quelle: SEDLACEK, F.: Auer von Welsbach, Blätter für Geschichte der Technik, Zweites Heft, Wien 1934, S. 31

<sup>46</sup> Carl Auer von Welsbach, 1858 - 1929

<sup>47</sup> SEDLACEK, F.: Auer von Welsbach, Blätter für Geschichte der Technik, Zweites Heft, Wien 1934, S. 30 ff

### 3.4 Entwicklung der elektrischen Beleuchtung

Erste Versuche, durch elektrischen Strom Lichterscheinungen hervorzurufen, wurden bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts unternommen.

#### 3.41 Erfindung der Bogenlampe und der Differentialbogenlampe

1808 entwickelte Davy<sup>48</sup> die Bogenlampe, die aus zwei voneinander getrennten Kohleelektroden bestand, zwischen denen beim Anlegen einer Spannung mit einer Voltabatterie ein kräftig leuchtender Lichtbogen entstand. Der praktische Einsatz der Bogenlampe war aber erst möglich, als im Jahre 1867 mit der von Siemens<sup>49</sup> entwickelten Dynamomaschine kontinuierlich größere Mengen von Strom bereitgestellt werden konnten.<sup>50</sup> Aufgrund seiner hohen Leuchtdichte blieb das Bogenlicht auf bestimmte Einsatzgebiete beschränkt. Es diente als Straßenbeleuchtung, als Arbeitsbeleuchtung in Fabriken und auf Baustellen und als Effektbeleuchtung im Theater.<sup>51</sup>

Eine Weiterentwicklung der Bogenlampe stellte die Differentialbogenlampe dar, die von Hefner-Alteneck<sup>52</sup>, Chefkonstrukteur bei Siemens & Halske, gebaut wurde. Die elektrische Regulierung dieser Lampe bestand aus einem Elektromagneten. Die mechanische Regulierung wurde durch Zahnräder und Zahnstangen, auf denen die beiden Kohleelektroden befestigt waren, bewirkt. Durch die Beweglichkeit der Kohlen konnte der Lichtbogen stets auf gleicher Länge gehalten werden. Mit Hilfe des Differentialprinzips von Hefner-Alteneck wurde es später auch möglich, mehrere Lampen problemlos hintereinander zu schalten.<sup>53</sup>

---

<sup>48</sup> Humphry Davy, 1778 - 1829

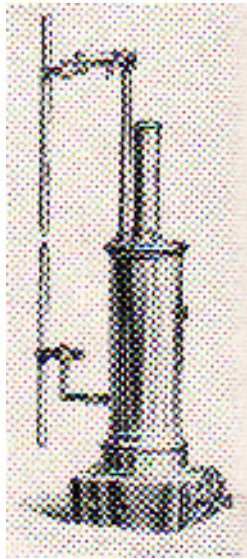
<sup>49</sup> Werner von Siemens, 1816 - 1892

<sup>50</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 118 f

<sup>51</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 139

<sup>52</sup> Friedrich von Hefner-Alteneck, 1845 - 1904

<sup>53</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 121 ff



**Abb. 7: Kontakt-Bogenlampe von Hefner-Alteneck**

Quelle: REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 78

### 3.42 Erfindung der Glühlampe

Um das elektrische Licht als Wohnungsbeleuchtung verwenden zu können, musste eine kleinere Lichtquelle gefunden werden.

Davy experimentierte um 1800 mit einem Platindraht, den er kurz zum Glühen bringen konnte. Einen weiteren Schritt tat Moleyn<sup>54</sup> indem er den Platindraht in einer luftleer gepumpten Glocke unterbrachte, um ein schnelles Verglühen zu verhindern. Eine dauerhafte Evakuierung der Glasglocke war aber noch nicht möglich.

Dem deutschen Mechaniker Goebel<sup>55</sup> gelang schließlich 1854 die Entwicklung einer brauchbaren Glühlampe, deren Glühdraht aus einer verkohlten Bambusfaser bestand. Mit der Beleuchtung seines Uhrmacherladens in New York schuf er die erste Lichtreklame der Welt.<sup>56</sup>

---

<sup>54</sup> Frederik de Moleyn

<sup>55</sup> Heinrich Goebel, 1818 - 1893

<sup>56</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 140 f



**Abb. 8: Glühlampe von Goebel**

Quelle: GENDRE, M. F.: Two Centuries of Electric Light Source Innovations, S. 2,  
in: <http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light-history.pdf>, vom 12. 11. 2008

1859 installierte Farmer<sup>57</sup> eine elektrische Wohnraumbeleuchtung mit Platinglühlampen, die in freier Luft glühten und dadurch nur eine geringe Lebensdauer aufwiesen. Der englische Erfinder Swan<sup>58</sup> experimentierte mit verkohlten Papierstreifen.<sup>59</sup> Da es ihm aber nicht gelang, ein ausreichendes Vakuum herzustellen, wurden die Glühfäden schnell verbraucht. Jahre später gründete Swan in London die Swan-Electric-Light-Company Ltd. zur Fabrikation von Glühlampen in größerem Umfang.<sup>60</sup>

Die Verbesserung der Vakuumpumpe durch den deutschen Chemiker Sprengel<sup>61</sup>, die Perfektionierung des Dynamos und die Erfindung der Differentialbogenlampe stellten drei wesentliche technische Errungenschaften dar, aufgrund derer die Forschung nach einer funktionstüchtigen Glühlampe ab 1878 intensiviert werden konnte.<sup>62</sup>

Unter den Forschern, die sich um die Entwicklung einer elektrischen Glühlampe bemüht haben, gilt der Amerikaner Edison<sup>63</sup> als Erfinder der Glühlampe - nicht gemessen am exakten Zeitpunkt der Erfindung, sondern gemessen am praktischen und wirtschaftlichen Erfolg seiner Glühlampe.<sup>64</sup>

<sup>57</sup> Moses G. Farmer, 1820 – 1893

<sup>58</sup> Joseph Wilson Swan, 1828 - 1914

<sup>59</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 58

<sup>60</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 194

<sup>61</sup> Hermann Sprengel, 1834 - 1906

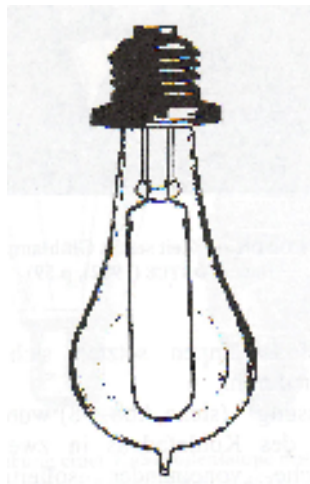
<sup>62</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 141 f

<sup>63</sup> Thomas Alva Edison, 1847 - 1931

<sup>64</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 120

Edisons Bestrebungen galten einem vollständigen Beleuchtungssystem mit Installationsmaterial, Leitungen und den notwendigen Elektrizitätsversorgungseinrichtungen.<sup>65</sup>

Seine frühen Experimente im Labor in Menlo Park bestanden darin, verschiedene Kohlenmuster, darunter verkohlte Baumwoll- und Papierfäden, zu untersuchen.<sup>66</sup> Technologisch war es sehr schwierig, Kohle in so dünne Streifen zu bringen, wie sie einerseits zum Glühen notwendig waren und andererseits auch ausreichende Haltbarkeit besitzen sollten.<sup>67</sup> Am 21. 10. 1879 startete jenes Experiment, das den Beginn des späteren Erfolges darstellte: Der zum Glühen gebrachte Baumwollfaden hielt fast 14 Stunden. Die Eintragung ins Laborbuch vermittelt die Dramatik und den Triumph über das Resultat: "Nr. 9 brannte von 1/2 2 Uhr morgens bis 3 Uhr nachmittags – 13 1/2 Stunden. Wurde dann ganz hochgedreht und das Glas zersprang". Die ersten Edison-Glühlampen mit Fäden aus verkohltem Papier brannten mehrere 100 Stunden. Im Jänner 1880 erhielt Edison das Patent für seine Kohlefadenlampe.<sup>68</sup>



**Abb. 9: Typische Grundform der Edison-Lampe**

Quelle: HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 145

Für Kohlefadenlampen setzten sich bis 1900 zwei Lampenfassungen durch. Bei der Swan-Fassung wurden die Enden der Platinstützdrähte des Kohlefadens in zwei voneinander isolierte Messingplatten geführt, die sich am Boden der Lampe befanden. Die Lampe wurde in die Fassung eingesetzt und mit einem Bajonettverschluss gesichert.<sup>69</sup>

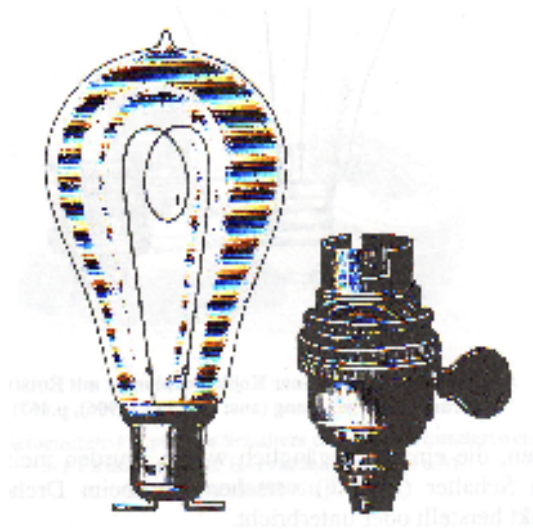
<sup>65</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 143

<sup>66</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 103

<sup>67</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 144

<sup>68</sup> JOSEPHSON, M.: Thomas Alva Edison, Icking und München 1969, S. 235 ff

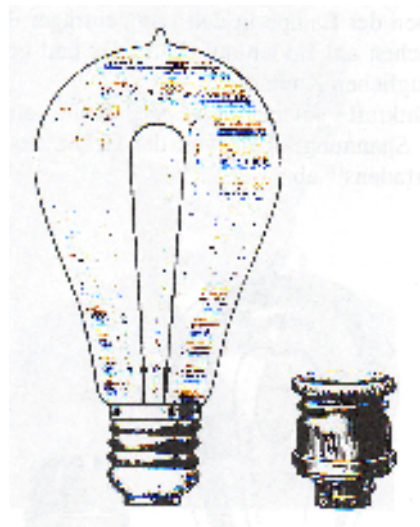
<sup>69</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 146



**Abb. 10: Kohlefadenlampe mit Swan-Fassung**

Quelle: HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 147

Bei der Edison-Fassung wurde an den Lampenkörper ein metallisches Schraubgewinde angekittet. Das Gewinde wurde mit einem Teil des Platinstützdrahtes verbunden, der andere Teil mit einem isolierten Metallstück am Boden. Der zweite Zuleitungsdraht war mit einer isolierten Metallfeder, die sich am Boden der Fassung befand, verbunden. Beim Einschrauben der Lampe in die Fassung drückt sich das Metallplättchen am Boden auf die Feder und gewährleistet so einen Kontakt.<sup>70</sup>



**Abb. 11: Kohlefadenlampe mit Edison-Schraubgewindefassung**

Quelle: HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 148

<sup>70</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 146 f



Obwohl die Kohlefadenlampe in vielen Bereichen des öffentlichen Lebens Anwendung gefunden hatte, war sie für den privaten Haushalt noch nicht kostengünstig genug. Die Suche nach neuen Materialien, die den Kohlefaden substituieren konnten, wurde fortgesetzt.<sup>71</sup> Um 1900 kam die Freiluftglühlampe von Nernst<sup>72</sup> auf den Markt. Sie hatte einen stäbchenförmigen Glühkörper aus Oxyden der seltenen Erden. Auer von Welsbach baute 1898 die Osmiumlampe, deren Osmiumdraht durch vielfaches Eintauchen in eine Tonerdesalzlösung und anschließendes Glühen einen emailleartigen Überzug erhielt. Sie stellte eine starke Konkurrenz für die Kohlefadenlampe dar. Siemens & Halske entwickelten 1903 die Tantallampe und 1908 Glühdrähte aus Wolfram. Beide Materialien wurden ab 1910 in der sogenannte "Wotanlampe" eingesetzt. Der Terminus technicus "Wotan" entstand aus den Anfangsbuchstaben "Wo" des Wolframs und "Ta" des Tantals.<sup>73</sup>



**Abb. 12: Wotan-Lampe**

Quelle: HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 170

General Electric vereinfachte 1910 die Verarbeitung des Wolframs.<sup>74</sup> Da unbehandeltes Wolfram spröde und brüchig ist, ließ es sich weder ziehen noch biegen. Also wurde pulverisiertes Wolfram mit einem Bindemittel zu einer Paste geknetet und durch dünne Düsen zu Fäden gespritzt.<sup>75</sup> Anfänglich brannten die Wolframglühkörper in evakuierten Glaskolben. Später wurde der Glühdraht gewendelt und das Lichtdrahtsystem miniaturisiert. Die Glaskolben wurden mit indifferenten Gasen gefüllt. Diese verhinderten eine Verdampfung des Wolframs, sodass die Glühwendeln höher erhitzt werden konnten und bei gleicher Lebensdauer mehr Licht gaben. Mit diesen Verbesserungen war die Produktkonzeption der Allgebrauchslampe im Wesentlichen abgeschlossen.<sup>76</sup>

<sup>71</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 154

<sup>72</sup> Walther Nernst, 1864 - 1941

<sup>73</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 210 ff

<sup>74</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 212

<sup>75</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 169

<sup>76</sup> OSRAM GMBH (Hrsg.): 100 Jahre OSRAM – Licht hat einen Namen, Markenjubiläum 2006, München 2006, S. 35, in: [http://w1.siemens.ch/ch/fr/cc/presse/news/Documents/100JahreOsram\\_1422680.pdf](http://w1.siemens.ch/ch/fr/cc/presse/news/Documents/100JahreOsram_1422680.pdf), vom 29. 10. 2008

1926 brachte die Firma Osram die erste Doppelwendelglühlampe auf den Markt. Es handelte sich um eine Autosucherlampe von 12 Volt und 25 Watt. Lampen mit Doppelwendel für die allgemeine Anwendung in Arbeitsräumen und Wohnungen kamen erst ab 1935 zum Verkauf.<sup>77</sup>

Früher als in Amerika, nämlich 1923 wurde in Europa die "Einheitsreihe" eingeführt, um auf diese Weise den Anforderungen der modernen Beleuchtung durch möglichst wenige Typen gerecht zu werden. Die Serie bestand aus sechs Lampen, die in passender Lichtstärke abgestuft wurden. In einem internationalen Abkommen wurde die Einheitsreihe nach Watt gestaffelt.

1924 wurde die spitzenlose Glühlampe eingeführt. Die OSRAM-Lampen erhielten eine einheitlich Birnenform. Somit hatten die einzelnen Lampentypen für alle gebräuchlichen Spannungen die gleiche Größe. Auch der Innenaufbau der Lampe wurde einheitlich gestaltet. Im Jahre 1932 kam eine stabförmige Glühlampe, die Linestra-Lampe von Osram, auf den Markt.<sup>78</sup>

Folgende Tabelle zeigt die von der Firma Osram in den Jahre 1906 bis 1936 auf den Markt gebrachten Glühlampen:

Lampenbezeichnung	OSRAM-Lampe	OSRAM-Lampe	Azo-Lampe	Nitra-Lampe	Krypton-Lampe
Baujahr	1906	1911	1915	1934	1936
Bauart	Wolfram	Langdraht	Einfachwendel	Doppelwendel	Doppelwendel
Lichtleistung	32 HK <sup>79</sup>	32 HK	40 W	40 W	40 W
Durchmesser	60 mm	60 mm	60 mm	60 mm	45 mm
Länge	150 mm	135 mm	120 mm	98 mm	90 mm
Lichtausbeute	7 lm/W	7,3 lm/W	8 lm/W	10,1 lm/W	11,1 lm/W
Lebensdauer	1000 h	1000 h	1000 h	1000 h	1000 h

**Tab. 1: Vergleich der OSRAM-Lampen in den Jahren 1906 bis 1936**

Quelle: HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 172

<sup>77</sup> REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962, S. 212

<sup>78</sup> OSRAM GMBH (Hrsg.): 100 Jahre OSRAM – Licht hat einen Namen, Markenjubiläum 2006, München 2006, S. 33 ff, in: [http://w1.siemens.ch/ch/fr/cc/presse/news/Documents/100JahreOsram\\_1422680.pdf](http://w1.siemens.ch/ch/fr/cc/presse/news/Documents/100JahreOsram_1422680.pdf), vom 29. 10. 2008

<sup>79</sup> HK = Hefnerkerze, alte Einheit für die Lichtstärke, definiert durch die Lichtmenge, die von der Amylacetat-Verbrennungslampe von Hefner-Alteneck bei 40 mm Flammenhöhe und 8 mm Dochtdurchmesser in horizontaler Richtung abgestrahlt wird



### 3.43 Erfindung der Halogenleuchte

Eine Weiterentwicklung der Glühlampe ist die Halogenleuchte, bei der dem Füllgas im Glaskolben eine geringe Menge Halogene, z. B. Jod zugesetzt wird. Das Wirkprinzip von Halogenlampen basiert auf zwei chemischen Transportprozessen, dem Wasser- und dem Halogen-Kreisprozess. Der letztere wurde durch Langmuir<sup>80</sup> 1915 bei Zusatz von Jod zum Füllgas beobachtet. Die Halogenfüllung sorgt dafür, dass sich das abdampfende Wolfram im erwähnten Kreisprozess wieder auf der Wendel niederschlägt und damit eine Kolbenschwärzung verhindert wird. General Electric setzte 1959 erstmalig den Kreisprozess in einer technischen Halogenlampe um.<sup>81</sup>

### 3.44 Entwicklung der Gasentladungslampe

1857 Geißler<sup>82</sup> erfindet die nach ihm benannte Geißlersche Röhre. Sie besteht aus einer evakuierten Glasröhre mit jeweils einer Elektrode an den Enden. Die Röhre ist mit Edelgas (Neon, Argon) oder mit Luft unter niedrigem Druck befüllt und enthält kein Quecksilber. Wird eine Hochspannung an beide Elektroden angelegt, so beginnt das Gas zu leuchten. In den 1880er Jahren wurde diese Röhre in größeren Stückzahlen produziert. Aufgrund ihrer geringen Helligkeit wurde sie aber nur zu Unterhaltungszwecken eingesetzt.<sup>83</sup>

1867 Becquerel<sup>84</sup> beschreibt das Prinzip der Leuchtstofflampe.

1869 Hittorf<sup>85</sup> beobachtet eine Strahlung, die in einer stark evakuierten Röhre von der Kathode ausgeht und von ihm als Kathodenstrahlung bezeichnet wird.

1901 Cooper-Hewitt<sup>86</sup> erfindet die Quecksilberdampf-Niederdrucklampe, die blaugrünes Licht ausstrahlt und vorwiegend in der Fotografie verwendet wurde. Sie stellt den Prototyp der modernen Leuchtstoffröhre dar.

1906 Küch<sup>87</sup> und Retschinsky konstruieren eine Quecksilberdampf-Hochdrucklampe mit hoher Lichtausbeute. Zur Verwertung dieser Erfindung wird von den deutschen Firmen AEG und Heraeus die Quarzlampen-Ges.m.b.H. gegründet.

---

<sup>80</sup> Irving Langmuir, 1881 - 1957

<sup>81</sup> Heinz, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 36 f

<sup>82</sup> Heinrich Geißler, 1814 - 1879

<sup>83</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtstoffr%C3%B6hre>, vom 29. 10. 2008

<sup>84</sup> Antoine Henri Becquerel, 1852 - 1908

<sup>85</sup> Wilhelm Hittorf, 1824 - 1914

<sup>86</sup> Peter Cooper-Hewitt, 1861 - 1921

<sup>87</sup> Richard Küch, 1860 - 1915

- 1910 Claude<sup>88</sup> gelingt es, durch elektrische Entladung in Edelgas Licht zu erzeugen. Für rotes Licht verwendet er Neon und bezeichnet die rote Lampe als Neonröhre.
- 1920 Philips beginnt in Eindhoven mit der Entwicklung einer Leuchtstofflampe.
- 1927 Die Idee entsteht, den Druck in der Lampe zu erhöhen und das Röhreninnere mit einem Leuchtstoff zu beschichten. Die Deutschen Meyer<sup>89</sup>, Spanner<sup>90</sup> und Germer<sup>91</sup> beschreiben das grundlegende Prinzip der Niederspannungs-Leuchtstoffröhre, das bereits auf Becquerel zurückgeht und melden in der Folge eine Niederspannungs-Leuchtstoffröhre zum Patent an. Dieses Patent wird vom amerikanischen Lampenproduzenten General Electric gekauft, der ab 1938 praktisch einsetzbare Leuchtstofflampen produziert.<sup>92</sup>
- 1931 Philips und Osram entwickeln eine brauchbare Natriumdampf-Niederdrucklampe.<sup>93</sup>



**Abb. 13: Natriumdampf-Niederdrucklampe von Philips, 1932**

Quelle: GENDRE, M. F.: Two Centuries of Electric Light Source Innovations, S. 10, in: [http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light\\_history.pdf](http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light_history.pdf), vom 12. 11. 2008

- 1932 Die englische General Electric Company (GEC) präsentiert eine Quecksilberdampf-Hochdrucklampe unter dem Markennamen "Osira".<sup>94</sup>

<sup>88</sup> Georges Claude, 1870 - 1960

<sup>89</sup> Friedrich Meyer

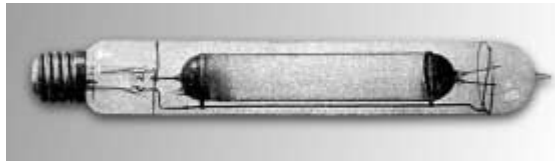
<sup>90</sup> Hans-Joachim Spanner

<sup>91</sup> Edmund Germer

<sup>92</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 193 ff

<sup>93</sup> GENDRE, M. F.: Two Centuries of Electric Light Source Innovations, S. 10, in: [http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light\\_history.pdf](http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light_history.pdf), vom 12. 11. 2008

<sup>94</sup> GENDRE, M. F.: Two Centuries of Electric Light Source Innovations, S. 5, in: [http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light\\_history.pdf](http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light_history.pdf), vom 12. 11. 2008



**Abb. 14: Quecksilberdampf-Hochdrucklampe "Osira" der GEC, 1932**

Quelle: GENDRE, M. F.: Two Centuries of Electric Light Source Innovations, S. 5,  
in: [http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light\\_history.pdf](http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light_history.pdf), vom 12. 11. 2008

- 1934 GE entwickelt eine Hochdruck-Gasentladungslampe, die durch eine höhere Leistung bei geringerem Stromverbrauch gekennzeichnet ist.<sup>95</sup>
- 1935 Pirani<sup>96</sup> und Rüttenauer entwickeln bei Osram eine Niederdruck-Leuchtstofflampe in Röhrenform.
- 1937 Osram zeigt auf der Weltausstellung in Paris als erstes Unternehmen Hochspannungs-Leuchtstoffröhren. Ein Jahr später präsentiert General Electric auf den Weltausstellungen in New York und San Francisco Leuchtstofflampen in der heute bekannten Form.<sup>97</sup>
- 1948 Die Halophosphor-Leuchtstofflampe (T8) wird entwickelt.<sup>98</sup>
- 1961 Bei General Electric wird die Entdeckung gemacht, dass Lucalox gegenüber heißen Natriumdämpfen beständig ist. In der Folge können Natriumdampf-Hochdrucklampen entwickelt werden, die 1970 auf den Markt kommen.
- 1962 General Electric stellt die ersten im Alltag anwendbaren Lichtemissionsdioden LED her.<sup>99</sup>
- 1965 Die ersten Halogen-Metaldampf lampen kommen auf den Markt.<sup>100</sup> Es handelt sich dabei um Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, denen Metallhalogenide, wie z. B. Natriumjodid zugesetzt werden, um eine bessere Farbwiedergabe und eine höhere Lichtausbeute zu erreichen.<sup>101</sup>

<sup>95</sup> [http://www.gelighting.com/de/resources/learn\\_about\\_light/history\\_of\\_light/last\\_years.htm](http://www.gelighting.com/de/resources/learn_about_light/history_of_light/last_years.htm), vom 8. 11. 2008

<sup>96</sup> Marcello Stefano Pirani, 1880 – 1968

<sup>97</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 210 f

<sup>98</sup> INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (Hrsg.): Light's Labour's Lost, Policies for Energy-efficient Lighting, Paris 2006, S. 109

<sup>99</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 214

<sup>100</sup> INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (Hrsg.): Light's Labour's Lost, Policies für Energy-efficient Lighting, Paris 2006, S. 109

<sup>101</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 157

- 1969 Bedingt durch den Bedarf an hohen Lichtstärken in der Farbfernsehaufnahmetechnik werden Xenon-Höchstdrucklampen auf den Markt gebracht. Diese zeichnen sich durch gute Farbwiedergabe und hohe Leuchtdichte aus.<sup>102</sup>
- 1972 John Campbell patentiert die Kompaktleuchtstofflampe (Energiesparlampe), die 1980 auf den Markt kommt.
- 1978 Halophosphor-Leuchtstofflampen werden für den Markt produziert.
- 1980 Die Herstellung der Wolfram-Halogenlampen beginnt in großem Umfang.
- 1981 Thorn Lighting stellt die erste Keramik-Metall-Halogenlampe vor.<sup>103</sup>
- 1994 GE beginnt mit der Produktion der Induktionslampe Genura, einer Leuchtstofflampe ohne Elektroden mit integriertem Vorschaltgerät. Zwei Jahre später folgt Osram mit der Produktion der Endura-Induktionslampe.<sup>104</sup>
- 1995 Die Leuchtstofflampe T5 wird serienmäßig hergestellt.<sup>105</sup>

### 3.5 Geschichte der Lampenindustrie bis 1945

Die Geschichte der Glühlampenindustrie beginnt mit der Erfindung der Kohlefadenlampe durch Edison. Nachdem die Produktion der Lampen schnell einen größeren Umfang annahm, wurde im Jahre 1880 die Edison Electric Lamp Company und 1881 die Edison Electric Tube Company sowie die Edison Machine Works gegründet und eine Glühlampenfabrik in Menlo Park errichtet. Alle drei Unternehmen wurden 1889 zur Edison General Electric Company zusammengeführt. Durch die erste Fusion in der Geschichte der Glühlampenindustrie mit der Thomson-Houston-Company entstand 1892 die General Electric Company (GEC).<sup>106</sup>

In Europa waren die Hauptländer der Glühlampenerzeugung Deutschland (AEG, Siemens & Halske, Deutsche Gasglühlicht AG, kurz DGA), Holland (Philips) und Österreich-Ungarn (Kremenezky, Meteor, Vereinigte Glühlampen und Electricitäts AG). Die englische Glühlampenindustrie nahm eine Sonderstellung ein, da sich hier keine so großen Konzerne bildeten.

<sup>102</sup> HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe, Thun und Frankfurt am Main 1998, S. 215

<sup>103</sup> INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (Hrsg.): Light's Labour's Lost, Policies für Energy-efficient Lighting, Paris 2006, S. 109

<sup>104</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Electrodeless\\_lamp](http://en.wikipedia.org/wiki/Electrodeless_lamp), vom 8. 11. 2008

<sup>105</sup> INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (Hrsg.): Light's Labour's Lost, Policies für Energy-efficient Lighting, Paris 2006, S. 109

<sup>106</sup> LUXBACHER, G.: Massenproduktion im globalen Kartell, Glühlampen, Radioröhren und die Rationalisierung der Elektroindustrie bis 1945, Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts, Band 4, Berlin Diepholz 2003, S. 50 f

Der Weg zum ersten großen Glühlampenkartell, der VVG, wurde durch einen Kooperationsvertrag zwischen der GE und der AEG, vormals Deutsche Edison-Gesellschaft, geebnet. Erstens wurde ein weitgehender gegenseitiger Austausch von Patenten und Erfahrungen vereinbart, zweitens die Arbeits- und Absatzgebiete weltweit abgegrenzt.<sup>107</sup>

Der Druck des internationalen Wettbewerbs führte in Europa zu einem raschen Sinken der Preise. Im Jahre 1903 kam es daher zur Gründung eines Verkaufssyndikats, der Verkaufsstelle Vereinigter Glühlampenfabriken (VVG), dem alle namhaften europäischen Erzeuger angehörten. Das zentrale Verkaufsbüro befand sich in Berlin. Die Wirksamkeit beschränkte sich auf die damals noch üblichen Kohlefadenlampen. Mit dem Entstehen der VVG bildete sich die Standard-Kohlefadenlampe heraus. Ein grundlegendes Charakteristikum für das Funktionieren der VVG war der ausgedehnte Quotenhandel. Der für das Zustandekommen des Verkaufssyndikats verantwortliche österreichische Kartellspezialist Philipp Westphal ging von einer jährlichen Gesamtproduktion von 27 Millionen Lampen aus.<sup>108</sup>

Die folgende Tabelle veranschaulicht die ausgehandelte Quotenverteilung:

Glühlampenproduzent	Herkunftsland	Quote
AEG	Deutsches Reich	22,633 %
Siemens & Halske	Deutsches Reich	22,633 %
Vereinigte Elektrizitäts-Gesellschaft	Österreich-Ungarn	11,316 %
Philips	Niederlande	11,307 %
Watt	Österreich-Ungarn	7,134 %
Pintsch	Deutsches Reich	6,579 %
Kremenezky	Österreich-Ungarn	6,010 %
Goossens & Pope	Niederlande	3,196 %
Gelnhausen	NL/Deutsches Reich	2,040 %
Constantia	Niederlande	1,927 %
Schweiz. Glühlampenfabrik Zug	Schweiz	1,626 %
Bayerische Glühlampenfabrik	Deutsches Reich	1,259 %
Sturm & Co	Österreich-Ungarn	2 – 3 %

**Tab. 2: Quoten der Verkaufsstelle Vereinigter Glühlampenfabriken (VVG)**

Quelle: LUXBACHER, G.: Massenproduktion im globalen Kartell, Glühlampen, Röhren und die Rationalisierung der Elektroindustrie bis 1945, Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts, Band 4, Berlin Diepholz 2003, S. 343

<sup>107</sup> LUXBACHER, G.: Massenproduktion im globalen Kartell, Glühlampen, Röhren und die Rationalisierung der Elektroindustrie bis 1945, Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts, Band 4, Berlin Diepholz 2003, S. 339

<sup>108</sup> LUXBACHER, G.: Massenproduktion im globalen Kartell, Glühlampen, Röhren und die Rationalisierung der Elektroindustrie bis 1945, Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts, Band 4, Berlin Diepholz 2003, S. 336 ff

Mit dem stetigen Rückgang des Absatzes der Kohlefadenlampen aufgrund der Entwicklung und Herstellung der Metallfadenlampen waren die Preise nicht mehr zu halten und die Auflösung des Syndikates nach 10-jährigem Bestehen unvermeidbar.

Rohstoffmangel und Erschwernisse bei der Herstellung der Metallfadenlampen führten während und knapp nach dem 1. Weltkrieg zu Kartellbildungen der nord- und mitteleuropäischen Unternehmen. Das erste Kartell dieser Art wurde im Jahre 1915 als "Vereinigung der deutsch-österreichisch-ungarischen Glühlampenfabriken" mit dem Sitz in Wien gegründet. Mitglieder waren in Österreich-Ungarn Kremenezky, Watt AG, Westinghouse (Vertex), die Vereinigte (Tungsram), Ganz & Co. GmbH. und die zu ihr gehörige Lampenproduktion der Meteor AG, in Deutschland Siemens & Halske, AEG, DGA, Bergmann und Pintsch.

Im April 1917 vereinigten sich die deutschen Produzenten zu einem eigenen Kartellverband, dem sich die österreichisch-ungarischen Unternehmen anschlossen. 1919 erklärte auch Philips seinen Beitritt.

In den letzten beiden Kriegsjahren wurden auch in Schweden, Norwegen und Dänemark Kartelle gegründet, mit denen sich die deutschen und österreichisch-ungarischen Werke absprachen. 1918 wurde ein schweizerisches Kartell ins Leben gerufen. Mitglieder für das schweizerische Verkaufsgebiet waren die Baseler Glühlampenfabrik, die Licht AG Goldau, Westinghouse, die Glühlampenfabrik Zug und die Zürcher Glühlampenfabrik, von den Deutschen AEG, Siemens & Halske, DGA, Bergmann und Radium sowie die Teilnehmer des österreichisch-ungarischen Kartells.

Gegen Ende des Krieges bestand ein schwer überblickbares Netzwerk an nationalen und grenzüberschreitenden Markt- und Preisabsprachen. Mit dem Wegfall der Rohstoffknappheit nach dem Krieg, wurde damit begonnen, den bereits vorher intendierten internationalen Charakter der Kriegskartelle auszubauen.

Im Jahre 1921 wurde die "Internationale Glühlampen-Preisvereinigung" (IGP) mit Sitz in Berlin vertraglich vereinbart. Zweck dieser Vereinigung sollte der Zusammenschluss der Glühlampenfabrikanten zur Vertretung ihrer Interessen, die Fortsetzung und Überwachung gemeinsamer Liefer- und Zahlungsbedingungen, sowie Preisbestimmungen sein. Damit wurde tendenziell an die VVG von 1903 angeknüpft. Die Vereinbarungen bezogen sich aber erstmals auf die Wolframdrahtlampe. Mitglieder der IGP waren Osram, Vereinigte Ujpest, Philips, Elektraverken Stockholm, Watt AG und Kremenezky aus Wien, Baseler Glühlampenfabrik AG und Bergmann aus Berlin. Belgien und Frankreich blieben außerhalb des Kartells. Die IGP richtete keine eigene Verkaufszentrale ein. Da es nicht gelang, verbindliche Quoten durchzusetzen, erreichte die IGP nie das Organisationsniveau der CVG und wurde 1924 aufgelöst.

Die erste formale interkontinentale Patentabsprache in Form eines Freundschaftsvertrages, Drahtkonzern genannt, stammte aus dem Jahre 1911 und wurde zwischen den vier großen deutschen Lampenherstellern und der GE getroffen. Eine Verlängerung des Abkommens fand 1921 und 1929 statt.<sup>109</sup>

Eine Annäherung der GE an Osram in der Frage eines Weltkartells erfolgte 1920. Vier Jahre später unterzeichneten die führenden Glühlampenhersteller einen so genannten Weltvertrag, das "General Patent and Development Agreement". Es kam zur Gründung einer Gesellschaft Schweizer Rechts, der "Phoebus S.A." in Genf. Der Vertrag stellte einen der weitestgehenden internationalen Zusammenschlüsse dar. Europäische Vertreten waren Osram, die niederländische Philips, die britische G.E.C, die französische Compagnie des Lampes, die österreichische Firma Kremenezky, die ungarische Vereinigte (Tungsram), die italienische Societa Edison Clerici, die Overseas Group, Tokyo-Electric sowie Produzenten aus Spanien, Schweden und der Schweiz. Glühlampenproduzenten aus den USA und Kanada waren keine unmittelbaren Mitglieder. Die mit dem Vertrag angestrebten Ziele waren Patent- und Erfahrungsaustausch, Typisierung und Standardisierung der Lampen, Sicherung des Marktanteils für jedes Mitglied, Meldung aller Verkäufe bei der Verwaltungsgesellschaft, Kontrolle und Güterüberprüfung im zentralen Labor, Abstimmung der Vertragsbedingungen sowie die Aufklärung der Verbraucher über die wirtschaftliche Nutzung des Lichtes.<sup>110</sup>

Mit dem Ausbruch des Zweiten Weltkrieges verlor das Phoebus-Kartell praktisch seine Wirkung. An seine Stelle trat die Gemeinschaft elektrischer Lampen. Das neue Kartell wurde 1942 zur Ordnung des Marktes für Deutschland und seine Verbündeten geschaffen und stellte eine staatliche Lenkungsorganisation dar. Die Hauptaufgabe der Organisation bestand in der staatsbestimmten Marktordnung, der kriegswirtschaftlichen Rationalisierung und der Güte- und Schutzrechtkontrolle.<sup>111</sup>

Während des Krieges wurden nahezu alle Fertigungseinrichtungen und Forschungs- und Entwicklungsstätten der deutschen Lampenindustrie zerstört. Viele Unternehmen verloren den gesamten Auslandsbesitz. Patent- und Erfahrungsaustauschverträge waren nach dem Krieg nicht mehr gültig.<sup>112</sup>

---

<sup>109</sup> LUXBACHER, G.: Massenproduktion im globalen Kartell, Glühlampen, Radoröhren und die Rationalisierung der Elektroindustrie bis 1945, Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts, Band 4, Berlin Diepholz 2003, S. 356 ff

<sup>110</sup> LUXBACHER, G.: Massenproduktion im globalen Kartell, Glühlampen, Radoröhren und die Rationalisierung der Elektroindustrie bis 1945, Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts, Band 4, Berlin Diepholz 2003, S. 365 ff

<sup>111</sup> LUXBACHER, G.: Massenproduktion im globalen Kartell, Glühlampen, Radoröhren und die Rationalisierung der Elektroindustrie bis 1945, Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts, Band 4, Berlin Diepholz 2003, S. 393 ff

<sup>112</sup> OSRAM GMBH (Hrsg.): 100 Jahre OSRAM – Licht hat einen Namen, Markenjubiläum 2006, München 2006, S. 45, in: [http://w1.siemens.ch/ch/fr/cc/presse/news/Documents/100JahreOsram\\_1422680.pdf](http://w1.siemens.ch/ch/fr/cc/presse/news/Documents/100JahreOsram_1422680.pdf), vom 29. 10. 2008



**Abb. 15: Produktionsraum mit Einschmelz-Pumpmaschine bei Philips um 1945**

Quelle: LUXBACHER, G.: Massenproduktion im globalen Kartell, Glühlampen, Radioröhren und die Rationalisierung der Elektroindustrie bis 1945, Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts, Band 4, Berlin Diepholz 2003, S. 237

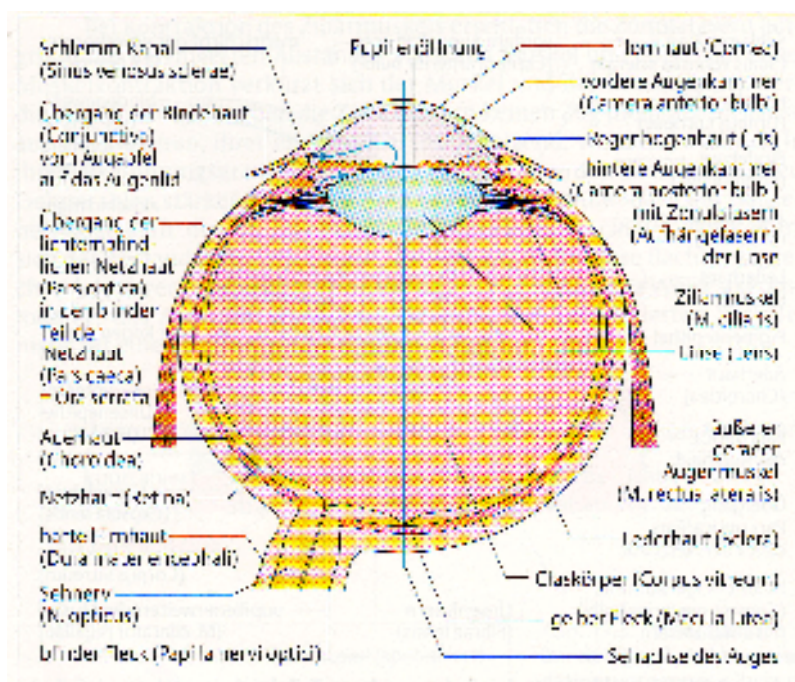


## 4. AUFBAU UND FUNKTION DES MENSCHLICHEN AUGES

Das menschliche Auge liefert als Sinnesorgan dem Gesichtssinn alle erforderlichen Information zur Wahrnehmung optischer Eindrücke.

### 4.1 Aufbau des Auges

Das Auge besteht aus einem kugelhähnlichen Körper mit einem Durchmesser von etwa 24 mm. Mittels der Augenmuskulatur ist der Augapfel in der Augenhöhle nach allen Richtungen drehbar gelagert. Der Augapfel ist von der weißlichen Lederhaut umschlossen. Ihr vorderer durchsichtiger Teil wird Hornhaut genannt. Auf die Lederhaut folgt die Aderhaut, die eine Vielzahl von Blutgefäßen enthält und vorne in den Ziliarkörper ausläuft. Dieser bewirkt die für den Akkommodationsvorgang wichtige Spannung und Entspannung der Augenlinse. Vor dem Ziliarkörper liegt die Regenbogenhaut (Iris), die die Pupille bildet und als Blende den Lichteintritt reguliert. Ihre charakteristische Färbung erhält die Regenbogenhaut durch eingelagerte Pigmente. Die Aderhaut hingegen ist dunkel gefärbt und absorbiert daher jenen Teil des Lichtes, der durch die Lederhaut eindringt und in der Augenhöhle gestreut wird.<sup>113</sup>



**Abb. 16: Horizontalschnitt durch das rechte menschliche Auge**

Quelle: FALLER, A.: Der Körper des Menschen, Einführung in Bau und Funktion, Stuttgart 1995, S. 439

<sup>113</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 6 f

Über der Aderhaut liegt die für den Sehvorgang wichtige Netzhaut (Retina) mit ihren lichtempfindlichen Empfängerelementen, den Zapfen und Stäbchen.

Das optische System des Auges setzt sich aus der Hornhaut, der Linse, dem Glaskörper und der zwischen Hornhaut und Linse befindlichen Kammerwasserflüssigkeit zusammen.

Die optische Achse ist der Ort der Krümmungsmittelpunkte zentrierter sphärischer lichtbrechender Flächen. Unter bestimmten Voraussetzungen werden alle Lichtstrahlen längs dieser Achse, die von einem Gegenstandspunkt ausgehen, wieder in einem Bildpunkt vereinigt. Liegt der Gegenstandspunkt im Unendlichen, so vereinigen sich die parallel zur Achse des abbildenden Systems einfallenden Strahlen im sogenannten bildseitigen Brennpunkt  $F'$ . Sein Abstand vom bildseitigen Hauptpunkt des Systems heißt Brennweite  $f'$ . Ihr Kehrwert ist die Brechkraft mit der Einheit Dioptrie (dpt). 1 dpt entspricht einer Brennweite von 1 Meter. Nach der Theorie der geometrischen Optik läßt sich die Abbildung durch das Auge vereinfacht durch die vordere Hornhaut als brechende Fläche und eine homogene Augenkugel der Brechzahl  $4/3$  erklären.

Bei Anpassung (Akkommodation) der Abbildung an sehr weit entfernte Gegenstände ergeben sich näherungsweise für einen Krümmungsradius der vorderen Hornhautfläche von 7,8 mm, eine bildseitige Brennweite  $f'$  von 24 mm im Medium der Brechzahl  $4/3$  und eine Brechkraft von 60 dpt. Bei stärkerer Krümmung der Linsenfläche akkommodiert das Auge auf Gegenstände in der Nähe, deren Bild auf der Netzhaut dann scharf erscheint. "Gleichzeitig erhöht sich auch die Brechzahl der Augenlinse und steigert weiter die Brechkraft. Bei maximaler Akkommodation wird der Nahpunkt 100,8 mm vor dem Hornhautscheitel scharf auf der Netzhaut abgebildet." Die Abbildungsgleichungen gelten für den paraxialen Raum. "Die optische Abbildung im Auge benutzt jedoch endliche, weiter geöffnete Bündel. Es kommt dann zu Abweichungen von der strengen Abbildung, die als sphärische Aberration bezeichnet werden. Infolge der Abhängigkeit der Brechzahl von der Wellenlänge, der sogenannten Dispersion, liegt die Abbildung für verschiedene Wellenlängen an verschiedenen Orten. Beim Sehprozess wirken sich beide Fehler kaum aus. Bei der sphärischen Aberration werden sie durch nervöse Prozesse und bei der chromatischen Aberration durch die stark selektive spektrale Augenempfindlichkeit teilweise kompensiert."

Abweichungen von der Geometrie des normalen Auges, wie sie bei Kurzsichtigkeit, Weitsichtigkeit, Alterssichtigkeit oder beim Astigmatismus zu beobachten sind, werden hier nicht beschrieben.<sup>114</sup>

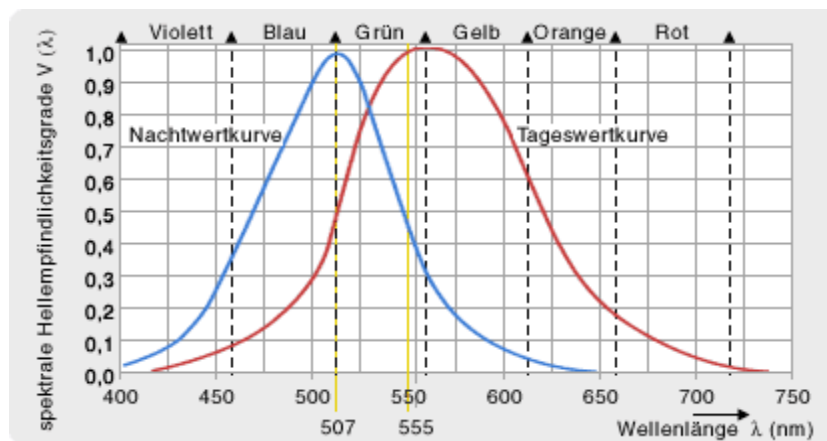
---

<sup>114</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 7 ff

## 4.2 Eigenschaften der Netzhaut

Die Netzhaut ist der wesentliche Teil des Auges zur Umwandlung der aufgenommenen Strahlung in eine Lichtempfindung. Sie enthält zwei verschiedene lichtempfindliche Empfängerelemente, nämlich Zapfen und Stäbchen.<sup>115</sup>

Erstere kommen in drei verschiedenen Modifikationen vor, die sich durch ihren Absorptionsbereich unterscheiden. Die Kombination der Nervenreize, die diese Rezeptoren hervorrufen, ermöglicht das Farbsehen. Die Stäbchen hingegen können Farben nicht unterscheiden, sind aber wesentlich lichtempfindlicher, sodass sie vor allem für das Sehen bei Dunkelheit verantwortlich sind. Die maximale Empfindlichkeit des helligkeitsadaptierten Auges liegt beim "Tagsehen" bei 555 nm und beim "Nachtsehen" bei 507 nm. Bei abnehmender Helligkeit tritt eine Blauverschiebung der Empfindlichkeitskurve des Auges auf.<sup>116</sup>



**Abb. 17: Spektrale Empfindlichkeitskurven des menschlichen Auges bei Helligkeitsadaptation für Tag- und Nachtsehen nach DIN 5031**

Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/lichtlexikon\\_popups/pop\\_1\\_Absorption224774.jsp](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption224774.jsp), vom 1. 11. 2008

Entwicklungsgeschichtlich stellt die Netzhaut einen Teil des Gehirns dar. Obwohl noch nicht alle beobachtbaren physiologischen Effekte in den Strukturen der Netzhaut in ihrer Bedeutung vollständig erfasst werden konnten, lassen sich die Hauptfunktionen in der Netzhaut in vereinfachter Form beschreiben.

<sup>115</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 9

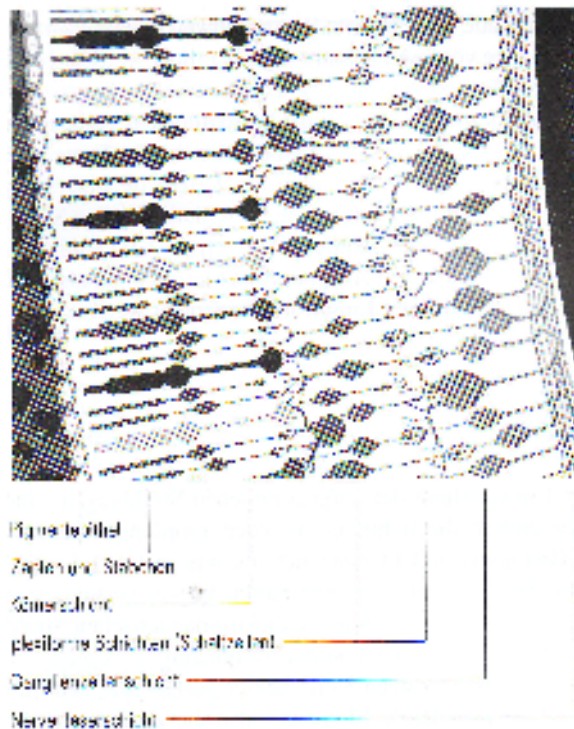
<sup>116</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichtezeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 15

Die Netzhaut ist etwa 0,4 mm dick und setzt sich aus mehreren Schichten zusammen. Das Pigmentepithel der Netzhaut liegt der Aderhaut an. Dann folgt nach innen die Schicht der Zapfen und Stäbchen als Empfänger-elemente. Daran schließt die äußere und innere Körnerschicht, die in die plexiformen Schichten übergeht.

Diese bestehen aus mehreren Arten von Schaltzellen:

- den Bipolarzellen, die jeweils mehrere Stäbchen oder einen bis mehrere Zapfen über verästelte Faserbündel an das Ganglienzellensystem anschließen
- den Horizontalzellen, die mit ihren Verästelungen mehrere Empfänger-elemente umfassen und sich nicht zur Ganglienzellschicht fortsetzen
- den amakrinen Zellen, die Verbindung zu mehreren Ganglienzellen haben.

Die Möglichkeit der Parallelschaltung von Empfänger-elementen unter Mitwirkung der horizontalen und amakrinen Zellen sowie der Riesenganglienzellen spielt für den Vorgang der Adaptation eine entscheidende Rolle. "Die Ganglienzellschicht geht schließlich über in die Nervenfaserschicht des Sehnervs."<sup>117</sup>



**Abb. 18: Schema der Netzhautschichten**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 10

<sup>117</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 9 f

Die Netzhaut enthält insgesamt etwa  $6,5 \cdot 10^6$  Zapfen und  $(110 - 125) \cdot 10^6$  Stäbchen, die jedoch nicht gleichmäßig über die Netzhaut verteilt sind. In der Mitte der Netzhaut befindet sich mit einem Durchmesser von etwa 0,25 mm die Netzhautgrube (Fovea centralis), in der sich nur Zapfen in einer Dichte von etwa 150.000 je  $\text{mm}^2$  befinden. Dies ist die Stelle des schärfsten Sehens und der Fixation bei Tagessehen.

Die Größe der Zapfen nimmt von der Fovea aus nach außen zu, während die Stäbchen überall nahezu gleich groß sind. Die Dichte der Stäbchen steigt außerhalb der Fovea rasch bis auf etwa 160.000 je  $\text{mm}^2$  an. Da die Anzahl der Nervenfasern nur etwa  $10^6$  beträgt, müssen auf eine Nervenfaser zahlreiche Empfängerelemente einwirken. Das trifft insbesondere auf die peripheren Bereiche der Netzhaut zu. In der Fovea aber kann ein Zapfen auf ein bis drei Bipolarzellen geschaltet sein.<sup>118</sup>

### 4.3 Elementarvorgänge in den Empfängerelementen der Netzhaut

Für den Vorgang der Absorption gilt die Quantentheorie. Nach dem heutigen Kenntnisstand über den Sehprozess "kann als gesichert angenommen werden, dass ein Lichtquant  $h \cdot \nu$ , das von einem in Zapfen und Stäbchen enthaltenen Wirkstoff wirksam absorbiert wird, ein Molekül dieses Sehstoffes in seiner Struktur verändert. Ebenso werden im Verlauf dieses photochemischen Prozesses und der nachfolgenden Regeneration des Sehstoffes elektrophysiologische Vorgänge ausgelöst, die unter bestimmten Voraussetzungen den Sehnerv erregen und zu einer entsprechenden Hellempfindung führen.

Der für das Stäbchensehen verantwortliche Sehstoff, der Sehpurpur, ist bereits 1877 als violetter Farbstoff entdeckt worden. Die Chemie des Sehpurpurs wurde in neuerer Zeit aufgeklärt. Danach enthalten alle Sehstoffe eine Farbträgergruppe (Chromophor), die an ein Eiweiß-Riesenmolekül gebunden ist. Aus der Ähnlichkeit der Absorptionskurven und des chemischen Verhaltens wurde geschlossen, dass sowohl Stäbchen- als auch Zapfensehstoffe nach der gleichen Formel aufgebaut sind. Die Absorption der Farbträgergruppe erreicht bei Wellenlängen zwischen 490 und 560 nm einen Maximalwert von 0,3 und führt damit zur Lichtempfindlichkeit. Bemerkenswert ist, dass in das Auge keine ultraviolette Strahlung eindringt.

Die Farbträgergruppe der Sehstoffe besteht aus Abkömmlingen der Vitamine A1 und A2. Die eigentliche lichtempfindliche Farbträgergruppe, das Retinen1 bzw. Retinen2, geht daraus als Aldehyd hervor. Bedeutend für die Lichtempfindlichkeit ist das Vorliegen einer Stereoisomerie. Die Synthese von Retinen1 und Eiweiß (Opsin) zum Stäbchensehstoff Rhodopsin, dem Sehpurpur, gelingt nur mit einem der 16 Stereoisomere des Retinens1, dem Meo-b-Retinen1. Die maximale Empfindlichkeit

<sup>118</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 10 f

des Rhodopsins liegt bei einer Wellenlänge von maximal 498 nm. Ein Isomer des Retinens<sup>2</sup> mit Opsin führt zu den Porphyropsinen, deren maximale Lichtempfindlichkeit bei einer Wellenlänge von ~ 507 nm liegt.

Der für das Zapfensehen verantwortliche Sehstoff ist das Iodopsin, ein Neo-b-Retinen<sup>1</sup> mit Photopsin als Trägereiweiß. Seine maximale Empfindlichkeit liegt bei einer Wellenlänge von 562 nm.

Der Photochemische Prozess läßt sich im Wesentlichen so beschreiben, dass durch Absorption eines Lichtquants die Retinengruppe des Rhodopsins vom Neo-b-Isomer in das so genannte Alltrans-Isomer übergeht. Dieser Übergang ist durch thermische Isomerisation reversibel und entspricht der Regeneration des Sehstoffes. Die Halbwertszeit der Regeneration für Stäbchen beträgt etwa 20 Minuten, für Zapfen etwa 1 Minute. Die photochemische Zersetzung des Sehpurpurs führt in der Folge zu elektrophysiologischen Vorgängen und zu einer Reizung des Sehnervs.

Der direkte Nachweis, wie Lichtreiz, Erregung der Empfängerelemente und Weiterleitung der Erregung durch den Sehnerv zusammenhängen, gelang 1935 durch Anzapfen einer einzelnen Faser des Sehnervs und Ableiten einzelner Impulse. Es stellte sich heraus, dass es verschiedene Arten von Fasern gibt.

On-off-Fasern zeigen eine proportional mit der Beleuchtung ansteigende Anzahl von Impulsen je Zeit. Dagegen zeigen die On-Fasern Impulse nur beim Einsetzen eines Reizes und die Off-Fasern nur beim Aussetzen eines Reizes. Mit Hilfe der Mikroelektrodenteknik gelang der Nachweis der Zugehörigkeit einzelner Bereiche der Netzhaut zu einer Nervenfasern sowie der Nachweis der Entstehung einzelner Nervenimpulse in verschiedenen Schichten der Netzhaut. Demnach entstehen die langsamen Potenzialänderungen in den Zapfen und Stäbchen und in den Horizontal-, Bipolar- und amakrinen Zellen, während die schnellen Impulsfolgen in den Ganglienzellen entstehen.

Der Zusammenhang zwischen Lichtreiz, photochemischer Zersetzung des Sehstoffes und elektrophysiologischer Weiterleitung der Erregung ist in großen Zügen bekannt. Eine schlüssige Erklärung der Phänomene des Farbsehens steht aber noch aus.<sup>119</sup>

#### 4.4 Sehbahn

Die Sehnerven beider Augen vereinigen sich kurz hinter dem Auge im sogenannten Chiasma opticum, von wo sie, geteilt nach linker und rechter Gesichtsfeldhälfte, zu den ersten zentralen Schaltstellen der Sehbahn, den Colliculi superiores und dem

<sup>119</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 11 ff

Corpus geniculatum laterale, führen. Von dort geht die Sehstrahlung (Radiatio optica) zum primären visuellen Cortex im Hinterhauptslappen der Großhirnrinde. Von hier führen Verbindungen zu den sekundären und tertiären visuellen Feldern sowie zu den höheren visuellen Assoziationsregionen im Hinterhaupts- bzw. Scheitelpol der Großhirnrinde. Aus diesen Regionen ziehen Verbindungen in die prätectale Region und die Colliculi superiores sowie in den Hirnstamm, von wo die Augenbewegungen gesteuert werden.

Schließlich gibt es noch Abzweigungen von der eigentlichen Sehbahn zur Formation reticularis, die für die Steuerung von Wachsamkeit und Konzentrationsfähigkeit verantwortlich ist. Diese Retikularformation steht mit anderen Hirnstrukturen in Verbindung, welche die Aktivität, die Affekte, vegetative Reaktionen und den Muskeltonus beeinflussen. Es sind allerdings die gleichen Rezeptoren, nämlich Zapfen und Stäbchen, die über Lichtreiz und Erregung indirekte Reaktionen steuern. Diese werden allenfalls aus Neuronen der Netzhaut abgeleitet.

"Die Sehbahn weist noch eine andere Eigenart auf: Die über die Ganglienzellen der Netzhaut mit einem visuellen rezeptiven Feld der Netzhaut gekoppelten Fasern des Sehnervs bilden diese rezeptiven Felder in korrespondierenden Feldern des visuellen Cortex ab. Dabei ist der Maßstab zwischen der Fovea und dem peripheren Teil der Netzhaut nicht der gleiche, entsprechend der größeren Bedeutung der fovealen Fixierung, worin auch die Abnahme der Sehschärfe zur Peripherie ihre Entsprechung findet."<sup>120</sup>

---

<sup>120</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 15 f





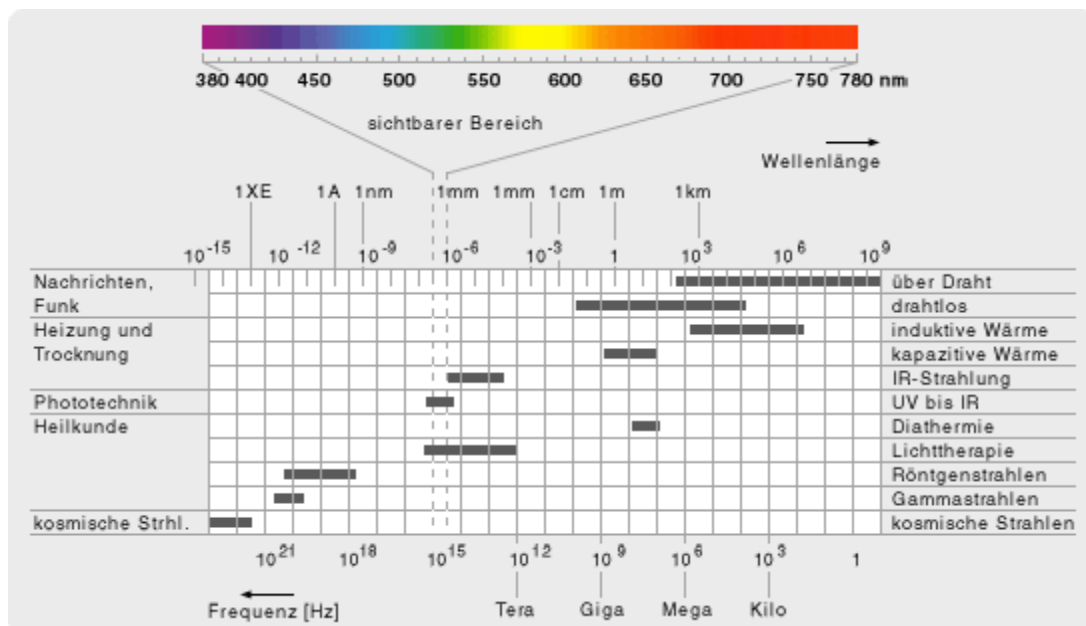


## 5. PHYSIKALISCHE UND LICHTTECHNISCHE GRUNDLAGEN

### 5.1 Physikalische Grundlagen

"Das Licht im physikalischen Sinne ist elektromagnetische Strahlung des Wellenlängenbereiches von 380 bis 780 nm." Nur Strahlung im Bereich dieser Wellenlängen ruft beim Menschen den Eindruck von Licht hervor. Die sichtbare Strahlung wird nach den kürzeren Wellenlängen gegen den Bereich der ultravioletten Strahlung (UV-Strahlung) abgegrenzt, nach den längeren Wellenlängen gegen den Bereich der infraroten Strahlung (IR-Strahlung). Im erweiterten Sinne wird bei diesen angrenzenden Spektralbereichen ebenfalls von Licht gesprochen, obwohl die Strahlung keine Hellempfindung, sondern biologische Wirkungen wie z. B. Bräunung der Haut oder ein Wärmegefühl hervorruft.

Bei der Beschreibung des Lichtes ist zwischen den Vorgängen der Emission und der Absorption sowie der Ausbreitung der elektromagnetischen Strahlung zu unterscheiden. Für die Behandlung der Emissions- und Absorptionsvorgänge muss das Licht als eine aus Lichtquanten bestehende Strahlung aufgefasst werden. Für die Ausbreitung des Lichtes gelten die Gesetze der Wellentheorie.<sup>121</sup>



**Abb. 20: Gesamtspektrum der elektromagnetischen Strahlung**

Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/lichtlexikon\\_popups/pop\\_1\\_Absorption224774.jsp](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption224774.jsp), vom 1. 11. 2008

<sup>121</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 2

## 5.2 Aufgabenbereiche der Lichttechnik

Es entspricht dem heutigen Lebensstandard, an Licht und Beleuchtung höchste Ansprüche zu stellen, die sich nicht nur am Sehen als rein physiologische Funktion orientieren. Die wichtigste Aufgabe der Lichttechnik besteht daher darin, durch richtige Anwendung des Lichtes für alle Sehaufgaben optimale Bedingungen zu schaffen.<sup>122</sup>

Die Lichttechnik umfasst drei große Arbeitsbereiche:

- Die Leuchttechnik schafft Lichtquellen für verschiedene Anwendungs-kategorien.
- Die Beleuchtungstechnik löst Probleme, die im Zusammenhang mit dem praktischen Einsatz der Lichtquellen auftreten.
- Die Lichtmesstechnik führt Messungen der lichttechnischen Größen durch.<sup>123</sup>

## 5.3 Lichttechnische Größen und Einheiten

Das System der lichttechnischen Größen und Einheiten baut auf einer Bewertung der physikalischen Strahlung gemäß dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad  $V(\lambda)$  des photometrischen Normalbeobachters auf. Jeder strahlungsphysikalischen Größe ist eine lichttechnische Größe zugeordnet.<sup>124</sup>

Strahlungsphysikalische Größe		Lichttechnische Größe		SI-Einheit
Strahlungsfluss	$\Phi_e$	Lichtstrom	$\Phi$	Lumen (lm)
Strahldichte	$L_e$	Leuchtdichte	L	$\text{lm}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr}) = \text{cd}/\text{m}^2$
Bestrahlungsstärke	$E_e$	Beleuchtungsstärke	E	$\text{lm}/\text{m}^2 = \text{Lux (lx)}$
spez. Ausstrahlung	$M_e$	spez. Lichtausstrahlung	M	$\text{lm}/\text{m}^2$
Strahlstärke	$I_e$	Lichtstärke	I	$\text{lm}/\text{sr} = \text{Candela (cd)}$
Strahlungsmenge	$Q_e$	Lichtmenge	Q	$\text{lm} \cdot \text{s}$ (üblich $\text{lm} \cdot \text{h}$ )
Bestrahlung	$H_e$	Belichtung	H	$\text{lx} \cdot \text{s} = \text{lm} \cdot \text{s}/\text{m}^2$

**Tab. 3: Gegenüberstellung strahlungsphysikalischer und lichttechnischer Größen**

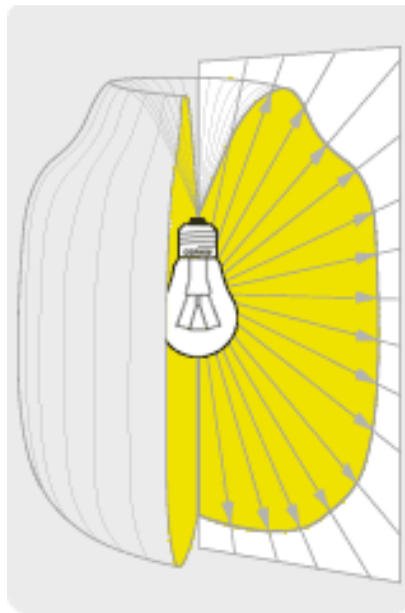
Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 34

<sup>122</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, ohne Seitenangabe

<sup>123</sup> HELBIG, E.: Grundlagen der Lichtmeßtechnik, Leipzig 1977, S. 13

<sup>124</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 33

Der Lichtstrom  $\Phi$  einer Lichtquelle stellt die gesamte in den Raum abgegebene Strahlungsleistung  $\Phi_e$  dar, bewertet nach der spektralen Hellempfindlichkeit  $V(\lambda)$ .<sup>125</sup> Wird die physikalische Strahlungsleistung nicht gemäß der Augenempfindlichkeit bewertet, handelt es sich um eine Leistung, die in der Einheit W zu messen ist.<sup>126</sup>



**Abb. 21: Lichtstrom einer Lichtquelle**

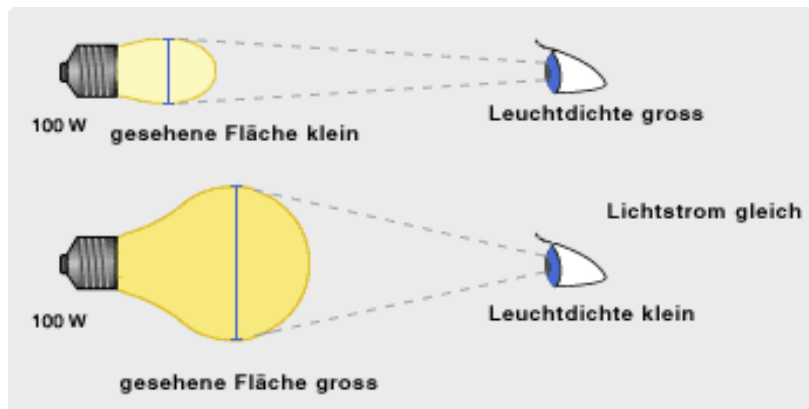
Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/lichtlexikon\\_popups/pop\\_1\\_Absorption224860.jsp](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption224860.jsp), vom 1. 11. 2008

Die Leuchtdichte  $L$  einer Lichtquelle ist die Dichte des durch eine Fläche in einer bestimmten Richtung durchtretenden Lichtstromes, wobei die Fläche senkrecht zur Beobachtungsrichtung projiziert wird. Sie ergibt sich als Quotient aus dem Lichtstrom und dem Produkt der vom Lichtstrom durchsetzten Fläche und dem durchstrahlten Raumwinkel.<sup>127</sup>

<sup>125</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 17

<sup>126</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 22

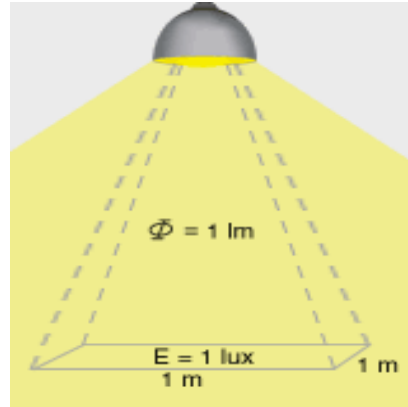
<sup>127</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 17



**Abb. 22: Leuchtdichte einer Lichtquelle**

Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/lichtlexikon\\_popups/pop\\_1\\_Absorption224864.jsp](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption224864.jsp), vom 1. 11. 2008

"Die Beleuchtungsstärke  $E_e$  ist die auf eine Fläche bezogene Dichte des Lichtstromes, das heißt der Quotient aus dem auf eine Fläche auftreffenden Lichtstromes und der beleuchteten Fläche. Die Beleuchtungsstärke nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab."<sup>128</sup>



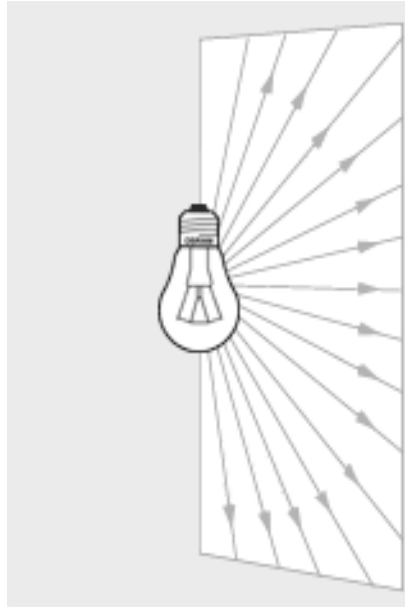
**Abb. 23: Beleuchtungsstärke**

Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/lichtlexikon\\_popups/pop\\_1\\_Absorption224950.jsp](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption224950.jsp), vom 1. 11. 2008

Die spezifische Lichtausstrahlung  $M$  bezeichnet den in alle Richtungen ausgestrahlten Lichtstrom pro Abstrahlfläche.

<sup>128</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 17

Die Lichtstärke  $I$  ist der in eine bestimmte Raumrichtung abgestrahlte Lichtstrom, also der Quotient aus Lichtstrom und Raumwinkel.<sup>129</sup>



**Abb. 24: Lichtstärke**

Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/lichtlexikon\\_popups/pop\\_1\\_Absorption224921.jsp](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption224921.jsp), vom 1. 11. 2008

Die Lichtmenge  $Q$  ist das Produkt aus dem von der Lichtquelle ausgehenden Lichtstrom und der Zeit, in der er ausgestrahlt wird.<sup>130</sup>

Die Belichtung  $H$  ist das Produkt aus Beleuchtungsstärke und Zeit.<sup>131</sup>

#### 5.4 Räumliche Bewertung der Beleuchtung

Zur Beschreibung des in einem Raum subjektiv empfundenen Helligkeitseindrucks, der Schattigkeit und der damit verbundenen Verteilung von Licht und Schatten an Körpern wurde die vektorielle Theorie des Lichtes eingeführt. Diese konnte zwar bisher keine praktische Bedeutung erlangen, in Zukunft ist aber damit zu rechnen, dass einige Größen der Lichtfeldtheorie zur Bewertung subjektiver Komponenten der Beleuchtung herangezogen werden.

<sup>129</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 17

<sup>130</sup> [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/lichtlexikon\\_popups/pop\\_1\\_Absorption224936.jsp](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption224936.jsp), vom 1. 11. 2008

<sup>131</sup> [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/lichtlexikon\\_popups/pop\\_1\\_Absorption224927.jsp](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption224927.jsp), vom 1. 11. 2008

Zur Bewertung der Schattigkeit wurde eine neue skalare Lichtfeldgröße, die mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke  $E_z$  eingeführt. Sie ist definiert als der Quotient aus Lichtstrom und Fläche eines vertikalen Zylindermantels mit gegen Null gehendem Durchmesser  $D$  und Höhe  $h$  des Zylinders. Die mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke läßt sich messen. Ein anderer Ansatz verwendet als Maß der Schattigkeit das Verhältnis  $s$  des Betrages des Lichtvektors und der Raumbeleuchtungsstärke.<sup>132</sup>

## 5.5 Lichteinheit

Als Lichteinheit ist international die Candela cd festgelegt. Sie ist die Lichtstärke einer Strahlungsquelle in einer gegebenen Richtung, die eine monochromatische Strahlung der Frequenz  $540 \cdot 10^{12}$  Hz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung  $(1/683)$  W/sr beträgt.

Nach dieser Definition läßt sich die Lichtstärke aus einer Messung der Bestrahlungsstärke ableiten. Diese kann mit thermischen Empfängern absolut in  $W/m^2$  gemessen werden.

Früher war die Candela wie folgt definiert: 1 cd ist die Lichtstärke, die ein schwarzer Strahler der Fläche  $(1/600000)$   $m^2$  senkrecht zu seiner Oberfläche ausstrahlt, wenn er bei der Temperatur des erstarrenden Platins und einem Druck von 101325 Pa betrieben wird.

Das lichttechnische Größen- und Einheitensystem unterscheidet sich vom physikalischen Größen- und Einheitensystem dadurch, dass es neben Länge, Masse und Zeit noch eine lichttechnische Basisgröße und zweckmäßigerweise den Raumwinkel als Basisgröße benutzt. Da die Lichtstärke als Basisgröße festgelegt ist, sind alle anderen lichttechnischen Größen, wie Lichtstrom, Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke abgeleitete Größen.<sup>133</sup>

## 5.6 Wirkungsgrade und Nutzeffekte

Der Wirkungsgrad, mit dem Leistung in Licht umgesetzt wird, kann durch mehrere Größen beschrieben werden. So gibt die Lichtausbeute  $\eta$  einer Lichtquelle den Quotienten aus abgestrahltem Lichtstrom in Lumen und der zu seiner Erzeugung aufgewendeten Leistung  $P$  in Watt an. Es gilt daher die Einheit  $lm/W$ .

---

<sup>132</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 35 ff

<sup>133</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 38 f

Auf den Anteil der sichtbaren Strahlung bzw. des Lichtes an einer beliebigen optischen Strahlung beziehen sich mehrere Wirkungsgrade:

- Der optische Nutzeffekt  $O$  einer Strahlung ist das Verhältnis aus dem im sichtbaren Bereich ausgesendeten Strahlungsfluss zu dem gesamten Strahlungsfluss.
- Der visuelle Nutzeffekt  $V$  der Gesamtstrahlung ergibt sich durch die Bewertung des Strahlungsflusses im sichtbaren Bereich. Die Einheit ist 1.
- Das photometrische Strahlungsäquivalent  $K(\lambda)$  stellt den Quotienten aus Lichtstrom und Strahlungsfluss für monochromatische Strahlung der Wellenlänge  $\lambda$  dar. Die Einheit ist  $\text{lm/W}$ .<sup>134</sup>

## 5.7 Stoffkennzahlen

"Das Verhalten eines Stoffes, auf den ein Lichtstrom auftrifft und von ihm teilweise zurückgeworfen, absorbiert oder durchgelassen wird, beschreiben die Stoffkennzahlen Reflexionsgrad  $\rho$ , Absorptionsgrad  $\alpha$  und Transmissionsgrad  $T$ . Sie sind definiert als die Verhältnisse des reflektierten Lichtstromes  $\Phi_r$ , absorbierten Lichtstromes  $\Phi_a$  oder durchgelassenen Lichtstromes  $\Phi_d$  zum auftreffenden Lichtstrom  $\Phi_0$ . Reflexion und Transmission können gemäß den Regeln der optischen Reflexion und Brechung gerichtet oder gestreut sein. Beide Arten der Reflexion und Transmission können auch gleichzeitig nebeneinander auftreten."<sup>135</sup>

## 5.8 Lichtmessung

In der Lichtmesstechnik wird zwischen visueller (subjektiver) und physikalischer (objektiver) Photometrie unterschieden, je nachdem, ob das Auge oder ein physikalischer Empfänger die Lichtbewertung vornimmt.

### 5.81 Visuelle Photometrie

Alle visuellen lichttechnischen Messungen beruhen auf dem Vergleich zweier dem hell adaptierten Auge dargebotenen Leuchtdichten. Das erforderliche Abgleichprinzip ist eng gekoppelt mit dem Photometerfeld, das heißt mit jener Fläche, innerhalb derer sich der Abgleich vollzieht. Die Wahl des Abgleichprinzips richtet sich nach der Beschaffenheit der zu vergleichenden Lichtquellen. Bei isochromer und schwach heterochromer Photometrie sind nur Direkt- oder Kontrastvergleich brauchbar. In beiden Fällen werden die zu vergleichenden Lichtquellen simultan dargeboten. Anders verhält es sich beim Flimmerphotometer, bei dem die zu vergleichenden Lichtquellen sukzessiv erscheinen.

<sup>134</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 39

<sup>135</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 40

## 5.82 Physikalische Photometrie

Die physikalische Photometrie ermöglicht mit Hilfe verschiedener optoelektronischer Wandler (Photodioden, Photowiderstände, Photozellen) schnelle und genaue Aussagen.

Durch die Anwendung physikalischer Messverfahren können zwar Schwierigkeiten, die durch die Unzulänglichkeiten des Auges bedingt sind, umgangen werden, für die Bewertung einzelner lichttechnischer Größen, wie z. B. die Leuchtdichteverteilung, bleibt der Gesichtssinn die allein ausschlaggebende Grundlage der Bewertung.<sup>136</sup>

## 5.9 Farbmessung

Zunächst wird die Farbe als Gesichtsempfindung im Sinne eines subjektiven Korrelats zu physikalischen Strahlungen verschiedener spektraler Zusammensetzung verstanden. Diese Gesichtsempfindung Farbe ermöglicht dem Beobachter, Unterschiede in der Empfindungsqualität festzustellen. "Im weiteren Sprachgebrauch wird Farbe auch als Eigenschaft von Lichtreizen von Selbstleuchtern oder Körperfarben verstanden, die die Gesichtsempfindung Farbe hervorruft." Der zur Farbwahrnehmung führende Reiz wird Farbreiz genannt.

Zur Beschreibung der Farberscheinungen sind drei aus der Gesichtsempfindung abzuleitende Komponenten notwendig:

- Die Helligkeit wird durch die Leuchtdichte bei Selbstleuchtern oder durch den Leuchtdichtefaktor bei Körperfarben beschrieben. In einem System von Körperfarben kann die Helligkeit durch eine Grauskala dargestellt werden.
- Der Farbton gestattet es dem Beobachter, eine Farbe der Farbempfindung eines bestimmten Spektrallichtes zuzuordnen, die mit Bezeichnungen wie violett-blau-grün-gelb-orange-rot belegt wird.
- Die Sättigung ist das subjektive Korrelat zu jenem Anteil, den ein Spektrallicht bestimmten Farbtons an der Farbe hat.

Als bunte Farben werden jene Farben bezeichnet, die sich durch einen Farbton und einer endlichen Sättigung kennzeichnen lassen. Im Gegensatz dazu werden die durch die Grauskala dargestellten Farben ohne Farbton und der Sättigung null als unbunte Farben bezeichnet.

---

<sup>136</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 70 ff



Selbstleuchter sind natürliche oder künstliche Lichtquellen, deren Helligkeit durch die Angabe einer Leuchtdichte beschrieben wird. Körperfarben sind Farben, die durch Reflexion oder Transmission des beleuchtenden Lichtes sichtbar werden.

Alle Verfahren der Farbmessung beruhen auf den Gesetzen der Farbmischung, mit denen quantitative Aussagen über die Zusammensetzung einer Farbe aus bestimmten Grundfarben möglich sind. Es können zwei Typen, die subtraktive und die additive Farbmischung unterschieden werden.

Zur Farbmessung sind drei Verfahren gebräuchlich:

- das Gleichheitsverfahren
- das Spektralverfahren
- das Dreibereichsverfahren, das sich für Lichtquellen eingebürgert hat.

Die durch das Auge beobachtbaren Farben (Farbvalenzen) können als Farbmischung aus drei beliebigen, nicht auseinander erzeugbaren Primärvalenzen dargestellt werden. Durch eine bestimmte Normierung dieser drei Basisvektoren und des Farbraumes sind alle Farbvalenzen in einem aus 2 Primärvalenzen bestehenden Farbdreieck, und einer dritten senkrecht hierzu stehenden Primärvalenz, dem Helligkeitswert, darstellbar. Letztere bleibt bei der graphischen Visualisierung allerdings meist unberücksichtigt. Im Farbdreieck sind alle Spektralfarben (monochromatische Farben) auf dem so genannten Spektralfarbenzug wiederzufinden. Experimentell lassen sich Farbvalenzen mittels eines Dreibereichsfarbmessgerätes bestimmen.

Durch die Entwicklung moderner Lichtquellen hat die Frage der Wiedergabe von Körperfarben in der Beleuchtungstechnik besondere Bedeutung erlangt. Die praktische Bewertung der Farbwiedergabe spielt v. a. in der Innenraumbeleuchtung, für die verschiedene Typen von Leuchtstofflampen mit unterschiedlicher spektraler Verteilung zur Verfügung stehen, eine große Rolle.

Die Farbwiedergabe beschreibt die Fähigkeit einer Lampe, Körperfarben richtig und unverfälscht wiederzugeben. Sie wird durch die spektrale Verteilung des Lichtes bestimmt und durch einen Allgemeinen Farbwiedergabeindex  $R_a$  beschrieben. Je höher der Wert für  $R_a$  ist, desto geringer ist die Abweichung der unter der betreffenden Lichtquelle visuell wahrgenommenen Körperfarbe zu der Bezugsquelle.

Im Allgemeinen Farbwiedergabeindex sind acht ausgewählte Körperproben berücksichtigt, die mit einer Referenzlichtart und ausgewählten anderen Lichtarten vergleichend beleuchtet werden. Der  $R_a$  ist dann besonders hoch, wenn das VIS-Spektrum der Lichtquelle alle spektralen Anteile beinhaltet und einen kontinuierlichen Verlauf aufweist. Dies ist bei Glühlampen der Fall – ganz im Gegensatz zu

Natriumdampflampen, die nur im gelben Bereich des Spektrums emittieren.<sup>137</sup>

Die folgende Tabelle enthält Lampenbeispiele zu den einzelnen Farbwiedergabestufen:

<b>Farbwiedergabestufen</b>	<b>Farbwiedergabeindex <math>R_a</math></b>	<b>Anforderungen Lampenbeispiele</b>
1A	$100 > R_a \geq 90$	sehr hoch Leuchtstofflampen Kompaktleuchtstofflampen Metallhalogendampflampen Glühlampen
1B	$90 > R_a \geq 80$	sehr hoch Dreiband-Leuchtstofflampen Kompakt-Leuchtstofflampen
2A	$80 > R_a \geq 70$	hoch Standard-Leuchtstofflampen Universalweiß
2B	$70 > R_a \geq 60$	hoch Standard-Leuchtstofflampen Hellweiß, Halogen-Metaldampflampen
3	$60 > R_a \geq 40$	mittel Standard-Leuchtstofflampen Warmton, Quecksilberdampf-Hochdrucklampen
4	$40 > R_a \geq 20$	gering Natriumdampf-Niederdrucklampen

**Tab. 4: Stufen des Farbwiedergabeindex**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 126, vom Autor modifiziert

<sup>137</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 115 ff

## 6. LAMPENSYSTEME

Von den vielfältigen Verfahren der Anregung von Atomen zum Leuchten werden in diesem Kapitel nur jene beschrieben, die aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit für die Lichterzeugung größere Bedeutung haben.

### 6.1 Arten von Strahlungsquellen

Lichtquellen senden elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Energiespektrum und dem angrenzenden UV- bzw. IR-Bereich aus. Strahlungsquellen in diesem Spektralbereich sind in der Regel thermisch, elektrisch oder durch Absorption von Strahlung angeregte Atome. Beim Übergang eines Atoms von einem Zustand höherer Energie in einen solchen niedriger Energie kann ein Lichtquant  $h \cdot \nu$  ausgestrahlt werden. Träger der Anregungsenergie sind die Elektronen der äußeren Atomhüllen, die Valenzelektronen.<sup>138</sup>

Die technische Ausführungsform einer Lichtquelle wird als Lampe bezeichnet. Heute werden nahezu ausschließlich elektrische Lampen eingesetzt, die den hohen Ansprüchen an Betriebsweise, Bedienbarkeit, Betriebssicherheit, Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit gerecht werden.

Lampen bestehen aus einem äußeren, gasdicht abgeschlossenen Kolben auf einem Sockel, der zur Kontaktierung und Befestigung der Lampe in der Fassung dient. Je nach Bauform der Lampe gibt es verschiedene Sockelformen, so den Edison-Schraubsockel, den Zweistiftsockel der Leuchtstofflampe und den Bajonettsockel von Speziallampen. Im Inneren des Kolbens befindet sich der Wolfram-Leuchtkörper bei Glühlampen oder die Entladungsstrecke bei Entladungslampen mit den der Stromzufuhr dienenden Elektroden. Bei den Leuchtstofflampen wird ein Leuchtstoff zur Umwandlung der Strahlung der Entladung auf der Kolbeninnenseite aufgebracht.

"Bei der Auswahl von Lampen für die praktische Anwendung ist zu beachten, dass die Typenbezeichnung der Hersteller voneinander abweichen." Versuche zu einem einheitlichen Schlüssel der Lampenbezeichnungen zu gelangen, wurden bislang von den Herstellern kaum beachtet. Für einige wichtige Lampentypen gibt die folgende Tabelle die äquivalenten Bezeichnungen nach ILCOS (internationales Lampen-Bezeichnungssystem), LBS des Zentralverbandes der Elektroindustrie (ZVEI), Osram, Philips, und General Electric (GE):<sup>139</sup>

---

<sup>138</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 127

<sup>139</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 142 f

Kategorie	ILCOS	LBS	OSRAM	PHILIPS	GE
Leuchtstofflampen 36 W, 58 W	FD-36 FD-58	T 26 T 26	L 36W/... L 58W/...	TL-D 36W TL-D 58W	F 36W F 58W
Kompaktleuchtstofflampen	FSD... FBT... FSD... FSQ...	TC... TC-EL TC-L... TC-DEL...	DULUX S DULUX EL DULUX L DULUX D	PL-S PL-S PL-L PL-C	F..DBX F..DBX F..DBX F..DBX
Halogen-Metall-dampflampen	MC../ME.. MT... MT... MD...	HIE... HIT... HIT-CRI... HIT-DE...	HQI-E... HQI-T... HCI-T... HQI-TS...	HPI... HPI-T... CDM-T.. MHN-TD	- ARC...T CMH... ARC...TD
Quecksilber-dampflampen	QE/R...	HME...	HQL...	HPL...	H...N/DX
Natriumdampf-Hochdruck-lampen	SE...H... ST...H... SD...H...	HSE... HST... HST-DE...	NAV-E... NAV-T... NAV-TS...	SON-E... SON-T... -	LU.../D LU.../T -

**Tab. 5: Lampenbezeichnungstabelle**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 143, vom Autor modifiziert

## 6.2 Thermische Strahlungsquellen

Elektrisch leitfähige Festkörper, wie Metalle oder Spezialkeramiken, geben beim Erwärmen einen großen Teil (ca. 95 %) ihrer Energie in Form von Wärmestrahlung ab. Bei hohen Temperaturen wird auch sichtbares Licht abgestrahlt, das zu Beleuchtungszwecken genutzt werden kann.<sup>140</sup> Zu den Temperaturstrahlern zählen der positive Krater der Reinkohlebogenlampe, der Gasglühstrumpf, die Kerzenflamme und die elektrische Glühlampe<sup>141</sup> und die Halogenlampe.

### 6.21 Glühlampen

Die Glühlampe ist der bedeutendste Temperaturstrahler.

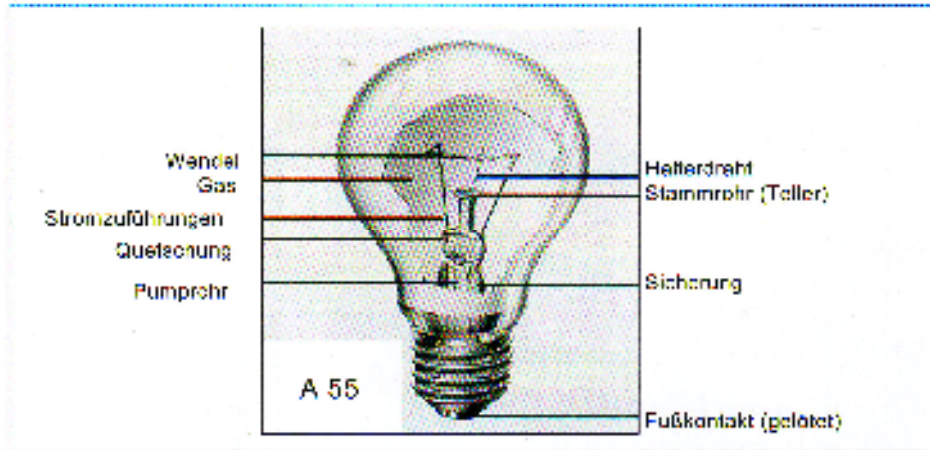
#### 6.211 Aufbau und Wirkprinzip

Der aus einem gewendelten Wolframdraht bestehende Leuchtkörper ist mit einer Halterung, dem sogenannten Gestell, in einem gasdichten Glaskolben angebracht. Bei Allgebrauchslampen dient ein Schraubsockel mit Nenndurchmessern von 14, 27 und 40 mm (Sockel E 14, E 27 und E 40) zum Herstellen des elektrischen Kontaktes und zur mechanischen Befestigung der Glühlampe in einer Fassung.

<sup>140</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 25

<sup>141</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 127

In der Regel ist der Glaskolben mit einem inaktiven Stickstoff-Argon-Gemisch gefüllt.<sup>142</sup>



**Abb. 25: Aufbau einer modernen Glühlampe mit E 27-Schraubsockel**

Quelle: HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 26

Die Glühlampentechnologie strebt nach höchstmöglicher Lichtausbeute bei ausreichender Lebensdauer. Diese wird durch die merklich zunehmende Verdampfung des Wolframdrahtes bei Temperaturen knapp unterhalb der Schmelztemperatur begrenzt. Durch die Füllung des Lampenkolbens mit Inertgas (Stickstoff-Argon, Krypton oder Krypton-Xenon) wird die Abdampftrate des Wolframs reduziert, sodass bei gleicher Temperatur des Drahtes eine wesentlich längere Lebensdauer erreicht wird. Das Inertgas erhöht die Wärmeableitung und damit die Wärmeverluste der Glühlampe. Die Wärmeableitung kann durch Verwendung schwerer Füllgase, wie Krypton, verringert werden. Der Wärmeübergang vom Draht zum Gas infolge Konvektion läßt sich durch Wendelung des Drahtes reduzieren. Eine doppelte und dreifache Wendelung wirkt noch effektiver.

Der Wolframdraht wird aus Wolframpulver durch Sinterverfahren mit anschließendem Rundhämmern und Drahtziehen durch Diamantdüsen gewonnen. Die Zugabe von Alkalien, Silizium- und Thoriumoxid verbessert die mechanische Festigkeit des Drahtes.<sup>143</sup>

<sup>142</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 143 f

<sup>143</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 144



**Abb. 26: Allgebrauchsglühlampe von Osram, Classic A**

Quelle: OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: <http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4>, vom 1. 11. 2008

### 6.212 Lebensdauer

Die mittlere Lebensdauer einer Glühlampe, das heißt der Zeitpunkt, nachdem in einer Lampenpopulation 50 % aller Leuchtmittel ausgefallen sind, beträgt bei Standard-Glühlampen ca. 1.000 Stunden, bei den lichtstromschwächeren Verkehrssignallampen bis zu 14.000 Stunden. Die Lebensdauer wird durch das bereits erwähnte Abdampfen von metallischem Wolfram von der Wendel sowie durch Rekristallisationsprozesse im Material selbst bestimmt. Dabei ist zu erwarten, dass die Glühwendel an jener Stelle mechanisch versagt, an der, durch den Herstellungsprozess bedingt, ein kleinerer Wendeldurchmesser vorliegt.<sup>144</sup>

### 6.213 Lichtausbeute

Die Lichtausbeute einer Glühlampe steigt mit der Drahtdicke bei gleicher Lebensdauer. So haben Glühlampen für eine Nennspannung von 110 V gegenüber einer Spannung von 230 V eine etwa 5 bis 15 % höhere Lichtausbeute. Bereits geringe Spannungsschwankungen beeinflussen die Betriebsdaten der Lampe erheblich. Bei Sonderlampen (z. B. Kinoprojektionslampen, Schmalfilmlampen), die nur kurzzeitig betrieben werden, wird die Nennlebensdauer zugunsten der Lichtausbeute herabgesetzt. Die Grenze der Lichtausbeute bei Glühlampen liegt bei etwa 40 lm/W.<sup>145</sup>

<sup>144</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 26 f

<sup>145</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 145

In der folgenden Tabelle werden Allgebrauchslampen der Hauptreihe 230 V, mit Doppelwendel hinsichtlich Farbtemperatur, Lichtstrom, Lichtausbeute, Durchmesser und Länge verglichen:

Leistung W	Farbtemperatur K	Lichtstrom lm	Lichtausbeute lm/W	Durchmesser mm	Länge mm
40	etwa	430	10,8	60	105
60	2700	730	12,2	60	105
100		1380	13,8	60	105
200	bis	3150	15,7	80	148
300		5000	16,7	90	189
500	2860	8400	16,8	110	240

**Tab. 6: Daten einiger Allgebrauchslampen der Hauptreihe 230 V, mit Doppelwendel**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 145

## 6.214 Anwendungsbereiche

Neben der Standard-Glühlampe, die nach wie vor in privaten Haushalten die bevorzugte Lichtquelle darstellt, gibt es eine Vielzahl von Spezialformen und Ausführungen für besondere Beleuchtungsaufgaben und Ansprüche. Die Lampenproduzenten bieten z. B. Lampen mit weichem, blendfreiem Licht für verschiedene Farbstimmungen oder Dekor-Reihen mit ausgefallenen Formen und Farben, die als dekorative Elemente auch dann eine wichtige Rolle spielen, wenn die Lampen nicht brennen.

Für technische Applikationsbereiche stehen stoßfeste Lampen, Infrarotlampen, TV-Lampen, Verkehrssignallampen und Speziallampen für Kühlschränke, Öfen oder Nähmaschinen zur Verfügung.<sup>146</sup>



**Abb. 27: Osram Allgebrauchsglühlampen der Serie Decor A verschiedene Farben, 25 W, 240 V, E 27, FS 1**

Quelle: OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: <http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4>, vom 1. 11. 2008

<sup>146</sup> OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: <http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4>, vom 1. 11. 2008

## 6.22 Halogenlampen

Halogenlampen sind in Aufbau und Wirkungsweise mit Glühlampen vergleichbar, zeichnen sich jedoch durch helleres (weißeres), natürliches Licht, lange Lebensdauer und deutlich weniger Stromverbrauch und damit geringere Stromkosten aus.<sup>147</sup>

### 6.221 Aufbau und Wirkprinzip

Das Wirkprinzip von Halogenlampen basiert auf Kreisprozessen, die auf chemische Transportvorgänge zurückgehen.<sup>148</sup> Dem Füllgas wird eine geringe Menge von Halogenen, z. B. Brom, Chlor, Fluor oder Jod zugesetzt, sodass sich ein Kreisprozess zwischen Wolframdampf und Halogen ausbildet. Die Halogenide des Wolframs sind bei hohen Temperaturen gasförmig und zersetzen sich bei der Temperatur des Leuchtkörpers in Halogen und Wolfram. Für Jod geschieht dies nach der Reaktion  $W + J_2 \leftrightarrow WJ_2$ , die in dem Kreisprozess abläuft. "Wolfram dampft vom Draht ab und diffundiert zur Wand des zylinderförmigen, engen Kolbens, der wegen der hohen Belastung und Temperatur aus Hartglas oder Quarzglas besteht. In der kühleren äußeren Zone verbindet sich Wolfram mit Jod zu  $WJ_2$ , das jedoch wegen der hohen Kolbentemperatur von über  $250^\circ\text{C}$  gasförmig bleibt und seinerseits zum Leuchtkörper hin diffundiert. Dort zersetzt es sich, das Wolfram setzt sich an kühleren Teilen des Leuchtkörpers ab, während das Jod für einen erneuten Kreisprozess zur Verfügung steht. Dieser Kreisprozess verhindert die Schwärzung des Kolbens und lässt bei gleicher Lebensdauer eine höhere Leuchtkörpertemperatur zu." Außer Jod werden auch Brom sowie Halogen-Wasserstoff verwendet.<sup>149</sup>

Der Halogen-Kreisprozess verlängert die Lebensdauer der Glühwendel aber nur dann, wenn die Temperatur der Wendelaufhängung nicht überschritten wird, d. h. deutlich niedriger als die Wendeltemperatur ist, und die Temperatur der Kolbenwand nicht unterschritten wird. Sonst kommt es zu Metallabscheidungen an der Wendelaufhängung bzw. zur Kondensation von Wolframoxohalogeniden an der Kolbenwand. Letzteres führt zum Zusammenbrechen des Kreisprozesses. In leistungsreduzierten (gedimmten) Halogenlampen ist daher der Halogenprozess nur noch eingeschränkt funktionsfähig, was die Lebensdauer des Leuchtmittels reduziert.<sup>150</sup>

---

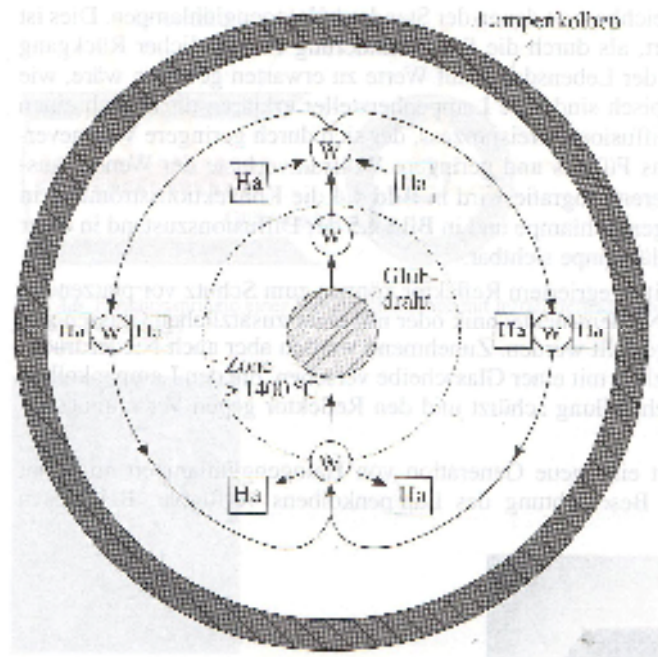
<sup>147</sup> OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: <http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4>, vom 1. 11. 2008

<sup>148</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rüthen 2006, S. 36

<sup>149</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 145 ff

<sup>150</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rüthen 2006, S. 38





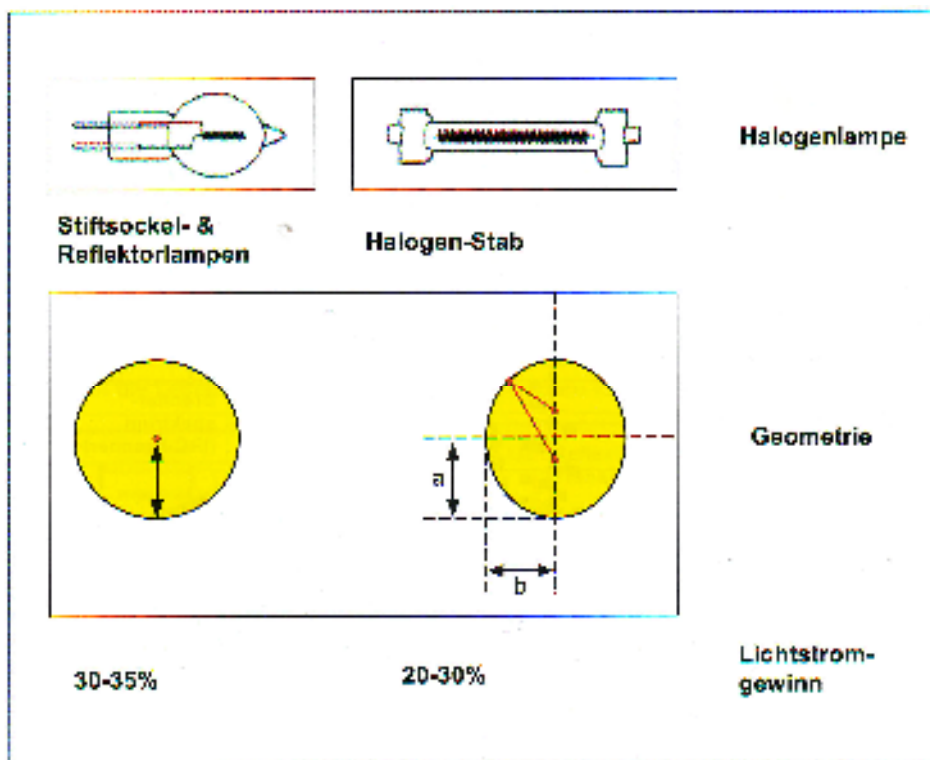
**Abb. 28: Wirkungsprinzip des Halogen-Kreisprozesses**

Quelle: NIENHAUS, H., THAELE, R.: Halogenbeleuchtungsanlagen mit Kleinspannung, Planen, Auswählen und Errichten aus beleuchtungstechnischer Sicht und nach DIN VDE 0100, VDE-Schriftenreihe Normen verständlich 75, Berlin 2002, S. 103

"Eine weitere Effizienzsteigerung wird durch den Einsatz von  $\lambda/4$ -Schichten und  $\lambda/2$ -Schichten, optischen Schichten der Schichtdicke  $d = \lambda/4n$  bzw.  $d = \lambda/2n$  erreicht, deren Brechzahl  $\sqrt{n_{\text{Glas}}}$  ist." Ein  $\lambda/2n$ -Multischichtsystem, das für  $\lambda_1 \approx \text{IR}$  (Schicht 1) und  $\lambda_2 \approx \text{UV}$  (Schicht 2) ausgelegt ist, bewirkt eine Reflektion von IR- und UV-Strahlung zurück auf die Wolframwendel, während sichtbares Licht das Schichtsystem nahezu ungehindert durchdringt. Die reflektierte IR-Strahlung darf nur die Glühwendel und nicht andere Lampenteile aufheizen, um den Halogen-Kreisprozess nicht negativ zu beeinflussen. "Die sogenannte IRC-Lampe (IRC = Infra Red Coating) liefert einen bis zu 40 % höheren Lichtstrom. Die Effizienzsteigerung ist dabei von der Geometrie des Lampenkolbens abhängig."

Die Reduzierung von IR-Strahlung im Licht einer Halogenlampe erfolgt bei Reflektorlampen auch durch die Kaltlichtverspiegelung. Bei Kaltlichtspiegellampen werden im lampeneigenen Reflektor nur sichtbares und UV-Licht reflektiert. Die Infrarotstrahlung wird verstärkt durch den Reflektor hindurch in Richtung Lampensockel abgestrahlt, was die IR-Strahlung im Lichtkegel um 30 % reduziert. Einen positiven Einfluss auf die Energiebilanz der Lampe haben derartige dichroitische Reflektoren allerdings nicht.<sup>151</sup>

<sup>151</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 39 ff



**Abb. 29: Halogenbrenner mit ICR-Beschichtung**

Quelle: HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 40

### 6.222 Lebensdauer

Der Halogen-Kreisprozess verlängert die Lebensdauer der Lampe.<sup>152</sup> Die mittlere Lebensdauer liegt bei 2.000 Stunden.<sup>153</sup>

### 6.223 Lichtausbeute

Die höhere Wendeltemperatur führt zu einer um bis zu 20 % höheren Lichtausbeute im Vergleich mit der Allgebrauchsglühlampe.<sup>154</sup> Die Tabelle auf der folgenden Seite gibt eine Auswahl von Daten wieder, die die höhere Lichtausbeute bei einer mittleren Lebensdauer von 2000 Stunden und die im Vergleich zur Allgebrauchsglühlampe sehr kleinen Abmessungen l und d zeigen.<sup>155</sup>

<sup>152</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 37

<sup>153</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 147

<sup>154</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 37

<sup>155</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 147

Leistung W	Spannung V	Lichtstrom lm	Lichtausbeute lm/W	Durchmesser d mm	Länge l mm
10	12	140	14	9	31
20	12	350	17,5	9	31
35	12	650	18,5	12	44
50	12	950	19	12	44
50	24	850	17	12	44
75	12	1350	18	12	44
100	12	2300	23	12	44
100	24	2200	22	12	44

**Tab. 7: Daten einiger Niedervolt-Halogenglühlampen ohne Reflektor, 3000 K**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 147

### 6.224 Anwendungsbereiche

Halogenlampen werden in Scheinwerfern, Flutlichtgeräten, in optischen Geräten und vor allem als Niedervolttypen in Strahlern für breite Anwendung, wie Raum- und Objektbeleuchtung in Geschäften, Büros, Hotels, auf Ausstellungen und im privaten Wohnbereich eingesetzt. Halogenlampen zeichnen sich durch kleine Abmessungen aus, wodurch auch die Bauformen der Leuchten klein gehalten werden können.<sup>156</sup>



**Abb. 30: Philips MASTER Line ES, MASTER Line 111 und MASTER Line TC**

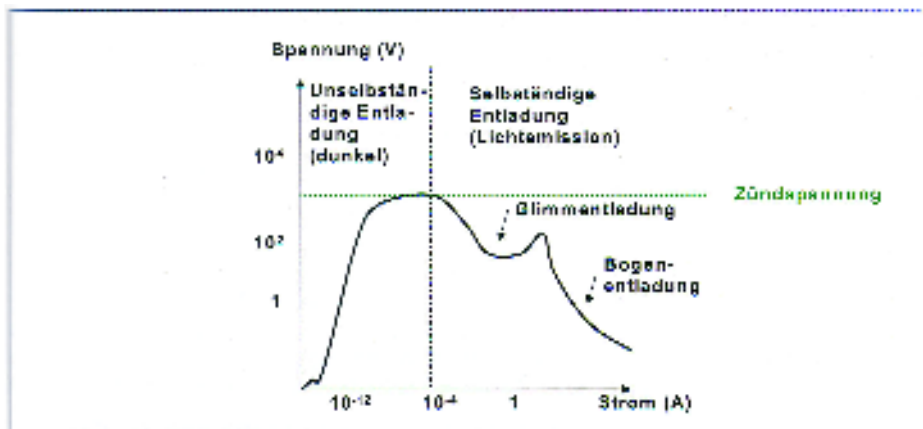
Quelle: Heinz, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 41

<sup>156</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 147

### 6.3 Gasentladungslampen

Ein weiteres Verfahren der Lichterzeugung ist die Anregung von Atomen durch elektrische Entladungen in Gasen. Während vom Temperaturstrahler ein kontinuierliches Spektrum ausgestrahlt wird, treten bei der Anregung isolierter Atome im Gas charakteristische Linienspektren auf. Durch Auswahl der Gase und Dämpfe sowie durch verschiedene Betriebsarten der Gasentladung zwecks Anregung zum Strahlen läßt sich eine Vielfalt verschiedener spektraler Strahlungsverteilungen von der Linien- bis zur Kontinuumsstrahlung herstellen. In der Entladung wird das Atom entweder durch Elektronenstoß oder durch Absorption von Lichtquanten zum Leuchten angeregt. Außerdem können auch Stoßprozesse auftreten, bei denen die Anregungsenergie strahlungslos auf das stoßende Teilchen übergeht.<sup>157</sup>

#### 6.31 Prinzip der Niederdruck-Gasentladung



**Abb. 31: Zündphasen einer Niederdruck-Gasentladung**

Quelle: HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 45

"Bei der Zündung einer Niederdruckgasentladung werden mehrere Phasen durchlaufen." Während der ersten Phase, der unselbständigen Entladung, müssen die Ladungsträger beim Anlegen einer Spannung von außen in das System eingebracht werden, z. B. durch Glühemission an geheizten Elektroden. Die Stärke des elektrischen Feldes reicht in dieser Phase noch nicht aus, um durch Stoßionisation freie Ladungsträger im Gas zu erzeugen. Die freien Ladungsträger geben ihre Energie in Form elastischer Stöße ab. Während der unselbständigen Entladung leuchtet das Gas nicht (Dunkelentladung), da das elektrische Feld die wenigen Ladungsträger (Elektronen, Ionen) nicht auf eine zur Gasanregung notwendige Geschwindigkeit beschleunigen kann. Überschreitet die äußere Feldstärke die Zündspannung, so können

<sup>157</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 130 ff

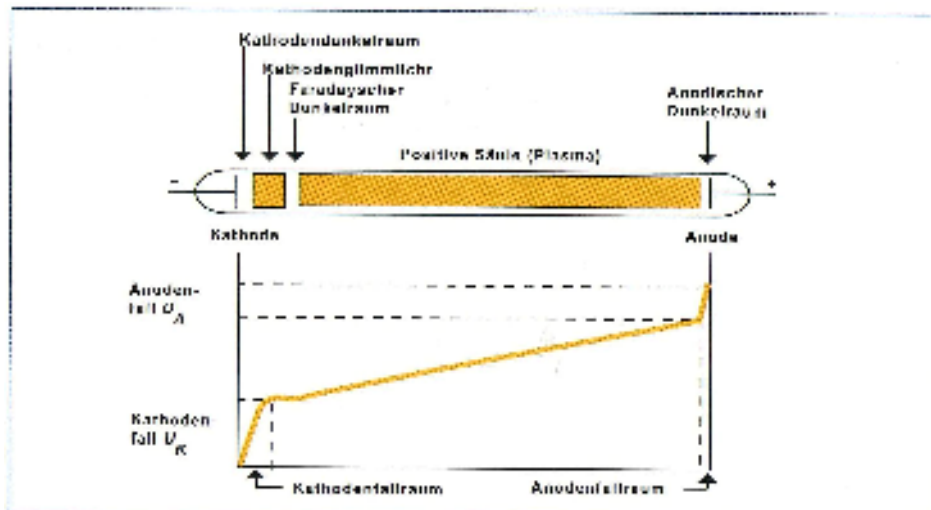
die freien Elektronen im Inneren der Entladungsröhre so stark beschleunigt werden, dass ihre Energie sowohl zur elektrischen Anregung des Gases (Lichtemission) als auch zu dessen Ionisierung (Stoßionisation) ausreicht.

Da die Stoßionisation lawinenartig fortschreitet, nimmt die Leitfähigkeit des Gases stark zu. Das Gas erzeugt in dieser ersten Phase der selbständigen Gasentladung, die Glimmentladung genannt wird, die zum Stromtransport notwendigen Ladungsträger selbst.

Die Glimmentladung besteht aus mehreren Zonen:

- dem Kathodenfallraum
- dem Kathodenglimmlicht
- dem Faradayschen Dunkelraum
- der positiven Säule
- dem Anodenfallraum.

Zur Lichtemission tragen bei der Glimmentladung neben dem Kathodenglimmlicht mit zunehmend größerer Elektrodenentfernung vor allem die positive Säule bei. In der positiven Säule erfolgt die Lichtemission durch Neutralgasanregung infolge der durch das äußere elektrische Feld beschleunigten freien Elektronen.<sup>158</sup>



**Abb. 32: Schematischer Aufbau einer Glimmentladung**

Quelle: HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 46

<sup>158</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 45 ff

Bei sehr hohen Strömen tritt eine Bogenentladung auf. Aus der Kathode werden nicht nur Sekundärelektronen herausgelöst, sondern sie wird so stark aufgeheizt, dass Elektronen durch Glühemission freigesetzt werden.<sup>159</sup>

### 6.32 Prinzip der Hochdruck-Gasentladung

In Hochdruckentladungslampen brennt eine Bogenentladung zwischen zwei nur wenige Millimeter entfernten Wolframelektroden. Diese bestehen im Gegensatz zu den heizbaren Wendeln der Niederdruck-Entladungslampen aus wesentlich dickeren nicht heizbaren Wolframdrähten. Ein zusätzliches auf die Wendel aufgebrachtes Emittermaterial sichert bereits bei niederen Temperaturen ein hohes Maß an Elektronenemission.

Die hohe Stromdichte von Bogenentladungen führt im Entladungsbogen während des Lampenbetriebes zu Temperaturen von 6.000 - 8.000 K, sodass das Hochdruckplasma nahezu isotherm ist. In den heißeren Zonen des Bogens stehen Elektronen und Ionen daher im thermodynamischen Gleichgewicht zueinander. In den kälteren Randzonen der Brennkammer herrschen Temperaturen um 1.000 K. Hier liegt kein isothermes Plasma mehr vor, es wird sogar pro Volumeneinheit mehr Licht thermalisiert als erzeugt.

Die technisch maximal realisierbaren Wandtemperaturen des Brenners werden durch die verwendeten Kammermaterialien begrenzt (Quarz: 1.100 K, Keramik: 1.500 K). Um den Wärmeverlust durch die Brennerwand und die Oxidation der Stromzuführungen zu reduzieren, wird der Brenner von einem evakuierten oder mit Inertgas gefüllten Hüllkolben umgeben. Die Inertgasfüllung reduziert dabei gleichzeitig die Gefahr von Spannungsüberschlägen. Da die großen Temperaturunterschiede innerhalb der Brennkammer zu starker Gaskonvektion führen, ist in horizontal brennenden Plasmen der Bogen zur oberen Kammerwand hin verschoben.<sup>160</sup>

---

<sup>159</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 47

<sup>160</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 55 f

In folgender Tabelle sind die wichtigsten Eigenschaften der Niederdruck- und Hochdruck-Entladung nochmals zusammengefasst:

<b>Merkmal</b>	<b>Niederdruck</b>	<b>Hochdruck</b>
Druck	0,1 ... 10 mbar	0,1 ... 30 bar
Entladungsform	Glimm- und Bogenentladung	Bogenentladung
Kathode	kalt: Glimmentladung heiß: Bogenentladung	heiß: Bogenentladung
Kathodenfall	kalt. ca. 70 ... 100 V heiß: ca. 10 V	heiß: ca. 10 V
Strahlung	Resonanzlinien  Hg: 185/254 nm Na: 589,0/589,6 nm	Übergänge zwischen höheren Niveaus + Kontinuum Hg: nahes UV + 405/435 nm 546/577 nm Na: Linienumkehr + 498/568/615 nm
Start	Glimmentladung: Hochspannung/ Streifeldtransformator  Bogenentladung: Vorheizung + Spannungsimpuls	Bogenentladung: Hilfsentladung/Spannungsimpuls/ HF-Hochspannung
Betrieb	Glimmentladung: Widerstand (Signalglimmlampe)/ Streifeldtransformator Hochspannungsleuchtröhre  Bogenentladung: Drosselspule, HF-Vorschaltgerät	Bogenentladung: Drosselspule + Parallel- kompensationskondensator

**Tab. 8: Eigenschaften von Entladungen**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 138

### 6.33 Strahlungsumwandlung in Leuchtstoffen

Zur elektrischen Lichterzeugung durch Leuchtstoffe werden anorganische Kristalle, sogenannte Kristallphosphore, verwendet. Sie zeigen die Lumineszenz erst bei hoher Reinheit des Kristalls und oft bei Anwesenheit geringer Spuren von Fremdstoffen, Aktivatoren genannt.

Folgende Tabelle enthält eine Übersicht über einige Leuchtstoffe, deren Aktivatoren, die Wellenlängen der Anregung, die Farbe des reemittierten Lichtes sowie Hinweise für die Anwendung dieser Leuchtstoffe:<sup>161</sup>

Leuchtstoff	Aktivator	Anregung	Farbe des Leuchtens	Anwendung
Zinksilikat	Mn	254	grün	farbige Leuchtstofflampen
Calciumsilikat	Pb, Mn	254	gelb-orange	
Halophosphate	Sb, Mn	254	blau bis gelb	Leuchtstofflampen
Aluminate	seltene Erden	254	blau, grün, rot	
Yttriumvanadat	Eu	254/365	rot	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen

**Tab. 9: Leuchtstoffe und deren Anwendung**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 140

Bei den Niederdruck-Leuchtstofflampen nimmt die Wand des Entladungsrohres mit der Quecksilberdampf-Niederdruckentladung bei etwa 1 Pa niedrige Temperaturen an. Die verschiedenen Lichtfarben der weißen Leuchtstofflampen werden durch Mischung der entsprechenden Leuchtstoffe erzeugt.

Bei den Dreibandleuchtstoffen, den Aluminaten der seltenen Erden, werden je nach Mischungsverhältnis bläulich- bis gelblich-weiße Lichtfarben bei sehr guter Farbwiedergabe und hoher Lichtausbeute über 100 lm/W abgestrahlt.

In Quecksilber-Hochdrucklampen werden Leuchtstoffe, v. a. das Yttriumvanadat zum Verbessern der Farbwiedergabe durch Ergänzen des fehlenden Rotanteiles im Quecksilberspektrum eingesetzt. "Diese Leuchtstoffe haben eine hohe Quantenausbeute bei hohen Temperaturen von etwa 300°C."<sup>162</sup>

### 6.34 Niederdruck-Entladungslampen

Zu den Niederdruck-Entladungslampen zählen:

- Leuchtstofflampe
- Kompaktleuchtstofflampe
- Natriumdampf-Niederdrucklampe
- Magnetische Induktionslampe.

<sup>161</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 139 f

<sup>162</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 140



### 6.341 Leuchtstofflampen (L-Lampe)

#### Aufbau und Wirkprinzip

Leuchtstofflampen sind Niederdruckentladungslampen, bei denen die im Entladungsraum erzeugte, für das menschliche Auge unsichtbare ultraviolette Strahlung mit Hilfe von Leuchtstoffen in sichtbares Licht umgewandelt wird.<sup>163</sup>

Zur Erleichterung der Zündung ist ein Edelgas, meist Krypton oder Argon mit einem Druck von etwa  $10^3$  Pa zugesetzt. Die Entladung brennt in einem Röhrenkolben zwischen 2 Elektroden, die in der Regel als Wendel ausgeführt sind. Die Innenwand des Rohres ist mit einem Leuchtstoffgemisch beschlämmt. Um die Zündung der Entladung zu bewirken, werden die jeweils an zwei Sockelstiften angeschlossenen Wendeln vorgeheizt.<sup>164</sup>

Das Vorheizen der Wendeln kann auf verschiedene Arten erfolgen:

- Stromgesteuerte Vorheizung mit Drossel-Starterbetrieb, v. a. in Ländern mit hoher Netzspannung (ab 200 V).
- Spannungsgesteuerte Vorheizung durch zusätzliche Trafowindungen beim sogenannten Schnell-Start-Betrieb.
- Ohne Vorheizung (Kaltstart, z. B. bei Slimline-Lampen). Diese Zündart bewirkt die stärkste Reduzierung der Lampenlebensdauer und empfiehlt sich daher nicht für Anlagen mit hoher Schalthäufigkeit.
- Elektronische Vorschaltgeräte (EVG) wandeln die Netzspannung in eine Hochfrequenzschwingung von etwa 35 bis 50 kHz um. Dadurch wird das 100 Hz-Flimmern deutlich schwächer bzw. unsichtbar. Ein weiterer Vorteil des EVG-Betriebes ist eine zusätzliche Energieeinsparung von etwa 25 % bei gleichem Lichtstrom, bestehend aus 10 % höherer Lichtausbeute der Leuchtstofflampe bei Betrieb mit hoher Frequenz und um mehr als den Faktor 2 niedrigere Verluste im EVG im Vergleich zu den konventionellen Vorschaltgeräten (KVG).<sup>165</sup>

Beim Vorheizen wird die Emittersubstanz, die sich zwischen den Windungen der Wendel befindet, auf eine Emissionstemperatur von 600 bis 800°C gebracht. Vor den Elektroden bilden sich Raumladungen aus, die die Zündspannung der Lampe unter die Netzspannung herabsetzt. Die Lampe wird dann bei Anlegen der Spannung gezündet.

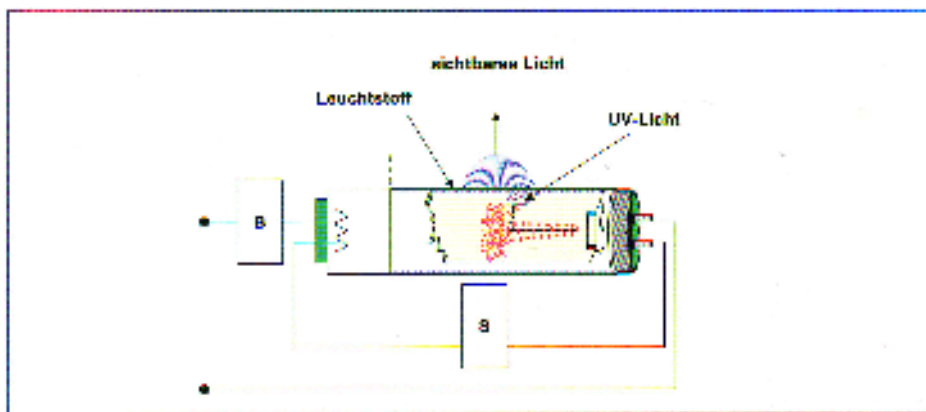
<sup>163</sup> OSRAM GMBH: Lichtlexikon, in: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/Lichtlexikon/index.html](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/Lichtlexikon/index.html), vom 17. 10. 2008

<sup>164</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 147 f

<sup>165</sup> OSRAM GMBH: Lichtlexikon, in: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/Lichtlexikon/index.html](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/Lichtlexikon/index.html), vom 17. 10. 2008

Die Zündung kann auch mit einem Spannungsimpuls bis 1.500 V erfolgen.

Zur Anregung der Leuchtstoffe dient eine Quecksilberdampfentladung beim Sättigungsdampfdruck des Quecksilbers bei der Temperatur der Rohrwand, in der Regel um 25°C (Zimmertemperatur). Da die Lichtausbeute in erster Linie von der Temperatur der Umgebung des Lampenrohres abhängig ist, kann durch Einbringen von Amalgamen in die Lampe der Dampfdruck bei gleicher Temperatur erniedrigt werden.<sup>166</sup>



**Abb. 33: Lichterzeugungsmechanismus und Schaltskizze einer Leuchtstofflampe**

Quelle: HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 47

## Lebensdauer

Die Lebensdauer einer Leuchtstofflampe nimmt beim Betrieb mit einem KVG und einem gewöhnlichen Glimmstarter mit zunehmender Schalthäufigkeit stark ab. Das gleiche Phänomen lässt sich bei Kaltstart-EVGs beobachten, die die Leuchtstofflampe zwar sofort zünden, die Elektroden aber durch den sofortigen Übergang von der Glimmentladung auf die Emissionstemperatur schädigen und damit die Lebensdauer bei häufigen Schaltzyklen verkürzen. Warmstart-Geräte verhalten sich entgegengesetzt. Hier werden die Elektroden vor der Zündung durch elektrischen Strom erhitzt, wodurch die Schaltschädigung der Elektroden praktisch vermieden wird. Der Nachteil einer Zündverzögerung von ca. 1 Sekunde ist tolerierbar.<sup>167</sup>

<sup>166</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 147 f

<sup>167</sup> OSRAM GMBH: Lichtlexikon, in: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/Lichtlexikon/index.html](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/Lichtlexikon/index.html), vom 17. 10. 2008

## Lichtausbeute

Die Belastung der Leuchtstofflampe kann nicht beliebig hoch getrieben werden. Die Grenzen sind bei Lampen mit einem Rohrdurchmesser von 26 mm mit spezifischen Leistungen von etwa 40 W/m, mit Amalgam etwa 80 W/m erreicht. Mit Dreibandenleuchtstoffen können Lichtausbeuten von über 80 lm/W erreicht werden, das heißt, mehr als das 5-fache der Lichtausbeute leistungsgleicher Glühlampen.<sup>168</sup>

## Dreibandenleuchtstofflampen

Je nach Art der Leuchtstoffbeschlämmung kann zwischen Standardlampen in den Lichtfarben Tageslicht, Universalweiß und Warmton und den Dreibandenlampen in den gleichen Lichtfarben mit bis zu 25 % höherer Lichtausbeute unterschieden werden.<sup>169</sup>

Aus der folgenden Tabelle sind Daten wichtiger Dreibandenleuchtstofflampen der Lichtfarbe neutralweiß, nw, Code 840 (OSRAM LUMILUX) zu ersehen:

Leistung <sup>1)</sup> W	Rohrdurchmesser mm	Länge mm	Lichtstrom <sup>2)</sup> lm	Lichtausbeute <sup>2)</sup> lm/W	Leuchtdichte cd/cm <sup>2</sup>	Form
18/30	26	590	1350	45	1,0	Stab
36/46	26	1200	3350	73	1,2	Stab
58/71	26	1500	5200	73	1,5	Stab
14/16	16	549	1350	84	1,7	Stab
24/27	16	549	2000	74	2,5	kürzere Länge
39/45,5	16	849	3500	77	2,8	nur für
54/61	16	1149	5000	82	2,9	EVG-Betrieb
80/85	16	1449	7000	83	3,2	

<sup>1)</sup> ohne/mit KVG, 16-mm-Lampen mit EVG

<sup>2)</sup> mit Vorschaltgerät

**Tab. 10: Daten wichtiger Dreibandenleuchtstofflampen**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 150

<sup>168</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 147 ff

<sup>169</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 148

Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften von Dreibandleuchtstofflampen werden von den Herstellern einheitlich angegeben. Die erste Ziffer bezeichnet die Farbwiedergabestufe, die zweite und dritte Ziffer bezeichnen die Farbtemperatur.<sup>170</sup>

### Anwendungsbereiche

Leuchtstofflampen sind in stabförmiger Ausführung und für besondere Anwendungen auch in ring- und U-förmiger Ausführung gebräuchlich. Die Rohrdurchmesser werden häufig in achteil Zoll angegeben (z. B. T5 = 5/8" = 15,87 mm). In den Produktkatalogen der Hersteller findet sich meist die Durchmesserangabe in Millimetern, z. B. 16 mm für die T5 Lampe oder 26 mm für die T8 Lampe.<sup>171</sup>

Neben den Leuchtstofflampen in den Standardgrößen, die vorwiegend für Beleuchtungszwecke in Industrie und Gewerbe eingesetzt werden, sind weitere Typen in Gebrauch, z. B. für UV-A-Bestrahlung in Solarien, Pflanzenbestrahlung, Fluoreszenzanregung, Lichtpauszwecke, Einstiftsockellampe für Kaltstart in explosionsgeschützten Leuchten.

### OSRAM ENDURA-Lampe

In der OSRAM ENDURA, einer elektrodenlosen Hochleistungs-Leuchtstofflampe, wird eine Ringentladung ohne Elektroden durch ein hochfrequentes Magnetfeld mit einer Frequenz von etwa 250 kHz angeregt.

Aufgrund der hohen Lebensdauer von 60.000 Stunden wird die am EVG betriebene Lampe v. a. an schwer zugänglichen Stellen wie Tunnelanlagen, Industriehallen und im Außenbereich bei Dauerbetrieb mit langem Wartungsintervall eingesetzt.<sup>172</sup> Die OSRAM ENDURA weist eine hohe Lichtausbeute von 80 lm/W auf und ist in 70/100/150 W verfügbar. Die geringe Bauhöhe ermöglicht den Einsatz in flachen Leuchten.

Produktmerkmale:

- extrem lange Lebensdauer
- große Lichtstrompakete
- flackerfreier Sofortstart

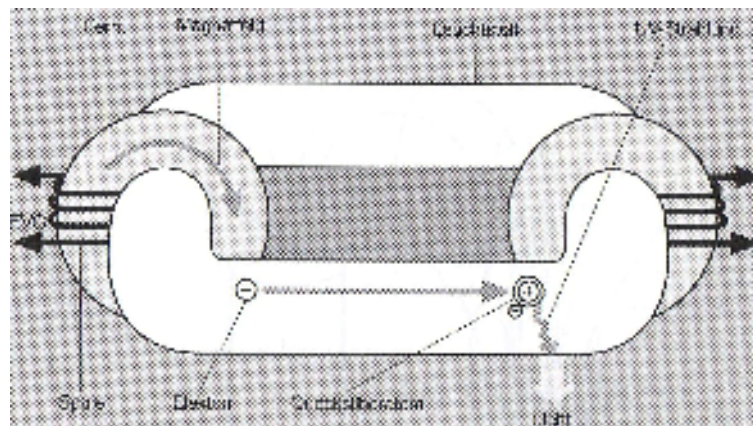
---

<sup>170</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 150

<sup>171</sup> OSRAM GMBH: Lichtlexikon, in: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/Lichtlexikon/index.html](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/Lichtlexikon/index.html), vom 17. 10. 2008

<sup>172</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 151

- hohe System-Lichtausbeute
- gute Lichtqualität (Farbwiedergabe  $R_a \# 80$ )
- hoher Lichtstrom über einen breiten Temperaturbereich durch Amalgamtechnik
- niedrige Betriebsfrequenz von 250 kHz
- geringer Lichtstromrückgang
- niedrige Zündtemperatur bis  $-40^\circ\text{C}$
- Gleichstrombetrieb möglich<sup>173</sup>



**Abb. 34: Prinzip der OSRAM-Endura-Lampe**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 150

### 6.342 Kompakt-Leuchtstofflampen (Energiesparlampen)

#### Aufbau und Wirkprinzip

Die Fortschritte in der Leuchtstoff- und Lampentechnologie führten zu kleineren Abmessungen des Entladungsrohres. Dieses ist bei einem Durchmesser unter 12 mm entweder einfach, zweifach oder doppelt U-förmig gebogen und einseitig gesockelt. Aufgrund dieser sehr kompakten Bauform eignen sich die Kompakt-Leuchtstofflampen mit einem im Sockel eingebauten elektronischen Vorschaltgerät zum direkten Ersatz für Glühlampen. Sind die Lampen mit einem Stiftsockel zum Anschluss an ein externes Vorschaltgerät versehen, können sie kleine Leuchten und Strahler ersetzen. Kompakt-Leuchtstofflampen mit größerer Leistung und einem Rohrdurchmesser von 17,5 mm in U-Form sowie einseitig gesockelt erlauben den

<sup>173</sup> OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: <http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4>, vom 17. 10. 2008

Einsatz in kleinen, vorzugsweise quadratischen und runden Leuchten.

Bei den Typen der Reihe Dulux-S und Dulux-D der Firma Osram ist der Starter im Lampensockel eingebaut, die Dulux-D/E hat einen 4-Stift-Sockel ohne eingebauten Starter. Die Lampen werden an einer Vorschalt-drossel bzw. am HF- oder Dimmgerät (D/E) betrieben. Die Reihe Dulux-L hat keinen Starter und benötigt daher einen externen Starter sowie eine Vorschalt-drossel, sie kann aber auch mit einem elektronischen Vorschaltgerät betrieben werden.

Die Weiterentwicklung der Kompakt-Leuchtstofflampen führte bei den Typen mit integriertem elektronischem Vorschaltgerät zu einer Verkürzung des Bogens. Statt eines doppelten U-Bogens weisen die Lampen einen dreifachen U-Bogen auf. Mit der OSRAM Dulux-F ist auch eine flache Bauform mit nebeneinander liegenden U-Bögen für flache Leuchten verfügbar.<sup>174</sup>



**Abb. 35: Osram Kompakt-Leuchtstofflampe DULUX EL, 12 W**

Quelle: OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: <http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4>, vom 17. 10. 2008

## Lebensdauer

Die Lebensdauer der Kompakt-Leuchtstofflampen ist sechsmal so hoch wie die einer Glühlampe.<sup>175</sup> Die Firma Osram gibt für ihre Kompakt-Leuchtstofflampe OSRAM DULUX EL LONGLIFE eine bis zu 15-mal längere Lebensdauer im Vergleich mit einer Glühlampe an.<sup>176</sup>

<sup>174</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 152 f

<sup>175</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 154

<sup>176</sup> OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: <http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4>, vom 17. 10. 2008

## Lichtausbeute

Die neuen Kompakt-Leuchtstofflampen brauchen im Vergleich mit der Glühlampe für den gleichen Lichtstrom nur etwa ein Fünftel der Leistung und weisen einen rund 80% niedrigeren Stromverbrauch auf.<sup>177</sup>

## Anwendungsbereiche

Kompaktleuchtstofflampen lassen sich überall dort einsetzen, wo Allgebrauchsglühlampen Verwendung finden. Mit der Erzeugung von Dekorlampen in Birnen- und Kerzenform sowie Globe- und Reflektorlampen hat sich der Einsatzbereich in privaten Haushalten noch vergrößert.<sup>178</sup>

### 6.343 Natriumdampf-Niederdrucklampen

Natrium-Niederdrucklampen strahlen monochromatisches gelbes Licht der Resonanzlänge 588/589 nm aus. Das Brennerrohr ist zur Wärmeisolierung in einem Außenkolben untergebracht, da Natrium erst bei etwa 300°C genügend hohen Dampfdruck für den Betrieb einer Gasentladung erreicht.

Gezündet und betrieben wird die Lampe an einem Streufeldtransformator. Zuerst übernimmt Neon als Hilfsgas die Zündung und Aufheizung des Brenners, bis nach einigen Minuten ein genügend hoher Na-Dampfdruck herrscht.

Da fast die gesamte Strahlungsleistung mit der in der Umgebung maximaler Hellempfindlichkeit des Auges liegenden Resonanzlinien ausgestrahlt wird, kann mit dieser Lampe die höchste bekannte Lichtausbeute erreicht werden. "Durch eine infrarotreflektierende Beschichtung des Außenkolbens werden über 180 lm/W erzielt."<sup>179</sup>

---

<sup>177</sup> OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: <http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4>, vom 17. 10. 2008

<sup>178</sup> OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: <http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4>, vom 17. 10. 2008

<sup>179</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 156

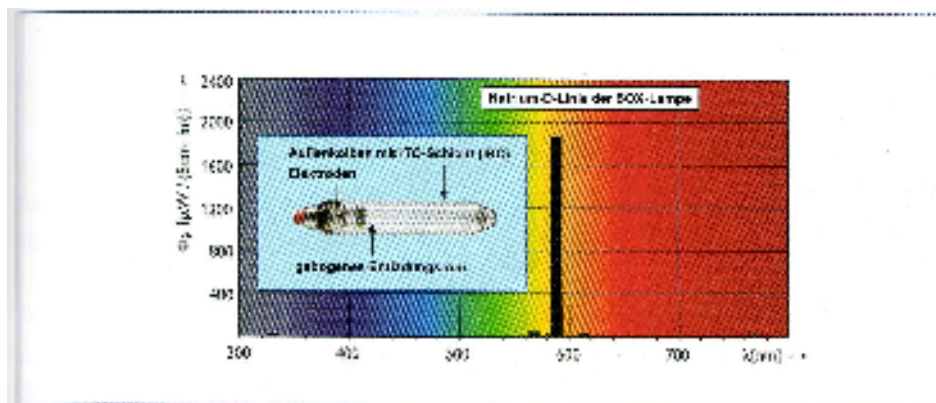
Folgende Tabelle enthält die wichtigsten Kenndaten von Natrium-Niederdrucklampen:

Leistung W	Durchmesser mm	Länge mm	Lichtstrom lm	Lichtausbeute lm/W	Leuchtdichte cd/cm <sup>2</sup>
18/25	53	216	1800	72	10
35/50	52	310	4800	96	10
55/69	52	425	8000	116	10
90/105	66	528	13500	129	10
135/159	66	775	22500	142	10
180/225	66	1120	32000	142	10

**Tab. 11: Daten von Natrium-Niederdrucklampen mit infrarotreflektierender Schicht**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 156

Natriumdampf-Niederdrucklampen werden zur Beleuchtung von Fußwegen, Bahnsteigen und zuweilen auch als Straßenbeleuchtung eingesetzt.<sup>180</sup>



**Abb. 36: Aufbau und Spektrum der Natriumdampf-Niederdrucklampe**

Quelle: HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 53

### 6.35 Hochdruck-Entladungslampen

Zu den Hochdruck-Entladungslampen zählen:

- Quecksilberdampf-Hochdrucklampe
- Halogen-Metallampflampe
- Natriumdampf-Hochdrucklampe
- Xenon-Hochdrucklampe

<sup>180</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Natriumdampflampe>, vom 18. 10. 2008



### 6.351 Quecksilberdampf-Hochdrucklampe

Die Quecksilberdampf-Hochdrucklampe besteht aus einem Quarzrohr als Entladungsgefäß, in dem bei einem Druck von etwa  $10^5$  Pa die Quecksilberentladung vor sich geht. Der Quarzbrenner befindet sich mit seiner Halterung in einem Außenkolben. Dieser absorbiert UV-Strahlung und schützt und stützt den Brenner. Er ist mit einem Leuchtstoff versehen, der durch die langwellige UV-Strahlung der Entladung angeregt wird und vor allem im roten Spektralbereich emittiert.

Die Lampen von 50 bis 125 W sind mit Schraubsockel E 27 und solche von 250 bis 2.000 W mit einem Schraubsockel E 40 versehen.<sup>181</sup>

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Daten von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (mit Yttriumvanadat-Leuchtstoff) des Standardprogramms enthalten:

Leistung <sup>1)</sup> W	Durchmesser mm	Länge mm	Lichtstrom lm	Lichtausbeute <sup>2)</sup> lm/W	Leuchtdichte cd/cm <sup>2</sup>
50/59	55	130	1.800	31	4
80/89	70	156	3.800	43	5
125/137	75	170	6.300	46	7
250/266	90	226	13.000	49	10
400/425	120	290	22.000	52	11
700/735	150	330	38.500	52	13
1000/1045	165	390	58.000	56	15

<sup>1)</sup> ohne/mit Vorschaltgerät

<sup>2)</sup> mit Vorschaltgerät

**Tab. 12: Daten von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen des Standardprogramms**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 157

Neben dem Standardprogramm werden auch Ausführungen mit de-Luxe-Leuchtstoffen und mit Reflektor angeboten.<sup>182</sup>

Die Lichtausbeute ist etwa dreimal so groß wie bei Glühlampen, sie beträgt 30 – 60 lm/W.<sup>183</sup>

Die Lebensdauer der Lampen beträgt viele tausend Stunden. Wird die

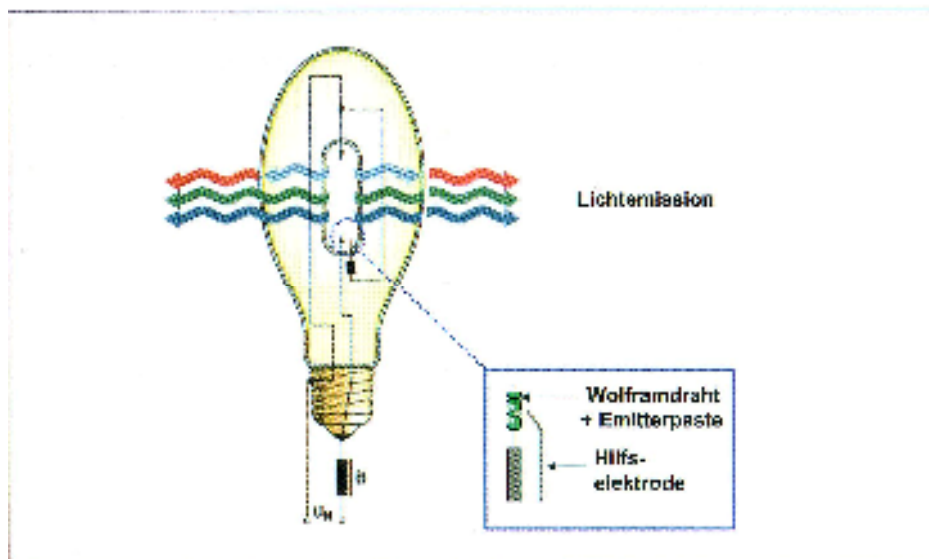
<sup>181</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 156

<sup>182</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 156

<sup>183</sup> <http://www.elektro-wissen.de/Elektrotechnik/Quecksilberdampf-Hochdrucklampen.html>, vom 17. 10. 2008

Nutzlebensdauer auf einen Lichtstromabfall von etwa 20 % bezogen, so brennen die Lampen etwa 6000 Stunden.<sup>184</sup>

Quecksilberdampf-Hochdrucklampen werden v. a. in der Straßenbeleuchtung, in Flutlichtanlagen von Sportplätzen oder Stadien und zum Ausleuchten großer Gebäude wie Kirchen und Burgen eingesetzt.<sup>185</sup>



**Abb. 37: Quecksilberdampf-Hochdrucklampe: Zündung mittels Hilfselektrode und Beschichtung des äußeren Hüllkolbens mit Fluoreszenzfarbstoff**

Quelle: HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 58

### 6.352 Halogen-Metaldampfampe

Halogen-Metaldampfampfen sind Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, mit zugesetzten Metallhalogeniden, wie z. B. Dysprosiumjodid und Halogenide anderer seltener Erden. Damit wird sowohl eine ausgezeichnete Farbwiedergabeeigenschaft als auch eine höhere Lichtausbeute erreicht. Die Lampen enthalten keinen Leuchtstoff, da die Entladung keine Farbverbesserung braucht. Der Kolben ist daher als Klarglas-Röhrenkolben ausgeführt. Bei Lampen mit Ellipsoidkolben ist eine Beschlämmung mit lichtstreuendem Material günstig, falls die Lampe in eine Optik eingesetzt wird, die für eine Quecksilberdampf-Hochdrucklampe dimensioniert ist.<sup>186</sup>

<sup>184</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 156 f

<sup>185</sup> <http://www.elektro-wissen.de/Elektrotechnik/Quecksilberdampf-Hochdrucklampen.html>, vom 17. 10. 2008

<sup>186</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 156 f



**Abb. 38: Ausführungsform einer HQI-T mit Klarglaskolben**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 159

Folgende Angaben beziehen sich auf Halogen-Metaldampflampen der Fa. Osram:

Kleine HQI-Lampen mit einer Leistung von 35, 70 und 150 W sowie HQI-TS-Lampen in Soffittenform mit 70 und 150 W werden für kompakte Strahler hoher Lichtstärke für die Anstrahlung von Objekten in Schaufenstern und Verkaufsräumen sowie in Repräsentationsräumen verwendet. Die Leistungsgrößen 250 und 400 W der HQI-E-Lampe mit Ellipsoidkolben eignen sich für die Allgemeinbeleuchtung von Hallen, Straßen und Plätzen. In T (Klarglas) und TS-Ausführung (Soffittenform Klarglas) eignen sich die Lampen besonders für die Sportanlagenbeleuchtung.

Die Leistungsgrößen 1000, 2000 und 3500 W mit großem Brenner und Hüllkolben werden in Scheinwerfern für die Flutlichtbeleuchtung großer Flächen im Freien, wie Stadien, Lager- und Bauplätze verwendet. Die kompakten HQI-TS 1000/2000 mit Kabelsockel ermöglichen Hochleistungsscheinwerfer.<sup>187</sup>

### 6.353 Natriumdampf-Hochdrucklampe

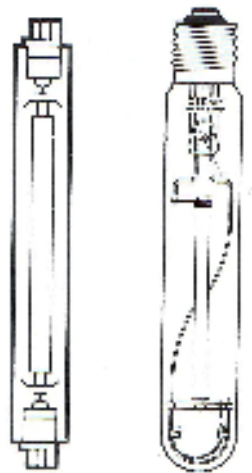
Das Glas der Natriumdampf-Niederdrucklampe ist zwar gegen den chemisch aggressiven Na-Dampf beständig, kann aber für höhere Temperaturen und Drucke nicht mehr eingesetzt werden. Durch den Einsatz von keramischem Sintermaterial auf Basis von Aluminiumoxid, das lichtdurchlässig ist, können der Druck und die Temperatur im Brenner so weit erhöht werden, dass Strahlung in größeren Spektralbereichen von Grün bis Rot auftritt und eine gelblichweiße Lichtfarbe erzielt wird.

<sup>187</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 158

Auch hier bietet z. B. die Fa. Osram Bauformen mit lichtstreuenden Ellipsoidkolben, mit Klarglas-Röhrenkolben und die beidseitig gesockelte Soffittenform an.

Natriumdampf-Hochdrucklampen benötigen zum Start ein Zündgerät mit einer Hochspannung von etwa 3,3 kV, damit die Lampe kalt sofort und nach Erlöschen durch Spannungsunterbrechung im heißen Zustand innerhalb einer Minute wieder startet.

Standard-Natriumdampf-Hochdrucklampen weisen wegen ihres Spektrums nur eine Farbwiedergabeeigenschaft der Stufe 4 auf und werden deshalb vorwiegend dort eingesetzt, wo es auf hohe Wirtschaftlichkeit bei geringeren Ansprüchen an die Farbwiedergabe ankommt.<sup>188</sup>



**Abb. 39: Aufbau zweier Natriumdampf-Hochdrucklampen**

Quelle: HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 160

Die neue OSRAM Colorstar DSX-T 80 W wird an einem speziellen elektronischen Vorschaltgerät mit Impulspaketen hoher Leistung in Abständen von 5 ms betrieben. Die Lampenleistung beträgt durchschnittlich 77 W. Die Lichtfeldabmessungen von 37 mm x 4 mm machen sie besonders für die Verwendung in Strahlern geeignet. Die Lampe ist mit einer Lichtausbeute von 52 lm/W wesentlich wirtschaftlicher als die Halogenleuchte und lässt sich für Lichtakzente in Verbindung mit Halogenleuchten in Verkaufsräumen, Schaufenstern, Hotels usw. einsetzen.<sup>189</sup>

<sup>188</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 159 ff

<sup>189</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 161 f

### 6.354 Xenon-Hochdrucklampe

Die Xenon-Hochdrucklampen sind als Langbogenlampen mit Wandstabilisierung der Entladung bei Drücken von etwa  $10^5$  Pa und als elektrodenstabilisierte Kurzbogenlampen bei Drücken von  $(1...3) \cdot 10^6$  gebräuchlich. Sie zeichnen sich durch ein konstantes und kontinuierliches Spektrum aus.

Die Kurzbogenlampe findet Anwendung für Farbprüfleuchten, Mikroskopie, Mikroprojektion, Leucht-, Signal- und Warnfeuer sowie Scheinwerfer.

"Die Langbogenlampen werden mit Wechselstrom betrieben und meist mit Wasser gekühlt." Die Lichtausbeute beträgt etwa 25 lm/W. Die Langbogenlampen sind heute weitgehend von Halogen-Metaldampflampen verdrängt worden.<sup>190</sup>

## 6.4 Lichtemittierende Dioden (Light Emitting Diode - LED)

### 6.41 Aufbau und Wirkprinzip

LEDs bestehen aus einem Halbleiter-Chip, der in eine Kunststofflinse eingebettet ist. Die Kunststofflinse bündelt das divergent abgestrahlte Licht des Chips und schützt gleichzeitig den Chip vor Feuchtigkeit und Korrosion. Die Kontaktierung erfolgt meist mit einem Anschlussdraht.

Die Lichterzeugung mit LEDs basiert auf dem Wirkprinzip der Elektrolumineszenz. Fließt in einer LED ein Strom von der Anode zur Kathode, so wird von einem Halbleiterkristall monochromatisches Licht erzeugt. Je nach Art und Zusammensetzung des Kristalls ändert sich die Lichtfarbe.

Derzeit können folgende Farben mit LEDs generiert werden: weiß, blau, grün, gelb, orange, rot, bernstein. Das monochromatische Licht benötigt keine zusätzlichen Filter. Um eine gute weiße Lichtqualität zu erzielen, kann entweder eine Kombination von roten, grünen und blauen LEDs eingesetzt werden oder es werden blaues Licht emittierende Dioden mit einem speziellen ins Weiß konvertierenden Phosphor verwendet. Beide Möglichkeiten zeigen einen Anstieg der Lichtausbeute auf 35 – 40 lm/w.

Positive Eigenschaften der LEDs sind der Betrieb an Schwachstrom, ein großer Temperaturbereich von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+150^{\circ}\text{C}$ , die beinahe grenzenlose Schaltbarkeit bei

---

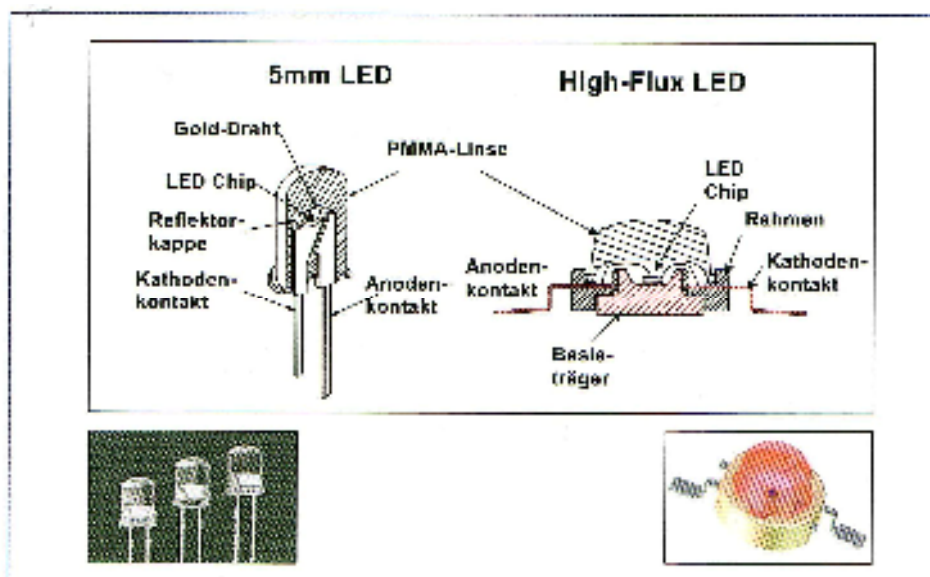
<sup>190</sup> HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heidelberg 2002, S. 162

sofortigem Lichtoutput von 100 %, die Dimm-Möglichkeit bis auf 0 % und der kleine Lichtemissionsbereich (unter  $1 \text{ mm}^2$ ).

Bei Verwendung von LEDs in der Beleuchtung wird in fünf Levels unterteilt:

- Level 0: Lichtgenerierender Chip
- Level 1: 1, 2 oder mehrere zusammengefügte Chips mit Anschlussdrähten
- Level 2: Anordnung von elektrisch und thermisch miteinander verbundenen LEDs (Platine)
- Level 3: Platinen mit Sekundäroptiken und Steuerungs-/Kontrolleinheit (Treiber)
- Level 4: ein oder mehrere Module von Level 3 in einem "Gehäuse" ergeben eine komplette Leuchte

Bei sogenannten "High-flux" LEDs wird durch die linsenförmige Gestalt des Gehäuses das Licht gebündelt bzw. getrennt. Um eine möglichst hohe Lichtleistung zu erhalten, werden mehrere Leuchtdioden in einer Parallel- oder Serienschaltung konzipiert und auf einem Träger, einer Leiterplatte, elektrisch verbunden und befestigt. Auf diese Weise läßt sich auf einer Fläche von  $6,55 \times 6,15 \text{ cm}$  und einer Bauhöhe von nur  $0,64 \text{ cm}$  ein Lichtstrom von  $275 \text{ lm}$  erreichen.



**Abb. 40: Aufbau von 5 mm Standard-LEDs und High-Flux-LEDs**

Quelle: HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rütten 2006, S. 78

### 6.42 Lebensdauer

Die Lebensdauer der LEDs liegt bei 100.000 Stunden und übersteigt meist die Lebensdauer des Gerätes. Aufgrund der hohen Lebensdauer ist kein Wartungsaufwand zu erwarten.

### 6.43 Lichtausbeute

Rote und bernsteinfarbene LEDs mit Leistungen von 20 – 40 lm/W werden bereits standardmäßig gefertigt. Unter Laborbedingungen werden auch schon Exemplare mit 100 lm/W produziert.

### 6.44 Anwendungsbereiche

LEDs können vielfältig eingesetzt werden:

- Außenbeleuchtung:  
Straßen, Wege, Stiegen, Hinweiszeichen
- Verkehrssignalbeleuchtung  
Ampeln, Verkehrszeichen, Bodenleitsysteme
- Werbe- und Effektbeleuchtung  
Konturen, Leuchtschriften
- Sicherheitsbeleuchtung  
Blitz- und Warnleuchten, Begrenzungsleuchten
- Innenbeleuchtung  
Regale- und Vitrinenbeleuchtung
- Kraftfahrzeugbeleuchtung  
Rückleuchten, Blinkleuchten, Innenraumleuchten<sup>191</sup>

---

<sup>191</sup> HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser, Rüthen 2006, S. 67 ff

## 7. WIRTSCHAFTLICHKEITSVERGLEICH

Heute ist künstliche Beleuchtung für rund 19 % des weltweiten Elektrizitätsverbrauchs verantwortlich und damit auch für einen beachtlichen Teil der CO<sub>2</sub>-Emission. Mit energiesparenden Lampen, innovativen Leuchtsystemen und intelligenten Lichtmanagementsystemen kann dieser Anteil deutlich reduziert werden.<sup>192</sup> "Wenn nur 30 % des Potenzials für energiesparende Beleuchtungssysteme realisiert würden, könnte fast ein Fünftel des weltweit für Beleuchtung aufgewendeten Stromes eingespart werden – und 260 Millionen Tonnen weniger CO<sub>2</sub> würden jährlich in die Atmosphäre emittiert."<sup>193</sup>

"In Zusammenarbeit mit dem Europäischen Lampenherstellerverband (ELC) schlägt Osram ein stufenweises Ausphasen der weniger effizienten Lichtquellen vor, darunter auch die Glühlampe. Diese Initiative schlägt Mindestanforderungen für Lichtquellen mit Edison- und Bajonett-Sockeln anhand der genormten Energieeffizienz-Klassen (A – G) vor. Dieser Ansatz würde zu einem Verschwinden vom Markt bei den ersten Leistungsstufen (den höheren Wattagen) ab 2009 führen. In der Übergangsphase bleiben die Glühlampen-Basisprodukte vor allem für Schwellenländer wichtige Produkte. In Europa sind noch ca. 55 % aller Brennstellen im Haushalt mit Glühlampen ausgestattet."<sup>194</sup>

### 7.1 Energieeffizienz

Nach der Richtlinie 98/11/EG und der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung müssen Lampen für Anwendungen im Haushalt mit dem Energieetikett gekennzeichnet sein. Dieses Etikett zeigt eine Einteilung der Lampen in die sieben Klassen der Energieeffizienz. Dabei steht A für "sehr effizient" und G für "wenig effizient". Leuchtstofflampen und Kompaktleuchtstofflampen haben die Klasse A und B, Halogen-Glühlampen überwiegend die Klasse D und Glühlampen die Klasse E und F.

Da der Verbrauch an elektrischer Energie hauptsächlich durch die Lampen und deren Betriebsgeräte verursacht wird, hat die Europäische Union eine Energieklassifizierung für Vorschaltgeräte beschlossen (Richtlinie 2000/55/EG über die Energieeffizienzanforderungen an Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen).<sup>195</sup>

<sup>192</sup> [http://www.osram.at/osram\\_at/Ueber\\_uns/Gesellschaft\\_und\\_Umwelt\\_-\\_Global\\_Care/Produkte\\_und\\_Umwelt/index.html](http://www.osram.at/osram_at/Ueber_uns/Gesellschaft_und_Umwelt_-_Global_Care/Produkte_und_Umwelt/index.html), vom 2. 11. 2008

<sup>193</sup> [http://www.osram.at/osram\\_at/Ueber\\_uns/Gesellschaft\\_und\\_Umwelt\\_-\\_Global\\_Care/Produkte\\_und\\_Umwelt/Potential\\_zur\\_Energieeinsparung/index.html](http://www.osram.at/osram_at/Ueber_uns/Gesellschaft_und_Umwelt_-_Global_Care/Produkte_und_Umwelt/Potential_zur_Energieeinsparung/index.html), vom 2. 11. 2008

<sup>194</sup> OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: <http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4>, vom 17. 10. 2008

<sup>195</sup> MAGISTRATSABTEILUNG 27, EU-STRATEGIE UND WIRTSCHAFTSENTWICKLUNG: Technologieleitfaden Beleuchtung, Wien 2007, S. 9, in: [http://www.wien.gv.at/wirtschaft/eu-strategie/energie/pdf/technologieleitfaden\\_beleuchtung.pdf](http://www.wien.gv.at/wirtschaft/eu-strategie/energie/pdf/technologieleitfaden_beleuchtung.pdf), vom 20. 10. 2008

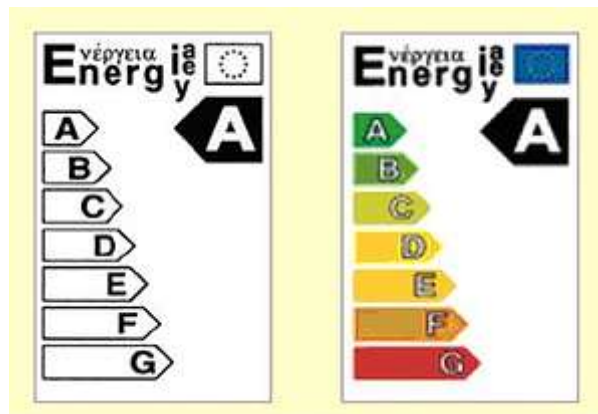


Der EEI (Energy Efficiency Index) unterscheidet sieben Vorschaltgeräte-Klassen:

Klasse	Vorschaltgerät (VG)
I (A1)	Dimmbare elektronische Vorschaltgeräte (EVG)
I (A2)	Elektronische Vorschaltgeräte (EVG) mit reduzierten Verlusten
I (A3)	Elektronische Vorschaltgeräte
II (B1)	Magnetische Vorschaltgeräte mit sehr geringen Verlusten (VVG)
II (B2)	Magnetische Vorschaltgeräte mit geringen Verlusten (VVG)
III..(C)	Magnetische Vorschaltgeräte mit moderaten Verlusten (KVG)
III (D)	Magnetische Vorschaltgeräte mit sehr hohen Verlusten (KVG)

**Tab. 13: Vorschaltgeräte-Klassen**

Quelle: MAGISTRATSABTEILUNG 27, EU-STRATEGIE UND WIRTSCHAFTSENTWICKLUNG (Hrsg.):  
Technologieleitfaden Beleuchtung, Wien 2007, S. 9, in: [http://www.wien.gv.at/wirtschaft/eu-strategie/energie/pdf/technologieleitfaden\\_beleuchtung.pdf](http://www.wien.gv.at/wirtschaft/eu-strategie/energie/pdf/technologieleitfaden_beleuchtung.pdf), vom 20. 10. 2008



**Abb. 41: Energieetikett für Lampen**

Quelle: MAGISTRATSABTEILUNG 27, EU-STRATEGIE UND WIRTSCHAFTSENTWICKLUNG (Hrsg.):  
Technologieleitfaden Beleuchtung, Wien 2007, S. 9, in: [http://www.wien.gv.at/wirtschaft/eu-strategie/energie/pdf/technologieleitfaden\\_beleuchtung.pdf](http://www.wien.gv.at/wirtschaft/eu-strategie/energie/pdf/technologieleitfaden_beleuchtung.pdf), vom 20. 10. 2008

Je höher die Lichtausbeute (Lumen) bei gleicher Wattzahl ist, umso höher ist die Energieeffizienz und umso sparsamer ist die Lampe.

Folgende Tabelle weist die Energieeffizienz verschiedener Lampentypen aus:

Lampenart	Wärme	Licht	Lichtausbeute	Lebensdauer
Glühlampe	95 %	5 %	8 – 15	1.000
Halogenlampe	93 %	7 %	12 – 25	2.000
IRC-Halogenlampe	91 %	9 %	25 – 30	5.000
Kompaktleuchtstofflampe	75 %	25 %	38 – 66	6.000 – 12.000
Standard LL	71 %	29 %	47 – 83	über 8.000
T 5 Leuchtstofflampe	67 %	33 %	67 – 104	16.000

**Tab. 14: Energieeffizienz verschiedener Lampentypen**

Quelle: O.Ö. ENERGIESPARVERBAND (Hrsg.): Richtig hell zu Hause, Strom- und kostensparende Beleuchtung im Haushalt, Linz 2004, S. 3, in: [http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/fileadmin/richtig-hell/Wohnen/Folder\\_Richtig\\_hell.pdf](http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/fileadmin/richtig-hell/Wohnen/Folder_Richtig_hell.pdf), vom 23. 10. 2008



**Abb. 42: Innovative Lampentechnologie**

Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/Ueber\\_uns/Gesellschaft\\_und\\_Umwelt\\_-\\_Global\\_Care/Produkte\\_und\\_Umwelt/Potential\\_zur\\_Energieeinsparung/index.html](http://www.osram.at/osram_at/Ueber_uns/Gesellschaft_und_Umwelt_-_Global_Care/Produkte_und_Umwelt/Potential_zur_Energieeinsparung/index.html), vom 2. 11. 2008

## 7.2 Energiesparmaßnahmen

Eine wichtige Rolle im verantwortungsbewussten Umgang mit der Energie spielt die Beleuchtung. Es stehen verschiedene Maßnahmen zur Reduktion des Stromverbrauches und somit der Kosten zur Verfügung.

### 7.21 Lampentausch: Glühlampe gegen Kompakt-Leuchtstofflampe

Herkömmliche Glühlampen wandeln nur ca. 5 % der elektrischen Energie in sichtbares Licht um, der Rest wird als Wärme abgestrahlt. Die mittlere Lebensdauer einer Glühlampe liegt bei 1.000 Stunden (ca. 1 Jahr). In Bürogebäuden und öffentlichen Gebäuden ist die Glühlampe nur mehr vereinzelt anzutreffen. Sie sollte nur mehr dort eingesetzt werden, wo Energiesparlampen nicht geeignet sind.

Die Kompaktleuchtstofflampe setzt fünfmal soviel Energie in Licht um als die Glühlampe. Sie erzeugt Licht aus deutlich weniger Strom, sodass eine Energieeinsparung von bis zu 80 % möglich ist. Kompaktleuchtstofflampen weisen eine 5- bis 12-fache Lebensdauer und eine 5-fache Lichtausbeute gegenüber Glühlampen auf.<sup>196</sup>

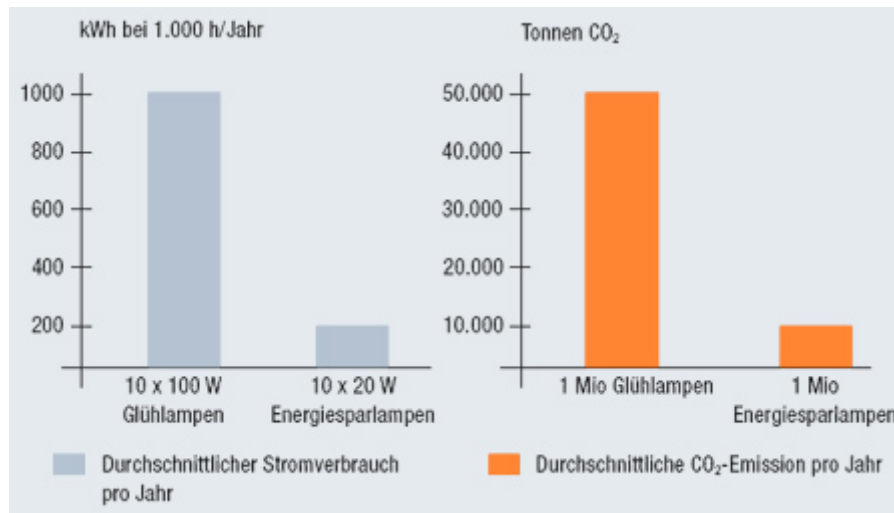
Die folgende Tabelle stellt Kompaktleuchtstofflampen mit EVG Glühlampen mit etwa gleichem Lichtstrom gegenüber:

Kompakt-Leuchtstofflampen der Leistung		Glühlampen der Leistung
5 W	entsprechen	25 W
7 W	entsprechen	40 W
11 W	entsprechen	60 W
15 W	entsprechen	75 W
20 W	entsprechen	100 W
23 W	entsprechen	120 W

**Abb. 43: Kompaktleuchtstofflampen als Glühlampenersatz**

Quelle: <http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/index.php?id=1834>, vom 2. 11. 2008

<sup>196</sup> O.Ö. ENERGIESPARVERBAND (Hrsg.): Richtig hell zu Hause, Strom- und kostensparende Beleuchtung im Haushalt, Linz 2007, S. 2, in: [http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/fileadmin/richtig-hell/Wohnen/Folder\\_Richtig\\_hell.pdf](http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/fileadmin/richtig-hell/Wohnen/Folder_Richtig_hell.pdf), vom 23. 10. 2008



**Abb. 44: durchschnittlicher Stromverbrauch pro Jahr**

Quelle: [http://www.osram.de/osram\\_de/consumer/Beleuchtung\\_fuer\\_Zuhause/Energiesparlampen/warum\\_Energiesparlampen/](http://www.osram.de/osram_de/consumer/Beleuchtung_fuer_Zuhause/Energiesparlampen/warum_Energiesparlampen/), vom 2. 11. 2008

Energiesparende Beleuchtung muss nicht teurer sein. Aufgrund der längeren Lebensdauer und des niedrigeren Stromverbrauches rechnen sich vor allem Kompakt-Leuchtstofflampen innerhalb kurzer Zeit. Bei jährlichen Stromkosten für die Raumbeleuchtung in einer vierköpfigen Familie von rund 10 % der Stromrechnung, lohnt sich ein Umstieg auf die Energiesparvariante.

Der Berechnung der Einsparung liegen folgende Daten zugrunde:

Strompreis: 0,18 €/kWh

1.000 Betriebsstunden/Jahr

Energiesparlampe: 6.000 Stunden Lebensdauer, Einkaufspreis: 7,-- € (inkl. MWSt.)

Glühlampe: 1.000 Stunden Lebensdauer, Einkaufspreis: 0,70 € (inkl. MWSt.)

Lampenkosten pro Jahr = Kaufpreis x Betriebsstunden/Lebensdauer

Ergebnis: Durch den Austausch von 5 Glühlampen können rund 40,-- € jährlich gespart werden.<sup>197</sup>

<sup>197</sup> <http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/index.php?id=1828>, vom 23. 10. 2008

<b>Einsparung</b>	<b>5 Glühlampen je 60 Watt</b>	<b>5 Kompakt-Leuchtstofflampen je 12 Watt</b>
Lampenkosten pro Jahr	3,50 €	5,83 €
Stromkosten pro Jahr	54,-- €	10,80 €
Gesamtkosten pro Jahr	57,50 €	16,63 €
Jährliche Einsparung		<b>40,87 €</b>

**Tab. 15: Berechnung der jährlichen Einsparung durch Lampenwechsel**

Quelle: <http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/index.php?id=1828>, vom 23. 10. 2008

## 7.22 Umrüstung der Vorschaltgeräte

In ca. 80 % aller industriellen, gewerblichen und öffentlichen Anlagen in der Innenbeleuchtung sind Leuchtstofflampen installiert. Der größte Teil davon sind T8 Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten (KGV). Hier setzt das 4-Schritte-Modell zur Energieeinsparung der Fa. Osram an. Durch Wechsel der Vorschaltgeräte kann der Energieverbrauch reduziert werden, ohne Verluste an der Lichtqualität zu erleiden.

### 1. Schritt: Umrüstung von KVG auf VVG

Die Leuchtstofflampe verbraucht am VVG ca. 14 % weniger Energie, gibt aber genauso viel Licht ab wie vorher. Das VVG hat eine deutlich geringere Verlustleistung als das KVG.

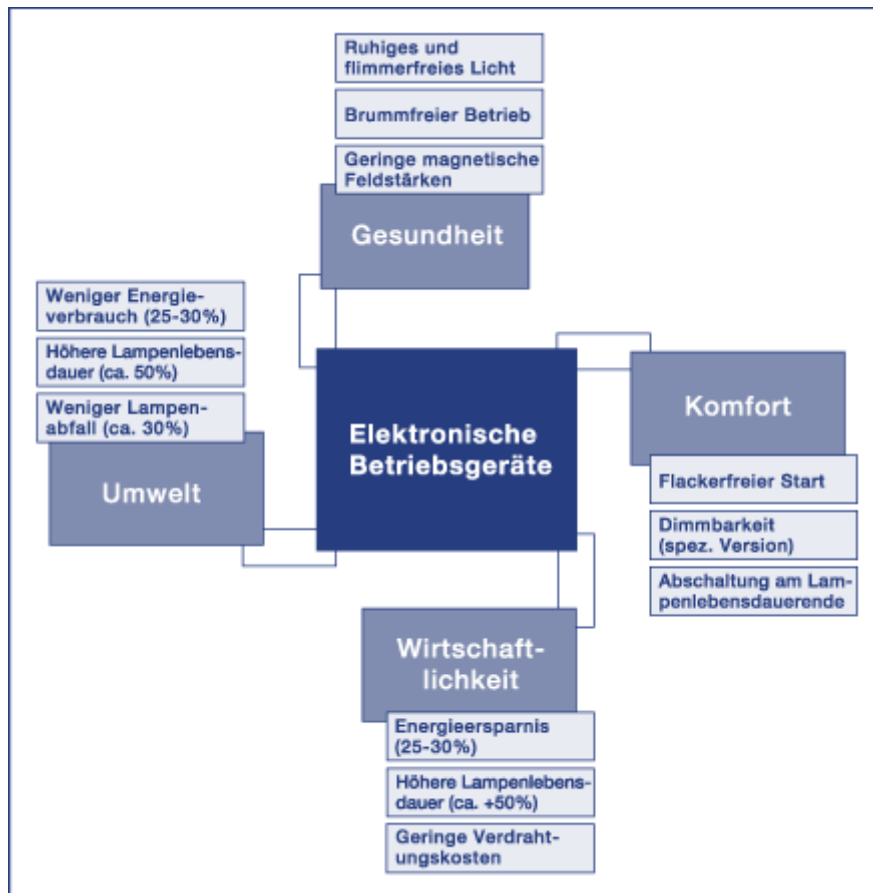
### 2. Schritt: Umrüstung von KVG auf EVG (T8- oder T5-Technologie)

### 3. Schritt: dimmbares EVG mit Tageslichtsteuerung (T8- oder T5-Technologie)

### 4. Schritt: dimmbares EVG mit Tageslichtsteuerung u. Bewegungsmelder (T8, T5).<sup>198</sup>

Der Einsatz von EVGs in der Beleuchtung hat positive Auswirkungen auf Gesundheit, Komfort, Wirtschaftlichkeit und Umwelt.

<sup>198</sup> [http://www.osram.at/osram\\_at/Professionals/EVG\\_%26\\_LMS/Alles\\_ueber\\_EVG/Vorteile\\_EVG/Energieeinsparung/Vier\\_Schritte%2c\\_Energie\\_zu\\_sparen/index.html](http://www.osram.at/osram_at/Professionals/EVG_%26_LMS/Alles_ueber_EVG/Vorteile_EVG/Energieeinsparung/Vier_Schritte%2c_Energie_zu_sparen/index.html), vom 2. 11. 2008



**Abb. 45: positive Auswirkungen des Einsatzes von EVGs**

Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/Professionals/EVG\\_&\\_LMS/Alles\\_ueber\\_EVG/Vorteile\\_EVG/](http://www.osram.at/osram_at/Professionals/EVG_&_LMS/Alles_ueber_EVG/Vorteile_EVG/), vom 2. 11. 2008

### 7.23 Maßnahmen mit geringem Investitionsbedarf

- Licht in unbenutzten Räumen und bei ausreichendem Tageslicht abschalten
- Reinigung von Lichtöffnungen (Lichtkuppeln, Fenstern)
- helle Decken- und Wandanstriche
- regelmäßige Wartung und Reinigung der Lampen und Leuchten

Durch Alterungsprozesse bedingt nimmt die Lichtstärke von Lampen im Laufe ihrer Lebensdauer bis zu 20 % ab. Die Verschmutzung der Lampen und Leuchten führt zu einer weiteren Einbuße, sodass nach rund 3.000 Benutzungsstunden nur mehr 60 % der ursprünglichen Lichtstärke verfügbar sind. Durch regelmäßige Reinigung kann die Lichtstärke wieder deutlich erhöht werden.<sup>199</sup>

<sup>199</sup> <http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/index.php?id=1834>, vom 2. 11. 2008

## 7.24 Maßnahmen mit höherem Investitionsbedarf

- Installation von Lampen mit höherer Lichtausbeute  
Ersetzen von Quecksilber-Dampflampen durch Halogen-Metaldampflampen  
Ersetzen von Leuchtstofflampen mit 38 mm durch Lampen mit 26 mm Durchmesser
- Installation von wirkungsvollen Leuchten (Spiegelreflektoren, Prismenbedeckung)
- Installation von automatischen Lichtsteuerungssystemen<sup>200</sup>

---

<sup>200</sup> <http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/index.php?id=1834>, vom 2. 11. 2008

## 8. LAMPENENTSORGUNG IN ÖSTERREICH

### 8.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Für die vorliegende Arbeit sind drei Gesetzestexte von Bedeutung:

- das Abfallwirtschaftsgesetz 2002<sup>201</sup>
- die Abfallbehandlungspflichtenverordnung<sup>202</sup>
- die Elektroaltgeräteverordnung<sup>203</sup>

#### 8.11 Grundsätze und Ziele der Abfallminimierung

Gemäß den Leitlinien zur Abfallwirtschaft des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie aus dem Jahre 1988 sollen die Ziele der Abfallwirtschaft nach ökologisch-ökonomischen Wertvorstellungen für ein gegebenes Produktionsniveau

- einer möglichst geringen Inanspruchnahme von nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energien und
- einer möglichst geringen Gesamtbelastung sowie einem möglichst geringen Risiko für die Umwelt durch eine entsprechende Gestaltung aller wirtschaftlichen Prozesse entsprechen.

Diese Grundsätze der Abfallwirtschaft besitzen eine Rangordnung, die im Abfallwirtschaftsgesetz 2002 verankert ist:

An erster Stelle steht die Abfallvermeidung:

- Qualitative Abfallvermeidung meint die Substitution von umweltgefährdenden Stoffen durch umweltverträgliche Stoffe.
- Quantitative Abfallvermeidung meint den gänzlichen Verzicht auf Stoffe oder Verfahren, die zu Abfällen führen, also der vollkommene Verzicht auf Vergeudung.

An zweiter Stelle steht die Abfallverringerung:

- Qualitativ durch den weitgehenden Verzicht oder die fast vollständige Substitution von umweltgefährdenden Stoffen.

---

<sup>201</sup> Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002), BGBl. I Nr. 102 i.d.F. BGBl. I Nr. 54/2008

<sup>202</sup> Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Behandlungspflichten von Abfällen (Abfallbehandlungspflichtenverordnung), BGBl. II Nr. 459/2004 i.d.F. BGBl. II Nr. 363/2006

<sup>203</sup> Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten (Elektroaltgeräteverordnung – EAG-VO), BGBl. II Nr. 121/2005, geändert durch BGBl. II Nr. 183/2006 und BGBl. II Nr. 48/2007



- Quantitativ durch die Anwendung des Rationalitätsprinzips, das heißt, gegebene Produktionsmengen mit einem Minimum an Stoffen, die zu Abfällen führen, zu erzeugen.

An dritter Stelle steht die Abfallverwertung:

- Gewinnung und Verwertung von Sekundärrohstoffen
- Gewinnung und Verwertung von biogenen Abfallstoffen
- Verwertung der Energieinhalte von Abfällen.<sup>204</sup>

Diese Grundsätze sollen angewandt werden, um folgende Ziele zu erreichen:

- "Schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt sollen vermieden sowie das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden.
- Die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen sollen so gering wie möglich gehalten werden.
- Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) sollen geschont werden.

Die konkreten Ziele der Abfallvermeidung- und –verwertung sind:

- Emissionsreduktion
- Schadstoffreduktion
- Minimierung der Dissipation von Schadstoffen in die Umwelt
- Ressourcenschonung und –effizienz"

"Sowohl im Bereich Abfallvermeidung als auch im Bereich der Verwertung spielt eine enge Zusammenarbeit der Bevölkerung, der Wirtschaft und der öffentlichen Hand eine entscheidende Rolle."<sup>205</sup>

## 8.12 Die EAG-Verordnung

Die Elektroaltgeräteverordnung regelt die Sammlung und Behandlung von jenen Elektro- und Elektronikgeräten, die als Abfall anfallen. Ein wesentliches Ziel der Verordnung ist die rechtliche Verankerung des Prinzips der Herstellerverantwortung.

<sup>204</sup> RASSAERTS, H., VOGEL, G., WIEDERSTEIN, T. (Hrsg.): Grundsätze und Ziele der Abfallminimierung, Schriftenreihe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Heft 119, Wien 1998, S. 9 f

<sup>205</sup> REISINGER, H., KRAMMER, H.-J.: Weißbuch, Abfallvermeidung und –verwertung in Österreich, Report, Umweltbundesamt (Hrsg.), Wien 2007, S. 16 f

Die Verordnung enthält aber nicht nur Vorschriften für die Hersteller bzw. Importeure, sondern auch Vorgaben für Letztverbraucher und Eigenimporteure.<sup>206</sup>

### 8.121 Rechtliche Basis

Die Elektroaltgeräteverordnung beruht auf zwei EU-Richtlinien:

- Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE – Waste Electrical and Electronic Equipment), ABl. Nr. L 37 vom 13. 2. 2003
- Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, ABl. Nr. L 345 vom 31.12.2003

Die Umsetzung dieser Richtlinien in Österreich erfolgte in drei verschiedenen Rechtsnormen:

Die AWG-Novelle 2004:

Zur Umsetzung der EU-Richtlinien war zunächst eine entsprechende Novellierung des Abfallwirtschaftsgesetzes notwendig. Die AWG-Novelle stellt die gesetzliche Basis für die Sammlung von Elektrogeräten, für die Übertragung bestimmter Aufgaben an eine Koordinierungsstelle sowie für die finanzielle Sicherstellung und für Sammel- und Verwertungssysteme dar.

Die Abfallbehandlungspflichtenverordnung (BGBl. II/459/2004 i.d.F. BGBl. II Nr. 363/2006):

Diese Verordnung legt die näheren Bestimmungen zur Behandlung der Elektro- und Elektronik-Altgeräte fest. Sie ist mit Ausnahme einiger Bestimmungen am 1. Jänner 2005 in Kraft getreten.

Die Altelektrogeräteverordnung (EAG-VO, BGBl. II/121/2005 geändert durch BGBl. II Nr. 183/2006 und BGBl. II Nr. 48/2007):

Diese Verordnung setzt die weiteren Bestimmungen der beiden genannten EU-Richtlinien um. Sie ist am 30. April 2005 in Kraft getreten.

Die wesentlichen Bestimmungen sind erst am 13. August 2005 in Kraft getreten:

- Rückgabe und Rücknahme von Altgeräten
- Sicherstellung durch Hersteller
- Ausweisung von Behandlungsgebühren durch den Hersteller

---

<sup>206</sup> GATTRINGER, P., SEELIGER, R.: Die Elektroaltgeräteverordnung, Ein Wegweiser durch den Dschungel an Vorschriften, Broschüre der Wirtschaftskammer Österreich, Wien 2005, S. 7

- Wiederverwendung und Behandlung
- Information der Letztverbraucher

### **8.122 Zielsetzung**

Der § 1 der EAG-VO gibt die wesentlichen Zielsetzungen vor:

- Vermeidung von Abfällen von Elektro- und Elektronikgeräten (= Hauptziel)
- Wiederverwendung und Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten, wobei die Wiederverwendung ganzer Geräte oder Bauteile und die stoffliche Verwertung im Vordergrund stehen sollen.
- Verringerung der Schadstoffe in den gemischten Siedlungsabfällen. Dies hat im Sinne einer nachhaltigen Stoffstromwirtschaft und einer Verbesserung der Umweltsituation zu erfolgen.
- Nutzung der Wertstoffe (z. B. Metalle) in Altgeräten angesichts der begrenzten Ressourcen.

Zur Förderung dieser generellen Zielsetzung dürfen bestimmte Inhaltsstoffe bei Elektro- und Elektronikgeräten nicht mehr eingesetzt werden. Zudem sind mindestens 4 kg Elektro- oder Elektronikaltgeräte pro Jahr und Einwohner in Österreich ab dem Jahr 2006 getrennt zu sammeln und zu verwerten.<sup>207</sup>

### **8.123 Geltungsbereich**

"Als Elektro- und Elektronikgeräte gelten

- Geräte, die zu ihrem ordnungsgemäßen Betrieb elektrischen Strom oder elektromagnetische Felder benötigen, sowie
- Geräte zur Erzeugung, Übertragung und Messung solcher Ströme und Felder sofern diese
- unter die im Anhang 1 der EAG-VO genannten Gerätekategorien fallen und
- für den Betrieb mit Wechselspannung von höchstens 1.000 Volt oder Gleichspannung von höchstens 1.500 Volt ausgelegt sind."

---

<sup>207</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 1ff

Im Anhang 1 der EAG-VO sind nachstehende Gerätekategorien angeführt und durch eine beispielhafte Aufzählung näher erläutert:

- "Haushaltsgeräte
- Haushaltskleingeräte
- IT- und Telekommunikationsgeräte
- Geräte der Unterhaltungselektronik
- Beleuchtungskörper
- Elektronische und elektrische Werkzeuge (mit Ausnahme ortsfester industrieller Großwerkzeuge)
- Spielzeug und Sport- und Freizeitgeräte
- Medizinische Geräte (Mit Ausnahme aller implantierten und infizierten Produkte)
- Überwachungs- und Kontrollinstrumente
- Automatische Ausgabegeräte"<sup>208</sup>

"Im Anhang 3 der EAG-VO werden die zehn Gerätekategorien gemäß Anhang 1 fünf verschiedenen Sammel- und Behandlungskategorien zugeordnet, und zwar:

- Großgeräte
- Kühl- und Gefriergeräte
- Bildschirmgeräte einschließlich Bildröhrengeräte
- Elektronikkleingeräte
- Gasentladungslampen"

Für jede der zehn Gerätekategorien werden im Anhang 3 der EAG-VO eigene Verwertungsziele angegeben. Dabei werden zwei Unterziele unterschieden, und zwar eine Gesamtverwertungsquote einzelner Gerätekategorien in % und eine Teilquote für Wiederverwendung und stoffliche Verwertung von Geräten, Bauteilen, Werkstoffen und Substanzen.<sup>209</sup>

Im Abschnitt 1 Elektro- und Elektronik-Altgeräte, § 3, Abs. 3 der Abfallhandlungspflichtverordnung wird der Begriff "Lampen" genauer bestimmt: "Lampen sind Mischlichtlampen, Hochdruck-Quecksilberdampflampen, Hochdruck-Metallhalogendampflampen, Neon-Hochspannungslampen, Neon-Niederspannungs-

<sup>208</sup> GATTRINGER, P., SEELIGER, R.: Die Elektroaltgeräteverordnung, Ein Wegweiser durch den Dschungel an Vorschriften, Broschüre der Wirtschaftskammer Österreich, Wien 2005, S. 7 f

<sup>209</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 4 f

lampen, Hochdruck-Natriumdampflampen, Leuchtstofflampen und Niederdruck-Natriumdampflampen."<sup>210</sup>

### **8.124 Ausnahmen vom Geltungsbereich**

Glühlampen (Allgebrauchsglühlampen, Halogenlampen, LEDs) und Leuchten mit Fassungen für Glühlampen fallen nur insoweit unter die EAG-VO, als sie vom Stoffverbot des § 4, Abs. 1 und 2 erfasst sind. Leuchten für private Haushalte und elektrische Glühlampen dürfen seit dem 1. Juli 2006 bestimmte Stoffe wie Blei, Quecksilber, Cadmium nicht in einem Ausmaß über 0,1 Gewichtsprozent enthalten. Sie können mit dem Restmüll entsorgt werden.<sup>211</sup>

### **8.125 Verbot gefährlicher Stoffe**

Die Verwendung von Blei, Quecksilber, sechswertigem Chrom (Chrom VI), polybromiertem Biphenyl (PBB), Diphenylether (PBDE) oder Cadmium in Elektro- und Elektronikgeräten ist gemäß § 4, Abs. 1 verboten. Ausgenommen von dieser Regelung sind z. B. medizinische Geräte.

### **8.126 Begriffsbestimmungen**

Der § 3 enthält nähere Bestimmungen zu den wichtigsten Begriffen der EAG-VO. Die Definitionen wurden vom Gesetzgeber von der EAG-RL der EU übernommen und an die österreichischen abfallrechtlichen Bestimmungen angepasst.

#### **Hersteller**

Als Hersteller wird derjenige bezeichnet, der

- "Elektro- und Elektronikgeräte herstellt und verkauft
- Geräte anderer Anbieter unter seinem eigenen Markennamen weiterverkauft
- Elektro- oder Elektronikgeräte erwerbsmäßig nach Österreich einführt oder aus Österreich zur Abgabe an Letztverbraucher ausführt."

#### **Wiederverwendung**

Die Wiederverwendung kann sich sowohl auf Bauteile und Geräteteile als auch auf ganze Geräte beziehen. Dies gilt unabhängig davon, ob sie mit oder ohne Reparaturmaßnahmen wieder zum gleichen Zweck eingesetzt werden.

---

<sup>210</sup> Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Behandlungspflichten von Abfällen (Abfallbehandlungspflichtenverordnung) BGBl. II Nr. 459/2004 i.d.F. BGBl. II Nr. 363/2006

<sup>211</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 6

### **Letztverbraucher**

Als Letztverbraucher gilt jeder, der Elektro- und Elektronikgeräte zum Gebrauch erwirbt.

### **In Verkehr setzen**

Voraussetzung ist die erwerbsmäßige Übergabe eines Elektro- bzw. Elektronikaltgerätes an eine andere Rechtsperson.

### **Letztvertreiber**

Jeder der ein Gerät erwerbsmäßig einem Letztverbraucher anbietet, fungiert als Letztvertreiber. Dem Letztvertreiber (Händler) können die privaten Letztverbraucher (Konsumenten) Altgeräte unentgeltlich zurückgeben. Voraussetzung hierfür ist, dass der private Letztverbraucher ein gleichwertiges Gerät beim Letztvertreiber erwirbt (Zug um Zug-Geschäft).<sup>212</sup>

## **8.127 Wiederverwendungs- und Verwertungsquoten**

Nimmt ein Hersteller an keinem System teil, müssen von ihm selbst bestimmte Wiederverwendungs- und Verwertungsziele erreicht und entsprechend dokumentiert werden (gem. § 11 EAG-VO).

Werden Elektro- und Elektronik-Altgeräte aus der EU ausgeführt, so ist (gem. § 11, Abs. 2 EAG-VO) im Einzelfall nachzuweisen, dass die Altgeräte am Zielort den Vorgaben der EAG-VO entsprechend behandelt werden und dass die Ausfuhr den Bestimmungen der EU-Abfallverbringungsverordnung entspricht.

## **8.128 Kennzeichnungspflichten**

Geräte, die nach dem 12. August 2005 in Verkehr gesetzt wurden, sind (gem. § 12, Abs. 1 EAG-VO) mit dem Symbol der "durchgestrichenen Abfalltonne" dauerhaft zu kennzeichnen.



Sollte die Kennzeichnung aufgrund der Größe oder Funktion des Gerätes nicht möglich sein, so ist das Symbol entweder auf der Verpackung, der Gebrauchsanweisung oder auf dem Garantieschein anzubringen. Geräte die vor dem 12. August 2005 in Verkehr gebracht wurden, müssen nicht gekennzeichnet sein. Laut

<sup>212</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 6 ff

§ 12 Abs. 3 EAG-VO müssen Hersteller und Importeure, Geräte, die ab dem 13. August 2005 in Verkehr gebracht wurden, mit einer individuellen Hersteller- bzw. Importeurskennzeichnung versehen. Die Verpflichtung entfällt für bereits gekennzeichnete Geräte, die aus einem EU-Land nach Österreich importiert werden und die Verpflichtung zur Rücknahme und Behandlung nachweislich gewährleistet ist.

### **8.129 Informationspflicht**

Die Letztverbraucher von Geräten für private Haushalte sind durch die Hersteller über den Zweck der getrennten Sammlung und über die Nachteile der Beseitigung von Altgeräten über die Siedlungsabfälle zu informieren.

#### **8.1210 Elektronische Registrierungspflicht**

Hersteller und Betreiber von Sammelstellen haben sich (gem. § 21 EAG-VO) über die Internetseite des Umweltbundesamtes zu registrieren und dabei die im § 21 EAG-VO angegebenen Daten (Name, Anschrift, Firmenbuchnummer, Branchenzuordnung) einzugeben. Zusätzlich sind Daten über die Art und Ausstattung der Sammelstelle zu übermitteln.

#### **8.1211 Meldepflicht**

Hersteller von Elektro- und Elektronikgeräten haben verschiedene Meldepflichten, wie die Angabe von Name, Adresse, Firmenbuchnummer, zu erfüllen. Die Meldungen erfolgen über die Koordinierungsstelle an das Register des Umweltbundesamtes.

Hersteller von Geräten für private Haushalte haben quartalsweise die in Österreich in Verkehr gesetzten Massen zu melden. Der Vertrieb von Geräten für private Haushalte im Rahmen des Fernabsatzes ist einmal jährlich zu melden. Auch Geräte für gewerbliche Verwendungszwecke sind von den Herstellern einmal jährlich zu melden.

#### **8.1212 Eigenimporteur**

"Importiert ein Letztverbraucher Elektro- und Elektronikgeräte für den Betrieb seines Unternehmens selbst nach Österreich, so hat dieser Eigenimporteur entweder selbst an einem Sammel- und Verwertungssystem teilzunehmen oder die Geräte nachweislich auf eigene Kosten einem berechtigten Abfallsammler oder -behandler zu übergeben. Die kostenlose Abgabe bei einer Sammelstelle oder bei einem Letztvertreiber ist nicht zulässig.

#### **8.1213 Rückerstattung von Pfandbeiträgen**

Gemäß der bis 12. August 2005 in Geltung gestandenen Lampenverordnung wurde von Seiten des Letztvertreibers (Handel) vom privaten Letztverbraucher ein Pfand in der Höhe von € 0,7 eingehoben. Da seit 13. August 2005 diese Regelung nicht mehr

existiert, hat der Letztverbraucher bei Vorlage einer Pfandplakette oder der Originalrechnung das Recht auf Rückerstattung des Pfandbeitrages. Der Betrag muss auch dann rückerstattet werden, wenn kein neues Produkt gekauft wird.<sup>213</sup> Gemäß § 9 Abs. 1 EAG-VO darf der Hersteller die Kosten für die Sammlung und Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten aus privaten Haushalten beim Kauf eines Neugerätes gegenüber dem Käufer nicht getrennt ausweisen.<sup>214</sup>

## 8.2 Sammlung und Rückgabe von Elektroaltgeräten

Laut § 5 Abs. 1 der EAG-VO ist für Elektro- und Elektronikaltgeräte aus privaten Haushalten die verpflichtende Einrichtung mehrerer Sammelschienen vorgesehen.<sup>215</sup>

### 8.21 Sammelstellen von Gemeinden oder Gemeindeverbänden

Diese Sammelstellen sind im Sinne des § 28a AWG einzurichten und als primäre Anlaufstelle für die kostenlose Rücknahme von EAG aus privaten Haushalten zu betreiben.

Im Regelfall übernehmen die bereits eingerichteten Recyclinghöfe, Altstoffsammelzentren und Problemstoffsammelzentren der Gemeinden diese Aufgaben. Die Gemeinden bzw. Gemeindeverbände melden ab Erreichen einer bestimmten Mengenschwelle je Sammel- und Behandlungskategorie oder spätestens nach sechs Monaten einen Abholbedarf an die Koordinierungsstelle, können aber auch direkte Verträge mit Sammel- und Verwertungssystemen oder anderen Sammlern und Verwertern abschließen.<sup>216</sup>

#### 8.211 Abholkoordinierung

Die Abholung von Elektro- und Elektronikaltgeräten von einer Sammelstelle unter Mitwirkung der Koordinierungsstelle wird Abholkoordinierung bezeichnet. Derzeit erfolgt die Sammlung und Verwertung der EAG in Österreich zum Großteil über die Sammel- und Verwertungssysteme, die Verträge mit einzelnen Sammelstellenbetreibern, Regionalverbänden oder Ländern abgeschlossen haben. Da durch diese privatwirtschaftlichen Strukturen nicht gewährleistet werden kann, dass 100 % der anfallenden Sammelmengen von den Systemen übernommen werden, sieht die EAG-VO die zusätzliche Möglichkeit der Entsorgung im Rahmen der

---

<sup>213</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 16 ff

<sup>214</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 12

<sup>215</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 8

<sup>216</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 8 f



Abholkoordinierung vor.

Die Sammelstelle sendet über die webbasierte Applikation eKS einen Abholbedarf an die Koordinierungsstelle. Liegt die gesammelte Masse in einer Sammel- und Behandlungskategorie über der in Anhang 3 der EAG-VO angegebenen Mengenschwelle, so ist die Meldung eines Abholbedarfs jederzeit möglich. Erreicht die gesammelte Masse aber nicht die Mengenschwelle, kann ein Abholbedarf nur zwei Mal jährlich in einem Abstand von sechs Monaten gemeldet werden.<sup>217</sup>

"Die Meldung eines Abholbedarfs sowohl von Sammelstellen der Gemeinden als auch von Sammelstellen der Hersteller hat (gem. & 6, Abs. 4 EAG-VO) bestimmte Angaben zu enthalten:"

- die "GLN" = Global Location Number der Sammelstelle
- die Sammel- und Behandlungskategorie
- die geschätzte Masse
- Anzahl, Art, Form und Größe der Sammelbehälter<sup>218</sup>

Die Mengenschwelle für Gasentladungslampen liegt bei 500 kg.

Nutzt eine Sammelstelle die Abholkoordinierung, hat sie auch Anspruch auf die Infrastrukturkostenpauschale, die einmal jährlich als Abgeltung der Abschreibung für die getätigten Investitionen in Behältnisse und bauliche Maßnahmen von der Koordinierungsstelle ausbezahlt wird.

Die Höhe der Kostenpauschale richtet sich auch danach, ob eine Sammelstelle mit Voll- oder Teilausstattung geführt wird. Es müssen dann die vorgegebenen Behälter und der angemessene Flächenbedarf nachgewiesen werden.<sup>219</sup>

---

<sup>217</sup> ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.): Tätigkeitsbericht 2007, Wien 2008, S. 22

<sup>218</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 14

<sup>219</sup> ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.): Tätigkeitsbericht 2007, Wien 2008, S. 23

Für Gasentladungslampen muss folgende Ausstattung vorhanden sein:

<b>Ausstattungskategorie</b>	<b>Erforderliche Behälter</b>	<b>Flächenbedarf</b>	<b>Kostenzuschuss der Koordinierungsstelle</b>
Vollausstattung	5 Rungenpaletten	30 m <sup>2</sup>	€ 433,51
Teilausstattung	1 Rungenpalette	6 m <sup>2</sup>	€ 172,56

**Tab. 16: Sammelstellenausstattung für Gasentladungslampen**

Quelle: ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.): Tätigkeitsbericht 2007, Wien 2008, S. 23 f, vom Autor modifiziert

Folgende Fotoaufnahmen dokumentieren die Sammelstellenausstattung für Gasentladungslampen in der Problemstoffsammelstelle der Abfallbehandlungsanlage in 1220 Wien, Percostraße 2. Die Erlaubnis für Fotoaufnahmen wurde von Herrn Peter Frybert, Leiter Öffentlichkeitsarbeit und Abfallvermeidung am 6. 11. 2008 per Email erteilt. Die Besichtigung der Problemstoffsammelstelle erfolgte am 7. 11. 2008. Herr Tvarozka, ein Mitarbeiter der Abfallbehandlungsanlage führte kompetent durch das Gelände.

Herr Tvarozka machte folgende Angaben:

Die auf den Mistplätzen und Problemstoffsammelstellen abgegebenen Gasentladungslampen werden vor Ort vom Personal der Firma Hellrein vorsortiert. Als Sammel- und Transportbehälter stehen Holzpaletten mit montiertem Metallgeländer für stabförmige Leuchtstofflampen unterschiedlicher Länge, mit Folie umwickelte Kartons für u-förmige und kreisförmige Leuchtstofflampen und Kompakt-Leuchtstofflampen und 200 l Müllgefäße, in die schwarze Müllsäcke gehängt werden, ebenfalls für Lampen mit kleineren Abmessungen zur Verfügung.

Während des Lampenhandlings werden Schutzhandschuhe und Arbeitsschuhe getragen. Gehen Lampen zu Bruch, werden die Scherben in Kunststoffsäcke gekehrt.

Im Jahre 2005 konnten in Wien ca. 70.000 Stück Gasentladungslampen gesammelt werden. 2/3 der Lampen kamen aus privaten Haushalten, 1/3 vom Gewerbe. Im Jahr 2006 hat sich die Sammelmenge in Wien auf 200.000 Stück erhöht, das Herkunftsverhältnis jedoch umgekehrt.



**Abb. 46: stabförmige Leuchtstofflampen auf Palette**

Quelle: Fotoaufnahme des Autors, vom 7. 11. 2008 (Datum auf Bild unrichtig)



**Abb. 47: Kompakt-Leuchtstofflampen und Sonderformen im Karton**

Quelle: Fotoaufnahme des Autors, vom 7. 11. 2008



**Abb. 48: stabförmige Leuchtstofflampen im 200 l Müllgefäß**

Quelle: Fotoaufnahme des Autors, vom 7. 11. 2008



**Abb. 49: stabförmige Leuchtstofflampen auf einer Palette**

Quelle: Fotoaufnahme des Autors, vom 7. 11. 2008

### 8.212 Koordinierungsstelle

Durch die AWG-Novelle 2004, die im Zuge der Umsetzung der europäischen WEEE-Richtlinie in nationales Recht erlassen wurde, wurde die Errichtung einer Koordinierungsstelle vorgesehen. Sie wurde im Mai 2005 gegründet und ist im Firmenbuch des Handelsgerichtes mit dem Wortlaut Elektroaltgeräte Koordinierungsstelle Austria GmbH eingetragen. Als gemeinnützige Gesellschaft verfolgt sie die Ziele der Förderung des Gemeinwohls und des Umweltschutzes, insbesondere durch die Koordination der Sammlung und Verwertung von Abfällen, die der EAG-VO unterliegen.<sup>220</sup>

Adresse der Koordinierungsstelle: 1070 Wien, Mariahilfer Straße 84  
Derzeitige Geschäftsführerin: Frau Mag. Elisabeth Giehser<sup>221</sup>

Die Eigentümer der Koordinierungsstelle sind mit jeweils 25 %:

- BG Radio- und Elektrohandel
- Wirtschaftskammer Österreich
- Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie
- Fachverbände, Bundesgremien sowie Bundesinnung aus den Bereichen Handel, Gewerbe, Information und Consulting

Dem Beirat der Koordinierungsstelle gehören sechs Mitglieder an:

- Lebensministerium
- Bundesarbeitskammer
- Verbindungsstelle der Bundesländer
- Wirtschaftskammer Österreich
- Österreichischer Städtebund
- Österreichischer Gemeindebund

Die Koordinierungsstelle ist mit folgenden Aufgaben betraut:

- Abschluss von Vereinbarungen mit Sammel- und Verwertungssystemen über die Abholung von Abfällen, über die Sammelinfrastruktur und über die Festlegung einer Schlichtungsstelle
- Koordination gemäß den Vereinbarungen

<sup>220</sup> ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.): Tätigkeitsbericht 2007, Wien 2008, S. 23

<sup>221</sup> <http://www.eak-austria.at/kontakt>, vom 4. 11. 2008

- Koordinierung von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Sammel- und Verwertungssysteme
- Aufnahme der Mengenmeldungen
- Durchführung der Abholkoordinierung
- Vorbereitung der Berichte für die EU-Kommission

Derzeit sind 6 Sammel- und Verwertungssysteme in Österreich vom Lebensministerium mit Bescheid genehmigt (Kundenstand per 31. 12. 2007):

- ERA, Elektro Recycling Austria GmbH: Kundenstand: 1.003
- ERP, European Recycling Platform: Kundenstand: 26
- EVA, Erfassen und Verwerten von Altstoffen GmbH: Kundenstand: 237
- UFH, Altlampen Systembetreiber GmbH
- UFH, Elektroaltgeräte System Betreiber GmbH: Kundenstand: 1.071
- CCR, Car Components Recycling Austria GmbH, (seit Anfang Jänner)<sup>222</sup>

Mit einem Marktanteil von rund 80 % ist das UFH der österreichische Marktführer in der Sammlung und Verwertung von Gasentladungslampen.<sup>223</sup>

### 8.213 Sammelstellen von Herstellern

Die Hersteller müssen gem. § 13a Abs. 1 AWG und § 5, Abs. 4 EAG-VO für die Übernahme von Altgeräten zumindest eine Sammelstelle in jedem politischen Bezirk errichten. Diese sollen in erster Linie als Anlaufstelle für den Handel fungieren. Auch bei diesen Sammelstellen sind die Altgeräte unentgeltlich zurückzunehmen. Hersteller, aber auch die im Auftrag der Hersteller tätigen Sammel- und Verwertungssysteme können zusätzliche Sammelstellen einrichten.

### 8.214 Rückgabemöglichkeit beim Letztvertreiber

Letztvertreiber müssen beim Erwerb eines Neugerätes ein gleichartiges Altgerät vom Kunden kostenlos zurücknehmen "Zug um Zug"-Rücknahme. Es besteht also eine Rücknahmeverpflichtung im Zuge des Verkaufs eines Neugerätes. Eine Ausnahme von der Verpflichtung besteht für kleine Handelsbetriebe, deren Verkaufsfläche unter 150 m<sup>2</sup> liegt. Dieser Letztvertreiber hat die Konsumenten von der Ausnahme der Rücknahmeverpflichtung ausreichend zu informieren, z. B. in der Form eines

<sup>222</sup> ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.): Tätigkeitsbericht 2007, Wien 2008, S. 17 ff

<sup>223</sup> [http://www.ufh.at/Index.php?i\\_ca\\_id=47](http://www.ufh.at/Index.php?i_ca_id=47), vom 5. 11. 2008

deutlichen Aushanges im Geschäftslokal.

Diese Verpflichtung trifft auch auf den Versandhandel zu.<sup>224</sup> Um die Rücksendung von Elektroaltgeräten durch die Kunden zu vermeiden, haben Quelle AG, Neckermann Versandhandel AG und UNITO Versand- und Dienstleistungen GmbH unter dem Arbeitstitel ARGE Elektroaltgeräte Versandhandel österreichweit ein Netz von Abgabestellen (2 pro politischem Bezirk) eingerichtet, an denen die Altgeräte der Kunden unentgeltlich übernommen werden. Die Abgabestellen können auch von anderen Versand- und Internethändlern genutzt werden. Dafür ist der Abschluss eines Nutzungsvertrages mit den Mitgliedern der ARGE Elektroaltgeräte Versandhandel erforderlich.

Die Kontaktperson der ARGE ist Herr Mag. Christian Jahn, Sonnenweg 12, 4280 Königswiesen, Tel. 07955/23226.<sup>225</sup>

## 8.22 Rückgabemöglichkeit für Letztvertreiber

Die Letztvertreiber können die bei ihnen abgegebenen Altgeräte ihrerseits wiederum unentgeltlich weitergeben. Entweder an eine Sammelstelle eines Herstellers von Elektro- und Elektronik-Altgeräten aus privaten Haushalten oder an Sammelstellen der Gemeinden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn entsprechende Verträge zwischen einem Sammel- und Verwertungssystem und der Gemeinde vorliegen.<sup>226</sup>

## 8.3 In Verkehr gesetzte Massen von Gasentladungslampen

Die Tabelle zeigt die in Verkehr gesetzte Massen (aus Haushalt und Gewerbe), wobei zu beachten ist, dass der Beobachtungszeitraum für das Jahr 2005 von 13. 8. bis 31. 12. 2005 dauert.

Zeitraum	Masse in kg
13. 8. – 31. 12. 2005	465.916,04
2006	1,521.334,47
2007	1,902.726,09

**Tab. 17: In Verkehr gesetzte Massen von Gasentladungslampen 2005 – 2007**

Quelle: ELEKTROALTGERÄTEKOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.): Tätigkeitsberichte der Jahre 2005, 2006, 2007

<sup>224</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 9 f

<sup>225</sup> [http://portal.wko.at/wk/format\\_detail.wk?AngID=1&StID=385186&DstID=0&BrID=506](http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?AngID=1&StID=385186&DstID=0&BrID=506), vom 9. 10. 2008

<sup>226</sup> FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER, W.: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg, September 2005, S. 11

## 8.4 Sammelmassen von Gasentladungslampen

Die Tabelle enthält die Sammelmassen (aus Haushalt und Gewerbe), auch hier ist wieder der verkürzte Geltungsbereich für 2005 zu berücksichtigen.

Zeitraum	Masse in kg
13. 8. – 31. 12. 2005	276.190,00
2006	1.004.364,00
2007	970.833,00

**Tab. 18: Sammelmassen von Gasentladungslampen 2005 – 2007**

Quelle: ELEKTROALTGERÄTEKOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.): Tätigkeitsberichte der Jahre 2005, 2006, 2007

## 8.5 Verwertung der Gasentladungslampen

"Für die Verwertung von Entladungslampen haben sich verschiedene Verfahren etabliert. Hierzu zählen das Kappen-Trenn-Verfahren für stabförmige Leuchtstofflampen, das Shredder-Verfahren für alle Arten von Entladungslampen sowie Varianten beider Verfahren und halbmanuelle Verfahren für Sonderformen. Beide Systeme können sowohl mobil als auch stationär betrieben werden."

Verfahren	Lampentyp
Kappen-Trenn-Verfahren	Stabförmige Leuchtstofflampen
Shredder-Verfahren	Leuchtstofflampen (stab-, ring-, und u-förmig) Hochdruck-Entladungslampen Glasbruch aus Entladungslampen Produktionsabfälle aus der Lampenproduktion Restfraktion aus Kapp-Trenn-Anlagen
Verfahren für Sonderformen	Hochdruck-Entladungslampen Kompaktleuchtstofflampen Leuchtstofflampen (ring- und u-förmig)

**Tab. 19: Verfahren für die Verwertung von Entladungslampen**

Quelle: ARBEITSGEMEINSCHAFT LAMPEN-VERWERTUNG (AGLV) IM FACHVERBAND ELEKTRISCHE LAMPEN, ZENTRALVERBAND ELEKTROTECHNIK- UND ELEKTRONIKINDUSTRIE (ZVEI) e.V. (Hrsg.): Leitfaden für die Entsorgung von Lampen, August 2001, S. 7

Das einzige österreichische Behandlungsunternehmen ist die Firma TYROLUX Energie & Recycling GmbH, die ein Recyclingwerk in der Peter Bauerstraße 8 in 4481 Asten in Oberösterreich betreibt.



Die Firma Tyrolux beschäftigt sich seit dem Jahre 2003 mit der Behandlung von Gasentladungslampen. Ursprünglich wurde eine Anlage in Enns betrieben, seit dem Jahre 2006 besteht die Behandlungsanlage in Asten. Die Behandlungskapazität beträgt ca. 1.000 T/Jahr. Mit der Beschickung der Anlage ist ein Arbeiter der Fa. Tyrolux sowie zeitweise fünf Arbeiter einer Leihfirma beschäftigt.

Der Leuchtstaub und die Kohlefilter werden auf Abruf von der Firma Brandner abgeholt und nach Deutschland in ein Untertagelager transportiert.<sup>227</sup>

### **8.51 Beschreibung der Anlagenkapazität**

Die Behandlungsanlage wird nach dem SYSTEM HERBORN betrieben.

Die technische Verarbeitungskapazität der Recyclinganlage beträgt max. 4.000 Stück/Stunde. Die tatsächlich erreichbare Verarbeitungskapazität wird wesentlich beeinflusst von den zu verarbeitenden Lampentypen, dem Typ und der Wechselzeit der vom Kunden eingesetzten Behältersysteme und der Zuführgeschwindigkeit der Lampen. Weiterhin können Nachheizzeiten, Entleerungszeiten der Reststoffe, Pausen-, Wartungs- und Reparaturzeiten die tatsächlich erreichbare Verarbeitungskapazität beeinflussen.

Bedienungspersonal: 1 Person (pro Schicht) zur Kontrolle und Steuerung der Anlage und Kontrolle der einlaufenden Lampen. Für die Beschickung der Anlage mit Lampen ist je nach Automatisierungsgrad weiteres Personal erforderlich.

Die Verarbeitungsangaben und die Kapazitätsangaben beziehen sich auf die zum Zeitpunkt des Anlagenkaufes am Recyclingmarkt befindlichen stabförmigen Standardentladungslampen bis 1,80 m Länge (Typ TL).<sup>228</sup>

---

<sup>227</sup> Auskünfte von Frau Gerhild Miggitsch, per Email angefordert, vom 10. 11. 2008

<sup>228</sup> Beschreibung der Anlagenkapazität, ohne Namen, ohne Datum

## 9. ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Aufklärung der Natur des Lichtes beschäftigten sich bereits Gelehrte aus dem 17. Jahrhundert. Newton entwickelte die Korpuskulartheorie und Huygens die Wellentheorie. Die Quantenelektrodynamik des 20. Jahrhunderts, baut auf den Grundlagen der Quantentheorie und der speziellen Relativitätstheorie auf und beinhaltet sowohl den Welle-Teilchen-Dualismus als auch die Äquivalenz von Energie und Masse.

Das Licht im physikalischen Sinne ist elektromagnetische Strahlung des Wellenlängenbereiches von 380 bis 780 nm. Nur Strahlung in diesem Wellenlängenbereich ruft beim Menschen den Eindruck von Licht hervor. Das menschliche Auge liefert als Sinnesorgan dem Gesichtssinn alle erforderlichen Informationen zur Wahrnehmung optischer Eindrücke. Die Netzhaut mit den lichtempfindlichen Empfängerelementen, den Zapfen und Stäbchen, ist jener Teil des Auges, der die aufgenommene Strahlung in eine Lichtempfindung umwandelt. Die Zapfen sind für das Farbsehen verantwortlich, die Stäbchen sind nicht farbempfindlich, jedoch wesentlich lichtempfindlicher, sodass sie für das Sehen bei Dunkelheit verantwortlich sind.

Die künstliche Lichtquelle ist ein wesentlicher Faktor im Leben des modernen Menschen. Es entspricht dem heutigen Lebensstandard, an Licht und Beleuchtung höchste Ansprüche zu stellen, die sich aber nicht nur am Sehen als rein physiologische Funktion orientieren. Die Lichttechnik schafft mit den theoretischen Grundlagen die Voraussetzung für erfolgreiche Weiterentwicklungen in der Leuchttechnik, der Beleuchtungstechnik und der Lichtmesstechnik.

Die Entwicklungsfolge der Beleuchtungssysteme begann mit dem ursprünglichsten Beleuchtungssystem, der natürlichen Leuchtflamme. Diese wurde in der Inkandeszenzbeleuchtung durch einen künstlichen Leuchtkörper ersetzt. In der nächsten Entwicklungsstufe wird der künstliche Leuchtkörper beibehalten und die Art der Energiezufuhr geändert. Die Vielfalt der elektrischen Lampen ergibt sich aus der Verwendung verschiedener Glühkörper wie Kohlefäden, Metallfäden, feuerfeste Oxyde. Die nächste Entwicklungsstufe ist durch die Beibehaltung der elektrischen Energie und den Wechsel des Leuchtkörpers charakterisiert. Diese Abfolge ist einerseits von einer beständigen Steigerung der Wirtschaftlichkeit begleitet, andererseits verschwinden die ungünstigen Eigenschaften der Beleuchtungsarten von einer Stufe zur nächsten.

Die technische Ausführung einer Lichtquelle wird als Lampe bezeichnet. Heute werden fast ausschließlich elektrische Lampen eingesetzt, die den hohen Ansprüchen an Bedienbarkeit, Betriebssicherheit, Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit gerecht

werden. Es kann zwischen thermischen Strahlungsquellen, zu denen die Glühlampe und Halogenleuchtstofflampe zählt und jenen Strahlungsquellen unterschieden werden, bei denen das Licht durch die Anregung von Atomen durch elektrische Entladungen in Gasen erzeugt wird. Diese Lampen werden als Gasentladungslampen bezeichnet.

Für Beleuchtungszwecke werden 10 – 15 % der elektrischen Energie verbraucht, wobei 70 % des Lichtes von Leuchtstofflampen erzeugt wird. In privaten Haushalten ist nach wie vor die Glühlampe das am häufigsten eingesetzte Leuchtmittel. Die effiziente Nutzung der Energie ist durch die Gasentladungslampe gewährleistet. Entladungslampen umfassen Leuchtstofflampen, Kompakt-Leuchtstofflampen, Hochdruck-Entladungslampen, Quecksilberdampf Lampen und Metallhalogen-Dampf Lampen. Alle diese Lampen enthalten Quecksilber als Hauptkomponente für die Entladung. Der Quecksilbergehalt in den verschiedenen Lampentypen liegt zwischen weniger als 15 mg bis 30 mg.

Aus ökologischer Sicht ist es unabdingbar, für schadstoffhaltige Produkte am Lebensende eine geregelte Entsorgung durchzuführen. Durch ein flächendeckendes Sammelsystem erhält der Konsument den Anreiz, die ausgediente Leuchtstofflampe einem Recycling zuzuführen. Das Ziel von Lampenhersteller, dem Handel und den Verwertungsunternehmen ist die umfassende Information der Endverbraucher über die Umweltrelevanz der Lampen und über die erforderlichen Maßnahmen am Lebensende.

Die Möglichkeit für Endverbraucher aus Gewerbe und Haushalt, ausgebrannte Entladungslampen kostengünstig zu entsorgen, ist Voraussetzung für eine möglichst hohe Rücklaufquote.

Für die Verwertung von Entladungslampen haben sich verschiedene Verfahren etabliert. Angewendet wird das Kapp-Trann-Verfahren für stabförmige Leuchtstofflampen und das Shredder-Verfahren für alle anderen Arten von Entladungslampen. Da Entladungslampen aufgrund ihres Quecksilbergehaltes als besonders überwachungsbedürftige Abfälle eingestuft sind, müssen Recyclinganlagen bei Verarbeitungsmengen von mehr als einer Tonne pro Tag eine Anlagengenehmigung einholen.

Im EU-Raum werden jährlich ca. 80 Millionen Stück Entladungslampen einer Verwertung zugeführt. Die Glas- und Metallfraktion fallen in einer Form an, die eine Weiterverarbeitung zulässt. Die Leuchtstoffabfälle jedoch, die in Mengen von 250 – 300 Tonnen pro Jahr anfallen, werden aufgrund ihrer Toxizität und unzureichender Aufbereitungsmöglichkeiten bisher größtenteils in Untertagedeponien gelagert.

Im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsprojektes wurde am Institut für Aufbereitung und Deponietechnik der TU Clausthal in Zusammenarbeit mit der Firma Osram ein Verfahren entwickelt, mit dem

es gelingt, das Yttriumeuropiumoxid als Einzelkomponente in einer Qualität zurückzugewinnen, die einen uneingeschränkten Wiedereinsatz als Luminophor zuläßt und den Primärrohstoff substituieren kann.

## 10. LITERATURVERZEICHNIS

### 10.1 Bücher und Studien

ARBEITSGEMEINSCHAFT LAMPEN-VERWERTUNG (AGLV) IM FACH-  
VERBAND ELEKTRISCHE LAMPEN; ZENTRALVERBAND ELEKTRO-  
TECHNIK- UND ELEKTRONIKINDUSTRIE (ZVEI) E.V. (Hrsg.):  
Leitfaden für die Entsorgung von Lampen, August 2001

ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.):  
Tätigkeitsbericht 2005, Wien 2006

ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.):  
Tätigkeitsbericht 2006, Wien 2007

ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.):  
Tätigkeitsbericht 2007, Wien 2008

FALLER, A.: Der Körper des Menschen, Einführung in Bau und Funktion,  
Stuttgart 1995

FELDENKIRCHEN; W.: Siemens 1918 – 1945, München 1995

FÜRNSINN, G., MAYR, W., SCHÖRGHUBER; W.: Elektroaltgeräteverordnung  
EAG-VO, Gesetzestext und Kommentar, Umwelt.Service.Salzburg,  
Salzburg 2005

GATTRINGER, P., SEELIGER, R.: Die Elektroaltgeräteverordnung, Ein Wegweiser  
durch den Dschungel an Vorschriften, Broschüre der Wirtschaftskammer  
Österreich, Wien 2005

HELBIG, E.: Grundlagen der Lichtmeßtechnik, Leipzig 1977

HEINZ, R.: Grundlagen der Lichterzeugung, von der Glühlampe bis zum Laser,  
Rüthen 2006

HENTSCHEL, H.-J. (Hrsg.): Licht und Beleuchtung, Grundlagen und Anwendung der  
Lichttechnik, Heidelberg 2002

HOLZINGER, A.: Von der Wachskerze zur Glühlampe,  
Thun und Frankfurt am Main 1998

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (Hrsg.): Light's Labour's Lost, Policies for Energy-efficient Lighting, Paris 2006
- JOSEPHSON, M.: Thomas Alva Edison, Icking und München 1969
- LUXBACHER, G.: Massenproduktion im globalen Kartell, Glühlampen, Radoröhren und die Rationalisierung der Elektroindustrie bis 1945, Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts, Band 4, Berlin Diepholz 2003
- NIENHAUS, H., THAELE, R.: Halogenbeleuchtungsanlagen mit Kleinspannung, Planen, Auswählen und Errichten aus beleuchtungstechnischer Sicht und nach DIN VDE 0100, VDE-Schriftenreihe Normen verständlich 75, Berlin 2002
- RASSAERTS, H., VOGEL, G., WIEDERSTEIN, T. (Hrsg.): Grundsätze und Ziele der Abfallminimierung, Schriftenreihe des Österreichischen Wasser- und Abfallverbandes, Heft 119, Wien 1998
- REBSKE, E.: Lampen, Laternen, Leuchten, Eine Historie der Beleuchtung, Stuttgart 1962
- REISINGER, H., KRAMMER, H.-J.: Weißbuch, Abfallvermeidung und –verwertung in Österreich, Report, Umweltbundesamt (Hrsg.), Wien 2007
- SEDLACEK, F.: Auer von Welsbach, Blätter für Geschichte der Technik, Zweites Heft, Wien 1934
- VOGEL, Gerhard (Hrsg.): Handbuch zur umweltschonenden Beschaffung in Österreich, im Auftrag des BMUJF und der MA 48 der Stadt Wien, Wien 1992

## 10.2 Skripten

- VOGEL, G., LIST, W.: Abfallwirtschaft, Bd. I, Einführung in die Abfallwirtschaft, in: Skriptenreihe des Institutes für Technologie und nachhaltiges Produktmanagement der Wirtschaftsuniversität Wien, hrsg. von Vogel, G., 2. Auflage, Wien 2007
- VOGEL, G.: Beiträge zu einem Sustainable Development, in: Skriptenreihe des Institutes für Technologie und nachhaltiges Produktmanagement der Wirtschaftsuniversität Wien, hrsg. von VOGEL, G., 2. Auflage, Wien 2007

### **10.3 Gesetze, Normen, Nachschlagewerke**

Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002), BGBl. Nr. 102 i.d.F. BGBl. I Nr. 54/2008

ÖNORM S 2001: Abfallwirtschaft, Benennungen und Definitionen,  
hrsg. ON, Wien 1985

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Behandlungspflichten von Abfällen (Abfallbehandlungspflichtenverordnung) BGBl. II Nr. 459/2004 i.d.F. BGBl. II Nr. 363/2006

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten (Elektroaltgeräteverordnung – EAG-VO), BGBl. II Nr. 121/2005, geändert durch BGBl. II Nr. 183/2006 und BGBl. II Nr. 48/2007

Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. 2. 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte

Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 31. 12. 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten

### **10.4 Internet**

#### **10.41 Internetportale**

ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH.  
<http://www.eak-austria.at>, vom 14. 11. 2008

ELEKTRO-WISSEN.DE: <http://www.elektro-wissen.de/Elektrotechnik/Quecksilberdampf-Hochdrucklampen.html>, vom 17. 10. 2008

GE LIGHTING: <http://www.gelighting.com>, vom 8. 11. 2008

MNS.COM: <http://de.encarta.msn.com>, vom 14. 10. 2008

OSRAM GMBH: <http://www.osram.at>, 1. 11. 2008

ROYAL PHILIPS: <http://www.philips.de>, vom 16. 10. 2008

PLANET WISSEN: <http://www.planet-wissen.de>, vom 25. 10. 2008

RICHTIG HELL; DIE O.Ö. LICHTKAMPAGNE: <http://www.richtig-hell.at>,  
vom 2. 11. 2008

STADT WIEN: <http://www.wien.gv.at/>, vom 25. 10. 2008

UMWELTFORUM HAUSHALT: <http://www.ufh.at>, vom 5. 11. 2008

WIKIPEDIA: <http://de.wikipedia.org>, vom 29. 10. 2008

WIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH: <http://portal.wko.at>, vom 9. 10. 2008

#### **10.42 Sonstige Internetquellen**

ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA GMBH (Hrsg.):  
Tätigkeitsbericht 2007, Wien 2008, in: [http://www.eak\\_austria.at/kontakt](http://www.eak_austria.at/kontakt),  
vom 4. 11. 2008

GENDRE, M. F.: Two Centuries of Electric Light Source Innovations,  
in: [http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light\\_history.pdf](http://www.einlightred.tue.nl/lightsources/history/light_history.pdf),  
vom 12. 11. 2008

MAGISTRATSABTEILUNG 27, EU-STRATEGIE UND WIRTSCHAFTS-  
ENTWICKLUNG: Technologieleitfaden Beleuchtung, Wien 2007,  
in: [http://www.wien.gv.at/wirtschaft/eu-strategie/energie/pdf/  
technologieleitfaden\\_beleuchtung.pdf](http://www.wien.gv.at/wirtschaft/eu-strategie/energie/pdf/technologieleitfaden_beleuchtung.pdf), vom 20. 10. 2008

O.Ö. ENERGIESPARVERBAND (Hrsg.): Richtig hell zu Hause, Strom- und  
kostensparende Beleuchtung im Haushalt, Linz 2004, in: [http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/fileadmin/richtig-hell/Wohnen/Folder\\_Richtig\\_hell.pdf](http://www.richtig-hell.at/richtig-hell/fileadmin/richtig-hell/Wohnen/Folder_Richtig_hell.pdf),  
vom 23. 10. 2008

OSRAM GMBH: Produktkatalog 2008, in: [http://catalogx.myosram.com/  
zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible  
%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%  
253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4](http://catalogx.myosram.com/zb2b/b2b/start.do?browsername=mozilla%2F4.0%2520%2528compatible%253B%2520msie%25206.0%253B%2520windows%2520nt%25205.1%253B%2520sv1%2529&browsermajor=4&browserminor=4), vom 1. 11. 2008



OSRAM GMBH (Hrsg.): 100 Jahre OSRAM – Licht hat einen Namen, Markenjubiläum 2006, München 2006, in: [http://w1.siemens.ch/ch/fr/cc/presse/news/Documents/100JahreOsram\\_1422680.pdf](http://w1.siemens.ch/ch/fr/cc/presse/news/Documents/100JahreOsram_1422680.pdf), vom 29. 10. 2008

OSRAM GMBH: Lichtlexikon, in: [http://www.osram.at/osram\\_at/Tools\\_&\\_Services/Training\\_&\\_Wissen/Lichtlexikon/index.html](http://www.osram.at/osram_at/Tools_&_Services/Training_&_Wissen/Lichtlexikon/index.html), vom 17. 10. 2008

### **10.5 Sonstige Quellen**

Email der Firma Tyrolux, Frau Miggitsch, vom 10. 11. 2008  
Handzettel der Firma Tyrolux mit der Beschreibung der Anlagenkapazität