

# DIPLOMARBEIT

## Master Thesis

### **Baustellenbeleuchtung**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Hans Georg Jodl

und als verantwortlich mitwirkender Assistent

Univ. Ass. Dipl. Ing. Andreas Makovec

234

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Stefan Pfeiffer

0527715

Freiheitssiedlung II/3  
2285 Leopoldsdorf/Mfd.

Leopoldsdorf, im Februar 2014

.....  
Stefan Pfeiffer

---

## **Danksagung**

Vor dem Abschluss des Studiums stehend, bietet sich an dieser Stelle die Gelegenheit „Danke“ zu sagen.

Danke an Herrn O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Hans Georg Jodl für die Betreuung und die Möglichkeit meine Diplomarbeit am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement zu verfassen.

Danke an Univ. Ass. Dipl. Ing. Andreas Makovec, der mich sehr bei der Bearbeitung dieser Diplomarbeit unterstützt hat, immer ein offenes Ohr für mich hatte und mir mit wertvollen Ratschlägen zur Seite stand.

Danke all meinen Freunden und Studienkollegen, die mir die Zeit des Studiums bereichert haben.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern Eva und Wolfgang Pfeiffer, die mir immer helfend zur Seite standen und mich in allen Lebenslagen unterstützt haben sowie meiner Freundin Christina Ulm, die mich während des gesamten Studiums begleitet und immer an mich geglaubt hat.

VIELEN DANK.

---

## **Kurzfassung**

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Beleuchtung von Baustellen während der Nachtstunden beziehungsweise für Situationen, in denen das natürliche Tageslicht für eine effiziente und sichere Arbeit nicht ausreicht. Die Planung und Dimensionierung der Beleuchtung erfolgt im Rahmen der Arbeitsvorbereitung für die Baustelle beziehungsweise im Zuge der Planung der Baustelleneinrichtungsfläche und muss auf alle technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Randbedingungen sorgfältig abgestimmt werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Grundbegriffe der Beleuchtungstechnik erklärt sowie die zur Beleuchtung anwendbaren Leuchtmittel inklusive deren Vor- und Nachteile angeführt. Zusätzlich erfolgt eine Analyse der gesetzlichen Rahmenbedingungen und Vorschriften. Es wird auch der Einsatz von Beleuchtungselementen an exponierten Orten, im Speziellen auf Baustellen unter Tage sowie an explosionsgefährdeten Orten betrachtet und die speziellen Anforderungen an diese Leuchtelemente zusammengestellt. Den Abschluss der Arbeit bildet ein Kostenvergleich von verschiedenen Beleuchtungskonzepten in Abhängigkeit ihres Einsatzortes. Aus dem Einsatzort ergeben sich sowohl lichttechnische Vorgaben (Beleuchtungsstärken) als auch gerätespezifische Anforderungen (Schutzart und Schutzklasse) des Leuchtmittels, welche in diesem Kostenvergleich berücksichtigt und gegenübergestellt werden.

## **Abstract**

The present thesis deals with the lighting of construction sites during the night hours and also for situations in which the natural daylight for an efficient and safe work is not sufficiently available. The planning and design of the lighting should be integrated in the preparation and in the process of planning the building site areas and should be facilitated by this work. In this work the basic concepts of lighting technology were summarized and explained and the possible usable bulbs, including their advantages and disadvantages. Additionally, an analysis of the legal framework and regulations was done. Lighting elements in exposed places, especially at tunneling building sites and at other potentially explosive places were also considered. The final part of this work is a comparison of costs of different types of bulbs depending on the condition of the building site. Building sites bring on their own requirements for lighting (luminance levels) and site-specific requirements (ingress protection and protection against electric shock) of the light source, which were all taken into consideration in the cost comparison.

## Inhaltsverzeichnis

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1      | Einleitung.....                             | 1  |
| 2      | Grundlagen.....                             | 5  |
| 2.1    | Licht.....                                  | 5  |
| 2.2    | Funktionsweise des menschlichen Sehens..... | 7  |
| 2.2.1  | Spektrales Helligkeitsempfinden.....        | 8  |
| 2.3    | Einheiten.....                              | 9  |
| 2.3.1  | Lichtstrom $\varphi_v$ .....                | 10 |
| 2.3.2  | Lichtmenge Q.....                           | 11 |
| 2.3.3  | Raumwinkel.....                             | 12 |
| 2.3.4  | Lichtstärke $I_v$ .....                     | 13 |
| 2.3.5  | Beleuchtungsstärke E.....                   | 14 |
| 2.3.6  | Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke..... | 15 |
| 2.3.7  | Leuchtdichte L.....                         | 15 |
| 2.3.8  | Lichtausbeute.....                          | 16 |
| 2.3.9  | Farbtemperatur $T_F$ .....                  | 17 |
| 2.3.10 | Farbwiedergabeindex $R_a$ .....             | 18 |
| 2.3.11 | Blendung.....                               | 19 |
| 2.4    | Einfluss von Licht auf den Menschen.....    | 20 |
| 3      | Gesetzliche Rahmenbedingungen.....          | 25 |
| 3.1    | ArbeitnehmerInnenschutz.....                | 25 |
| 3.1.1  | ArbeitnehmerInnenschutzgesetz.....          | 26 |
| 3.1.2  | Bauarbeiterschutzverordnung – BauV.....     | 28 |
| 3.1.3  | Arbeitsstättenverordnung – AStV.....        | 30 |
| 3.2    | Normen und sonstige Empfehlungen.....       | 33 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.2.1 | ÖNORM EN 12464-1 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 1:<br>Arbeitsstätten in Innenräumen ..... | 33 |
| 3.2.2 | ÖNORM EN 12464-2 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 2:<br>Arbeitsplätze im Freien .....       | 35 |
| 3.2.3 | Sonstige Regelungen .....  | 36 |
| 3.3   | Übersicht der Bestimmungen.....  | 38 |
| 3.4   | Europäische Bestimmungen.....  | 39 |
| 3.4.1 | EU Öko-Design-Richtlinie.....  | 39 |
| 4     | Leuchtmittel .....   | 41 |
| 4.1   | Allgemein.....   | 41 |
| 4.1.1 | Bezeichnung von Leuchtmitteln .....  | 41 |
| 4.1.2 | Lampenfassung/Lampensockel .....   | 44 |
| 4.1.3 | Einsatzdauer der Leuchtmittel .....  | 45 |
| 4.2   | Temperaturstrahler .....   | 45 |
| 4.2.1 | Glühlampe .....  | 46 |
| 4.2.2 | Halogenglühlampen .....  | 47 |
| 4.3   | Niederdruckentladungslampen.....   | 48 |
| 4.3.1 | Leuchtstofflampen .....  | 48 |
| 4.3.2 | Kompaktleuchtstofflampen.....  | 50 |
| 4.3.3 | Natriumdampf-Niederdrucklampen.....  | 50 |
| 4.3.4 | Induktionslampen.....  | 51 |
| 4.4   | Hochdruckentladungslampen .....  | 52 |
| 4.4.1 | Natriumdampf-Hochdrucklampe .....  | 52 |
| 4.4.2 | Quecksilberdampf-Hochdrucklampe.....   | 53 |
| 4.4.3 | Halogen-Metallampflampen mit Quarzbrenner .....  | 54 |
| 4.4.4 | Halogen-Metallampflampen mit Keramikbrenner.....   | 55 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.5   | Leuchtdioden.....  | 56 |
| 4.6   | Zusammenfassung der Eigenschaften der Leuchtmittel .....       | 59 |
| 4.7   | Umweltgerechte Entsorgung/Recycling.....                       | 61 |
| 4.7.1 | Entsorgung Temperaturstrahler.....                             | 61 |
| 4.7.2 | Entsorgung Entladungslampen.....                               | 61 |
| 4.7.3 | Entsorgung Leuchtdioden.....                                   | 61 |
| 5     | Leuchtmittel an exponierten Orten .....                        | 63 |
| 5.1   | Explosionsgefährdetes Umfeld.....                              | 67 |
| 6     | Beleuchtung für Freiflächen .....                              | 76 |
| 6.1   | Lichttechnische Berechnungsmethoden .....                      | 78 |
| 6.1.1 | Punktbeleuchtungsformel.....                                   | 78 |
| 6.1.2 | Wirkungsgradformel.....  | 79 |
| 6.1.3 | Berechnungen mittels EDV-Software.....                         | 79 |
| 7     | Bewertung der Kosten.....                                      | 81 |
| 7.1   | Verkehrsfläche.....  | 81 |
| 7.1.1 | Wand- und Aufsatzleuchte mit Natriumdampf-Hochdrucklampe ..... | 82 |
| 7.1.2 | Wand- und Aufsatzleuchte mit Kompaktleuchtstofflampe.....      | 83 |
| 7.1.3 | Planflächenstrahler mit Halogen-Metaldampflampe.....           | 84 |
| 7.1.4 | Übersicht Verkehrsflächen .....                                | 85 |
| 7.2   | Allgemeine Baustellenfläche .....                              | 86 |
| 7.2.1 | Scheinwerfer mit Halogen-Metaldampflampe.....                  | 87 |
| 7.2.2 | Scheinwerfer mit Hochvolt-Halogenglühlampe .....               | 88 |
| 7.2.3 | Planflächenstrahler in LED-Ausführung.....                     | 89 |
| 7.2.4 | Übersicht Arbeitsbereich Baustellenfläche .....                | 90 |
| 7.3   | Unter Tage.....  | 91 |
| 7.3.1 | Feuchtraumwannenleuchte mit Leuchtstofflampe.....              | 92 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 7.3.2 | Feuchtraumwannenleuchte mit LED-Lampe.....                                  | 93  |
| 7.3.3 | Scheinwerfer mit Halogen-Metaldampflampe.....                               | 94  |
| 7.3.4 | Halogenscheinwerfer mit Niedervolt-Halogenglühlampe (Schutzklasse III)..... | 95  |
| 7.3.5 | Übersicht unter Tage.....   | 96  |
| 8     | Zusammenfassung.....  | 99  |
|       | Literaturverzeichnis.....   | 104 |
|       | Abbildungsverzeichnis.....  | 107 |
|       | Tabellenverzeichnis.....  | 108 |

# 1 Einleitung

Nachtschichten gehören in der modernen Arbeitswelt, und damit auch in der Bauindustrie, mittlerweile zum Alltagsgeschäft. Grundlage dafür ist eine ausgewogene und effiziente künstliche Beleuchtung, die sowohl aus der wirtschaftlichen, aber auch aus der mittlerweile immer wichtiger werdenden ökologischen Sicht gestaltet werden muss. Auch ohne Nachtarbeit ist aufgrund des jahreszeitlichen Tagesablaufs in den Wintermonaten (späte Dämmerung in den Morgenstunden beziehungsweise frühe Abenddämmerung) der Bedarf nach einer systematischen künstlichen Beleuchtungsanlage gegeben. Arbeiten in Bereichen oder an Orten wie unter Tage machen ebenfalls eine künstliche Beleuchtung notwendig.

Die Anforderungen an Beleuchtungssysteme auf Baustellen sind äußerst vielfältig. Das Beleuchtungskonzept soll dabei nicht nur die Wirtschaftlichkeit der Baustelle durch die Verlängerung der möglichen Arbeitszeit erhöhen, sie trägt auch maßgeblich zur Arbeitssicherheit bei. Durch ein ausgewogenes und auf die Arbeitsabläufe der ArbeitnehmerInnen und der sonstigen Baustellenlogistik abgestimmtes Beleuchtungskonzept wird die Möglichkeit des Erkennens von potentiellen Gefahrensituationen signifikant angehoben. Damit kann sich zum einen das Sicherheitsgefühl und zum anderen auch die potentielle Leistungsfähigkeit der auf der Baustelle beschäftigten ArbeitnehmerInnen deutlich erhöhen, während die Fehlerquote durch die höhere Konzentrationsfähigkeit der Beschäftigten gesenkt werden kann. Neben der Allgemeinbeleuchtung für die gewöhnlichen Arbeitsvorgänge ist auch die Notbeleuchtung ein wesentlicher Bestandteil des Beleuchtungskonzeptes und muss in das Beleuchtungssystem integriert werden. Die Notbeleuchtung hat bei einem Ausfall der Allgemeinbeleuchtung das gefahrlose Verlassen des von dem Ausfall betroffenen Bereiches zu ermöglichen und ist somit ein essenzieller Sicherheitsfaktor. Dabei werden nach ÖNORM EN 1838 spezielle Anforderungen an die Beleuchtung und die Kennzeichnung der Rettungs- beziehungsweise Fluchtwege gestellt, um die Evakuierung rasch und gefahrlos bewerkstelligen zu können. Als dritte für die Baustellen wesentliche Beleuchtungsart kommt neben der Allgemeinbeleuchtung und der Notbeleuchtung auch die Warnbeleuchtung auf Baustellen zur Anwendung. Unter der Warnbeleuchtung versteht man jene Beleuchtungseinheiten, die unbeteiligte Dritte vor Gefahrensituationen warnt. Dazu werden zumeist blinkende Warnlichter verwendet, welche an der Baustellenbegrenzung (Mobilzaun, Leitbakken, sonstige Abgrenzungen) oder sonstigen Elementen (zum Beispiel an Gerüsten auf Gehwegen) angebracht sind. Aber auch die rot blinkende Nachtbeleuchtung von Hochbaukränen oder anderen hoch in die Luft ragenden Objekten (auch an Rohbauten) ist als Warnbeleuchtung zu betrachten und für Luftfahrzeuge ein wichtiger Sicherheitsaspekt, um Kollisionen zu verhindern.



Bei der Realisierung von Bauprojekten trägt eine Vielzahl von Randbedingungen zum Projekterfolg bei. Diese Randbedingungen können sowohl in technischer, organisatorischer und auch in wirtschaftlicher Hinsicht wesentlichen Einfluss auf die notwendige Installation einer Beleuchtungsanlage haben.

Die technischen Randbedingungen stellen notwendige baubetriebliche Zwänge im Arbeitsablauf dar. Als ein Beispiel können dabei Baustellen unter Tage genannt werden. Bei diesen Bauvorhaben wird durch das Auffahren eines Hohlraumes ein kontinuierlicher Arbeitsablauf zwingend vorausgesetzt, um den Verbruch dieses neu ausgebrochenen Hohlraums dauerhaft zu verhindern. Dieser zwingend konstante Arbeitsablauf unter sehr rauen Bedingungen stellt große Anforderungen an die Beleuchtungsanlage, vor allem durch hohe Feuchtigkeits- und starke Staubentwicklung. Aber auch ober Tage sind häufig kontinuierliche Bauabläufe notwendig. Dabei sind vor allem Bauteile mit großer Betonkubatur zu nennen wie beispielsweise Staumauern. Aber auch bei Brückentragwerken, großflächigen Flächengründungen im Grundwasser oder bei massiven Tragelementen im Hochbau ist häufig ein ununterbrochener Arbeitsfortschritt notwendig, um die geforderten Qualitätsanforderungen des Bauteiles sicherstellen zu können. Daher ist man häufig gezwungen, den Betonierfortschritt konstant zu halten und demnach bis in die Nachtstunden unter künstlicher Beleuchtung zu betonieren. Ebenso kann aus technischer Sicht die Witterung als Grund für Nachtarbeit in Frage kommen. Dafür verantwortlich zeigt sich unter anderem die Sonneneinstrahlung beziehungsweise die hohe Temperatur. Gerade in den Sommermonaten kann die Sonneneinstrahlung während des Tages zur raschen Austrocknung des Frischbetons und in weiterer Folge zu Rissbildungen führen. Aus diesem Grund kann Nachtarbeit auch aus Qualitätsgründen notwendig werden.

Die organisatorischen Randbedingungen aus Sicht des Auftragnehmers sind häufig Einschränkungen hinsichtlich der Arbeitszeit und werden zumeist vom Auftraggeber vorgegeben. Für diesen stammen diese Vorgaben in der Regel aus wirtschaftlichen Überlegungen und sind daher aus Sicht des Auftraggebers wirtschaftlich motiviert. Um die Produktion beziehungsweise die Dienstleistung des Bauherren nicht zu beeinträchtigen, wird vor allem bei Industrie- oder Gewerbebetrieben die arbeitsfreie Zeit des Auftraggebers genutzt, um dessen Produktion beziehungsweise dessen Geschäftsfeld nicht, oder nur so begrenzt als möglich, einzuschränken. Als Beispiel kann hier die Sanierung einer Start- oder Landebahn eines Flughafens genannt werden. Diese Sanierungsmaßnahme wird zumeist von den Flughafenbetreibern in den Nachtstunden durchgeführt, um den laufenden Betrieb während des Tages so wenig wie möglich zu beschränken. Dabei wird gerade in diesem Bereich neben der Termintreue höchster Wert auf die vom Auftragnehmer gelieferte Ausführungsqualität gelegt. Als zusätzliche Erschwernis für die bauausführenden Firmen kommt der Umstand hinzu, dass die gesamte Baustelleneinrichtung bei jedem Einsatz neu aufgebaut und im Anschluss wieder abgebaut werden muss. Hinsichtlich dieser Qualitätsansprüche und der logistischen Herausforderungen ist eine ausgewogene und qualitativ hochwertige Beleuchtung des Baufeldes unumgänglich. Aber nicht nur in

der Luftfahrt sind Nachteinsätze notwendig, um den Verkehrsfluss während des Tages aufrecht zu erhalten. Wichtige Verkehrsinfrastruktureinrichtungen (Eisenbahn, U-Bahn) werden in der Regel nur in den Nachtstunden saniert, damit die Behinderungen auf ein Minimum reduziert werden. Auch auf stark befahrenen Autobahnen werden die notwendigen Sanierungsarbeiten häufig in den Nachtstunden, bei geringerer Verkehrseinschränkung, vollzogen.

Ist der Auftragnehmer aus wirtschaftlichen Überlegungen gezwungen, die Arbeitszeit in die Nachtstunden auszuweiten, so sind dafür häufig Pönaltermine als Ursache zu finden. Dabei ist eine allumfassende Kostenabschätzung sowohl für die zusätzliche Arbeitszeit, als auch für die außerplanmäßige Installation einer Beleuchtungsanlage durchzuführen.

Zusammenfassend können folgende Punkte als Ursachen zur Installation einer Baustellenbeleuchtungsanlage beziehungsweise für Nachtarbeit genannt werden:

- Ausweitung der Arbeitszeit
- Keine Produktionseinschränkungen
- Arbeiten unter Tage
- Not- und Warnbeleuchtung
- Steigerung der Arbeitssicherheit
- Senkung der Fehlerquote
- Qualität
  - Witterung – Temperatur
  - Erleichterte Betonnachbehandlung bei Nacht in großer Sommerhitze
  - Vermeidung von Arbeitsfugen
- Einhaltung von Pönalterminen

Die Baustellenbeleuchtung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Sicherheit, Produktivität und Qualität und ist daher ein wesentlicher Bestandteil der Baustelleneinrichtung. Diese Arbeit soll dazu beitragen, dass die Planung, der Betrieb und die Anpassung von bestehenden Beleuchtungssystemen erleichtert wird. Dafür werden die Einsatzgebiete der verschiedenen Leuchtmittel und die für den Betrieb geltenden Vorschriften zusammengefasst. Dem Anwender soll eine Übersicht geboten werden, die eine rasche und effiziente Abschätzung für den für ihn notwendigen Bedarf ermöglicht.

Im ersten Teil dieser Arbeit werden die physikalischen Grundlagen des Lichts erläutert und damit eine Einführung in das Thema der Beleuchtungstechnik gegeben. Im Anschluss daran stehen die Auswirkungen des Lichtes auf den menschlichen Organismus, sowohl in positiver als auch in negativer Eigenschaft, im Vordergrund. Als wesentlicher Teil dieser Arbeit werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen des Themas Beleuchtung mit speziellem Fokus auf Baustellen behandelt. Dabei stellt die tabellarische Zusammenfassung der gesetzlichen Rahmenbindungen hinsichtlich der Vorgaben zum Thema Beleuchtung ein Resultat dieser Arbeit dar. Die Umsetzung der möglichen Beleuchtungsvarianten auf Baustellen wird mittels einer Analyse der zur Verfügung stehenden Leuchten untersucht. Bevor auf die grundlegende Positionierung der Beleuchtungselemente auf Baustelleneinrichtungsflächen und auch auf die möglichen lichttechnischen Berechnungsmethoden eingegangen wird, werden die speziellen Anforderungen an Leuchtmittel an exponierten Orten, zum Beispiel auf Baustellen unter Tage oder in explosionsgefährdeten Bereichen, dargestellt. Den Abschluss der vorliegenden Arbeit bildet eine Kostenanalyse von typischen Beleuchtungssituationen auf Baustellen. Dabei werden die Kosten der verschiedenen Leuchten inklusive Lampe an verschiedenen Orten gegenübergestellt. Auf Grundlage der notwendigen Beleuchtungsstärke wird die Anzahl der dafür notwendigen Lampen ermittelt und anschließend die Kostenbewertung mit Berücksichtigung der Stromkosten, der Lampen- inklusive Leuchtmittelkosten in Abhängigkeit des Einsatzortes dargestellt. Als Ergebnis lassen sich Kostenkennwerte für die jeweilige Beleuchtungssituation ableiten.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Licht

Licht ist solange unsichtbar, bis es auf eine beliebige Oberfläche trifft und dort reflektiert, also zurückgeworfen, wird. Als sehr anschauliches Beispiel kann man sich den Strahl einer Taschenlampe in dunkler Umgebung vorstellen, der entweder durch die in der Luft schwebenden Staubpartikel sichtbar wird oder durch das Auftreffen an einer beliebigen Oberfläche.

Die Eigenschaften des Lichts waren lange Zeit nicht eindeutig erklärbar und die naturwissenschaftliche Meinung wurde im Laufe der Wissenschaftsgeschichte mehrmals revidiert und neu aufgestellt. Bereits Isaac Newton beschäftigte sich mit den Eigenschaften des Lichts und veröffentlichte 1627 seine Korpuskulartheorie, mit welcher er im Stande war, die Reflexion und die Brechung des Lichts zu erklären. 1678 wurde die Wellentheorie von Huygens veröffentlicht, welche die Interferenz und die Beugung des Lichts erklären konnte. James Clerk Maxwell erkannte 1865, dass Lichtwellen als elektromagnetische Transversalwellen verstanden werden können. Mit den Maxwell'schen Gleichungen als Basis gelang es in weiterer Folge, alle optischen Gesetze aus den elektrodynamischen Grundgleichungen herzuleiten. Damit wurde die Wellentheorie des Lichtes von der damaligen wissenschaftlichen Gesellschaft akzeptiert und die Optik (die Lehre des Lichts) als Teilgebiet der Elektrodynamik bezeichnet. Im weiteren wissenschaftlichen Geschichtsverlauf stieß man zum Ende des 19. Jahrhunderts immer wieder auf experimentelle Beobachtungen, die mit der damals gängigen Wellentheorie nicht vereinbar waren. Albert Einstein fand 1905 mit der Lichtquantenhypothese eine mögliche Erklärung für die nichterklärbaren Ergebnisse der Experimente. Dabei wurde das Licht je nach Experiment entweder als Teilchenstrom oder als elektromagnetische Welle angesehen. Diese versuchsabhängige Betrachtungsweise wurde als Welle-Teilchen-Dualismus bezeichnet. Die theoretische Beschreibung für die Vereinigung dieser Betrachtungsweisen wurde erst in der Quantenoptik beziehungsweise in der Quantenelektrodynamik gefunden.

In der heutigen Optik unterscheidet man zwischen der geometrischen Optik (oder Strahlenoptik) und der Wellenoptik. Die geometrische Optik beschäftigt sich mit der Reflexion und der Brechung des Lichtes und geht von Lichtstrahlen aus, welche sich geradlinig im homogenen Medium ausbreiten. Die Anwendbarkeit der Strahlenoptik ist immer dann gegeben, wenn die Dimensionen der Gegenstände (beispielsweise Linsen, Spiegel, Blenden oder ähnliches) groß gegenüber der Wellenlänge des Lichts sind. Ist dieses Verhältnis gegeben, können somit Effekte wie beispielsweise die Beugung ausgeschlossen werden. Sind die Dimensionen der oben genannten Gegenstände im Größenbereich der Wellenlänge des Lichtes, können diese Erscheinungen nicht mehr ausgeschlossen werden.

Das für das menschliche Auge sichtbare Licht besteht aus elektromagnetischen Wellen mit einer definierten Frequenz beziehungsweise Wellenlänge. Die sichtbaren Frequenzen sind, wie in Abb. 2.1 dargestellt, nur ein kleiner Teil des Gesamtspektrums und können mit einer Wellenlänge von circa  $\lambda = 380 \text{ nm}$  bis  $\lambda = 780 \text{ nm}$  für einen nicht sehbeeinträchtigten Menschen angegeben werden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Strahlung beträgt näherungsweise  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  (Lichtgeschwindigkeit). Der genaue Wert für die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum wurde bei der 17. Generalkonferenz für Maß und Gewicht vom 17. bis 21. Oktober 1983 mit  $c = 299.792.458 \text{ m/s}$  festgelegt. In Gleichung (1) ist der Zusammenhang zwischen Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit erklärt<sup>1</sup>:

$$\text{Wellenlänge } \lambda = \frac{\text{Lichtgeschwindigkeit } c}{\text{Frequenz } f} \quad (1)$$

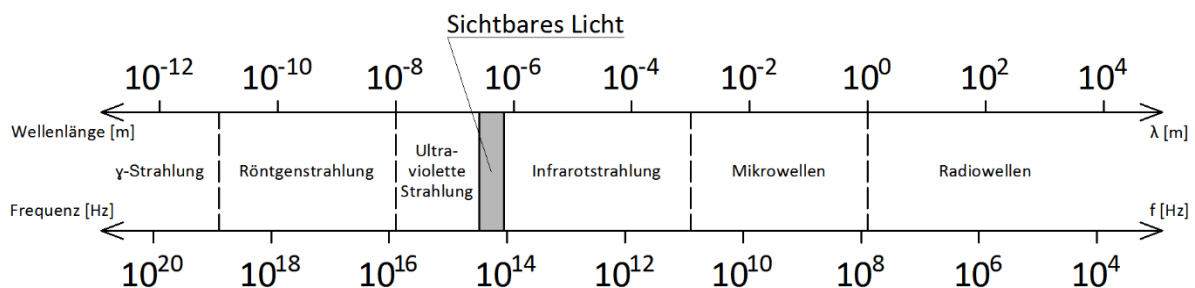


Abb. 2.1: Gesamtspektrum der elektromagnetischen Strahlung<sup>2</sup>

Betrachtet man den sichtbaren und dessen direkt angrenzenden Bereich (Ultraviolette Strahlung und Infrarotstrahlung) der elektromagnetischen Strahlung näher, so kann man diese unter dem Begriff der optischen Strahlung zusammenfassen. Das begründet sich dadurch, dass

- diese drei Strahlungsarten ähnliche Eigenschaften besitzen,
- auf gleiche oder ähnliche Weise erzeugt werden können,
- mit optischen Bauteilen lenkbar sind und zusätzlich
- von Strahlungsempfängern aufgenommen und gemessen werden können.<sup>3</sup>

Eine Gliederung der optischen Strahlung kann wie unten angeführt getroffen werden. Es ist jedoch zu beachten, dass die strikte und scharfe Abgrenzung (beispielsweise die Farbabgrenzung beim

<sup>1</sup> Vgl. [9] Hering E., Martin R., Stohrer M.: Physik für Ingenieure, 2007, S. 491ff.

<sup>2</sup> [7] Harten U.: Physik, S. 295.

<sup>3</sup> Vgl. [13] SLG, LTAG, LiTG: Handbuch für Beleuchtung, 1975, S. 3.

sichtbaren Licht – Abb. 2.2 ist eine symbolische Darstellung) nicht gegeben ist, sondern hier ein kontinuierlicher, fließender Übergang gegeben ist.

- Nicht sichtbare Ultraviolettstrahlung ( $\lambda = 100 \text{ nm bis } \lambda = 380 \text{ nm}$ )

- UV-C (100 nm bis 280 nm)
- UV-B (280 nm bis 315 nm)
- UV-A (315 nm bis 380 nm)<sup>4</sup>

- Sichtbares Licht ( $\lambda = 380 \text{ nm bis } \lambda = 780 \text{ nm}$ )<sup>5</sup>

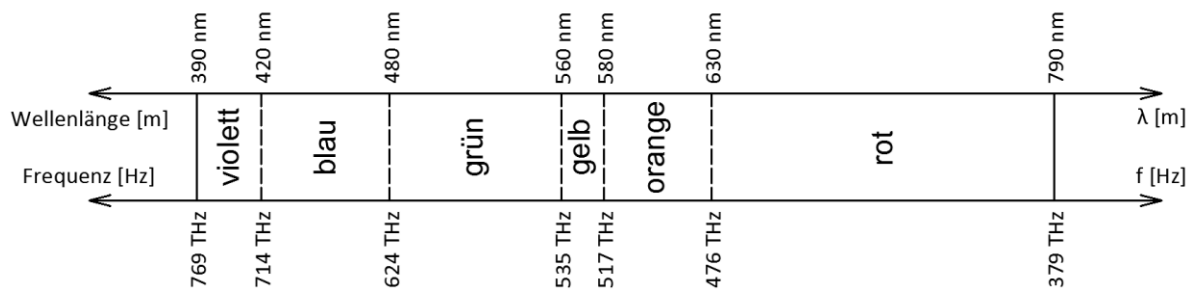


Abb. 2.2: Wellenlängenabhängige Farbverteilung des sichtbaren Lichts<sup>6</sup>

- Nicht sichtbare Infrarotstrahlung ( $\lambda = 780 \text{ nm bis } \lambda = 1 \text{ mm}$ )

- IR-A (780 nm bis 1,4  $\mu\text{m}$ )
- IR-B (1,4  $\mu\text{m bis } 3 \mu\text{m}$ )
- IR-C (3  $\mu\text{m bis } 1\text{mm}$ )<sup>7</sup>

## 2.2 Funktionsweise des menschlichen Sehens

Das menschliche Auge ist in der Lage, die oben beschriebenen elektromagnetischen Wellen in einem Wellenlängenbereich von circa 380 nm bis 780 nm wahrzunehmen. Der Aufbau des Auges ist in Abb. 2.3 dargestellt und kann vereinfacht mit der Funktionsweise einer Kamera verglichen werden. Der einfallende Lichtstrahl wird durch die Linse gebündelt und in weiterer Folge auf die Netzhaut (Retina) projiziert. Die Iris dient dabei als Blende, die sich je nach einfallender Intensität des Lichts öffnet

<sup>4</sup> Vgl. [13] SLG, LTAG, LiTG: Handbuch für Beleuchtung, 1975, S. 3.

<sup>5</sup> Vgl. [13] SLG, LTAG, LiTG: Handbuch für Beleuchtung, 1975, S. 3.

<sup>6</sup> Vgl. [19] Osterhage W.: Studium Generale Physik, 2013, S. 97.

<sup>7</sup> Vgl. [13] SLG, LTAG, LiTG: Handbuch für Beleuchtung, 1975, S. 3.

beziehungsweise schließt. Der Aufbau der Netzhaut wird ebenfalls in Abb. 2.3 dargestellt. Auf der Retina werden die einfallenden Lichtstrahlen durch lichtempfindliche Nervenzellen in für das Gehirn verwertbare Impulse umgewandelt und über den Sehnerv direkt ins Sehzentrum des Gehirns übertragen. Diese Umwandlung erfolgt durch Zäpfchen und Stäbchen. Stäbchen sind äußerst lichtempfindlich und für das Sehen in lichtschwachen Umgebungen wie zum Beispiel in der Nacht oder bei Dämmerung verantwortlich. Ihnen fehlt die Fähigkeit der Farbaufnahme, aus diesem Grund werden bei schlechten Lichtverhältnissen Farben nur sehr schlecht und im Extremfall gar nicht wahrgenommen. Die Zäpfchen sind im Gegensatz zu den Stäbchen farbempfindlich und nehmen Farben wahr. Dieser Effekt der lichtabhängigen Farbwahrnehmung wird als Purkinje-Effekt bezeichnet. Durch diese differenzierte, helligkeitsabhängige Farbwahrnehmung unterscheidet man zwischen dem photopischen Sehen (Tagsehen) und dem skotopisches Sehen (Nachtsehen).<sup>8</sup>

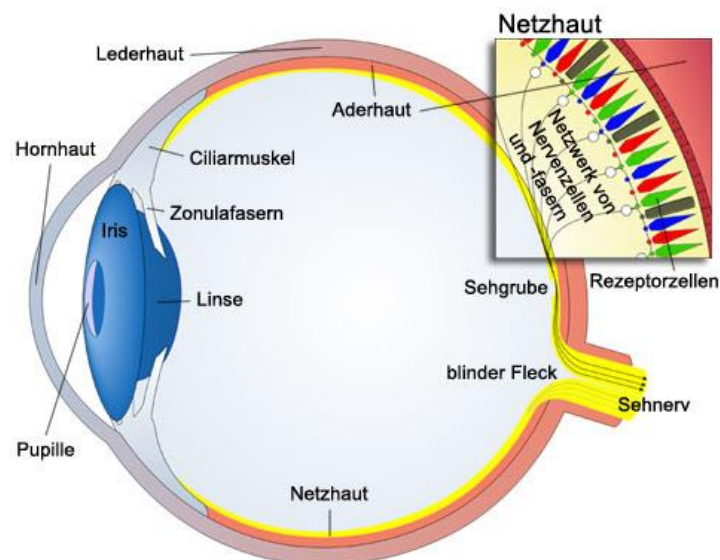


Abb. 2.3: Aufbau des menschlichen Auges<sup>9</sup>

### 2.2.1 Spektrales Helligkeitsempfinden

Das Helligkeitsempfinden hängt nicht nur von der ins Auge eindringenden Strahlungsleistung ab, sondern zu einem wesentlichen Teil auch von der spektralen Zusammensetzung der eintretenden Strahlung. Beispielsweise bewirkt eine Strahlung mit einer Wellenlänge von 555 nm den größten Helligkeitsreiz. In Abb. 2.2 erkennt man, dass bei dieser Wellenlänge die Farbe Grün/Gelb abgebildet wird. Daher erscheint dem normalsehenden Menschen bei Tageslicht diese Wellenlänge bei monochromatischem Licht im Vergleich zu anderen Farben bei gleicher Strahlungsleistung am

<sup>8</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 45. / Vgl. [13] SLG, LTAG, LiTG: Handbuch für Beleuchtung, 1975, S. 25f.

<sup>9</sup> Quelle: <http://www.dma.ufg.ac.at/assets/16457/intern/auge.jpg> (2013-11-09).

intensivsten. Bei der skotopischen Wahrnehmung, also bei Sehsituationen in der Nacht, verschiebt sich durch die verschlechterte Farbwahrnehmung das maximale Helligkeitsempfinden ins bläuliche. Hierbei wird der maximale Helligkeitsreiz bei einer Wellenlänge von 507 nm ausgelöst.<sup>10</sup>

### 2.3 Einheiten

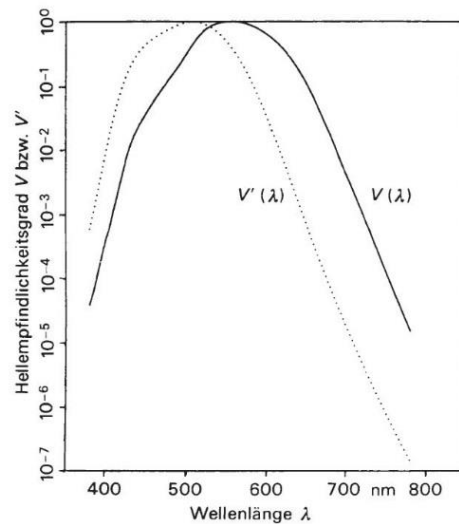
Licht ist eine elektromagnetische Strahlung mit einem bestimmten und begrenzten Frequenzbereich. Will man das gesamte elektromagnetische Spektrum von der  $\gamma$ -Strahlung bis zu den Radiowellen beschreiben, so verwendet man die strahlungsphysikalischen (radiometrischen) Größen. Diese Strahlung ist mit einem für die jeweilige Wellenlänge angepassten Empfangsgerät zu empfangen und folglich mit einem Messinstrument objektiv zu messen. Bleibt der Fokus der Untersuchung und Beschreibung jedoch bei der optischen Strahlung (der Bereich des sichtbaren Lichts sowie ultraviolette Strahlung und Infrarotstrahlung), so bedient man sich den lichttechnischen (photometrischen) Größen. Hierbei ist der Empfänger kein unabhängiges Messgerät, sondern in den meisten Fällen das menschliche Auge, bei dem das Helligkeitsempfinden wesentlich von der Wellenlänge abhängt (siehe Kapitel 2.2.1). Aus diesem Grund sind die photometrischen Größen mit dem Helligkeitsempfindungsgrad  $V(\lambda)$  für das photopische Sehen (Tageslichtsehen) beziehungsweise mit  $V'(\lambda)$  für das skotopische Sehen (Nachtsehen) bewertet (siehe Abb. 2.4). Um die radiometrischen von den photometrischen Größen unterscheiden zu können, wurde für die radiometrischen Größen der Index „e“ für „energetisch“ und für die photometrischen Größen der Index „v“ für visuell eingeführt.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 21f.

<sup>11</sup> Vgl. [9] Hering E., Martin R., Stohrer M.: Physik für Ingenieure, 2007, S. 534 und S. 542.



Abb. 2.4: Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges<sup>12</sup>

Um bei einem Vergleich die Äquivalenz der radiometrischen Größen und der photometrischen Größen erkennen zu können, wurden sie in Tab. 2.1 gegenübergestellt.

| Strahlungsphysikalische Größen |          |                          | Lichttechnische Größen        |          |                       |
|--------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------------|----------|-----------------------|
| Bezeichnung                    | Einheit  |                          | Bezeichnung                   | Einheit  |                       |
| Strahlungsenergie              | $Q_e$    | $W \cdot s$              | Lichtmenge                    | $Q_v$    | $lm \cdot s$          |
| Strahlungsleistung             | $\Phi_e$ | $W$                      | Lichtstrom                    | $\Phi_v$ | $lm$                  |
| Spezifische Ausstrahlung       | $M_e$    | $\frac{W}{m^2}$          | Spezifische Lichtausstrahlung | $M_v$    | $\frac{lm}{m^2}$      |
| Strahlstärke                   | $I_e$    | $\frac{W}{sr}$           | Lichtstärke                   | $I_v$    | $cd = \frac{lm}{sr}$  |
| Strahldichte                   | $L_e$    | $\frac{W}{m^2 \cdot sr}$ | Leuchtdichte                  | $L_v$    | $\frac{cd}{m^2}$      |
| Bestrahlungsstärke             | $E_e$    | $\frac{W}{m^2}$          | Beleuchtungsstärke            | $E_v$    | $lx = \frac{lm}{m^2}$ |
| Bestrahlung                    | $H_e$    | $\frac{W \cdot s}{m^2}$  | Belichtung                    | $H_v$    | $lx \cdot s$          |

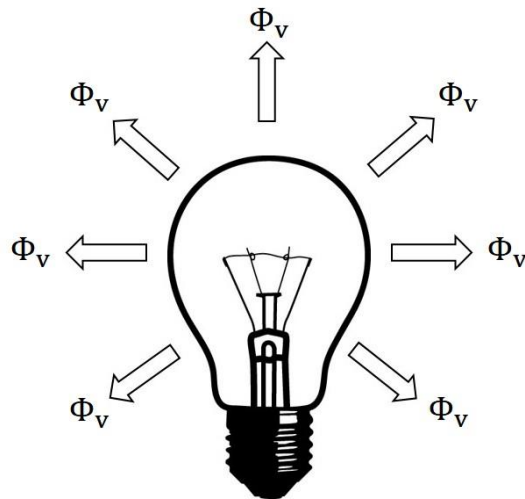
Tab. 2.1: Vergleich der radiometrischen und photometrischen Größen<sup>13</sup>

### 2.3.1 Lichtstrom $\Phi_v$

Der Lichtstrom  $\Phi_v$  ist die von einer Lichtquelle in alle Raumrichtungen ausgesandte Strahlungsleistung mit der Einheit Lumen [lm].

<sup>12</sup> [9] Hering E., Martin R., Stohrer M.: Physik für Ingenieure, 2007, S. 543.

<sup>13</sup> [9] Hering E., Martin R., Stohrer M.: Physik für Ingenieure, 2007, S. 543.

Abb. 2.5: Darstellung Lichtstrom<sup>14</sup>

Durch die spektrale Helligkeitsempfindlichkeit des menschlichen Auges ist die radiometrische Größe  $\Phi_e$  alleine aus Tab. 2.1 für die lichttechnischen Betrachtungen ein Wert mit wenig Aussagekraft. Setzt man diesen jedoch mit den in Abb. 2.4 gezeigten Funktionen  $V(\lambda)$  beziehungsweise  $V'(\lambda)$  und dem Strahlungsäquivalent  $K_m$  in Bezug, kann ein Zusammenhang nach den Gleichungen (2) und (3) hergestellt werden.

$$\Phi_v = K_m \cdot \Phi_e \cdot V(\lambda) \quad (2)$$

$$\Phi'_v = K'_m \cdot \Phi_e \cdot V'(\lambda) \quad (3)$$

Der Strahlungsäquivalent  $K$  stellt das Verhältnis zwischen Lichtstrom und Strahlungsleistung dar und hat die Einheit [lm/W]. Beim photopischen Sehen liegt der Maximalwert bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 555 \text{ nm}$  und beträgt  $K_m = 683 \text{ lm/W}$ , während beim skotopischen Sehen der Wert  $K_m = 1.699 \text{ lm/W}$  annimmt.<sup>15</sup>

### 2.3.2 Lichtmenge $Q$

Unter der Lichtmenge, oder auch häufig Lichtarbeit, wird das Produkt aus dem Lichtstrom und der Zeit verstanden.

$$Q = \Phi_v \cdot t \quad (4)$$

Sollte sich der Lichtstrom während der Zeitdauer  $t$  ändern, so ist die Lichtmenge separat in den jeweiligen Intervallen nach Gleichung (4) zu bilden und im Anschluss sind die Teilsummen aufzusummieren.

<sup>14</sup> Quelle (nur Grafik Glühlampe): <http://www.gewinde-norm.de/bilder/gluehbirne.gif> (2013-11-16).

<sup>15</sup> Vgl. [9] Hering E., Martin R., Stohrer M.: Physik für Ingenieure, 2007, S. 542ff.

Als gebräuchliche Einheit für die Lichtmenge haben sich die

- Lumensekunde (lms)
- Lumenstunde (lmh = 3600 lms)

etabliert. Die Lichtmenge hat vor allem bei der Berechnung der Beleuchtungskosten einen hohen Stellenwert, da hierbei das gesamte vom Leuchtmittel abgegebene Licht während einer beliebig definierten Zeitdauer betrachtet wird. Dabei ist es gänzlich unwesentlich, ob es sich dabei beispielsweise um die gesamte Lebensdauer einer Glühlampe handelt oder die abgegebene Lichtmenge eines Lichtblitzes im Bruchteil einer Sekunde. Ebenfalls spielt der Wert der Lichtmenge bei lichtempfindlichen Materialien (zum Beispiel beim Ausbleichen oder Vergilben) eine wesentliche Rolle.<sup>16</sup>

### 2.3.3 Raumwinkel

Der Raumwinkel  $\Omega$  ist das Verhältnis einer beliebig umgrenzten Fläche auf der Kugeloberfläche zum Quadrat des Kugelradius und wäre nach Gleichung (5) ohne Einheit. Zur raschen Erkennbarkeit wird dem Raumwinkel jedoch die Einheit Steradian (sr) zugewiesen. In weiterer Folge ist mit dem Raumwinkel die Definition der Größe eines kegel- oder auch pyramidenförmigen Volumens aus einer Kugel, wie in Abb. 2.6 gezeigt, möglich.

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (5)$$

Die Kugeloberfläche beträgt  $A = 4\pi \cdot r^2$  und der volle Raumwinkel in weiterer Folge somit:

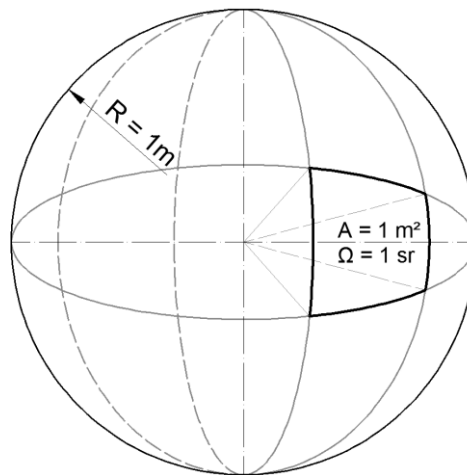
$$\Omega = \frac{A}{r^2} = \frac{4\pi \cdot r^2}{r^2} = 4\pi \text{ sr} = 12,56 \text{ sr} \quad (6)$$

Aufgrund der räumlichen Lichtausbreitung ist der Raumwinkel eine wesentliche Größe der Beleuchtungstechnik.<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> Vgl. [13] SLG, LTAG, LiTG: Handbuch für Beleuchtung, 1975, S. 11.

<sup>17</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 25.

Abb. 2.6: Raumwinkel  $\Omega$ <sup>18</sup>

### 2.3.4 Lichtstärke $I_v$

Die Lichtstärke  $I_v$  besitzt die Einheit Candela [cd] und ist eine der sieben Grundeinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI-System). Sie wurde auf der 16. Generalkonferenz für Maß und Gewicht vom 8. bis 12. Oktober 1979 definiert und ins Maß- und Eichgesetz der Republik Österreich übernommen. Die Definition lautet:

*„Die Candela ist die Lichtstärke einer Strahlungsquelle, welche monochromatische Strahlung der Frequenz  $540 \times 10^{12}$  Hertz in eine bestimmte Richtung aussendet, in der die Strahlstärke  $1/683$  Watt durch Steradian beträgt.“*<sup>19</sup>

Die Lichtstärke ist eine Eigenschaft der Strahlungsquelle und demnach nicht vom Empfänger abhängig. Sie gibt jenen Lichtstrom an, den die Emissionsquelle in eine bestimmte Richtung pro Raumwinkel emittiert. Die Berechnung der Lichtstärke  $I_v$  erfolgt durch die Division des Lichtstromes durch den Raumwinkel wie in Gleichung (7) gezeigt.

$$I_v = \frac{\Phi_v}{\Omega} \quad (7)$$

Es ist zu beachten, dass die Angabe der Lichtstärke in erster Linie für punktförmige Lichtquellen verwendet wird. Bei Lichtquellen mit ausgeprägter räumlicher Ausdehnung ist die Angabe der Lichtstärke nur dann sinnvoll, wenn die Messentfernung größer als die photometrische Grenzentfernung ist.

In der Regel ist die Abstrahlung von Lichtquellen nicht in alle Richtungen des Raumes gleich. Als Beispiel können die Glühbirne in Abb. 2.5 beziehungsweise die Lichtstärkeverteilungskurven in Abb. 2.7

<sup>18</sup> [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 25.

<sup>19</sup> §2 Abs. 1 Z7 Maß- und Eichgesetz 1950, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-11-30).

betrachtet werden. Man stellt fest, dass eine Abstrahlung im Bereich der Lampenfassung nicht möglich ist und der Lichtstrom sich lediglich in alle anderen verbleibenden Raumrichtungen ausbreiten kann. Diese Verteilung der Lichtstärke wird mit der Lichtstärkeverteilungskurve beschrieben. Bei dieser anschaulichen Darstellung der Lichtstärke wird das Leuchtmittel mit einer Bezugsebene geschnitten, bei asymmetrisch strahlenden Leuchtmitteln sind mitunter auch mehrere Schnittebenen notwendig und sinnvoll. In dieser Schnittebene wird die Lichtstärke für jeden Winkel in Polarkoordinaten aufgetragen und verbunden, wobei die senkrechte Achse des Leuchtmittels in der Regel mit 0° bezeichnet wird. Häufig wird die Lichtstärkeverteilungskurve normiert, indem man die Lichtstärke pro 1.000 Lumen (cd/1.000 lm) angibt. Dadurch können Werte verschiedener Leuchten, auch bei unterschiedlicher Lampenbesetzung, leicht verglichen beziehungsweise umgerechnet werden.<sup>20</sup>

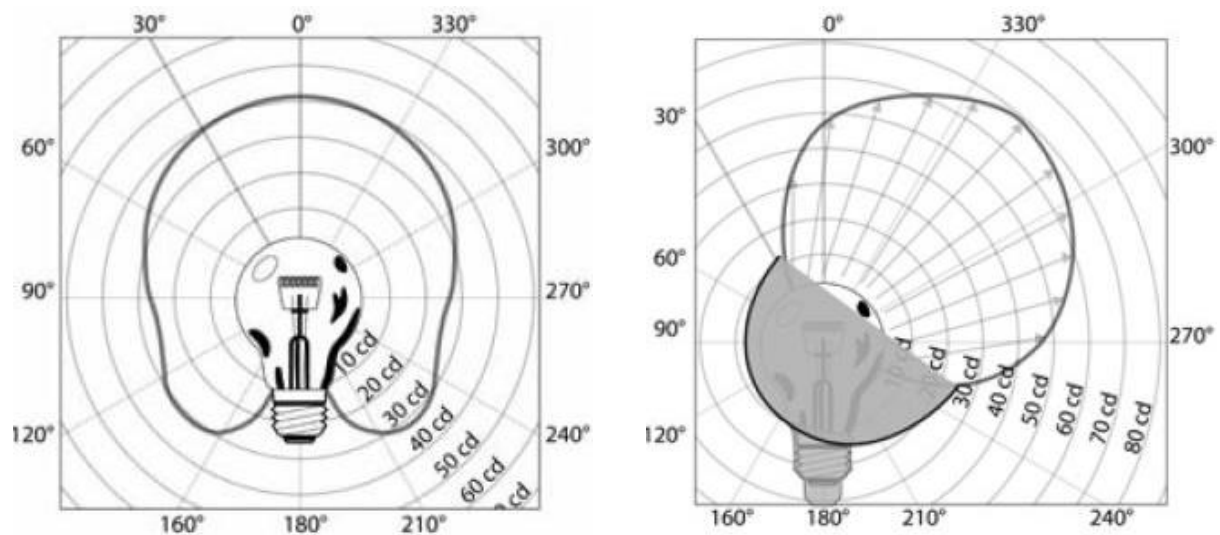


Abb. 2.7: Lichtstärkeverteilungskurve Glühlampe mit/ohne Reflektor<sup>21</sup>

### 2.3.5 Beleuchtungsstärke E

Die Beleuchtungsstärke E wird in Lux (lx) angegeben und gibt das Verhältnis des Lichtstromes pro betrachteter Flächeneinheit wieder. Die Berechnung erfolgt durch

$$E = \frac{\Phi_v}{A} \quad (8)$$

wobei 1 lm pro Quadratmeter die Beleuchtungsstärke E = 1 lx ergibt und mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt. In weiterer Folge sind einige Beispiele für verschiedene Beleuchtungsstärken angeführt:

<sup>20</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 26f und S. 32f.

<sup>21</sup> Quelle: <http://ron.mur.at/WS/Lichttechnische%20Groe%DFen.pdf> (2014-01-31).

| <i>Beleuchtung</i>                             | <i>Beleuchtungsstärke</i>    |
|--|------------------------------|
| <i>Sonne, Sommer</i>                           | <i>70.000 lx</i>             |
| <i>Sonne, Winter</i>                           | <i>5.500 lx</i>              |
| <i>Tageslicht, bedeckter Himmel</i>            | <i>1.000 lx bis 2.000 lx</i> |
| <i>Vollmond</i>                                | <i>0,25 lx</i>               |
| <i>Sterne ohne Mond, klare Nacht</i>           | <i>10<sup>-3</sup> lx</i>    |
| <i>Grenze der Farbwahrnehmung</i>              | <i>3 lx</i>                  |
| <i>Arbeitsplatzbeleuchtung, hohe Ansprüche</i> | <i>1.000 lx</i>              |
| <i>Wohnzimmerbeleuchtung</i>                   | <i>120 lx</i>                |
| <i>Straßenbeleuchtung</i>                      | <i>1 lx bis 16 lx</i>        |

Tab. 2.2: Übersicht Beleuchtungsstärken<sup>22</sup>

Trifft der Lichtstrom nicht senkrecht auf die zu betrachtende Fläche, so muss der Neigungswinkel der Strahlung berücksichtigt und mittels Winkelfunktion umgerechnet werden.

Häufig wird als Anforderungskriterium der mittlere Wert  $\bar{E}_m$  angegeben. Dieser Wert berücksichtigt die Reduktion der Beleuchtungsstärke von Beleuchtungsanlagen im Laufe der Zeit. Dabei wird sowohl die Reduktion des Lichtstroms berücksichtigt, als auch der Lichtstromrückgang des Leuchtmittels aufgrund von Verschmutzung. Daher ist die tatsächliche Beleuchtungsstärke von neu installierten Beleuchtungskomponenten oftmals deutlich höher als der Wert  $\bar{E}_m$ .<sup>23</sup>

### 2.3.6 Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke

Unter der Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke versteht man jenes Verhältnis, welches die minimale Beleuchtungsstärke  $E_{\min}$  zur mittleren Beleuchtungsstärke  $E_m$  bildet. Es kann auch das Verhältnis der minimalen zur mittleren Leuchtdichte gebildet werden. Dieses Verhältnis darf nach EN 12464-2 nicht kleiner als 0,10 sein, um eine gleichmäßige Beleuchtungsstärke zu erhalten:<sup>24</sup>

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_m} = \frac{L_{\min}}{L_m} \geq 0,10 \quad (9)$$

### 2.3.7 Leuchtdichte L

Mit der Leuchtdichte  $L$  [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] wird der Helligkeitseindruck des menschlichen Auges von einer selbstleuchtenden oder einer beleuchteten Fläche bewertet. Der Helligkeitseindruck einer Fläche kann durch Reflexion, Transmission und/oder Emission der Fläche entstehen. Die Leuchtdichte ist die einzige lichttechnische Größe, die vom menschlichen Auge wahrgenommen werden kann und steht im

<sup>22</sup> [9] Hering E., Martin R., Stohrer M.: Physik für Ingenieure, 2007, S. 544.

<sup>23</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 27f und S. 216f.

<sup>24</sup> Vgl. [23] ÖNORM EN 12464-2, S. 6 und S. 10.

Zusammenhang mit der Blendung des Beobachters, wobei sie aber unabhängig von der Entfernung des Beobachters ist. Die Berechnung der Leuchtdichte erfolgt durch die Division der Leuchtdichte mit der zu bewertenden Fläche:

$$L = \frac{I_v}{A} \quad (10)$$

Diese Beziehung ist für senkrecht auf die zu bewertende Fläche treffende Strahlung zutreffend. Ist der Winkel der auftreffenden Strahlung ungleich 90°, so muss dieser mittels Winkelfunktionen umgerechnet werden.<sup>25</sup>

Beispielsweise können folgende Leuchtdichten angeführt werden:

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| <i>Natürliche Lichtquellen</i>    |   |
| <i>Sonne am Mittag</i>            | $1,6 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$                           |
| <i>Mittlerer klarer Himmel</i>    | $8.000 \text{ cd/m}^2$                                    |
| <i>Mittlerer bedeckter Himmel</i> | $2.000 \text{ cd/m}^2$                                    |
| <i>Nachthimmel bei Vollmond</i>   | $0,1 \text{ cd/m}^2$                                      |
| <i>Sternenklarer Nachthimmel</i>  | $0,001 \text{ cd/m}^2$                                    |
| <i>Bewölkter Nachthimmel</i>      | $1 \text{ bis } 100 \mu\text{cd/m}^2$                     |
| <i>Technische Strahler</i>        |   |
| <i>Matte Glühbirne (60 W)</i>     | $120 \cdot 10^3 \text{ cd/m}^2$                           |
| <i>Natriumdampflampe</i>          | $5 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$                             |
| <i>Draht einer Halogenlampe</i>   | $20 \cdot 10^6 \text{ bis } 30 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ |
| <i>Weißer LED</i>                 | $50 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$                            |

Tab. 2.3: Beispiele für Leuchtdichte<sup>26</sup>

### 2.3.8 Lichtausbeute

Die Lichtausbeute kann als Wirkungsgrad von Leuchtmitteln bezeichnet werden. Sie wird mit der Division des Lichtstroms  $\Phi_v$  durch die zugeführte elektrische Leistung in Watt berechnet und hat demnach als Ergebnis Lumen pro Watt (lm/W). Die theoretische maximale Lichtausbeute liegt bei 673 lm/W, wenn die gesamte elektrische Leistung in monochromatische Strahlung der Wellenlänge 555 nm umgesetzt werden würde. Für die Bewertung der Lichtausbeute kann entweder die Leistungsaufnahme der Lampe alleine, oder im Gegensatz dazu, was vor allem bei Lampen mit

<sup>25</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 31f.

<sup>26</sup> Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdichte> (2013-11-30).

Gasentladung einen wesentlichen Faktor darstellt, die aufgenommene Leistung des Gesamtsystems in Rechnung gestellt werden.<sup>27</sup>

Beim aktuellen Stand der Technik können mit den verschiedenen Leuchtmitteltypen größenordnungsmäßig folgende Werte erreicht werden:

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| Glühlampen                       | 7-17 lm/W    |
| Halogenglühlampen                | 10-25 lm/W   |
| Leuchtstofflampen                | 70-115 lm/W  |
| Quecksilberdampf-Hochdrucklampen | 40-60 lm/W   |
| Natriumdampf-Hochdrucklampen     | 70-130 lm/W  |
| Natriumdampf-Niederdrucklampen   | 100-200 lm/W |
| Halogen-Metallampfen             | 85-135 lm/W  |
| LED                              | 30-160 lm/W  |

### 2.3.9 Farbtemperatur $T_F$

Die Farbtemperatur ist ein Maß für die objektive Bestimmung der Lichtfarbe eines Leuchtkörpers. Als Referenzobjekt wird der schwarze Körper verwendet, der in idealisierter Form alles auf ihn treffende Licht schluckt und dessen Reflexionsstrahlung somit mit Null betrachtet werden kann. Dieser Körper wird langsam erhitzt und nimmt dabei bei bestimmten Temperaturen objektiv messbare Farben an. Die Farbabstufung beginnt mit einem dunklen Rot und wechselt mit stetig steigender Temperatur von Rot über Orange ins Gelb, weiter ins Weiß bis hin zu einem hellblauen Farbton. Damit ist der Zusammenhang zwischen Temperatur und Farbe geschlossen und jeder Farbe lässt sich eindeutig eine Temperatur in der SI-Einheit Kelvin zuordnen. Mit dem Wert der Farbtemperatur wird nur das Licht selbst beschrieben. Die Farbtemperatur steht in keinem Zusammenhang zur Farbwiedergabe.<sup>28</sup>

Als Überblick können folgende Farbtemperaturen den jeweils unterschiedlichen Leuchtmitteln zugeordnet werden:

---

<sup>27</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 36.

<sup>28</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 37f.



| <i>Leuchtmittel</i>                     | <i>Farbtemperatur</i>      |
|---|----------------------------|
| <i>Glühlampen</i>                       | <i>2.800 K</i>             |
| <i>Halogenglühlampen</i>                | <i>3.100 K bis 3.400 K</i> |
| <i>Leuchtstofflampen</i>                | <i>2.800 K bis 8.000 K</i> |
| <i>Quecksilberdampf-Hochdrucklampen</i> | <i>2.900 K bis 4.200 K</i> |
| <i>Natriumdampf-Hochdrucklampen</i>     | <i>2.000 K bis 2.200 K</i> |
| <i>Halogen-Metalllampen</i>             | <i>3.000 K bis 6.000 K</i> |
| <i>Natriumdampf-Niederdrucklampen</i>   | <i>2.000 K</i>             |
| <i>Tageslicht</i>                       | <i>circa 6.500 K</i>       |
| <i>Blauer Himmel</i>                    | <i>20.000 K</i>            |

Tab. 2.4: Farbtemperaturen der Leuchtmittel<sup>29</sup>

Die normgemäße Einteilung der Farbtemperaturen erfolgt nach ÖNORM EN 12646:

| <i>Lichtfarbe</i>     | <i>Abkürzung</i> | <i>Ähnlichste Farbtemperatur</i> |
|-----------------------|------------------|----------------------------------|
| <i>Tageslichtweiß</i> | <i>tw</i>        | <i>&gt; 5.300 K</i>              |
| <i>Neutralweiß</i>    | <i>nw</i>        | <i>3.300 K bis 5.300 K</i>       |
| <i>Warmweiß</i>       | <i>ww</i>        | <i>&lt; 3.300 K</i>              |

Tab. 2.5: Lichtfarbengruppen von Lampen<sup>30</sup>

### 2.3.10 Farbwiedergabeindex $R_a$

Mit dem Farbwiedergabeindex ist ein Bewertungssystem für die Farbwiedergabeeigenschaften der verschiedenen Lampentypen geschaffen worden. Als maßgebende Eigenschaft ist die spektrale Abstrahlung der Lampe zu nennen. Wenn man die Spektren der verschiedenen Leuchtmittel miteinander vergleicht, wird man leicht erkennen, dass sich hierbei wesentliche Unterschiede einstellen. Der beste beziehungsweise natürlichste Farbeindruck wird vom menschlichen Auge dann empfunden, wenn das gesamte Spektrum des Lichtes vorhanden ist. Der maximale Wert der Farbwiedergabe wird mit dem Wert  $R_a = 100$  einheitenlos definiert und somit gleichzeitig als natürlichste Farbwiedergabe festgelegt. Dieser Wert  $R_a = 100$  ergibt sich dann, wenn die Lampe nicht von der Bezugslichtquelle abweicht. Als Bezugslichtquelle wird bis zu einer Farbtemperatur von 5.000 K ein schwarzer Körper verwendet. Darüber bedient man sich des natürlichen Tageslichtes bei unterschiedlichen Farbtemperaturen. Die Lampen mit der besten Farbwiedergabe sind Temperaturstrahler gefolgt von Leuchtstofflampen.

<sup>29</sup> [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 37.

<sup>30</sup> [22] ÖNORM EN 12464-1, S. 17.

Die schlechteste Farbwiedergabe besitzen Natriumdampf-Lampen. Wobei bei Natriumdampf-Hochdrucklampen bessere Werte bezüglich der Farbwiedergabe möglich sind als bei Natriumdampf-Niederdrucklampen.<sup>31</sup>

Es ist zu beachten, dass aufgrund der in der Normenreihe EN 12464 „Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten“ sowohl im Teil 1 „Arbeitsstätten in Innenräumen“, als auch in Teil 2 „Arbeitsplätze im Freien“ festgelegten Bestimmungen zum Zwecke der Erkennbarkeit von Sicherheitsfarben ein Farbwiedergabeindex von  $R_a \leq 20$  nicht zulässig ist. In der ÖNORM EN 12464-2 ist diese Forderung auf Seite 14 explizit angeführt, während in der ÖNORM EN 12464-1 der kleinste Wert in den Tabellen 5.1 bis 5.1 mit  $R_a = 20$  angegeben ist.

### 2.3.11 Blendung

Die Blendung ist ein wesentliches Thema bei der Anordnung von Beleuchtungskörpern. Sie kann durch helle Flächen im Gesichtsfeld wie beleuchtete Oberflächen, Teile von Leuchten, Fenster und/oder Dachoberlichter hervorgerufen werden. Es wird zwischen psychologischer Blendung und physiologische Blendung unterschieden. Bei Arbeitsstätten in Innenräumen ist in der Regel die physiologische Blendung kein wesentliches Thema, solange die Grenzen für psychologische Blendung eingehalten werden. Blendungen durch Reflexionen auf spiegelnden Oberflächen werden Reflex- oder Schleierreflexionen genannt. Diese verändern zumeist die Sichtbarkeit der Sehaufgabe nachteilig. Abhilfe kann durch folgende Maßnahmen geschaffen werden:

- geeignete Anordnung der Leuchten und Arbeitsstätten/Arbeitsplätze,
- Oberflächengestaltung (z. B. matte Oberflächen),
- Leuchtdichtebegrenzung der Leuchten,
- Vergrößerung der leuchtenden Fläche der Leuchte.<sup>32</sup>

Psychologische Blendung wird als unangenehm oder ablenkend empfunden. Dabei wird oftmals nur unbewusst die Informationsaufnahme beeinträchtigt, ohne die Detailwahrnehmung merklich zu behindern. Im Gegensatz dazu wird bei der psychologischen Form der Blendung die Wahrnehmung von visuellen Informationen technisch messbar reduziert.<sup>33</sup>

---

<sup>31</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 38f.

<sup>32</sup> Vgl. [22] ÖNORM EN 12464-1, S. 14f. / Vgl. [23] ÖNORM EN 12464-2, S. 10f.

<sup>33</sup> Vgl. Quelle: <http://www.schorsch.com/de/wissen/glossar/blendung.html> (2014-01-07).

Die Blendung, die unmittelbar durch Leuchten einer Beleuchtungsanlage im Freien erzeugt wird, ist nach der CIE Blendungswert (GR) - Methode zu bestimmen, welche mit Gleichung (2) der ÖNORM EN 12464-2 beschrieben wird:

$$GR = 27 + 24 \log_{10} \left( \frac{L_{v1}}{L_{ve}^{0,9}} \right) \quad (11)$$

„ $L_{v1}$  die gesamte Schleierleuchtdichte in  $cd/m^2$

$L_{ve}$  die äquivalente Schleierleuchtdichte des Umfeldes in  $cd/m^2$

Die äquivalente Schleierleuchtdichte  $L_{ve}$  lässt sich berechnen mit

$$L_{ve} = 0,035 \cdot \rho \cdot E_{hav} \cdot \pi^{-1}$$

Dabei ist  $\rho$  der Reflexionsgrad der betrachteten Fläche, und  $E_{hav}$  ist die mittlere Beleuchtungsstärke am betrachteten Punkt.<sup>34</sup>

### 2.4 Einfluss von Licht auf den Menschen

Der menschliche Organismus ist seit Beginn der menschlichen Evolution direkt an das Sonnenlicht angepasst und hat sich damit in eine direkte Abhängigkeit von Licht begeben. Ein Vergleich mit Pflanzen ist hier durchaus zulässig, da auch Menschen ohne Licht nicht lebensfähig sind. Neben äußerlich sichtbaren Erscheinungen, die durch den Einfluss von Licht entstehen, werden viele im Körper ablaufende Prozesse (Hormonhaushalt, Zellprozesse) von Licht beeinflusst beziehungsweise mit der Umgebungshelligkeit über die Augen wahrgenommen und damit in direktem Zusammenhang gesteuert.

Die äußerlich sichtbaren Erscheinungen fallen vor allem in den Sommermonaten durch die natürliche, solare ultraviolette Strahlung auf. Diese solare ultraviolette Strahlung ist abhängig vom Sonnenstand am Himmel und demnach in mitteleuropäischen Breitengraden in den Monaten von Ende April bis Mitte August am höchsten. Das theoretische Maximum ist daher am 21. Juni, dem Sonnenhöchststand anzutreffen, wobei bei solarer ultravioletter Strahlung der Bewölkungsgrad eine wesentliche Rolle spielt. Im Arbeitsprozess auf Baustellen sind als gebräuchlichste künstliche Emittoren von ultravioletter Strahlung verschiedene Schweißverfahren, vor allem das Lichtbogenschweißverfahren, zu nennen. Bei manuell ausgeführten Schweißarbeiten ist das Tragen von Schutzkleidung und vor allem eines Augenschutzes in Form eines Schutzeschirmes, der das gesamte Gesichtsfeld vor ultravioletter Strahlung, aber auch vor flüssigen, heißen Metallspritzern schützt, unerlässlich. Die ultraviolette

---

<sup>34</sup> [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 57.

Strahlung hat in erster Linie Auswirkungen auf jene Bereiche des menschlichen Körpers, die ihr direkt ausgesetzt sind, nämlich Haut und Augen. Dabei wird zwischen kurzfristigen und langfristigen Schäden durch ultraviolette Strahlung unterschieden. Als Grundsatz für die mögliche Schädigung durch ultraviolette Strahlung kann eine direkte Beziehung zwischen Dosis und Bestrahlungsdauer sowie der möglichen Schädigung hergestellt werden. Das bedeutet, die schädlichen Folgewirkungen auf den menschlichen Organismus sind umso größer, je höher die Dosis und Dauer der einwirkenden Strahlung ist. Die Folgen durch übermäßige von ultraviolette Strahlungseinwirkung auf die menschlichen Augen zeigen sich durch kurzfristige, akute Schädigungen, vor allem in Form von Hornhaut- oder Bindehautentzündungen. Diese Form wird im Volksmund auch häufig „Schneeblindheit“ genannt und kann beispielsweise durch nichtverwendete Schutzausrüstung bei Schweiß Tätigkeiten hervorgerufen werden. Diese Form der Augenschädigung ist für den Betroffenen zwar äußerst unangenehm, bleibt jedoch in der Regel ohne langfristige Schädigung. Eine Regeneration und damit verbunden die Heilung der Hornhaut ist in den meisten Fällen innerhalb von 48 Stunden abgeschlossen. Als Resultat häufiger ultravioletter Strahlungseinwirkung auf die Augen, kann als chronische Schädigung eine Trübung der Linse festgestellt werden (grauer Star). Diese Form der Augenerkrankung ist lediglich durch eine Operation behandelbar. Dabei wird die getrübte Linse operativ durch eine künstliche Linse ersetzt und somit die Sehfähigkeit wiederhergestellt. Als Reaktion der Haut auf ultraviolette Strahlungsexposition wird in erster Linie die Hautrötung (Sonnenbrand) beobachtet. Diese Hautrötung, hervorgerufen durch das Anschwellen der feinen Blutgefäße in der Haut, erscheint kurzfristig (wenige Stunden) nach der Strahlungseinwirkung und erreicht nach circa 16 bis 24 Stunden das Maximum. Bei sehr langer und intensiver Einwirkung von ultravioletter Strahlung auf die Haut kann es zu Blasenbildungen, Abschälen der Haut, Entzündungen sowie Übelkeit und Fieber (Sonnenstich) kommen. Durch die mögliche massive und großflächige Beeinträchtigung der Hautoberfläche wird die Immunabwehr des Körpers deutlich geschwächt, wodurch die zusätzliche Infektion durch viral oder bakteriell induzierte Krankheiten erleichtert wird. Die Abheilungsdauer von Hautrötungen aufgrund von ultravioletter Strahlung beträgt meist, je nach Schwere der Schädigung, zwischen zwei und drei Tag. Der natürliche Schutzmechanismus des menschlichen Organismus gegen Sonnenbrand ist die Pigmentierung (Bräunung) der Haut. Bei diesem Prozess wird durch den Eintrag von ultravioletter Strahlung in die Hautschichten die Melaninbildung in der Haut angeregt, was zu einer Bräunung führt. Gleichzeitig verdickt sich mit dem Melanineintrag in die Haut die sogenannte Hornhaut, wodurch ein geringes Schutzniveau gegen ultraviolette Strahlung aufgebaut wird. Jeder Sonnenbrand schädigt die Erbinformationen (DNA) der Hautzellen und damit in direkter Folge die Reparaturfähigkeit der Zellen. Bei zu starker Schädigung der Reparaturfähigkeit der Haut ist die Ausbildung eines Melanoms (Hautkrebs) möglich. Damit ist jede kurzfristige Schädigung der Haut eine potentielle Ausgangsschädigung für eine langfristige, mitunter auch lebensbedrohende irreparable Schädigung

des gesamten Körpers. Als langfristige Hautschädigung aufgrund von ultravioletter Strahlung kann auch die vorzeitige Hautalterung genannt werden. Diese Form der Hautbeeinträchtigung zeichnet sich durch die deutliche Faltenbildung und Verhornung der Hautoberfläche bereits in jungen Lebensjahren des betroffenen Menschen aus. Die Haut zeigt sich trocken und unelastisch, wodurch die Bildung von Falten und Hautfurchen begünstigt wird.<sup>35</sup>

Ultraviolette Strahlung hat aber nicht nur negative Auswirkungen auf den menschlichen Organismus, sondern ist zu einem gewissen Grad auch lebensnotwendig. Durch die ultraviolette Strahlung wird die Produktion von Vitamin D zu angeregt, welches eine wesentliche Rolle in der Bildung des Knochenaufbaus spielt. Neben der Auswirkung auf die Knochenbildungsfähigkeit hat die Umgebungshelligkeit unmittelbaren Einfluss auf die Vigilanz, die Konzentrationsfähigkeit und auch die gesamte Psyche des Menschen. Das an die örtlichen Gegebenheiten beziehungsweise an die örtlichen Anforderungen angepasste Lichtdesign kann das Wohlbefinden durch die Verwendung von warmweißen Lichtfarben fördern. Diese psychischen Auswirkungen hängen häufig von der speziellen Färbung des Lichtes ab, wobei diese möglicherweise auch als kulturelle Gewohnheiten gesehen werden können.<sup>36</sup>

Im Büroalltag kann hingegen durch die Verwendung von Licht mit hohem Blauanteil ein deutlich positiver Effekt nachgewiesen werden. Dabei ist die Steigerung der Konzentrationsfähigkeit bei der Verwendung von bläulichem Licht nachweisbar, während Augen- und Kopfschmerzen verringert werden können. Zusätzlich wird über eine verbesserte Nachtruhe, sowie ein geringeres Müdigkeitsgefühl nach Beendigung der Arbeit berichtet.<sup>37</sup>

Ein weiterer möglicher Weg, um die Konzentrationsfähigkeit der Mitarbeiter am Arbeitsplatz zu erhöhen oder eine Stimulation durch Licht zu erreichen, ist der Einsatz von dynamischem Lichtwechsel am Arbeitsplatz. Diese Form ist selbstverständlich nur bei ortsfesten Anlagen, hierbei vor allem in Innenräumen oder auch in Produktionsanlagen möglich. Damit kann eine Stimulation und in weiterer Folge eine gesteigerte Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmer erreicht werden. Diese Form der dynamischen Lichtwechsel kann mithilfe von Tageslichtsensoren gestaltet werden, sodass sich die Beleuchtung im Innenraum an das draußen vorherrschende Tageslicht automatisch anpasst. Eine weitere, häufig verwendete Möglichkeit ist die Koppelung der Beschattungsanlagen mit einem Lichtsensor im Innenraum, um das bevorzugte Beleuchtungsniveau zu schaffen. Neben diesen die Konzentration und das Wohlbefinden steigernden Lichteigenschaften besitzt das Licht noch weitere für den menschlichen Körper und Geist wesentliche Funktionen. Durch die evolutionäre Anpassung

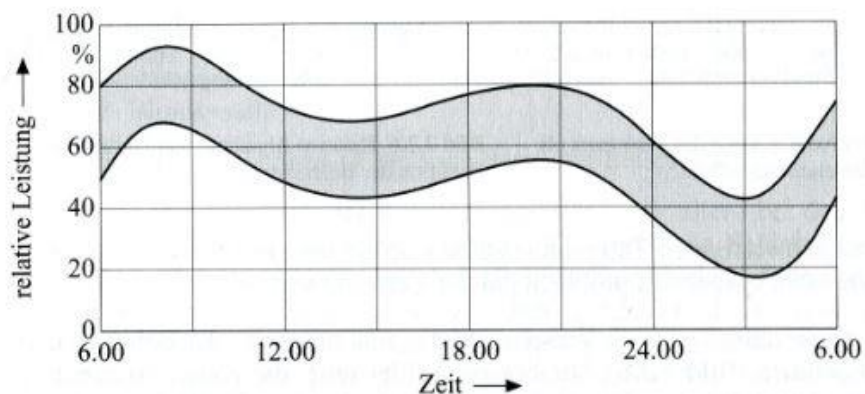
---

<sup>35</sup> Vgl. [10] Hrsg.: AUVA, Weber, M.: UV-Strahlung im Freien, 2008, S. 7ff.

<sup>36</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 49ff.

<sup>37</sup> Vgl. Quelle: <http://www.welt.de/gesundheit/article2713265/Blaues-Licht-steigert-die-Konzentration.html> (2014-01-03).

des menschlichen Organismus an den natürlichen Lauf der Sonne ist der Tag/Nacht-Rhythmus für den Körper wesentliche. Im Lauf der Evolution wurde dieser Tag/Nachtwechsel als Zeitgeber in unser Unbewusstsein übernommen und wird daher häufig als innere Uhr des Menschen bezeichnet. Diese innere Uhr ist verantwortlich für die allgemeine Stimmung und das Schlafbedürfnis und steht damit in direktem Zusammenhang mit der menschlichen Leistungsfähigkeit. Die Grundlagen für die innere Uhr sind lichtabhängige Hormone, die je nach Helligkeit im Körper gebildet werden. So wird zum Beispiel der Cortisol-Spiegel am Morgen durch das Tageslicht angehoben und im Gegenzug der Melatonin-Spiegel im Blutkreislauf gesenkt. Durch diesen Anstieg stellt sich der Körper auf die bevorstehenden Tagesaktivitäten ein. Im direkten Gegensatz dazu sinkt bei dunkler werdenden Tageslichtverhältnissen am Abend der Cortisol-Spiegel im Blut während der Melatonin-Spiegel ansteigt. Dadurch sinkt die Aufmerksamkeitsfähigkeit und der Körper wird auf die Nachtruhe vorbereitet.<sup>38</sup>



**Abb. 2.8: Relative Leistungsfähigkeit (Munterkeit) während 24 Stunden<sup>39</sup>**

Diesen Rhythmus nennt man auch zirkadianer Rhythmus. Dieser Rhythmus kann vor allem durch Nacharbeit durcheinandergebracht werden, was sich ähnlich wie eine Flugreise über mehrere Zeitzonen auswirkt. Durch häufige Verschiebungen dieses zirkadianen Rhythmus kann vor allem bei Schichtarbeitern das sogenannte Schichtarbeitersyndrom beobachtet werden. Dabei fehlen die natürlichen effektiven Zeitgeber, welche dem Körper den natürlichen Tagesrhythmus anzeigen.<sup>40</sup> Diese Auswirkungen können durch ein spezielles Lichtdesign beziehungsweise durch abgestimmte phasenverschiebende Lichteffekte abgemindert werden. Dieser Effekt kann in Lichttherapien, häufig zur Behandlung von allgemeinen Depressionen, aber auch gegen saisonbedingte Depressionen (Herbst- oder Winterdepressionen) eingesetzt werden. Dabei werden die betroffenen Menschen einer sehr hohen künstlichen Beleuchtungsstärke (von 2.500 bis 10.000 Lux) ausgesetzt, wodurch versucht wird den natürlichen solaren Lichteffect (ca. 10.000 Lux an einem bedeckten Sommertag)

---

<sup>38</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 53ff.

<sup>39</sup> [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 54.

<sup>40</sup> Vgl. [16] Kunz D.: Melatonin taktet die innere Uhr neu, 2012, S. 39f.

nachzuzahlen, um die Auswirkungen auf den Hormonhaushalt und damit das allgemeine Wohlbefinden positiv zu beeinflussen. Da durch diese Hormonverteilung im Blut die Vigilanz gesteuert wird, steht damit auch die mögliche Arbeitsleistung eines Arbeitnehmers im direkten Zusammenhang mit der Beleuchtungsqualität am Arbeitsplatz. Diese Beleuchtungsqualität hängt in erster Linie mit der Reflexion des Sehobjekts (der Arbeitsplatz beziehungsweise das Objekt, auf welches der Fokus direkt gerichtet ist), mit der Reflexion der Umgebung (Wände, Raumausstattung, Umgebung und dergleichen) und mit der direkten Lichtquelle (zum Beispiel Fenster oder auch Lampe) zusammen. Um ein optimales Ergebnis erhalten zu können, ist eine möglichst ausgewogene Abstimmung dieser drei Komponenten notwendig. Die Abstimmung dieser Faktoren ist selbstverständlich nicht nur für die Steigerung der Produktivität notwendig, sondern in erster Linie, um die Sicherheit am Arbeitsplatz durch eine ausgewogene Beleuchtungssituation zu gewährleisten. Dabei können vor allem potentielle Gefahrensituationen besser und frühzeitiger erkannt werden. Zusätzlich wird der Aufmerksamkeitsgrad der Mitarbeiter durch die gute Beleuchtungssituation erhöht. Damit sinkt zum einen durch die erhöhte Aufmerksamkeit der Arbeitnehmer die Gefahr von Unfällen am Arbeitsplatz, zum anderen steigt auch die Produktionsleistung beziehungsweise die Effizienz durch eine Verringerung der Fehlerquote bei guten Lichtverhältnissen. Sicherlich ist die Gestaltung der Beleuchtung am Arbeitsplatz stark von der vom Arbeitnehmer auszuführenden Tätigkeit abhängig. Dabei kann auf Baustellen zwischen stark sehabhängigen Tätigkeiten (zum Beispiel Vermessungsarbeiten, Einzeichnung von Waagrissen und ähnliches), wenig sehabhängigen Tätigkeiten (zum Beispiel das Ausschalen von Stahlbetonbauteilen, Betonieren und dergleichen) und sehabhängigen Tätigkeiten, wobei diese auf Baustellen sehr selten vorkommen, unterschieden werden.<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 50ff.

## 3 Gesetzliche Rahmenbedingungen

### 3.1 ArbeitnehmerInnenschutz

Die Beleuchtung von Arbeitsstätten, in der vorliegenden Arbeit von Baustellen, spielt im ArbeitnehmerInnenschutz eine tragende Rolle, um die Sicherheit von ArbeitnehmerInnen in allen Situationen und zu jeder Tageszeit gewährleisten zu können. Die für den ArbeitnehmerInnenschutz zuständige behördliche Instanz sind die Arbeitsinspektorate, die im „Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz“ angesiedelt sind. Die Aufgaben des Arbeitsinspektorates sind im Arbeitsinspektionsgesetz (ArbIG) geregelt. Der Geltungsbereich wird in §1 des ArbIG definiert und *„erstreckt sich auf Betriebs- und Arbeitsstätten aller Art“*<sup>42</sup>, mit Ausnahme der an diesem Punkt des Gesetzes deziidiert angeführten Beispiele. Die Aufgaben der Arbeitsinspektionen werden in §3 des ArbIG definiert. Der Aufgabenbereich der Arbeitsinspektionen umfasst sowohl die Kontrolle der einzuhaltenden Grenzwerte und Richtlinien, als auch die Beratung der ArbeitgeberInnen und dadurch die Verbesserung von bereits vorhandenen Konzepten und Lösungen.

Im ArbeitnehmerInnenschutz wird zwischen folgenden Beleuchtungssituationen unterschieden:

- natürliche und künstliche Arbeitsbeleuchtung

Diese Beleuchtung ist jene Beleuchtung für ArbeitnehmerInnen, bei der die täglichen und regelmäßigen Arbeiten sicher und ohne Gefährdung für sich und/oder andere durchgeführt werden können. Die Möglichkeiten zur Beleuchtung der Arbeitsplätze für ArbeitnehmerInnen sind vielfältig und können sowohl mit künstlichen Leuchtmitteln, als auch mit natürlicher Arbeitsplatzbeleuchtung (sofern diese ausreichend ist) ausgeführt werden.

- Notbeleuchtung

Der Begriff Notbeleuchtung ist ein Überbegriff und kann in Sicherheitsbeleuchtung und Ersatzbeleuchtung unterschieden werden. Die Sicherheitsbeleuchtung hat im Fall des Ausfalls der allgemeinen Stromversorgung ein gefahrloses Verlassen des betroffenen Bereiches beziehungsweise die Beendigung potentiell gefährlicher Arbeiten zu ermöglichen, während die Ersatzbeleuchtung dafür vorgesehen ist, um Arbeiten im Wesentlichen ohne Einschränkung fortführen zu können.<sup>43</sup>

---

<sup>42</sup> §1 Abs. 1 Arbeitsinspektionsgesetztes, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-25).

<sup>43</sup> Vgl. [24] ÖNORM EN 1838, S.4ff.



- Warnbeleuchtung

Als Warnbeleuchtung wird jene Beleuchtung verstanden, die die Aufgabe hat, die Schutz-, Signal- und Warnwirkung für dritte und/oder betriebsfremde Personen mithilfe ihrer Warnfunktion zur Gefahrenvermeidung zu erfüllen. Als Beispiel kann hier die in der Nacht blinkende Warnbeleuchtung bei Baufeldabgrenzungen genannt werden.

#### 3.1.1 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz

Als Basis für den ArbeitnehmerInnenschutz ist in erster Linie das ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG) zu nennen. Die Bestimmungen beziehungsweise Vorgaben sind folglich dem Gesetzescharakter allgemein formuliert und werden in den entsprechenden Verordnungen (zum Beispiel in der Bauarbeiterschutzverordnung) und in weiterführenden Normen und Richtlinien näher erläutert und präzisiert. Nach §1 des ASchG gilt dieses Gesetz für die Beschäftigung von ArbeitnehmerInnen, ausgenommen der im Gesetzestext angeführten Ausnahmen. Die Ortsdefinition für Arbeitsstätten und Baustellen wird im ASchG angegeben:

*„Baustellen im Sinne dieses Bundesgesetzes sind zeitlich begrenzte oder ortsveränderliche Baustellen, an denen Hoch- und Tiefbauarbeiten durchgeführt werden. Dazu zählen insbesondere folgende Arbeiten: Aushub, Erdarbeiten, Bauarbeiten im engeren Sinne, [...]. Auswärtige Arbeitsstellen im Sinne dieses Bundesgesetzes sind alle Orte außerhalb von Arbeitsstätten, an denen andere Arbeiten als Bauarbeiten durchgeführt werden insbesondere auch die Stellen in Verkehrsmitteln, auf denen Arbeiten ausgeführt werden.“<sup>44</sup>*

Die Definition des Arbeitsplatzes wird ebenso im ASchG festgelegt:

*„Arbeitsplatz im Sinne dieses Bundesgesetzes ist der räumliche Bereich, in dem sich Arbeitnehmer bei der von ihnen auszuübenden Tätigkeit aufhalten.“<sup>45</sup>*

Der Arbeitgeber trägt im hohen Maße Verantwortung über die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten. Diesem Umstand wird im §7 ASchG Rechnung getragen und der Arbeitgeber hat die Grundsätze der Gefahrenverhütung zu berücksichtigen. Um diesen Punkt zu erfüllen, ist unter anderem auf die Gestaltung der Arbeitsbedingungen und der Arbeitsumgebung sowie die Berücksichtigung der Umweltbedingungen Wert zu legen.<sup>46</sup>

Um die Punkte aus §7 ASchG zu erfüllen, ist daher die Installation einer den örtlichen und betrieblichen Anforderungen entsprechenden Beleuchtungsanlage notwendig.

---

<sup>44</sup> §2 Abs. 3 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-25).

<sup>45</sup> §2 Abs. 4 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-25).

<sup>46</sup> Vgl. §7 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-25).

Im 2. Abschnitt des ArbeitnehmerInnenschutzgesetzes werden Arbeitsstätten im Freien und auf Baustellen behandelt. Der §20 geht im Abs. 6 auf das Thema der Sicherheitsbeleuchtung ein:

**„Arbeitsstätten und Baustellen, in/auf denen Arbeitnehmer bei Ausfall der künstlichen Beleuchtung in besonderem Maß Gefahren ausgesetzt sind, müssen mit einer ausreichenden Sicherheitsbeleuchtung ausgestattet sein.“<sup>47</sup>**

Für die Sicherheitsbeleuchtung sind die Richtlinien in der „ÖVE/ÖNORM EN 50172 – Sicherheitsbeleuchtungen“ zu finden. In dieser Norm wird die Sicherheitsbeleuchtung mit folgenden Worten definiert:

*„Die Sicherheitsbeleuchtung stellt sicher, dass bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung die Beleuchtung unverzüglich, automatisch und für eine vorgegebene Zeit in einem festgelegten Bereich zur Verfügung gestellt wird. Die Anlage muss sicherstellen, dass die Sicherheitsbeleuchtung folgende Funktionen erfüllt:*

- a) Beleuchtung der Rettungswegzeichen;*
- b) Beleuchtung der Wege zu den Ausgängen, um sicher in den sicheren Bereich zu gelangen;*
- c) ausreichende Beleuchtung der Brandbekämpfungseinrichtungen oder Meldeeinrichtungen entlang der Rettungswege;*
- d) Erlauben von Arbeiten in Verbindung mit Sicherheitsmaßnahmen.*

*Die Sicherheitsbeleuchtung muss nicht nur bei vollständigem Ausfall der allgemeinen Stromversorgung, sondern auch bei einem örtlichen Ausfall der allgemeinen Beleuchtung wirksam werden, wie z. B. beim Ausfall eines Endstromkreises.*

*Die Sicherheitsbeleuchtung ist nicht zur Fortsetzung normaler Tätigkeiten bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung oder der Ersatzbeleuchtung ausgelegt.*

*Grundlegende lichttechnische Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung und zugehörige Messungen sind in EN 1838 und EN 13032 festgelegt.*

*Die elektrische Anlage muss den Anforderungen nach HD 384/HD 60364 entsprechen.“<sup>48</sup>*

Die Beleuchtung von „Arbeitsstätten in Gebäuden“, „Arbeitsräumen“ und „sonstigen Betriebsräumen“ wird in den §§21-23 ASchG beschrieben. Der Wortlaut im ArbeitnehmerInnenschutzgesetz lautet wie folgt:

---

<sup>47</sup> §20 Abs. 6 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-25).

<sup>48</sup> [26] ÖVE/ÖNORM EN 50172, S. 6.

*„Arbeitsstätten in Gebäuden müssen möglichst **ausreichend Tageslicht** erhalten und mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer **angemessene künstliche Beleuchtung** ausgestattet sein.“<sup>49</sup>*

*„Soweit die Zweckbestimmung der Räume und die Art der Arbeitsvorgänge dies zulassen, müssen **Arbeitsräume ausreichend natürlich belichtet** sein und eine Sichtverbindung mit dem Freien aufweisen. Bei der Anordnung der Arbeitsplätze ist auf die Lage der Belichtungsflächen und der Sichtverbindung Bedacht zu nehmen.“<sup>50</sup>*

*„Arbeitsräume müssen erforderlichenfalls während der Arbeitszeit unter Berücksichtigung der Arbeitsvorgänge **entsprechend künstlich beleuchtet** sein.“<sup>51</sup>*

*„Sonstige Betriebsräume müssen erforderlichenfalls während der Zeit, in der Arbeiten durchgeführt werden, **unter Berücksichtigung der Arbeitsvorgänge entsprechend künstlich beleuchtet** sein.“<sup>52</sup>*

Im §24 des ASchG wird auf „Arbeitsstätten im Freien und auf Baustellen“ eingegangen:

*„Arbeitsstätten im Freien und Baustellen müssen während der Arbeitszeit **ausreichend künstlich beleuchtet** werden, wenn das Tageslicht nicht ausreicht.“<sup>53</sup>*

### **3.1.2 Bauarbeiterschutzverordnung – BauV**

Die Bauarbeiterschutzverordnung (BauV) gilt in der gegebenen Form „für die Beschäftigung von Arbeitnehmern auf Baustellen im Sinn des §2 Abs. 3 dritter Satz ASchG.“<sup>54</sup> Die Definition des Begriffes „Baustelle“ im Sinne des §2 Abs. 3 ASchG ist bereits im Kapitel 3.1.1 erwähnt. Wie auch im ASchG vergleichbar, ist die Anwendbarkeit der BauV sowie deren Ausnahmen angeführt. Die Bauarbeiterschutzverordnung gibt Maßnahmen vor, die der Arbeitgeber zum Schutz der beschäftigten Arbeitnehmer umzusetzen hat. Die grundlegenden Anforderungen sind im 1. Abschnitt mit dem Titel „Allgemeine Bestimmungen“ des I. Hauptstücks „Allgemeine Anforderungen und Maßnahmen“ geregelt. Für die allgemeine Baustellen- beziehungsweise Arbeitsplatzbeleuchtung wird in der BauV im „§6 Abs. 5 Arbeitsplätze und Verkehrsräume“ gefordert:

*„Während der in die Dunkelheit fallenden Arbeitsstunden oder bei nicht ausreichender natürlicher Belichtung müssen Arbeitsplätze und Verkehrswege **ausreichend beleuchtet** sein. Auf Arbeitsplätzen ohne natürliche Belichtung und auf Arbeitsplätzen, an denen während der Dunkelheit gearbeitet wird, muß für eine von der Beleuchtung unabhängige Notbeleuchtung, wie Akku-Handlampen, vorgesorgt*

---

<sup>49</sup> §21 Abs. 2 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-25).

<sup>50</sup> §22 Abs. 6 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-25).

<sup>51</sup> §22 Abs. 7 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-25).

<sup>52</sup> §23 Abs. 4 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-25).

<sup>53</sup> §24 Abs. 1 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-25).

<sup>54</sup> Vgl. §1 Abs. 1 Bauarbeiterschutzverordnung, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-29).

*sein. Die Notbeleuchtung muß die Umgebung zumindest so erhellen, daß die Arbeitnehmer die Arbeitsplätze und Verkehrswege sicher verlassen können.*<sup>55</sup>

Für die Beleuchtung von Sanitäts-, Sanitär- und Aufenthaltsräumen sind §32 und §§34-36 von Bedeutung. Zusammenfassend wird in jedem Paragraph zum Ausdruck gebracht, dass die Räumlichkeiten „**ausreichend beleucht- und lüftbar**“<sup>56</sup> eingerichtet sein müssen.

Die Forderungen der Bauarbeiterschutzverordnung für Bereiche unter Tage werden im „13. Abschnitt: Untertagebauarbeiten“ in den §§94-105 behandelt. Auf die Allgemeinbeleuchtung unter Tage wird nicht näher eingegangen. Dafür gelten die unter §6 Abs. 5 definierten Beschreibungen, dass „**Arbeitsplätze und Verkehrswege ausreichend beleuchtet sein**“ müssen (siehe oben).

Im §99 Abs. 1 bis 3 BauV werden die Mindestlichtmaße für Arbeitsplätze und Verkehrswege in Tunneln und Stollen definiert. Ist aus bautechnischen Gründen die Ausbildung eines Verkehrsweges nicht möglich so können nach §99 Abs. 4 Z1 BauV „**auffällige gekennzeichnete und beleuchtete Schutznischen**“<sup>57</sup> errichtet werden.

Der §100 beschreibt die Transportmittel und Transporteinrichtungen im Tunnelbau. Die Beleuchtung von jedem alleinfahrenden Fahrzeug (sowohl Pneu als auch gleisgebunden) im Tunnel ist derartig zu gestalten, dass sie sich von der übrigen Beleuchtung deutlich unterscheidet. An der Spitze jedes Fahrzeuges muss eine Leuchteinheit angebracht werden, die mindestens den gesamten Anhaltebereich des Fahrzeuges mit weißem Licht ausleuchtet. Am Ende ist die Montage eines roten Abschlusslichtes verpflichtend. Ebenfalls allfälligen Verkehr im Tunnel- und Stollenbau behandelt der §101 BauV. Im Absatz 1 des §101 fordert die Bauarbeiterschutzverordnung, dass „**Hindernisse und Engstellen [...] entweder ausreichend beleuchtet oder mit einer Warnbeleuchtung, wie Blinklichtern, ausgestattet sein**“<sup>58</sup> müssen.

Wie auch schon im ArbeitnehmerInnenschutzgesetz fällt in der Bauarbeiterschutzverordnung auf, dass die Bestimmungen, hier mit speziellem Bezug auf die Arbeitsstätten- beziehungsweise Baustellenbeleuchtung, sehr allgemein gehalten sind. Dieser Umstand lässt sich leicht damit begründen, dass die genauere Regelung in einem solchen Rahmen nicht zielführend wäre, da gerade im Bereich der gesamten Baustelleneinrichtung zu viele Nebenaspekte (sowohl im technischen und logistischen Bereich, aber auch aufgrund der lokalen örtlichen Gegebenheiten) zu berücksichtigen sind, sodass eine umfangreiche und detaillierte Regelung nicht möglich wäre. Daher ist die Zusammenarbeit zwischen Behörde und Arbeitgeber anzustreben, um in einem gemeinsamen Evaluierungsprozess die

---

<sup>55</sup> §6 Abs. 5 Bauarbeiterschutzverordnung, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-29).

<sup>56</sup> §32 Abs. 4 / §34 Abs. 6 / §35 Abs. 3 / §36 Abs. 2 Bauarbeiterschutzverordnung, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-29).

<sup>57</sup> §99 Bauarbeiterschutzverordnung, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-29).

<sup>58</sup> §101 Abs. 1 Bauarbeiterschutzverordnung, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-29).

notwendigen baustellenbezogenen Anforderungen bestmöglich zu erstellen. Dieser gemeinsame Weg wird auch vom Gesetzgeber angedacht und ist bereits im Kapitel 3.1 beziehungsweise im §3 ArbIG beschrieben. Es ist ein Dialog zwischen Arbeitgeber und Arbeitsinspektorat anzustreben, damit die Behörde der gesetzlich verankerten Beratungsfunktion nachkommen kann und damit präventiv für die Beurteilung von potentiellen Unfallsituationen für Arbeitnehmer wirken kann. Parallel dazu ist es notwendig, auch eine ständige Evaluierung aller Maßnahmen zur dauerhaften Sicherung der Unversehrtheit der Arbeitnehmer zu gewährleisten, um den Stand der Technik zu wahren und somit jegliche Form der Gesundheitsbeeinträchtigung oder sogar Gesundheitsgefährdung für Arbeitnehmer von vorne herein auszuschließen. Dieser Dialog ist aber auch aufgrund der möglichen Komplexität und Einmaligkeit eines jeden einzelnen Bauvorhabens wichtig, um die projektspezifischen Rahmen- und Randbedingungen adäquat berücksichtigen zu können. Die genauere Definition von Grenzwerten und/oder Mindestanforderungen wird in Normen, zum Beispiel der Normengruppe ÖNORM EN 12464 – Licht und Beleuchtung (siehe Kapitel 3.2) beschrieben.

Neben der Beschreibung von Beleuchtungssituationen von Arbeitsplätzen und Verkehrswegen wird in der Bauarbeiterschutzverordnung auch die Thematik der Warnbeleuchtung behandelt. Dafür wird im §60 (Aufstellen und Abtragen von Gerüsten) im Abs. 3 die Montage einer geeigneten Warnbeleuchtung vorgeschrieben. Diese ist für Gerüste an verkehrsreichen oder unübersichtlichen Stellen bei Dunkelheit zu installieren, um die Verkehrsteilnehmer zu warnen.<sup>59</sup>

Als Warnelemente können Warenleuchten als Dauer-, Blink- oder Blitzlicht in weißer, roter oder gelber Ausführung zum Einsatz kommen. Der empfohlene Mindestdurchmesser von Warnbeleuchtungselementen beträgt 180 mm. Die Farbgebung der Warnbeleuchtung soll dem Verkehrsteilnehmer folgende Informationen geben:

- rotes Licht: Das Hindernis kann nur links umfahren werden
- weißes Licht: Das Hindernis kann nur rechts umfahren werden
- gelbes Licht: allgemeine Warnung vor einem Hindernis<sup>60</sup>

#### **3.1.3 Arbeitsstättenverordnung – AStV**

Die Arbeitsstättenverordnung ist eine Verordnung zum ArbeitnehmerInnenschutzgesetz. Ihre Bestimmungen gelten, ausgenommen des 6. Abschnitts (Gebäude auf Baustellen), für Arbeitsstätten wie sie im ASchG nach §19 definiert sind. Als Arbeitsstätten sind alle Gebäude oder sonstige baulichen Anlagen zu betrachten, in denen Arbeitsplätze eingerichtet sind (für Arbeitsstätten in Gebäuden) sowie

---

<sup>59</sup> Vgl. §60 Abs. 3 Bauarbeiterschutzverordnung, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-29).

<sup>60</sup> Vgl. [11] Arbeitsgemeinschaft Sicherheit am Bau, Mappe „Sicherheit am Bau“, 2010, S. B4.1.

Orte auf einem Betriebsgelände, zu denen Arbeitnehmer im Rahmen ihrer Arbeit Zugang haben (Arbeitsstätten im Freien). Als ständige Arbeitsplätze werden jene räumlichen Bereiche definiert, in denen sich Arbeitnehmer, entsprechend der Zweckbestimmung des Raumes bei der von ihnen im regulären Betriebsablauf auszuübenden Tätigkeit aufhalten, wobei Führer- oder Bedienungsstände von Arbeitsmitteln nicht als Arbeitsräume im Sinne der AStV definiert werden.<sup>61</sup>

*„Für Räume auf oder im Zusammenhang mit Baustellen, in denen ständige Arbeitsplätze eingerichtet sind, wie Baustellenbüros, Werkstätten oder Lagerräume gelten die folgenden Bestimmungen der Verordnung für:*

- *die Bodenfläche,*
- *Lichteintrittsflächen und Sichtverbindung,*
- *die natürliche Belüftung,*
- *die mechanische Be- und Entlüftung,*
- *die Raumtemperatur und*
- *die künstliche Beleuchtung.*

*Als Arbeitsräume dürfen nur Räume mit einer lichten Höhe von 2,50 m verwendet werden. Abweichend davon dürfen Container und ähnliche Einrichtungen mit folgenden lichten Höhen als Arbeitsräume verwendet werden:*

- *2,20 m nur für kurzfristige Tätigkeiten,*
- *2,30 m im Scheitel für Baustellenwagen,*
- *im Übrigen 2,30 m.<sup>62</sup>*

Der Geltungsbereich der Arbeitsstättenverordnung ist nicht im engeren Sinn Inhalt der vorliegenden Arbeit. Der Vollständigkeit halber wird dieser Aspekt trotzdem behandelt, da die Beleuchtungssituation der wie oben definierten Arbeitsplätze, beispielsweise für Baustellenbüros in Containeranlagen, ein häufiges auftretendes Praxisbeispiel darstellt.

Als relevante Punkte können für die Thematik der Beleuchtungssituation von Arbeitsstätten nachstehende Punkte der Arbeitsstättenverordnung genannt werden.

---

<sup>61</sup> Vgl. [4] Car M., Ritschl N., Baresch J.: Sicherheit und Umweltschutz auf Baustellen, 2010, S. 114.

<sup>62</sup> [4] Car M., Ritschl N., Baresch J.: Sicherheit und Umweltschutz auf Baustellen, 2010, S. 114.

Für die Regelung der Beleuchtungsstärke auf allgemeinen Verkehrswegen ist §2 Abs. 7 Z2 anzuführen:

*„Es ist dafür zu sorgen, dass Verkehrswege so beleuchtbar sind, dass die Beleuchtungsstärke mindestens **30 Lux** beträgt“.*<sup>63</sup>

Für die Bestimmungen zur Belüftung und Beleuchtung von Räumen werden die Regelungen im §5 AStV festgehalten. Dazu wird in Abs. 1 und Abs. 2 festgelegt, dass alle Arbeitsstätten der Nutzungsart entsprechend **ausreichend beleuchtbar** einzurichten sind. Zusätzlich muss sichergestellt sein, dass die Beleuchtung von den Ein- und Ausgängen des Raumes geschaltet werden kann, die Lichtschalter bei Dunkelheit erkennbar und leicht zugänglich sind und dass die Leuchten derart beschaffen und angebracht sind, dass eine Gefährdung der ArbeitnehmerInnen ausgeschlossen werden kann.<sup>64</sup>

Das Thema der Sicherheitsbeleuchtung und Orientierungshilfen ist in §9 der AStV festgelegt:

*„(1) Folgende Bereiche sind mit einer Sicherheitsbeleuchtung auszustatten:*

- 1) Arbeitsräume und Fluchtwege, die nicht natürlich belichtet sind;*
- 2) Fluchtwege, die zwar natürlich belichtet sind, diese natürliche Belichtung jedoch zB auf Grund der baulichen Gegebenheiten oder auf Grund der Lage der Arbeitszeit nicht ausreicht, um bei Ausfall der künstlichen Beleuchtung das rasche und gefahrlose Verlassen der Arbeitsstätte zu ermöglichen;*
- 3) Bereiche, in denen Arbeitnehmer/innen bei Ausfall der Beleuchtung einer besonderen Gefahr ausgesetzt sein könnten oder in denen Einrichtungen bedient werden, von denen eine besondere Gefahr für die Arbeitnehmer/innen ausgeht.*

*(2) Die Sicherheitsbeleuchtung muß*

- 1) eine von der Beleuchtung unabhängige Energieversorgung haben und*
- 2) selbsttätig wirksam werden und wirksam bleiben, wenn die Energieversorgung der Beleuchtung ausfällt.*

*(3) Die Sicherheitsbeleuchtung muß hinsichtlich Einschaltverzögerung, Beleuchtungsstärke und Beleuchtungsdauer so ausgelegt sein, daß bei Ausfall der Beleuchtung*

- 1) die Arbeitsstätte rasch und gefahrlos verlassen werden kann und*
- 2) die in Abs. 1 Z 3 genannten Bereiche schnell und sicher erkannt und alle erforderlichen Maßnahmen getroffen werden können.*

*(4) Sofern sich in Arbeitsräumen oder auf Fluchtwegen keine Bereiche im Sinne des Abs. 1 Z 3 befinden, sind abweichend von Abs. 1 Z 1 und 2 anstelle der Sicherheitsbeleuchtung selbst- oder nachleuchtende*

---

<sup>63</sup> §2 Abs. 7 Z2 Arbeitsstättenverordnung, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-24).

<sup>64</sup> Vgl. §5 Abs. 1 und Abs. 2 Arbeitsstättenverordnung, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-24).

*Orientierungshilfen, die bei Ausfall der Beleuchtung ein sicheres Verlassen der Arbeitsstätte gewährleisten, zulässig. In diesem Fall gelten Abs. 2 und Abs. 3 Z 1 für die Orientierungshilfen.*<sup>65</sup>

In der AStV ist eine Beleuchtungsstärke für die Sicherheitsbeleuchtung nicht vorgesehen. Ziel ist die sichere und rasche Evakuierung der ArbeitnehmerInnen aus den betroffenen Bereichen, wobei die dazu notwendige Beleuchtungsstärke anhand der lokalen örtlichen Gegebenheiten zu evaluieren ist.<sup>66</sup>

Im monatlichen Abstand ist die Funktion der Sicherheitsbeleuchtungsanlagen und Orientierungshilfen von geeigneten, unterwiesenen Personen augenscheinlich festzustellen. Die darüber zu führenden Aufzeichnungen sind zumindest sechs Monate in der Arbeitsstätte zu Dokumentationszwecken aufzubewahren. Einmal jährlich, jedoch höchstens im Abstand von 15 Monaten, ist die Funktion der Sicherheitsbeleuchtungsanlagen von geeigneten, fachkundigen und hierzu berechtigten Personen (wie zum Beispiel befugte Gewerbetreibende, akkreditierte Überwachungsstellen, Ziviltechniker/innen, technische Büros, qualifizierte Betriebsangehörige) nach den Regeln der Technik zu überprüfen und zu dokumentieren. Die Dokumentationsunterlagen sind mindestens drei Jahre in der Arbeitsstätte aufzubewahren.<sup>67</sup>

## 3.2 Normen und sonstige Empfehlungen

### 3.2.1 ÖNORM EN 12464-1 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten

#### Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen

Die Gültigkeit der „ÖNORM EN 12464-1 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen“ wird ausschließlich auf die Beleuchtung für Arbeitsstätten in Innenräumen beschränkt. Als Anwendungsbereich wird in dieser Norm folgendes definiert:

*„Diese Europäische Norm legt Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen fest, die den Erfordernissen für Sehkomfort und Sehleistung für Menschen mit normalem Sehvermögen gerecht werden. Alle üblichen Sehaufgaben, einschließlich derjenigen am Bildschirm, werden berücksichtigt. Diese Europäische Norm legt für die meisten Arbeitsstätten in Innenräumen und deren zugehörigen Flächen die Anforderungen an Beleuchtungslösungen hinsichtlich Quantität und Qualität der Beleuchtung fest. Zusätzlich werden Empfehlungen für die Umsetzung guter Beleuchtung gegeben.“*<sup>68</sup>

---

<sup>65</sup> §9 Arbeitsstättenverordnung, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-24).

<sup>66</sup> Vgl. Arbeitsstättenverordnung mit Erläuterungen, Quelle: <http://www.arbeitsinspektion.gv.at/astv/astv.htm>, (2014-01-04).

<sup>67</sup> Vgl. §13 Arbeitsstättenverordnung, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-24).

<sup>68</sup> [22] ÖNORM EN 12464-1, S. 6.



Damit sind Arbeitsplätze im Freien, sowie unter Tage im Berg- und Tunnelbau definitiv ausgeschlossen. Für die Beleuchtung in Außenbereichen wird in der Norm EN 12464-1 auf die EN 12464-2 beziehungsweise für Notbeleuchtungen auf die ÖNORM EN 1838 und ÖNORM EN 13032-3 verwiesen. Die Anforderungen an elektrische Leuchten für Notbeleuchtungen werden in der „ÖVE/ÖNORM EN 60598-2-22“ geregelt. In der ÖNORM EN 12464-1 werden Mindestanforderungen an Arbeitsplätze in Innenräumen abhängig von der Tätigkeit genannt. Auszugsweise wird hier die „Tabelle 5.26 – Büros“ dieser Norm angeführt:

| Ref. Nr. | Art des Innenraum(bereich)s, des Bereichs der Sehaufgabe oder des Bereichs der Tätigkeit | $\bar{E}_m$<br>lx | UGR <sub>L</sub> | U <sub>0</sub> | R <sub>a</sub> | Spezifische Bedingungen          |
|----------|--|-------------------|------------------|----------------|----------------|----------------------------------|
| 5.26.1   | Ablegen, Kopieren, usw.  | 300               | 19               | 0,40           | 80             |                                  |
| 5.26.2   | Schreiben, Schreibmaschineschreiben, Lesen, Datenverarbeitung                            | 500               | 19               | 0,60           | 80             | Bildschirmarbeit siehe 4.9       |
| 5.26.3   | Technisches Zeichnen   | 750               | 16               | 0,70           | 80             |                                  |
| 5.26.4   | CAD-Arbeitsplätze  | 500               | 19               | 0,60           | 80             | Bildschirmarbeit siehe 4.9       |
| 5.26.5   | Konferenz- und Besprechungsräume   | 500               | 19               | 0,60           | 80             | Beleuchtung sollte regelbar sein |
| 5.26.6   | Empfangstheke  | 300               | 22               | 0,60           | 80             |                                  |
| 5.26.7   | Archive  | 200               | 25               | 0,40           | 80             |                                  |

Tab. 3.1: Büros<sup>69</sup>

Die in der Tab. 3.1 angeführten Anforderungskriterien sind:

„ $\bar{E}_m$ “                      *Wartungswert der Beleuchtungsstärke*

UGR<sub>L</sub>                      *maximale UGR-Grenzwerte (en: Unified Glare Rating limit); [Die Bestimmung erfolgt nach Gleichung (2) der ÖNORM EN 12464-1, d. Verf.]*

U<sub>0</sub>                              *Mindestwert der Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke*

R<sub>a</sub>                              *Mindestwerte der Farbwiedergabe-Indizes<sup>70</sup>*

<sup>69</sup> [22] ÖNORM EN 12464-1, S. 34.

<sup>70</sup> [22] ÖNORM EN 12464-1, S. 20.

### 3.2.2 ÖNORM EN 12464-2 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten

#### Teil 2: Arbeitsplätze im Freien

In der „ÖNORM EN 12464-2 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 2: Arbeitsplätze im Freien“ wird die Beleuchtungssituation von Arbeitsplätzen im Freien definiert. Auch in dieser Norm werden Mindestanforderungen an Arbeitsplätze hinsichtlich der Beleuchtungsstärke, Blendungsbewertung und der Farbwiedergabe im Freien abhängig von der Arbeitstätigkeit festgelegt. Als relevante Daten für Baustellen kann zum einen Tab. „5.1 Allgemeine Verkehrsbereiche bei Arbeitsstätten/Arbeitsplätzen im Freien“ dieser Norm (hier siehe Tab. 3.2) und zum anderen „Tab. 5.3 Baustellen“ (siehe Tab. 3.3) angeführt werden:

| Ref. Nr. | Art des Bereiches, Aufgabe oder Tätigkeit   | $\bar{E}_m$<br>lx | $U_0$<br>- | $GR_L$ | $R_a$<br>- | Bemerkungen                                |
|----------|---|-------------------|------------|--------|------------|--|
| 5.1.1    | Gehwege ausschließlich für Fußgänger  | 5                 | 0,25       | 50     | 20         |  |
| 5.1.2    | Verkehrsflächen für sich langsam bewegende Fahrzeuge (max. 10 km/h), z. B. Fahrräder, Lastwagen, Bagger | 10                | 0,40       | 50     | 20         |  |
| 5.1.3    | Regelmäßiger Fahrzeugverkehr (max. 40 km/h)   | 20                | 0,40       | 45     | 20         | In Werften und Docks kann $GR_L = 50$ sein |
| 5.1.4    | Fußgänger-Passagen, Fahrzeug-Wendepunkte, Be- und Entladestellen  | 50                | 0,40       | 50     | 20         |  |

Tab. 3.2: Allgemeine Verkehrsbereiche bei Arbeitsstätten/Arbeitsplätzen im Freien<sup>71</sup>

In der EN 12464-2 ist als Anmerkung zur Tabelle 5.1 der EN 12464-2 (hier Tab. 3.2) der Verweis auf die entsprechenden Empfehlungen zur Straßenbeleuchtung für Verkehrswege angeführt, da es keine internationale Normung gibt.

<sup>71</sup> [23] ÖNORM EN 12464-1, S. 17.

| <i>Ref. Nr.</i> | <i>Art des Bereiches, Aufgabe oder Tätigkeit</i>   | $\bar{E}_m$<br><i>lx</i> | $U_0$<br>- | $GR_L$ | $R_a$<br>- | <i>Bemerkungen</i> |
|-----------------|--|--------------------------|------------|--------|------------|--------------------|
| 5.3.1           | <i>Aufräumarbeiten, Ausschachtungen und Beladen</i>  | 20                       | 0,25       | 55     | 20         |                    |
| 5.3.2           | <i>Baubereiche, Verlegen von Entwässerungsrohren, Transport, Hilfs- und Lagerarbeiten</i>  | 50                       | 0,40       | 50     | 20         |                    |
| 5.3.3           | <i>Montage von Tragwerkelementen, einfache Bewehrungsarbeiten, Schalungsarbeiten und Fertigteilmontage, Verlegen von elektrischen Leitungen und Kabeln</i> | 100                      | 0,40       | 45     | 40         |                    |
| 5.3.4           | <i>Verbinden von Tragwerkelementen, anspruchsvolle Montage von elektrischen Leitungen, Maschinen und Versorgungsleitungen</i>                              | 200                      | 0,50       | 45     | 40         |                    |

**Tab. 3.3: Baustellen<sup>72</sup>**

Die in den Tab. 3.2 und Tab. 3.3 angeführten Anforderungskriterien sind:

$\bar{E}_m$       *Wartungswert der Beleuchtungsstärke auf der Bewertungsfläche*

$U_0$ ,      *Mindestwert der Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke*

$GR_L$       *Grenzwert der Blendung nach dem CIE Blendungsbewertungsverfahren*

$R_a$       *Farbwiedergabeindizes<sup>73</sup>*

### **3.2.3 Sonstige Regelungen**

Für die Regelung auf Baustellen unter Tage werden im „Merkblatt 243 – Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau“ Veröffentlicht von der AUVA in Zusammenarbeit mit der BG Bau folgende Regeln beschrieben. Dort wird die minimale mittlere Beleuchtungsstärke an Arbeitsplätzen sowie

<sup>72</sup> [23] ÖNORM EN 12464-1, S. 17.

<sup>73</sup> [23] ÖNORM EN 12464-1, S. 15f.

Verkehrswegen und Betriebsräumen vorgegeben. Diese muss so bemessen sein, dass die Arbeiten sicher durchgeführt werden und die Flucht- und Rettungswege sicher begangen werden können.

|  |                |
|--|----------------|
| <i>Verkehrswege</i>  | <i>10 Lux</i>  |
| <i>Arbeitsplätze, Abbau- und Ladestellen</i>               | <i>60 Lux</i>  |
| <i>andere Betriebsanlagen und stationäre Einrichtungen</i> | <i>120 Lux</i> |

**Tab. 3.4: Empfohlene Mindestwerte der Beleuchtungsstärke für Baustellen unter Tage<sup>74</sup>**

Für den Fall des Ausfalles der Beleuchtung ist eine Notbeleuchtung zu installieren, welche sich im Bedarfsfall selbstständig und unverzüglich aktiviert. Dabei sind die Arbeitsplätze selbst, als auch die Flucht- und Rettungswege zu beleuchten, da vor allem auf Baustellen unter Tage bei einem Ausfall der Primärbeleuchtung das gefahrlose Verlassen der Baustelle durch betriebsbedingte Hindernisse (z.B. abgestellte Maschinen, enge Verkehrswege) und Gefahrstellen nur erschwert möglich ist. Die empfohlenen Mindestwerte der Beleuchtungsstärke für die Notbeleuchtung betragen:

|  |               |
|--|---------------|
| <i>Flucht- und Rettungswege</i><br><i>(gemessen 0,20 m über dem Boden)</i> | <i>1 Lux</i>  |
| <i>Arbeitsplätze</i>   | <i>15 Lux</i> |

**Tab. 3.5: Empfohlene Mindestwerte der Beleuchtungsstärke der Notbeleuchtung für Baustellen unter Tage<sup>75</sup>**

Trotz dieser Mindestwerte ist die Ausrüstung der Beschäftigten mittels eigener elektrischer oder gleichwertiger Leuchttechnik im Rahmen der persönlichen Schutzausrüstung äußerst sinnvoll. Für Arbeitsplätze mit besonderem Gefährdungspotential (Arbeiten auf Hubarbeitsbühnen, auf Gerüsten oder Gerüstwagen, in/an Schaltanlagen, in Transformatorenräumen) ist die Notbeleuchtung so auszulegen, dass das gefahrlose Beenden der Tätigkeit noch möglich ist.<sup>76</sup>

Für Arbeiten auf Tunnelvortriebsmaschinen wird entsprechend der „ÖNORM EN 12336 Tunnelbaumaschinen“ eine minimale Beleuchtungsstärke von 100 Lux an den Bedienständen und auf Höhe der Lauffläche in Durchgängen von 30 Lux vorgeschrieben. Als Lampenfassungen sind nur jene Typen zugelassen, welche mittels einem mechanischen Schutz (Schutzglocke mit Schutzkorb, Schutzglocke aus schlagfestem Glas oder ähnlichem Werkstoff) geschützt sind. In Bereichen mit häufigen Wartungsarbeiten müssen Steckdosen für zusätzliche Beleuchtungselemente vorgesehen werden. Ebenfalls wird die Notbeleuchtung für Tunnelbaumaschinen an dieser Stelle der

---

<sup>74</sup> [12] BG Bau, AUVA: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, 2007, S. 55.

<sup>75</sup> [12] BG Bau, AUVA: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, 2007, S. 57.

<sup>76</sup> [12] BG Bau, AUVA: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, 2007, S. 54ff.

ÖNORM EN 12336 geregelt. Diese ist als unabhängige Notbeleuchtung zu konzipieren und sie muss im Fall des Versagens der Hauptbeleuchtung automatisch aktiv werden. Die minimale Beleuchtungsstärke der Notbeleuchtung wird mit mindestens 15 Lux für zumindest 10 Minuten Leuchtzeit in Höhe der Lauffläche vorgeschrieben.<sup>77</sup>

### 3.3 Übersicht der Bestimmungen

Eine zusammenfassende Übersicht der gesetzlichen Regelungen und Verordnungen soll in Tab. 3.6 gezeigt werden.

| Quelle           | Anwendungsbereich                       | Vorgeschriebene Beleuchtung                                    |
|------------------|---|--|
| §21 Abs. 2 ASchG | Arbeitsstätten in Gebäuden              | ausreichendes Tageslicht<br>angemessene künstliche Beleuchtung |
| §22 Abs. 7 ASchG | Arbeitsräume                            | entsprechend künstlich beleuchtet                              |
| §23 Abs. 4 ASchG | Sonstige Betriebsräume                  | entsprechend künstlich beleuchtet                              |
| §24 Abs. 1 ASchG | Arbeitsstätten im Freien und Baustellen | ausreichend künstlich beleuchtet                               |
| §5 Abs. 6 BauV   | Arbeitsplätze und Verkehrswege          | ausreichend beleuchtet   |
| §32 Abs. 4 BauV  | Sanitärräume                            | ausreichend beleuchtbar  |
| §34 Abs. 6 BauV  | Waschgelegenheiten                      | ausreichend beleuchtbar  |
| §35 Abs. 3 BauV  | Aborte                                  | ausreichend beleuchtbar  |
| §36 Abs. 2 BauV  | Aufenthaltsräume                        | ausreichend beleuchtbar  |
| §99 Abs. 4 BauV  | Schutznischen im Tunnel- und Stollenbau | auffällig gekennzeichnet und beleuchtet                        |
| §2 Abs. 7 AStV   | Verkehrswege                            | Beleuchtungsstärke mindestens 30 Lux                           |
| §5 AStV          | Beleuchtung und Belüftung von Räumen    | ausreichend beleuchtbar  |

**Tab. 3.6: Übersicht der gesetzlichen Regelungen und Normen**

Mindestwerte für die Wartungswerte der Beleuchtungsstärke der Normengruppe „ÖNORM EN 12464 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten“ sind auszugsweise bereits in den Tab. 3.2 beziehungsweise Tab. 3.3 dargestellt. In der Tab. 3.4 werden empfohlene Mindestwerte für die Allgemeinbeleuchtung von Baustellen unter Tage angeführt, während in Tab. 3.5 empfohlene Beleuchtungsstärken für die Notbeleuchtung auf Baustellen unter Tage angeführt werden.

<sup>77</sup> Vgl. [21] ÖNORM EN 12336, S. 25.

### 3.4 Europäische Bestimmungen

#### 3.4.1 EU Öko-Design-Richtlinie

Durch die Richtlinie 2005/32/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 6. Juli 2006 (Ökodesign-Richtlinie) wurde ein Rahmen für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte, darunter fallen auch Glühlampen im Haushalts- und Dienstleistungssektor, geschaffen. In der Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 wurden die Ökodesign-Anforderungen der Leuchtmittel mit gebündeltem Licht definiert und auch deren Ausnahmen, für die diese Verordnung nicht anzuwenden ist, festgelegt. Die Anforderungskriterien wurden beziehungsweise werden schrittweise, in sechs Stufen, zeitlich gestaffelt angehoben. Das Inkrafttreten der Stufen 1 bis 5 wurde mit jeweils 1. September der Jahre 2009 bis 2013, die letzte Stufe 6 wurde mit 1. September 2016 festgelegt. Bei diesem Stufenprogramm wird kein explizites Verkaufsverbot ausgesprochen, es wird den Lampenherstellern lediglich die Verbreitung von Lampen, die nach dem jeweiligen Stichtag unter diese Regelung fallen, in Europa untersagt. Das bedeutet, dass der Verkauf von Restbeständen weiterhin erlaubt ist beziehungsweise war.

Resultat dieser Richtlinie und der daraus resultierenden Verordnung ist ein Verbot für die Verbreitung von klaren Glühlampen ab 25 Watt aufwärts seit dem 1. September 2012. Mit 1. September 2013 wurden die EU-Kriterien für „energieeffiziente“ Leuchtkörper weiter verschärft. Zusätzlich wurde der Verkauf für matte Leuchtmittel (Energiesparlampen) mit der minimalen Energieeffizienzklasse A bereits im September 2009 reglementiert. Ausblickend in die Zukunft wird mit der Stufe 6 ab 1. September 2016 eine weitere Ausweitung des Verbreitungsverbot für Lampen in Kraft treten. Zu diesem Stichtag wird das Verbreiten von Lampen mit einer geringeren Energieeffizienzklasse als Klasse B verboten. Hierunter fallen vor allem Halogenlampen der Energieeffizienzklasse C.<sup>78</sup>

Durch die Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 wurden die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät und Entladungslampen festgelegt. Dabei wurde mit dieser Verordnung das Inverkehrbringen von Entladungslampen für den Außenbereich mit geringer Energieeffizienz stufenweise verboten. Für die weitere Verkaufszulassung wurden für jede Stufe und jeden Entladungslampentyp Mindestanforderungen definiert. Diese Mindestanforderungen wurden stufenweise und für jeden Entladungslampentyp in Abhängigkeit von der Leistungsaufnahme und der

---

<sup>78</sup> Vgl. Quelle:

<http://www.bmwfj.gv.at/ENERGIEUNDBERGBAU/ENERGIEEFFIZIENZ/Seiten/Umsetzungder%C3%96kodesign-Richtliniein%C3%96sterreich.aspx> (2013-10-18).

Farbwiedergabe in Form der Lichtausbeute (lm/W) geregelt, um die Zulassung für den Handel zu erreichen. Im Zuge einer ersten Stufe am 13. April 2012 wurden bereits Natriumdampf-Hochdrucklampen mit zu geringer Lichtausbeute vom Markt genommen. Bei Halogen-Metallampflampen waren zu diesem Zeitpunkt nur jene Typen betroffen, die die Energieeffizienzbedingungen nicht erfüllen konnten und einen Farbwiedergabeindex kleiner gleich 80 besaßen. In einer weiteren Stufe im April 2015 werden alle Quecksilberdampf-Hochdrucklampen vom Verkauf ausgeschlossen. Zusätzlich wird der Verkauf von Halogen-Metallampflampen mit schlechter Energieeffizienz und einem Farbwiedergabeindex größer 80 untersagt. Mit April 2017 tritt die 3. Stufe in Kraft, dabei werden Halogen-Metallampflampen, die die Energieeffizienzanforderungen nicht erfüllen können im Handel verboten.<sup>79</sup>

---

<sup>79</sup> Quelle: [http://www.lighting.philips.de/pwc\\_li/de\\_de/connect/tools\\_literature/download-center/pdf/Hochdruckentladungslampen\\_elektronische\\_Vorschaltgeraete\\_%20Aussenbeleuchtung.pdf](http://www.lighting.philips.de/pwc_li/de_de/connect/tools_literature/download-center/pdf/Hochdruckentladungslampen_elektronische_Vorschaltgeraete_%20Aussenbeleuchtung.pdf) (2014-02-05).

## 4 Leuchtmittel

### 4.1 Allgemein

In der heutigen Zeit gibt es unterschiedliche Möglichkeiten Licht zu erzeugen. Für die Beleuchtungstechnik stehen drei mögliche Technologien zur Verfügung. Diese sind

- Temperaturstrahler
- Entladungslampen
- Halbleiter

In der folgenden Abb. 4.1 ist eine Übersicht der Lichterzeugungstechnologien anschaulich dargestellt.

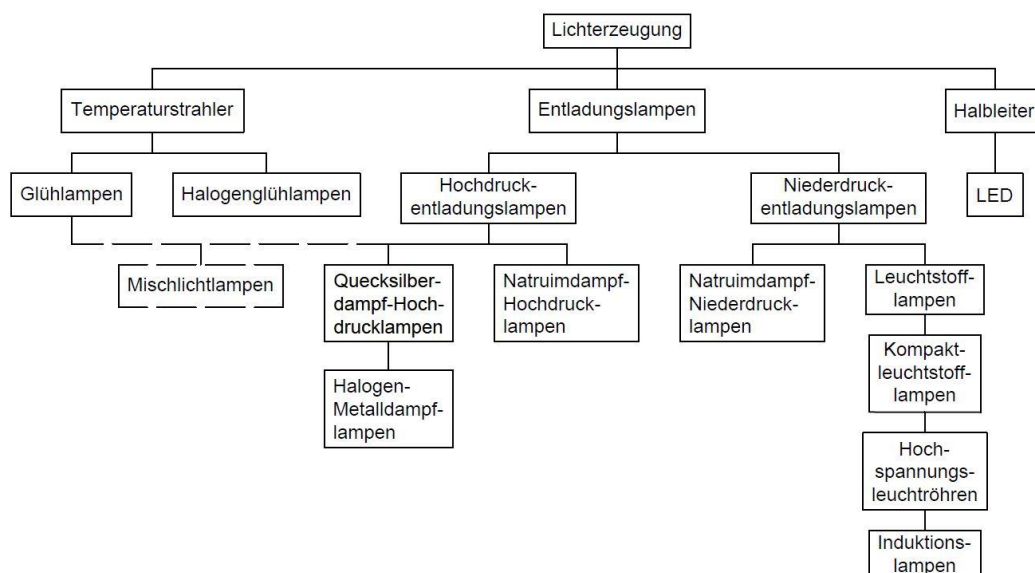


Abb. 4.1: Übersicht der verschiedenen Leuchtmittelarten<sup>80</sup>

#### 4.1.1 Bezeichnung von Leuchtmitteln

Als Grundlage für die Bezeichnung von Leuchtmitteln in Österreich kann die ÖVE/ÖNORM EN 61231 genannt werden.

*„Diese Internationale Norm legt die Regeln für das internationale Lampenbezeichnungssystem fest und gilt für alle Lampenkategorien, ausgenommen Fahrzeuglampen. [...]*

<sup>80</sup> [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 59.



Das Ziel des internationalen Lampenbezeichnungssystems ist:

- die Kommunikation über die verschiedenen Lampentypen zu verbessern;
- bei Diskussionen über die Austauschbarkeit und Kompatibilität der Produkte zu helfen;
- einen engeren Bezug zwischen internationalen Normen und Herstellerunterlagen zu erzeugen (z. B. könnte die Bezeichnung in Zukunft in den entsprechenden Teilen der Norm erscheinen);
- eine richtige Lampenersatzbestückung zu ermöglichen;
- als zusätzliche Kennzeichnung auf der Leuchte verwendet zu werden;
- nationale und regionale Bezeichnungssysteme zu ersetzen.<sup>81</sup>

Als Grundstruktur der Beleuchtungsbezeichnung in der ÖVE/ÖNORM EN 61231 kann von einem Beschriftungssystem mit einem Buchstaben- und Ziffernabschnitt ausgegangen werden. Hierbei wird jeder Lampenkategorie ein Buchstabe zugeordnet:

*I* Glühlampen;

*H* Halogenglühlampen (ohne Fahrzeuglampen);

*F* Leuchtstofflampen;

*S* Natriumdampf-Hochdrucklampen;

*L* Natriumdampf-Niederdrucklampen;

*Q* Quecksilberdampf-Hochdrucklampen;

*M* Halogen-Metaldampflampen;

*D* LED-Module;

*X* Lampen/Strahler für spezielle Anwendungen.<sup>82</sup>

Es besteht die Möglichkeit, durch das Anfügen zusätzlicher Buchstaben weitere, der Lampenkategorie entsprechende, Einzelheiten anzugeben. Die Trennung des Buchstaben- vom Ziffernabschnitt erfolgt durch einen Bindestrich.

---

<sup>81</sup> [28] ÖVE/ÖNORM EN 61231, S. 5.

<sup>82</sup> [28] ÖVE/ÖNORM EN 61231, S. 6.

Im nachfolgenden, aus mehreren Blöcken bestehenden Ziffernabschnitt werden die charakteristischen Werte der Lampe festgehalten. Beispielsweise werden in diesem Abschnitt die Leistung, die Spannung, der Lampensockel oder die Maße der Lampe beschrieben. Als optische Trennung der Abschnitte (Leistung, Spannung, Sockel, Maße) wird ein Bindestrich verwendet.<sup>83</sup>

*„Die Bezeichnung kann, je nach Anwendungszweck, in verschiedenen Längen verwendet werden. In Katalogen und Informationsblättern können Spezialitäten, z. B. spezielle Anwendungen, mit einem Sternchen (\*) an der Stelle versehen werden, an der sich der Unterschied befindet, oder am Ende der Bezeichnung mit einer davor abgesetzten Anmerkung, die ebenfalls mit einem Sternchen (\*) gekennzeichnet ist.*

*Die Bezeichnung kann durch Streichung von Teilen am Ende gekürzt werden, jedoch nie durch Streichung von Zwischenteilen. Im Allgemeinen kann der Maßblock weggelassen werden, wenn Standardtypen betroffen sind. Zwischenteile dürfen unter der Voraussetzung leer bleiben, dass Trennzeichen wie Bindestriche „-“ oder Schrägstriche „/“ benutzt werden.*

*Anmerkung: Diese Kürzungen sind nicht auf die erweiterte Kurzversion ILCOS LE anwendbar.*

### *1) Kurze Version: ILCOS L*

*Die kurze Version besteht aus einem Buchstabenabschnitt oder einem Teil davon; sie wird ILCOS L genannt. Sie kann für eine allgemeine Klassifikation von Lampen verwendet werden. Eine Übersicht von ILCOS L wird in Anhang A [der ÖVE/ÖNORM EN 61231, der Verf.] gegeben.*

### *2) Erweiterte Kurze Version: ILCOS LE*

*Dort, wo sie anwendbar ist, besteht die erweiterte kurze Version aus dem ersten Teil des Buchstabenabschnittes (ILCOS L), direkt (ohne Leerraum) gefolgt von den entsprechenden Maßen.*

### *3) Standardversion: ILCOS D*

*Die Standardversion stellt die vollständige Bezeichnung zur Verfügung und besteht aus dem Buchstabenabschnitt und dem (einem Teil des) Ziffernabschnitt(s). Der Gebrauch von ILCOS D sollte den Anwender in die Lage versetzen, den richtigen Lampentyp zu finden, z. B. beim Ersatz einer Lampe eines anderen Herstellers. Sie kann auch für eine Kennzeichnung von Leuchten verwendet werden, wenn sinnvoll, auch in verkürzter Form.“<sup>84</sup>*

---

<sup>83</sup> Vgl. [28] ÖVE/ÖNORM EN 61231, S. 7.

<sup>84</sup> [28] ÖVE/ÖNORM EN 61231, S. 7.

### 4.1.2 Lampenfassung/Lampensockel

Die Abstimmung der Lampenfassung mit dem Lampensockel ist ein wesentliches Element für den betriebssicheren Gebrauch des Leuchtmittels. Durch die Vielzahl der am Markt erhältlichen Lampentypen hat sich auch eine noch viel größere Menge an Lampenfassungen beziehungsweise dazugehörigen Lampensockeln entwickelt. Diese Vielzahl der möglichen Typen ist in der Normenreihe „ÖVE/ÖNORM EN 60061 Lampensockel und -fassungen sowie Lehren zur Kontrolle der Austauschbarkeit und Sicherheit“ in den Teilen 1 bis 4 genormt. Teil 1 der Normenreihe beschäftigt sich mit der Normung der Lampensockel, in Teil 2 wird auf die Lampenfassungen eingegangen. Während Teil 3 den Titel „Lehren“ trägt, so wird in Teil 4 ein „Leitfaden und allgemeine Informationen“ dargestellt.

Die am häufigsten verwendeten Lampensockel sind:

|   |                  |  |
|---|------------------|--|
| E | Edison-Sockel    | meist für Glüh-, aber auch für Hochdrucklampen |
| B | Bajonett-Sockel  | für Klein- und Zwecklampen                     |
| F | Stift-Sockel     | für Halogen-Glühlampen                         |
| G | Stift-Sockel     | meist für Leuchtstofflampen                    |
| R | Röhren-Sockel    | Socket für Halogen-Glühlampen                  |
| S | Soffitten-Sockel | meist für stabförmige Glühlampen               |

Tab. 4.1: Übersicht Lampensockel<sup>85</sup>

Die Kombination von Lampenfassung und Lampensockel hat die folgenden grundlegenden Aufgaben zu erfüllen:

- *„gute Halterung der Lampe,*
- *leichtes Einsetzen und Herausnehmen der Lampe,*
- *gute elektrische Verbindung,*
- *richtige Einstellung und Halterung der Lampe in der Leuchte,*
- *Schutz gegen elektrischen Schlag bei zufälliger Berührung.*<sup>86</sup>

---

<sup>85</sup> [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 66.

<sup>86</sup> [13] SLG, LTAG, LiTG: Handbuch für Beleuchtung, 1975, S. 45.

### 4.1.3 Einsatzdauer der Leuchtmittel

Bei der möglichen Einsatzdauer von Leuchtmitteln unterscheidet man zwischen der mittleren Lebensdauer (das bedeutet bis zum Ausfall des Leuchtmittels) und der Nutzungslebensdauer. Die Nutzungslebensdauer wird häufig auch wirtschaftliche Lebensdauer oder Service-Lebensdauer genannt.

Die mittlere Lebensdauer von Lampen wird in Betriebsstunden, also ihrer Brenndauer, vom Lampenhersteller angegeben und trifft hauptsächlich auf Temperaturstrahler zu. Sie gibt jene Zeitspanne an, nach der 50% der getesteten Leuchtmittel noch funktionsfähig sind und ist unter anderem von Spannungsschwankungen (vor allem Überspannungen) im Versorgungsnetz, aber auch von der Herstellungsqualität abhängig.

Die Nutzungslebensdauer wird ebenfalls in Betriebsstunden angegeben und beschreibt den Alterungsprozess vor allem bei Entladungslampen. Dabei reduziert sich im Laufe der Zeit der vom Leuchtmittel ausgehende Lichtstrom. Diese Alterung ist stark von der Schaltfrequenz sowie vom Vorschaltgerät (konventionell oder elektronisch) abhängig und kann sehr stark variieren. In der Praxis wird hierbei die 80% Schwelle angegeben, was bedeutet, dass 80% des ursprünglichen Lichtstroms noch erhalten sind.

Die Angabe der mittleren Lebensdauer ist für einzelne Leuchtmittel von gesteigerter Relevanz, die bei Ausfall ersetzt werden müssen. Der Wert der Nutzungslebensdauer ist für Lichtanlagen mit mehreren Leuchtmitteln der wesentlichere. Aufgrund von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen findet bei diesen Lichtanlagen der Lampentausch bei einem Ausfallgrad von circa 5%-10% der Leuchtkörper statt.<sup>87</sup>

## 4.2 Temperaturstrahler

Als Temperaturstrahler wird eine Lampe verstanden, deren Lichtemission aus dem Erhitzen von elektrisch leitfähigen Materialien (in den häufigsten Fällen Metalle, aber auch Keramiken) hervorgeht. Dabei wird die zugeführte Energie (elektrischer Strom) in größtenteils Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) und auch zu einem kleineren Teil in sichtbares Licht umgewandelt (siehe Abb. 4.2).<sup>88</sup>

---

<sup>87</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 66f. / Vgl. [34] Theiß E: Beleuchtungstechnik, 2000, S. 79f. / Quelle: [http://www.lighting.philips.at/pwc\\_li/main/shared/lighting-philips/lightcommunity/trends/philips\\_lighting\\_acadamy/pdf/e-learning-Halogen\\_2013.pdf](http://www.lighting.philips.at/pwc_li/main/shared/lighting-philips/lightcommunity/trends/philips_lighting_acadamy/pdf/e-learning-Halogen_2013.pdf) (2013-11-24).

<sup>88</sup> Vgl. [8] Heinz R.: Grundlagen der Lichterzeugung, 2004, S. 25.

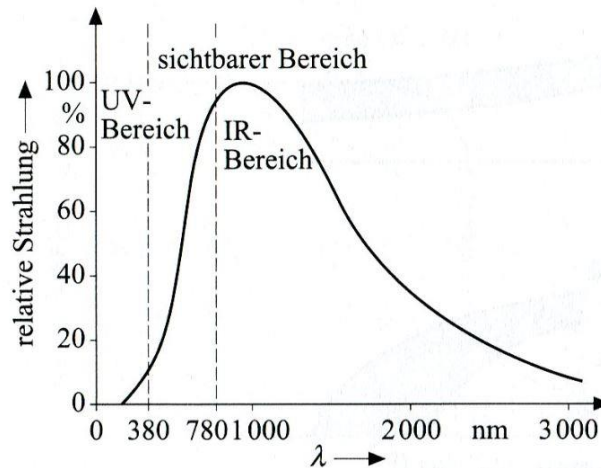


Abb. 4.2: Relative spektrale Strahlungsverteilung einer 40W-Glühlampe<sup>89</sup>

#### 4.2.1 Glühlampe

Die Entwicklung der Glühbirne beginnt bereits in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts. Somit ist die Glühlampe das erste der modernen Leuchtmittel, die heute noch in Verwendung sind. Der Verkauf von Glühlampen ist jedoch durch die europäische Öko-Design-Richtlinie, aufgrund der sehr schlechten Energieeffizienz schrittweise untersagt worden und mittlerweile verboten. Da nicht die Verwendung, sondern lediglich der Verkauf von Glühlampen untersagt wurde und demnach noch häufig Restbestände verwendet werden, wird hier democh auf Glühlampen eingegangen.

Die Grundlage der Funktionsweise einer Glühbirne beruht auf jener Tatsache, dass ein Glühdraht aus Metall mit Strom durchflossen wird und sich dadurch bis zu seiner Glühtemperatur (in der Regel ca. 2.700 K) erhitzt. Um das Verbrennen des Glühdrahtes zu verhindern, wird zum einen ein spezielles, für derartige Temperaturen beständiges Material (zumeist Wolfram) verwendet, zum anderen wird dieser Glühdraht in einem mit Inertgas gefüllten Glaszylinder hermetisch abgeschlossen. Die Lichtausbeute von Glühlampen hängt in erster Linie von der Temperatur des Glühfadens ab. Je höher die Temperatur des Glühfadens steigt, umso größer ist die Lichtausbeute, jedoch sinkt auch die Lebensdauer der Glühlampe deutlich. Das von Glühlampen produzierte Licht hat einen sehr hohen Rotanteil, was zu einem warmen Lichteindruck (Farbtemperatur 2.400 K) mit einem hohen Farbwiedergabeindex ( $R_a=100$ ) führt. Um die Lichtausbeute zu erhöhen, erfolgt die Ausbildung des Glühdrahtes als schraubenförmige Wendel. Es sind sowohl einfache, als auch doppelte Wendelungen möglich. Handelsübliche Glühlampen besitzen laut Herstellerangaben in der Regel eine Leuchtdauer von 1.000 bis 2.000 Stunden und eine Lichtausbeute von 10 bis 15 lm/W. Für Spezialanwendungen, wie zum

<sup>89</sup> [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 68.

Beispiel Arbeitsbeleuchtungen, werden stoßfeste Glühlampen erzeugt, welche von der EU-Öko-Design-Richtlinie ausgenommen sind und weiter verkauft werden dürfen.

Der große Nachteil von Glühbirnen ist die geringe Lichtausbeute im Verhältnis zur aufgewendeten Energie. Bei einer Glühlampe gehen in etwa 95% der eingesetzten Energie (Strom) durch die Erwärmung des Glühdrahtes verloren, sodass nur ca. 5% in Licht umgesetzt werden können. Durch diese geringe Effizienz wurde von der Europäischen Union der Beschluss gefasst, diese Art der Beleuchtung durch gehobene Anforderungen zugunsten von energieeffizienteren Beleuchtungssystem vom europäischen Markt zu drängen (siehe Kapitel 3.4).

Der von Glühlampen-Befürwortern angeführte größte Vorteil von Glühlampen ist die Lichtqualität. Betrachtet man das von Glühlampen produzierte Farbspektrum, ist dieses von allen künstlichen Leuchtmittel dem von natürlichen Sonnenlicht am ähnlichsten. Dies wiederum führt zur besten Farbwiedergabe und auch zu einem sehr angenehmen Licht für den Menschen.<sup>90</sup>

### 4.2.2 Halogenglühlampen

Eine wesentliche Weiterentwicklung der Glühlampe stellt die Halogenglühlampe dar. Bei dieser Leuchtmittelbauart wird dem Füllgas ein Halogen (Brom oder Jod) zugesetzt, was den Halogenkreisprozess in Gang setzt und die Kolbenschwärzung, also das Festsetzen von Atomen am Glaskolben, verhindert. Bei diesem Halogenkreisprozess geht das, durch die hohe Temperatur des glühenden Wolframfadens (circa 3.000 K), verdampfte Wolfram mit dem im Gas zur Verfügung stehenden Halogen eine nichtstabile Verbindung (Wolframhalogenid) ein und bleibt überall dort gasförmig, wo ein Temperaturniveau von über 250°C herrscht. Um dieses Temperaturniveau leichter erhalten zu können, wird der Glaskolben häufig sehr klein und kompakt konstruiert. Aufgrund der hohen Glasoberflächentemperaturen ist der Einsatz von schwer schmelzbarem Quarzglas häufig unumgänglich. Bei vielen Lampentypen kommt zusätzlich ein zweiter, übergestülpter Glaskolben zum Zweck der thermischen Isolierung gegenüber der Umgebungstemperatur zum Einsatz. Trifft das Wolframhalogenid auf den heißen Glühdraht, kann diese Verbindung nicht weiter aufrechterhalten werden und sie zerbricht wieder zu Wolfram und dem jeweiligen Halogen. Das Wolfram lagert sich auf dem Glühdraht ab und das Halogen steht wieder im gasförmigen Zustand dem Wolframdampf zur Verfügung, um den Kreislauf von neuem zu starten.

Es haben sich verschiedene Halogenglühlampentypen entwickelt. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen dem Hochvolt-Bereich (Betriebsspannungen von 220 V bis 240 V) und dem Niedervolt-Bereich (6 Volt bis 24 Volt). Sowohl im Hochvolt-Bereich, als auch im Niedervolt-Bereich kommen Leuchtmittelkonstruktionen mit und ohne Reflektor zum Einsatz. Hochvolt-Halogenlampen ohne

---

<sup>90</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 68ff.

Reflektor sind bei entsprechender Sockelausführung (zweiseitig gesockelt; Sockeltyp R7s) für Flutlichtanwendungen geeignet. Reflektorlose Halogenglühlampen sind ebenfalls zum Teil von der EU Verordnung 244/2009 (siehe Kapitel 3.4.1) betroffen, sofern sie in der Energieeffizienzklasse schlechter als B bewertet werden.

Halogenglühlampen erreichen aufgrund des heißeren Glühdrahtes eine im Vergleich zu konventionellen Glühlampen verbesserte Lichtausbeute von bis zu 25 lm/W, bei einer höheren möglichen statistischen Brenndauer von 1.500 h bis zu 5.000 h. Die Farbtemperatur beträgt, ebenfalls aufgrund des heißeren Glühdrahtes, 2.800 K bis 3100 K. Die Farbwiedergabe der Halogenglühlampe beträgt wie bei der Glühbirne  $R_a=100$ .

Um die Lichtausbeute und damit die Effizienz von Leuchten dieser Bauart weiter zu erhöhen, kommt häufig, vor allem bei Niedervolt-Lampen, eine reflektierende Schicht für infrarote Strahlung an der Oberfläche des Glaskolbens zum Einsatz. Diese Technologie wird IRC-Technik (Infra-Red-Coating) genannt. Diese reflektierende Schicht weist für Strahlung im sichtbaren Bereich hohe Transparenz auf, während die infrarote Strahlung zurück zur Wendel reflektiert wird. Somit wird im Bereich des Glühdrahtes die Temperatur gesteigert und die ansonsten dafür notwendige elektrische Energie entfällt.<sup>91</sup>

### 4.3 Niederdruckentladungslampen

Bei Entladungslampen erfolgt die Lichterzeugung aus einem Entladungsvorgang von ionisiertem Gas (zumeist Metalldämpfe und/oder Edelgase) in einem von der Umgebungsluft hermetisch abgeschlossen Glaszylinder. Bei Niederdrucklampen erfolgt die Entladung bei circa  $10^{-6}$  bar und circa  $10^{-5}$  bar.<sup>92</sup>

#### 4.3.1 Leuchtstofflampen

Die Leuchtstofflampe wird aus einem zylindrischen gläsernen Rohr gebildet, an dessen Enden jeweils Elektroden angebracht sind. Die Füllung dieses Glaskörpers besteht meistens aus einem Edelgasgemisch mit einer geringen Menge an Quecksilber. Das Druckniveau bildet sich bei etwa 2 mbar bis 6 mbar ab. Zusätzlich ist an der Innenseite des Kolbens eine Leuchtstoffschicht angebracht. Legt man nun elektrische Spannung an die beidseitig angebrachten Elektroden an, so werden die freien positiv geladenen Elektronen des Gasgemisches zur negativen Elektrode gezogen, die freien negativen geladenen Elektronen wandern zur positiven Elektrode der Glasröhre. Dabei kollidieren die geladenen

---

<sup>91</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 73ff. / Vgl. Quelle: <http://www.licht.de/de/produkte-und-hersteller/lampen/halogenlampen> (2014-01-15).

<sup>92</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 79.

Elektronen mit hoher Geschwindigkeit mit Quecksilberatomen, wobei ein Elektron des Quecksilberatoms angeregt wird. Der Abbau der durch den Stoßvorgang aufgenommenen Stoßenergie, die Stoßionisation, erfolgt über die Abgabe von ultravioletter Strahlung. Durch die Leuchtstoffschicht an der Kolbeninnenseite wird diese UV-Strahlung in sichtbares Licht umgewandelt. Die im Inneren des Glaszylinders ablaufenden physikalischen Vorgänge dieser Lampenform erfordern zwingend eine Strombegrenzung, da sich ansonsten das Leuchtmittel selbst infolge eines Kurzschlusses selbst zerstören würde. Als Spannungsbegrenzung kommen entweder induktive oder elektronische Vorschaltgeräte in Frage. Bei induktiven Vorschaltgeräten dient ein Starter als Zündhilfe bei elektronischen Vorschaltgeräten ist dies bereits im Vorschaltgerät integriert. Im Unterschied zu Temperaturstrahlern (siehe Kapitel 4.2) können Leuchtstoffröhren kein kontinuierliches Farbspektrum bieten. Der Grund dafür ist die Zusammensetzung des an der Glaszylinderinnenseite angebrachten Leuchtstoffes. Als bestmöglicher Kompromiss haben sich Dreiband-Leuchtstoffröhren etabliert, welche durch eine spezielle Abstimmung der Leuchtstoffzusammensetzung eine sehr gute Farbwiedergabeeigenschaft gewährleisten. Durch die Variation der Leuchtstoffzusammensetzung lassen sich eine Bandbreite des Farbwiedergabeindex  $R_a \geq 90$  erreichen. Die Lichtausbeute ist abhängig von der Art und Leistung des Vorschaltgerätes, aber auch zu einem nicht unerheblichen Teil von der Umgebungstemperatur der Leuchtstofflampe. Speziell bei tiefen Umgebungstemperaturen kann der Lichtstrom um bis zu zwei Drittel abfallen.

Bei Leuchtstofflampen wird nicht wie bei Temperaturstrahlern die mittlere Lebensdauer angeführt, sondern häufig die Nutzungslbensdauer. Ein genauer Wert kann nur sehr schwer angegeben werden, da dieser von der Schalthäufigkeit, von der Brenndauer, vom Vorschaltgerät und noch anderen Faktoren abhängt. Auf Basis der von den Lampenherstellern ausgewerteten Versuchszyklen ergibt sich eine statistische Lebensdauer von circa 12.000 h bis 80.000 h, in Sonderfällen können auch deutlich höhere Werte erreicht werden.

Zusammenfassend lassen sich folgende Vorteile für Leuchtstofflampen angeben:<sup>93</sup>

- Lange Lebensdauer
- Hohe Lichtausbeute
- Große Auswahl an Lichtfarben
- Sehr gute Farbwiedergabe
- Große Typenauswahl
- Hohe Wirtschaftlichkeit

---

<sup>93</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 82ff. / Vgl. [36] Zieseniß C.-H.: Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann, 2002, S. 50ff.



### 4.3.2 Kompaktleuchtstofflampen

Auf Basis der in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Leuchtstofflampen auf Quecksilberdampf-Niederdruckentladungsbasis wurden kompakte Leuchtstofflampen entwickelt. Als großer Vorteil dieser neu entwickelten Leuchtmittel ist zusätzlich zu den Vorteilen der bisherigen Leuchtstoffröhren die kompakte Bauweise, ähnlich wie bei Glühlampen, gegeben. Eine der größten technischen Herausforderungen war die Situierung des Vorschaltgerätes. Dieses wurde entweder in kompakter Ausführung in den Sockel der Lampe integriert oder extern angeordnet.

Kompaktleuchtstofflampen sind in Kombination mit Steck- und Schraubsockeln erhältlich. Bei steckbaren Sockeln kann zwischen zwei oder vier Stiften unterschieden werden. Auch sind Ausführungsformen mit oder ohne integriertem Vorschaltgerät möglich. Die Nennlebensdauer beträgt abhängig vom Vorschaltgerät und den Schaltanzahlen zwischen 3.000 h und 20.000 h. Als Vorteil der kompakten Leuchtstofflampen kann das geringe Gewicht, die kompakten Abmessungen, die hohe Lichtausbeute, die lange Lebens- beziehungsweise Nutzungsdauer und die Variabilität der Lichtfarben angeführt werden. Als mögliche Lichtausbeute können bis zu 80 lm/W, bei einem Farbwiedergabeindex von  $R_a \geq 80$  erwartet werden.

Stattet man die Kompaktleuchtstofflampen anstatt eines Stiftstockels mit einem Schraubgewinde aus, so erhält man eine attraktive und effiziente Alternative zur Glühlampe, die umgangssprachlich so genannte Energiesparlampe. Blickt man in ein beliebiges Regal eines Lampenfachgeschäftes, wird man die verschiedensten Ausführungsformen, von mehrfach gebogen, stabförmig, als Kreisring oder als klassische Glühlampenform vorfinden.<sup>94</sup>

### 4.3.3 Natriumdampf-Niederdrucklampen

Natriumdampf-Niederdrucklampen sind jene Leuchtmittel mit der höchsten Lichtausbeute. Erreichbare Werte lassen sich mit bis zu 200 lm/W angeben. Diese hohen Werte sind vor allem dadurch erreichbar, dass das von Natriumdampf-Niederdrucklampen erzeugte sichtbare Licht zum größten Teil monochromatisch ist und eine Wellenlänge von  $\lambda = 589$  nm besitzt. Es liegt somit nahe am maximalen Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges ( $\lambda = 555$  nm, siehe Abb. 2.4). Wie in Abb. 2.2 erkennbar, besitzt sichtbares Licht mit einer Wellenlänge von  $\lambda = 589$  nm eine gelbliche/orange Färbung. Durch diese monochrome Lichteigenschaft wirken alle färbigen Gegenstände in unterschiedlichen Gelbvariationen. Aus diesem Grund ist eine Farberkennung bei von Natriumdampf-Niederdrucklampen produziertem Licht nur sehr schwer möglich und das Einsatzgebiet demnach auf großflächige Verkehrs- oder Industriebeleuchtungen begrenzt.

---

<sup>94</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 98ff.

Der Aufbau von Natriumdampf-Niederdrucklampen besteht aus einem U-förmig gebogenen Brenner, welcher aus Gründen der thermischen Isolation in einem evakuierten Glaskolben situiert ist. Dieser Glaskolben ist zusätzlich mit einer infrarotreflektierenden Schicht versehen, um die Temperatur auf die für den Betrieb notwendigen 300°C erreichen zu können. Im Inneren des Brenners befindet sich eine Natriumdampf-Gasmischung mit einem kleinen Anteil an Neon. Im Kaltzustand der Lampe befindet sich das Natrium in festem metallischen Zustand, es wird erst während des Startvorgangs mithilfe des zur Verfügung stehenden Neons erhitzt und in weiterer Folge verdampft. Daher haben Natriumdampf-Niederdrucklampen eine Startphase von circa 10 min bis 15 min bis zum Erreichen ihrer lichttechnischen Sollwerte. In der Startphase emittieren Natriumdampf-Niederdrucklampen aufgrund des Anteiles an Neon im Brennraum Licht mit rötlicher Färbung.<sup>95</sup>

### 4.3.4 Induktionslampen

Eine Induktionslampe ist eine besondere Leuchtstofflampe. Sie besitzt im Gegensatz zur Leuchtstofflampe keine Elektroden, die ins Innere des Glaskolbens reichen, sondern die Energie wird nach dem elektromagnetischen Induktionsprinzip auf die Edelgasfüllung übertragen.

Die Funktionsweise basiert auf einem Hochfrequenzstrom (2,65 MHz), der durch ein elektronisches Vorschaltgerät erzeugt wird. Durch das Durchfließen einer Primärwicklung wird im Füllgas ein elektromagnetisches Feld induziert, welches das Füllgas zu Ionisierung anregt. Infolge dieser Ionisierung wird UV-Strahlung erzeugt, welche wie bei Leuchtstofflampen in der aufgetragenen Leuchtstoffschicht in sichtbares Licht umgewandelt wird. Als größter zu nennender Vorteil dieses Lampentypes ist sicherlich die extrem lange Lebensdauer von bis zu 60.000 h zu nennen. Diese lässt sich damit erklären, dass es bei dieser Leuchtenart keinerlei Teile gibt, die von möglichem Verschleiß betroffen wären. Als weiterer Vorteil lässt sich die sofortige und flackerfreie Zündung bei Temperaturbereichen von bis zu -20°C hervorstreichen. Mit Induktionslampen lassen sich, ähnlich wie bei Leuchtstofflampen, unterschiedliche Lichtfarben erzeugen und können daher für eine gute Farbwiedergabe ( $R_a \leq 80$ ) eingestellt werden. Die Lichtausbeute kann mit 100 lm/W angegeben werden.

Im Gegensatz zu den oben beschriebenen kolbenförmigen Induktionslampen können auch röhrenförmige Induktionslampen (oder auch elektrodenlose Hochleistungs-Leuchtstofflampe) zum Einsatz kommen. Hierbei findet die für die Lichterzeugung notwendige Gasionisierung nicht zwischen zwei Elektroden statt, sondern in einem geschlossenen Ringsystem. Die Zufuhr der notwendigen Ionisierungsenergie erfolgt elektrisch durch zwei als Spulen ausgebildete Ferritringe und ein

---

<sup>95</sup> Vgl. [35] Weis B.: Grundlagen der Beleuchtungstechnik, 2001, S. 57ff. / Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 107ff.

elektrisches Vorschaltgerät. Das dadurch angeregte hochfrequente Magnetfeld mit einer Frequenz von circa 250 kHz ionisiert das Füllgas im Inneren des Glasrohres und erzeugt damit UV-Strahlung. Diese UV-Strahlung wird mithilfe der an der Glasrohrinnenseite angebrachten Leuchtstoffschicht zu sichtbarem Licht umgewandelt. Wie bei der kolbenförmigen Ausführungsvariante kann eine Lebensdauer von bis zu 60.000 h bei einer Farbwiedergabe von  $R_a = 80$  erwartet werden. Die Lichtausbeute kann dabei sogar etwas höher als mit der vergleichbaren kolbenförmigen Variante liegen, es werden bis zu 100 lm/W erreicht. Die Einsatzgebiete der beiden Varianten gestalten sich ähnlich. Wie bereits beschrieben, werden diese Lampen überall dort eingesetzt, wo der Lampenwechsel sehr aufwendig ist. Dies kommt vor allem bei Industriebeleuchtungen bei sehr hohen Leuchtpunkthöhen, bei Straßen- Tunnel- oder Kühlhausbeleuchtungen vor.<sup>96</sup>

### 4.4 Hochdruckentladungslampen

In der Gruppe der Hochdruckentladungslampen sind im Gegensatz zu den Niederdruckentladungslampen (siehe Kapitel 4.3) wesentlich höhere Betriebsdrücke im Brenner vorhanden. Die grundsätzliche Methode der Lichterzeugung erfolgt jedoch nach demselben Prinzip. Während bei Niederdruckentladungslampen nur Betriebsdrücke von weit unter 1 bar angewendet werden, befinden sich bei Hochdruckentladungslampen zwischen circa 0,2 bar und 20 bar im Brennraum des Leuchtmittels. Wegen des hohen Betriebsdruckes ist sowohl eine lange Anlaufzeit für die volle Lichtausbeute, als auch eine verzögerte Wiederentzündbarkeit im heißen Zustand für Hochdruckentladungslampen typisch. Die Eigenschaft des langen Vorlaufes beruht darauf, dass der für die Lichterzeugung notwendige Dampfdruck des ionisierten Edelgases erst langsam auf das notwendige hohe Druckniveau aufgebaut werden muss. Für eine Wiederentzündbarkeit des Leuchtmittels im noch heißen Zustand sind spezielle Zündgeräte notwendig.<sup>97</sup>

#### 4.4.1 Natriumdampf-Hochdrucklampe

Die Natriumdampf-Hochdrucklampen werden in drei Bauformen angeboten:

- Röhrenform

Die Ausführungsvariante in Röhrenform bietet laut Herstellerangaben Lichtausbeuten bis zu 150 lm/W.

---

<sup>96</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 129ff. / Vgl. [36] Zieseniß C.-H.: Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann, 2002, S. 66ff.

<sup>97</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 111. / Vgl. [3] Baer R., Beleuchtungstechnik, 2006, S. 223.

- Soffittenform

Die Ausführungsvariante in Soffittenform bietet laut Herstellerangaben Lichtausbeuten bis zu 120 lm/W. Zu beachten ist, dass die Brennstellung der Soffittenform nur in einem Winkel  $\pm 45^\circ$  zur Waagrechten möglich ist.

- Ellipsoidform

Die Ausführungsvariante in Ellipsoidform bietet laut Herstellerangaben Lichtausbeuten bis zu 138 lm/W.

Die Natriumdampf-Hochdrucklampe zeichnet sich durch eine extrem hohe Lichtausbeute (Maximalwerte bis zu 130 lm/W) und eine sehr lange Lebensdauer (mittlere Lebensdauer bis zu 40.000 h) aus. Der Lichtstromrückgang im Laufe der Betriebszeit bildet sich mit etwa 80% nach 10.000 Betriebsstunden ab. Die Anwendung ist für Verkehrsbeleuchtungen, Industrieanlagen und in Lagerräumen möglich.

Die Funktionsweise beruht auf einem keramischen, hochgesinterten Entladungsrohr aus Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) in dem die Höchsttemperatur bis zu  $1.200^\circ\text{C}$  betragen kann und ein Betriebsdruck von circa 0,25 Bar herrscht. Die Füllung des Entladungszylinders besteht aus Natrium-Quecksilber, Amalgam und Xenon, wobei aber auch quecksilberfreie Ausführungsformen technisch möglich sind.

Das Anlaufverhalten von Natriumdampf-Hochdrucklampen ist in Bezug auf den Lichtstrom sehr träge, der volle Lichtstrom steht erst nach einer Anlaufzeit von bis zu 10 min zur Verfügung. Im Anlaufprozess ist ebenfalls ein erhöhter Anlaufstrom von circa 125% des Betriebsstromes notwendig, was in der Leitungsdimensionierung unbedingt berücksichtigt werden sollte. Die Wiederentzündbarkeit von Natriumdampf-Hochdrucklampen ist beschränkt und nur bei der Soffittenform in Kombination mit einem speziellen Hochspannungszündgerät, welches in der Lage ist Stoßspannungen von 25 kVs abzugeben, möglich. Einige Lampentypen weisen durch eine Starthilfe Wiederentzündzeiten bei üblichen Umgebungstemperaturen von weniger als 30 Sekunden auf, alle anderen zünden bei der Verwendung von Standardzündgeräten ab einem Zeitfenster von wenigen Minuten wieder.<sup>98</sup>

### 4.4.2 Quecksilberdampf-Hochdrucklampe

Durch die Verordnung der europäischen Union (EG) Nr. 245/2009 ist die Verbreitung von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen ab April 2015 nicht mehr erlaubt. Da sie zum jetzigen Zeitpunkt aber noch verkauft und verwendet werden dürfen, wird dieser Lampentyp dennoch behandelt.

---

<sup>98</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 111ff.

Quecksilberdampf-Hochdrucklampen werden hauptsächlich in drei Bauformen angeboten:

- Ellipsoidform
- Pilzform mit Reflektor
- Kugelform

Die elliptische Form des äußeren Glaskolbens, an dessen Innenseite auch die Leuchtstoffschicht angebracht ist, ist am gebräuchlichsten. Im Inneren des Glaskolbens befindet sich ein Entladungsrohr aus Quarzglas, welches mit einem ionisierenden Edelgasgemisch aus Argon sowie einer bestimmte Menge an Quecksilber gefüllt ist. Mittels Hilfelektroden und einem Vorwiderstand wird der Entladungsvorgang in Verbindung mit dem Argongas eingeleitet und die dadurch freiwerdende Wärme als Grundlage für das Verdampfen des Quecksilbers genutzt. Die darin herrschenden Betriebsdrücke liegen zwischen 2 bar und 9 bar. Die Mobilisierung des Quecksilbers dauert im Mittel, abhängig von der Umgebungstemperatur, zwischen drei und sechs Minuten. Nach dieser Vorwärmdauer findet die gesamte Entladung zwischen den beiden Hauptelektroden statt, wobei ab diesem Zeitpunkt auch der volle Lichtstrom zur Verfügung steht. In der Anlauf- beziehungsweise Aufwärmphase beträgt der Anlaufstrom in etwa 140% des Betriebsstromverbrauches. Diese Eigenschaft von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen muss in der Leitungsdimensionierung berücksichtigt werden. Für den Betrieb von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen ist kein Zündgerät, dafür aber ein Vorschaltgerät, das in den meisten Fällen in Form einer Drosselspule ausgebildet ist, notwendig. Nach dem Erlöschen der Lampe ist eine neuerliche Inbetriebnahme erst nach einer mehrminütigen Abkühlphase möglich.

Quecksilberdampf-Hochdrucklampen besitzen eine sehr hohe Lebensdauer, wobei der Lichtstrom im Mittel nach circa 15.000 Betriebsstunden auf in etwa 80% des Ausgangslichtstromes abgesunken ist. Die Lichtausbeute kann je nach Leistungsstufe des jeweiligen Leuchtmittels zwischen 32 lm/W und 58 lm/W variieren. Die Farbwiedergabe beziehungsweise die Lichtfarbe kann mithilfe der Einstellung der an der Innenseite des Schutzglaskolbens angebrachten Leuchtstoffschicht gesteuert werden. Als sehr häufige Anwendungsgebiete findet man diesen Lampentyp bei Außenbeleuchtungen von Industrie- und Verkehrsanlagen, Sportplätzen und auch Fußgängerzonen.<sup>99</sup>

### **4.4.3 Halogen-Metaldampflampen mit Quarzbrenner**

Als Weiterentwicklung der Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (siehe Kap. 4.4.2) sind die Halogen-Metaldampflampen zu nennen. Bei diesem Lampentyp werden zusätzlich zu Quecksilber noch seltene Erden (beispielsweise Dysprosium, Holmium oder Thulium) im Brennraum beigemischt.

---

<sup>99</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 116ff. / Vgl. [35] Weis B.: Grundlagen der Beleuchtungstechnik, 2001, S. 60ff.

Durch diese Zusätze kann man die spektrale Strahlungsverteilung und die Lichtausbeute deutlich verbessern, was zu Farbtemperaturen von 6.000 K bis 3.000 K und Lichtausbeuten zwischen 54 lm/W und 120 lm/W führt. Durch die guten Farbwiedergabeeigenschaften ist es möglich, den Kolben klar zu fertigen, da die Leuchtstoffschicht an der Innenseite nicht mehr notwendig ist. Bei Halogen-Metallampflampen ist eine Vielfalt an verschiedenen Kolbenformtypen mit jeweils zum Teil noch zusätzlich variablen Sockeltypen erhältlich. Als Grundaufbau kann die kompakte Kolbenform mit Schraubsockel genannt werden.

Für diesen Lampentyp ist zusätzlich zum Vorschaltgerät ein Hochspannungszündgerät notwendig, da die Zündspannung höher als die Netzspannung liegt. Als reguläre Zündspannungen werden bis zu 4,5 kV notwendig, allerdings ist hier keine Zündung im heißen Zustand möglich. Sollen Heißzündungen bei Halogen-Metallampflampen möglich sein, sind neben Spezialausführungen der Lampen auch spezielle Zündgeräte mit Zündimpulsen von bis zu 25 kV notwendig. Da dieser Lampentyp auf Quecksilberdampf-Hochdrucklampen basiert, ist hier ebenso mit einem um bis zu 140% erhöhte Anlaufstrom zu rechnen. Die Nutzungsdauer kann mit circa 20.000 Betriebsstunden angegeben werden. Nach einer Betriebsdauer von circa 6.000 h ist der Lichtstrom auf etwa 75% des Anfangswert gesunken. Lampen mit beschädigten Außenkolben dürfen wegen der vom Brenner ausgehenden hohen UV-Strahlung nicht betrieben werden.<sup>100</sup>

#### 4.4.4 Halogen-Metallampflampen mit Keramikbrenner

Die Funktionsweise und das Funktionsprinzip sind bei Halogen-Metallampflampen mit Keramikbrennern und Halogen-Metallampflampen mit Quarzbrennern gleich. Lediglich der Aufbau der Brennkammer ist eine andere, da diese im Fall von Keramikbrennern aus transparenter Keramik (polykristallines Aluminiumoxid  $AlO_2$ ) besteht. Der Vorteil des Keramikbrennraumes besteht darin, dass durch die höheren Betriebstemperaturen eine wesentlich bessere Farbwiedergabe (bis zu  $R_a \leq 90$ ) sowie einer besseren Farbstabilität ( $\pm 150$  K nach 10.000 Betriebsstunden) gewährleistet werden kann. Die Lichtausbeute kann mit bis zu 135 lm/W angegeben werden. Die Anordnung von Vorschaltgeräten ist auch bei diesem Lampentyp unumgänglich. Als mögliche Varianten kommen konventionelle Vorschaltgeräte (KVG) oder elektronische Vorschaltgeräte (EVG) in Frage. Mithilfe eines elektronischen Vorschaltgerätes kann die Aufwärmphase im Vergleich zu einem konventionellen Vorschaltgerät von bis zu 5 min auf circa 90 Sekunden gesenkt werden. Durch die längere Abkühlzeit des Keramikbrenners ist die Wiederezündzeit länger. Hier können spezielle Zündgeräte die neuerliche Wiederinbetriebnahme, durch zeitlich abgestimmte Zündimpulse deutlich beschleunigen.<sup>101</sup>

---

<sup>100</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 120ff.

<sup>101</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 125f. / Vgl. [8] Heinz R.: Grundlagen der Lichterzeugung, 2004, S. 59ff.

### 4.5 Leuchtdioden

Neben den konventionellen Lichterzeugungstechnologien entwickelten sich bereits im Jahr 1962 die ersten Leuchtdioden, kurz LEDs genannt. Dabei bedeutet die Abkürzung LED die englischen Ausdrücke „light emitting diode“, was auf Deutsch übersetzt Leuchtdiode oder auch Lumineszenz-Diode bedeutet. Diese waren jedoch aufgrund ihrer sehr schlechten Lichtausbeuten und der teuren Herstellung für lange Zeit als Beleuchtungselement nicht wirtschaftlich verwendbar. Erst die technologische Entwicklung, vor allem in den letzten Jahren, eröffnete einen immer größer werdenden, effizienten Anwendungsbereich für LEDs. Zu Beginn der LED-Entwicklung konnte von einer Lichtausbeute von circa 0,1 lm/W ausgegangen werden.<sup>102</sup> 2013 sind im Handel bereits LEDs mit Lichtausbeuten von bis zu 140 lm/W erhältlich. Prognosen für das Jahr 2015 sprechen von bis zu 160 lm/W<sup>103</sup> für Lampen im Bereich der Außenbeleuchtungen, wobei bei Laborversuchen bereits Leuchtdioden mit einer Lichtausbeute von bis zu 200 lm/W konstruiert werden konnten.<sup>104</sup>

Die Funktionsweise von LEDs basiert auf der Umwandlung von elektrischem Strom in Licht durch Elektrolumineszenz. Der Aufbau einer Leuchtdiode besteht aus mehreren Schichten eines halbleitenden Materials. Um die LED zum Leuchten zu bringen wird eine Gleichspannungsquelle angeschlossen, sodass in der aktiven Schicht (siehe Abb. 4.3 am rechten Bild) Licht erzeugt wird.

---

<sup>102</sup> Vgl. [15] Krückeberg J.: Hochleistungs-LEDs, 2007, S. 35ff.

<sup>103</sup> Quelle: [http://www.lighting.philips.at/connect/pla/online\\_schulungen/led\\_oled\\_2013.wpd](http://www.lighting.philips.at/connect/pla/online_schulungen/led_oled_2013.wpd) (2013-12-09).

<sup>104</sup> Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/presse/pressemitteilungen/\\_fachpresse/2011/laborrekord/index.jsp](http://www.osram.at/osram_at/presse/pressemitteilungen/_fachpresse/2011/laborrekord/index.jsp) (2013-12-12).

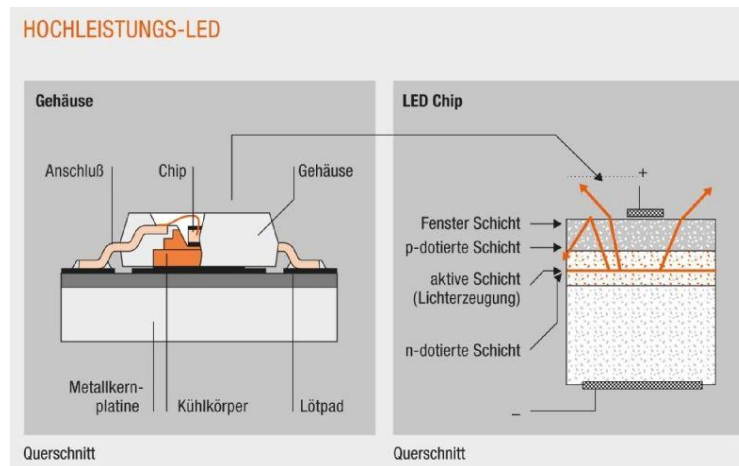


Abb. 4.3: Querschnitt Hochleistungs-LED<sup>105</sup>

Dieses Licht besitzt im Vergleich zu Temperaturstrahlern andere Eigenschaften. Es wird lediglich ein monochromatisches Lichtspektrum erzeugt, dessen Wellenlänge und Lichtfarbe vom verwendeten Halbleitermaterial direkt beeinflusst wird. Zusätzlich wird (beinahe) keine Infrarotstrahlung abgegeben. Dieser Umstand erfordert häufig eine Wärmeableitung über zusätzliche Kühlkörper der LED-Lampe. Diese kontrollierte Wärmeableitung darf nicht vernachlässigt werden, da der Lichtstrom von Leuchtdioden mit der Temperatur korreliert und bei hohen Temperaturen deutlich abnimmt. In der Forschung erkannte man, dass diese Eigenschaft für farbige und weiße Leuchtdioden eine grundlegende Funktion ist. Daraus resultierend kristallisierten sich im Entwicklungsprozess der Leuchtdioden zwei Ausgangsgruppen für LEDs heraus. Zum einen verwendet man Leuchtdioden mit Aluminium-Indium-Galliumphosphid (AlInGaP) als Basis der Leiterplatte für LEDs mit warmen Farben. Zum anderen wird für kalte LED-Farben das Halbleitermaterial Indium-Galliumnitrid (InGaN) verwendet. Die unterschiedlichen Halbleitermaterialien in Kombination mit verschiedenen Spannungen lassen die Bildung von rotem, grünem oder blauem Licht mithilfe der Lumineszenzkonversion zu. Für die Erzeugung von weißem Licht stehen zwei Möglichkeiten und damit auch zwei verschiedene Weißqualitäten zur Verfügung. Zum einen kann mithilfe einer zusätzlichen Leuchtstoffschicht durch blaues LED-Licht weißes Licht emittiert werden. Diese Methode wird vor allem bei guter bis sehr guter Farbwiedergabe ( $R_a \geq 80$ ) angewendet und es können Farbtemperaturen von 3.000 K bis 7.000 K erzeugt werden. Als zweite Variante, um weißes Licht zu erzeugen kann die Methode der additiven Farbmischung angewendet werden. Dabei werden die Lichtfarben Rot, Grün und Blau überlagert. So kann neben allen anderen Farben auch weißes Licht erzeugt werden. Diese letzte Form der Farbmischung wird vor allem bei dekorativen Effekten verwendet, wo die weiße Lichtfarbe nicht primär im Vordergrund steht und die Farbwiedergabe ebenfalls sekundär ist. Durch

<sup>105</sup> Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/news-und-wissen/led-home/professionelles-wissen/led-grundlagen/basiswissen/index.jsp](http://www.osram.at/osram_at/news-und-wissen/led-home/professionelles-wissen/led-grundlagen/basiswissen/index.jsp) (2013-12-09).



die Überlagerung von drei Farben kann bei dieser Methode der Weißerindruck beziehungsweise die präzise Farbeinstellung, aufgrund von Alterungsprozessen und auch Temperaturschwankungen, nicht über einen längeren Zeitraum garantiert werden.<sup>106</sup>

Die Lebensdauer von Leuchtdioden kann nur sehr schwer angegeben werden. Die Ausfallsquote der Einzeldioden ist sehr gering, es nimmt aber der abgegebene Lichtstrom über die Zeit ab, vergleichbar zu Entladungslampen. Die Ursache dafür ist in der Regel in der Materialalterung zu finden, die durch gewisse Einflussfaktoren beschleunigt werden kann und natürlich auch in standortbedingten Einflüsse. In der ÖVE/ÖNORM 62717 „LED-Module für die Allgemeinbeleuchtung – Anforderungen an die Arbeitsweise“ wird diese Thematik ausführlich behandelt. In dieser Norm werden im Anhang C drei mögliche Versagensszenarien definiert:

- a) Festlegungen zur Lebensdauer bei allmählichem Lichtstromrückgang
- b) Festlegungen zur Lebensdauer bei plötzlichem Lichtstromrückgang
- c) Kombiniertes allmähliches und plötzliches Rückgang der Lichtabgabe

Um mithilfe dieser Versagensszenarien eine Bewertung treffen zu können, wird das oben angeführte Versagemuster in Abhängigkeit zur Lebensdauer einer einzelnen LED ( $L_x$ ) angegeben. Als Zeitdauer  $L_x$  wird jene Zeit verstanden, in der „ein LED-Modul unter festgelegten Bedingungen mehr als die angegebene Prozentzahl  $x$  des Anfangslichtstroms liefert.“<sup>107</sup> Dazu wird der Wert  $L_x$  mit einer weiteren, abhängig vom Versagemuster, Buchstaben/Zahlenkombination verknüpft. Für den allmählichen Lichtstromrückgang ist dafür die Buchstaben/Zahlenkombination  $B_y$ , für den plötzlichen Lichtstromrückgang  $C_y$  und für den kombinierten allmählichen und plötzlichen Rückgang der Lichtabgabe  $F_y$  vorgesehen.

In Tabelle C.1 der Norm ÖVE/ÖNORM PAS 62717 werden empfohlene Werte für  $x$  und  $y$  angegeben:

|     | $L_x B_y$ |    |    |    |    |    | $L_x C_y$ |    | $L_x F_y$ |    |    |    |    |    |
|-----|-----------|----|----|----|----|----|-----------|----|-----------|----|----|----|----|----|
| $x$ | 70        |    | 80 |    | 90 |    | 0         |    | 70        |    | 80 |    | 90 |    |
| $y$ | 10        | 50 | 10 | 50 | 10 | 50 | 10        | 50 | 10        | 50 | 10 | 50 | 10 | 50 |

Tab. 4.2: Empfohlene Werte für  $x$  und  $y$  als Maßzahlen für die Lebensdauer<sup>108</sup>

Häufig vorkommende Kombinationen sind  $L_{70}B_{50}$  sowie  $L_{80}F_{10}$ . Die Kombination  $L_{70}B_{50}$  bedeutet, dass 50% der einzelnen Leuchtdioden noch 70% ihres Lichtstroms liefern können. Bei der  $L_{70}B_{50}$ -Lebensdauer können laut den Produktdatenblättern der verschiedenen Lampenhersteller durchaus 50.000 bis 80.000 Betriebsstunden erreicht werden. Die strengere Definition (beziehungsweise die

<sup>106</sup> Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 132ff. / Vgl. [15] Krückeberg J.: Hochleistungs-LEDs, 2007, S. 37ff.

<sup>107</sup> [29] ÖVE/ÖNORM PAS 62717, S. 11.

<sup>108</sup> [29] ÖVE/ÖNORM PAS 62717, S. 34.

kürzere Lebensdauer) stellt die  $L_{80F_{10}}$ -Lebensdauer dar. Diese beschreibt jenes Zeitintervall, in dem 90% aller vorhandenen Leuchtdioden (Ausfall 10%) noch 80% ihres Ausgangslichtstromes liefern können.

Leuchtdioden haben eine rasante Entwicklung hinter sich, und sind aus dem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken. Der Einsatzbereich reicht von Displaybeleuchtungen für Klein- und Großgeräte (beispielsweise Mobiltelefone und Fernseher) über die Sicherheitsbeleuchtung, Markierungen von Fluchtwegen, der Raumbelichtung bis hin zur Straßenbeleuchtung.<sup>109</sup>

### 4.6 Zusammenfassung der Eigenschaften der Leuchtmittel

Die folgende Tabelle solle eine grobe Übersicht über die Lichttechnischen Eigenschaften der angeführten Leuchtmittel bieten.

---

<sup>109</sup> Vgl. Quelle: [http://www.lighting.philips.at/connect/pla/online\\_schulungen/led\\_oled\\_2013.wpd](http://www.lighting.philips.at/connect/pla/online_schulungen/led_oled_2013.wpd) (2013-12-09). / Vgl. Quelle: [http://www.osram.at/osram\\_at/news-und-wissen/led-home/professionelles-wissen/led-grundlagen/index.jsp](http://www.osram.at/osram_at/news-und-wissen/led-home/professionelles-wissen/led-grundlagen/index.jsp) (2013-12-09). / Vgl. [32] Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 2008, S. 132ff.

#### 4 Leuchtmittel

|                                   | Lichtstrom         | Lichtausbeute | Farbwiedergabe      | Mögliche Einsatzdauer | Einsatzbereich, Sonstige Anmerkungen   |
|-----------------------------------|--------------------|---------------|---------------------|-----------------------|--|
| Glühlampen                        | ca. 100-8.000 lm   | 7-17 lm/W     | sehr gut            | 1.000-2.000 h         | Innen- und Außenbereiche, dürfen in der EU nicht mehr Verkauft werden                    |
| Glühlampen für Spezialanwendungen | ca. 100-8400 lm    | 7-17 lm/W     | sehr gut            | 1000 h                | In stoßfester oder temperaturngeschützter Ausführung                                     |
| Halogenglühlampen                 | ca. 100-44.000 lm  | 10-25 lm/W    | sehr gut            | 5.000 h               | Innen- und Außenbereiche, Flutlicht  |
| Leuchtstofflampe                  | ca. 1.000-6.500 lm | 70-115 lm/W   | gut bis sehr gut    | 10.000 bis 80.000 h   | Grundbeleuchtung von Arbeitsstätten, Verkaufsräume                                       |
| Kompaktleuchtstofflampe           | ca. 100-4.800 lm   | 30-80 lm/W    | gut bis sehr gut    | 7.000-35.000 h        | Energieeffiziente Alternative zu Glühlampen/Halogenglühlampen                            |
| Natriumdampf-Niederdrucklampe     | 1.800-32.000 lm    | 100-200 lm/W  | sehr schlecht       | ca. 18.000 h          | Außen- und Verkehrsflächen, Sicherheits- und Orientierungsbeleuchtung                    |
| Natriumdampf-Hochdrucklampe       | 3.500-130.000 lm   | 70-130 lm/W   | schlecht bis mittel | 12.000-40.000 h       | Arbeitsstätten in hohen Hallen   |
| Induktionslampe                   | 3.500-12.000 lm    | 80-100 lm/W   | gut bis sehr gut    | ca. 60.000 h          | Industriebeleuchtungen, Außenbereiche  |
| Quecksilberdampf-Hochdrucklampe   | 1.800-58.000 lm    | 40-60 lm/W    | mittel bis gut      | 10.000-24.000 h       | Flächenbeleuchtung im Außenbereich wie z. B. Industrieanlagen, Straßen, Parkplätze, Höfe |
| Halogen-Metaldampf Lampe          | 1.700-230.000 lm   | 85-135 lm/W   | gut bis sehr gut    | 10.000-20.000 h       | Flächenbeleuchtungen im Innen- und Außenbereich, in Hallen, Verkehrsflächen, Baustellen  |
| LED                               | bis zu 24.000 lm   | 30-160 lm/W   | gut bis sehr gut    | 80.000 h              | sehr vielfältig einsetzbar   |

Tab. 4.3: Übersicht Leuchtmittel

### 4.7 Umweltgerechte Entsorgung/Recycling

In der heutigen Zeit spielt die umweltgerechte Entsorgung von allen künstlich erzeugten Produkten, und darunter zählen auch Leuchtmittel aller Art, eine wesentliche Rolle. Es ist jedoch nicht nur auf die fachgerechte, umweltbewusste Entsorgung zu achten, auch das Recycling von wiederverwertbaren Rohstoffen hat einen hohen Stellenwert dar. Die Problematik der Quecksilberbelastung bei Entladungslampen stellt uns nicht nur vor ein Entsorgungs- beziehungsweise Recyclingproblem, sondern auch vor die Gefahr der Gesundheitsgefährdung im Falle des Bruches des Entladungskörpers.

#### 4.7.1 Entsorgung Temperaturstrahler

Weil Temperaturstrahler zum größten Teil aus Glas und Metall bestehen, sind sie für die Entsorgung im Restmüll vorgesehen. Die Entsorgung über den Recyclingweg des Altglases kommt aufgrund der feinen Drähte nicht in Frage. Diese feinen Metalldrähte bleiben mit dem Glas in Verbund und können nicht vom Glasbruch getrennt werden. Das würde beim Aufschmelzen des Altglases zu Einschlüssen führen, die die neu erzeugten Glasprodukte unbrauchbar machen würden. Die in den Halogenlampen zugefügten Halogene stellen aufgrund der äußerst geringen Mengen (millionstel Gramm) sowohl für die Entsorgung im Haus- beziehungsweise Restmüll, als auch für die Gesundheit des Menschen im Falle des Bruches keine Gefährdung dar.

#### 4.7.2 Entsorgung Entladungslampen

Da Gasentladungslampen neben für den Menschen gesundheitsschädliches Quecksilber auch recyclingfähige Rohstoffe enthalten, fallen sie unter die Elektroaltgeräteverordnung (EAG-VO). Daher ist die fachgerechte Entsorgung dieser Lampen unumgänglich und die Entsorgung über den Hausmüll nicht möglich. Sie sind daher den Problemstoffsammelzentren der Gemeinden zuzuführen beziehungsweise sind beim Neukauf auch die Händler verpflichtet, alte Lampen zurückzunehmen.<sup>110</sup>

#### 4.7.3 Entsorgung Leuchtdioden

Da LED-Leuchten elektronische Bauteile sind, ist die Entsorgung über den Hausmüll nicht möglich. Durch die Verwendung von elektronischen Halbleiterelementen ist der Einsatz von wertvollen Rohstoffen ein sehr hoher. Diese lassen sich durch effizientes Recycling rückgewinnen und wiederverwerten. Leuchtdioden werden als kleine Elektroaltgeräte definiert, fallen daher ebenfalls

---

<sup>110</sup> Vgl. Quelle: <http://www.lebensministerium.at/umwelt/abfall-ressourcen/Ressourcen.html> (2013-12-14). / Vgl. Quelle: <http://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/beratung/muelltrennung/kampagne-energiesparlampen.html> (2013-12-14).

unter die Elektroaltgeräteverordnung und sind über die Problemstoffsammelstellen der Gemeinden oder über die vertreibenden Händler dem Recyclingkreislauf zuzuführen.<sup>111</sup>

---

<sup>111</sup> Vgl. Quelle: <http://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/beratung/muelltrennung/energiesparlampen.html> (2013-12-15).

## 5 Leuchtmittel an exponierten Orten

Beim Gedanken an Leuchtmittel an exponierten Orten denkt man unweigerlich an Baustellen unter Tage. Diese Baustellen sind wohl auch ein Paradebeispiel für die extremsten Anforderungen, die an Beleuchtungsmittel, aber auch an alle anderen eingesetzten Geräte oder Maschinen gestellt werden. Die Einflussgrößen unterscheiden sich deutlich von jenen, die ober Tage anzutreffen sind. Diese sind unter anderen:

- hohe Luftfeuchtigkeit
- Wassereintritte in mitunter großen Mengen
- Hohlraumverbrüche
- Staub in hoher Konzentration
- Brandgefahr
- Chemikalien
- Auftreten explosiver Gasgemische
- beengte Platzverhältnisse




Daher ist vor allem bei der Beleuchtung und der dafür benötigten elektrischen Versorgung schon im Vorfeld bei der Auswahl, der Montage, beim Betrieb und auch bei der Absicherung größte Sorgfalt auf das verwendete Material und Gerät anzuwenden. Auf Baustellen unter Tage ist die zumeist verwendete Energiequelle der elektrische Strom, der gerade in diesen Bereichen erhebliche Vorteile zu Alternativen (zum Beispiel dieselbetriebene Verbrennungsmotoren) bietet. Zum einen ist die hohe Verfügbarkeit zu nennen, zum anderen der sehr sichere Transport der Energie sowie die geringen Schadstoffemissionen beim Verbrauch, was vor allem in geschlossenen Untertagebauwerken eine wesentliche Rolle spielt. Da die Versorgung mittels Niederspannungsanlagen bei langen Transportstrecken durch die erheblichen Spannungsverluste nicht mehr gewährleistet werden kann und damit die Netzausdehnung begrenzt ist, werden immer häufiger Hochspannungsanlagen für die Versorgung der Baustelle, vor allem bei langgestreckten Baulosen, eingesetzt.<sup>112</sup>

Durch den Betrieb der Leuchten mit elektrischem Strom werden Beleuchtungselemente als elektrische Geräte behandelt, somit ist die Kategorisierung in Schutzklassen und Schutzarten notwendig. Die

---

<sup>112</sup> Vgl. [12] BG Bau, AUYA: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, 2007, S. 11.

Schutzklasse beschreibt die Sicherheitsmaßnahmen des Gerätes gegen einen elektrischen Schlag und ist nach ÖVE/ÖNORM EN 61140 in Gruppen eingeteilt, wobei die Schutzklasse 0 den niedrigsten und die Schutzklasse III den höchsten Schutz vor elektrischem Schlag bietet. Die Schutzklasse 0 wird aufgrund der Verwendung in einigen Betriebsmittelnormen noch in der ÖNORM EN 61140 angeführt und sollte laut Anmerkung in der ÖVE ÖNORM 61140 jedoch aus der internationalen Normung ausgeschlossen werden. Die spezifischen Anforderungen an die Schutzklassen sind in der ÖVE/ÖNORM 61140 festgelegt:

|                  | Beschreibung   | Symbol  |
|------------------|--|---|
| Schutzklasse 0   | „Betriebsmittel mit Basisisolierung als Vorkehrungen für den Basisschutz, aber ohne Vorkehrungen für den Fehlerschutz“ <sup>113</sup>  |   |
| Schutzklasse I   | „Betriebsmittel mit Basisisolierung als Vorkehrung für den Basisschutz und einer Schutzverbindung als Vorkehrung für den Fehlerschutz“ <sup>114</sup>  |    |
| Schutzklasse II  | „Betriebsmittel mit <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basisisolierung als Vorkehrung für den Basisschutz und</li> <li>• zusätzlicher Isolierung als Vorkehrung für den Fehlerschutz</li> </ul> oder bei denen <ul style="list-style-type: none"> <li>• der Basis- und Fehlerschutz durch verstärkte Isolierung bewirkt werden“<sup>115</sup></li> </ul> |   |
| Schutzklasse III | „Betriebsmittel mit Begrenzung der Spannung auf Werte von ELV als Vorkehrung für den Basisschutz, aber ohne Vorkehrung für den Fehlerschutz“ <sup>116</sup>  |  |

Tab. 5.1: Übersicht der Schutzklassen nach ÖVE/ÖNORM 61140

Die Einteilung in Schutzarten erfolgt nach der ÖVE/ÖNORM EN 60529 und gibt den Schutzgrad des Betriebsmittels gegenüber dem Eindringen von Fremdkörpern (Staub) und Feuchtigkeit wieder. Die Klassifizierung erfolgt nach den IP-Schutzarten. Das System der IP-Schutzarten gliedert sich in zwei Kennziffern nach dem Schema IP YZ. Die erste Kennziffer Y gibt die Widerstandsfähigkeit gegen das Eindringen von Fremdkörpern beziehungsweise Staub an. Die zweite Kennziffer Z bildet die Resistenz gegen Feuchtigkeit beziehungsweise Nässe ab. Die genaue Aufschlüsselung der möglichen Kennziffernkombinationen erfolgt in Tab. 5.2. Ist bei Angaben wie in Tab. 5.2 eine Kennziffer mit einem X versehen, so ist sie für diesen Fall ohne Bedeutung.

<sup>113</sup> [25] ÖVE/ÖNORM EN 61140, S. 25.









<sup>114</sup> [25] ÖVE/ÖNORM EN 61140, S. 25.

<sup>115</sup> [25] ÖVE/ÖNORM EN 61140, S. 27.

<sup>116</sup> [25] ÖVE/ÖNORM EN 61140, S. 28.

Anzutreffende Schutzarten sind beispielsweise

- IP 23 für Baustellenleuchten oder
- IP 45 für Handleuchten auf Baustellen.

| Schutzart                          |   | Kennziffer des Schutzgrades | Symbol nach DIN VDE 0713 Teil 1 (angenähert)  |
|------------------------------------|---|-----------------------------|---|
| Schutz gegen Fremdkörper und Staub | Fremdkörper > 50 mm   | IP 1X                       |   |
|                                    | Fremdkörper > 12 mm   | IP 2X                       |   |
|                                    | Fremdkörper > 2,5 mm  | IP 3X                       |   |
|                                    | Fremdkörper > 1,0 mm  | IP 4X                       |   |
|                                    | Keine Staubablagerung                                       | IP 5X                       |    |
|                                    | Kein Staubeintritt  | IP 6X                       |    |
| Schutz gegen Nässe                 | Tropfwasser senkrecht                                       | IP X1                       |   |
|                                    | Tropfwasser schräg  | IP X2                       |   |
|                                    | Sprühwasser   | IP X3                       |  |
|                                    | Spritzwasser  | IP X4                       |  |
|                                    | Strahlwasser  | IP X5                       |  |
|                                    | starkes Strahlwasser  | IP X6                       |   |
|                                    | zeitweiliges Untertauchen (Wasserdicht)                     | IP X7                       |  |
|                                    | dauerndes Untertauchen (Druckwasserdicht) (-- m Tauchtiefe) | IP X8                       |  |

Tab. 5.2: Schutzarten nach DIN VDE 0470-1(EN 60 529)<sup>117</sup>

Oftmals können konstruktionsbedingt verschiedene Bereiche einer Leuchte unterschiedliche Schutzarten erfüllen. In diesem Fall ist die Angabe der niedrigsten Schutzart am Typenschild verpflichtend, wobei die höhere Schutzart gesondert im jeweiligen Bereich angegeben werden darf. Sind beide Schutzarten am Typenschild verzeichnet, so ist die kleinere zuerst anzuschreiben, sodass die minimale Schutzart der Lampe deutlich ersichtlich ist.<sup>118</sup>

<sup>117</sup> [12] BG Bau, AUVA: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, 2007, S. 77.

<sup>118</sup> Vgl. [6] Halbritter H.-P., Sattler J.: Leuchten – Erläuterungen zu DIN VDE 0711/EN 60598 und VDE 0710, 2001, S. 50f.



Die Anwendungsgebiete für Beleuchtungskörper auf Baustellen unter Tage sind sehr vielfältig und demnach kommen sehr viele Einsatzmöglichkeiten und Einsatzkombinationen in Frage. Für die Allgemeinbeleuchtung werden häufig Leuchtstofflampen verwendet, welche aufgrund der Verringerung der Staubablagerung zumeist vertikal an der Wand beziehungsweise an der Ulme bei Tunnelvortrieben montiert werden. Es können dafür Induktionslampen verwendet werden, die sich durch ihre lange Leuchtdauer und den damit reduzierten Wartungsaufwand auszeichnen. Induktionslampen werden besonders für Leuchtpunkte verwendet, die schwer zugänglich sind.

Leuchten müssen VDE 0711-1//ÖVE/ÖNORM EN 60598-1 entsprechen und zusätzlich folgenden Anforderungen genügen:

- *„Leuchten müssen mindestens in der Schutzart IP 54 ausgeführt sein,*
- *Leuchten, die als Bodenleuchten eingesetzt werden, müssen mindestens in der Schutzart IP 55 ausgeführt sein.*
- *Leuchten sind entsprechend ihrer Bauart als Decken-, Wand- oder Bodenleuchten einzusetzen, sie sind mittels zugehöriger Aufhängungen zu befestigen oder mittels geeigneter Ständer aufzustellen.*
- *Als bewegliche Netzanschlussleitungen müssen je nach Anwendungsfall Gummischlauchleitungen vom Typ NSSHöu, H07RN-F oder mindestens gleichwertige Bauarten verwendet werden.*
- *Leuchten mit Steckvorrichtung sind über Schutzkleinspannung oder über Fehlerstromschutzeinrichtung mit  $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$  zu betreiben.*
- *Leuchten müssen eine für den rauen Betrieb ausreichende mechanische Festigkeit aufweisen.*<sup>119</sup>

Der Nachweis für Leuchten, die dem rauen Betrieb genügen, wird in der ÖNORM EN 60598-1 beschrieben. Die notwendigen Prüfungen für diese Lampen sind dort unter Punkt 4.13.4 angeführt. Als Kennzeichen für Leuchtmittel die den rauen Anforderungen genügen ist das Symbol der ausreichenden mechanischen Festigkeit am Gehäuse abgebildet:



---

<sup>119</sup> [12] BG Bau, AUVA: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, 2007, S. 58f.

Der Hersteller garantiert damit, dass die Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen Einwirkungen mittels Schlag-, Fall- oder Vibrationsprüfungen nachgewiesen wurde.<sup>120</sup>

Für die Verwendung von Handlampen gelten gesonderte Vorschriften. Diese müssen den Festlegungen der ÖVE/ÖNORM EN 60598-2-8 entsprechen sowie entweder der Schutzklasse II oder III genügen und eine spezielle Konstruktion aus isolierendem Material aufweisen. Die Schutzart von Handleuchten ist mit IP 55 vorgegeben. Der Leuchtkörper muss mit einem Schutzglas versehen sein, welches zusätzlich mit einem Schutzkorb gesichert wird. Dieser Schutzkorb kann im Falle einer bruchfesten Kunststoffumschließung des Schutzglases entfallen. Die Schalter der Handleuchten müssen für die maximale Stromaufnahme, jedoch für mindestens 4 Ampere ausgelegt sein. Ebenso ist die Konstruktion der Schalter dahingehend zu überprüfen, dass sie vor mechanischen Beschädigungen möglichst unempfindlich ausgeführt sind. Für die Leitungsführung ist eine Zugentlastung sowie ein Knickschutz vorgeschrieben. Netzanschlussleitung mit Längen bis zu 5 m sind als Typ H05RN-F oder zumindest gleichwertig zulässig, sofern von der Normenreihe ÖVE/ÖNORM EN 60598 keine andere Bauart gefordert wird.<sup>121</sup>

Die Vorgaben für Sicherheitsbeleuchtungen sind ebenfalls detailliert geregelt. Zum einen ist für die Sicherheitsbeleuchtung für Baustellen unter Tage eine eigene Stromversorgung mit gesondert geführten Stromkreisen und damit auch separaten Versorgungsleitungen zu installieren. Diese Leitungen der Sicherheitsbeleuchtung sind für eine Spannung von mindestens 250 V zu isolieren und deren Querschnitt ist mit zumindest 2,5 mm<sup>2</sup> nach unten begrenzt. Das gesamte Installationsmaterial muss den Anforderungen für untertägige Bauvorhaben hinsichtlich der Staubresistenz, des Widerstandes gegen Feuchtigkeit, der mechanischen Einwirkungen, sowie der Brandgefahr entsprechen. Als besonderes Merkmal ist zu beachten, dass die Sicherheitsleuchten besonders gekennzeichnet sein müssen.<sup>122</sup>

### 5.1 Explosionsgefährdetes Umfeld

Durch die Umsetzung der europäischen Richtlinien 1999/92 EG (ATEX 137) im Rahmen der Verordnung explosionsfähige Atmosphären (VEXAT) und 94/9 EG (ATEX 95) im Rahmen der Explosionsschutzverordnung 1996 (ExSV 1996) wurden die Grundlagen der weitgehend einheitlichen europaweiten Explosionsschutzprävention in Österreich geschaffen. Dabei ist die VEXAT eine Verordnung des ASchG und regelt die Sicherheit von Arbeitsmitteln und Arbeitsplätzen. Sie regelt

---

<sup>120</sup> Vgl. [6] Halbritter, H. P., Sattler J.: Leuchten – Erläuterungen zu DIN VDE 0711/EN 60598 und VDE 0710, 2001, S. 80 und S. 89. / Vgl. [12] BG Bau, AUVA: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, 2007, S. 58f.

<sup>121</sup> Vgl. [12] BG Bau, AUVA: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, 2007, S. 60f.

<sup>122</sup> Vgl. [12] BG Bau, AUVA: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, 2007, S. 58.

unter anderem die zu treffenden, notwendigen Explosionsschutzmaßnahmen und die Anforderungen an elektrische Anlagen und Gegenstände in explosionsgefährdeten Bereichen.

Im Gegensatz dazu normiert die ExSV die Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen von Geräten die in potentiell explosionsgefährdeten Bereichen verwendet werden und ist demnach eine Verordnung, die vom Gerätehersteller beziehungsweise vom Geräteimporteur anzuwenden ist. In den Begriffsbestimmungen der ExSV werden nach §3 Z1 ExSV Geräte als *„Maschinen, Betriebsmittel, stationäre oder ortsbewegliche Vorrichtungen [...] die einzeln oder kombiniert zur [...] Umwandlung von Energie [...] bestimmt sind und die eigene potentielle Zündquellen aufweisen und dadurch eine Explosion verursachen können“*<sup>123</sup> definiert. Nachdem elektrisch betriebene Leuchten elektrische Energie in Strahlungsenergie umwandeln, sind Beleuchtungseinrichtungen als Geräte nach §3 Z1 ExSV zu behandeln. Die Klassifizierung hinsichtlich Explosionsschutzsicherheit geschieht durch die Unterscheidung der Geräte in zwei Gerätegruppen (Gerätegruppe I für Schlagwettergefährdung im Berg- und Grubenbau; Gerätegruppe II für alle sonstigen explosionsgefährdeten Atmosphären) und wird durch eine weitere Einteilung in einzelne Gerätekategorien weiter präzisiert.

Nach §25 ASchG ist der Arbeitgeber verpflichtet, geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um Explosionen zu verhindern und die möglichen Auswirkungen einer Explosion zu begrenzen. Dazu werden im 2. Abschnitt der VEXAT Explosionsschutzmaßnahmen definiert. Es wird unterschieden zwischen

- §11 VEXAT Primären Explosionsschutz: Verhindern der Entstehung von explosionsgefährdeten Bereichen
- §14 VEXAT Sekundärer Explosionsschutz: Vermeiden von Zündquellen
- §20 VEXAT Konstruktiver Explosionsschutz: Begrenzung der Auswirkungen von Explosionen

Das Ziel der ersten beiden genannten Punkte (primärer und sekundärer Explosionsschutz) ist die Explosionsprävention. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Verhinderung beziehungsweise der Beseitigung der Explosionsvoraussetzungen. Dies kann im primären Explosionsschutz durch die Substitution und/oder Beschränkung der explosionsgefährdeten Arbeitsstoffe geschehen. Ist diese Substitution nicht möglich, kann auch durch die Installation von technischen Einrichtungen (beispielsweise Zwangsbelüftungen) die Bildung von explosionsgefährdeten Atmosphären verhindert werden. Ist trotz dieser primären Explosionsschutzmaßnahmen die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre nicht verlässlich auszuschließen, müssen Maßnahmen gesetzt werden, um eine Zündung dieser Atmosphäre zu verhindern. Im Rahmen des sekundären Explosionsschutzes ist die Vermeidung von Zündquellen oberstes Ziel, beziehungsweise dürfen nach §14 Abs. 1 VEXAT keine wirksamen

---

<sup>123</sup> Vgl. §3 Z1 Explosionsschutzverordnung 1996 , Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2014-01-07).

Zündquellen in explosionsgefährdeten Bereichen vorhanden sein. Als potentielle Zündquelle kommen nach §14 Abs. 2 VEXAT oder ÖNORM EN 1127-1 beispielsweise folgende in Frage:

- heiße Oberflächen, Flammen und heiße Gase
- mechanisch erzeugte Funken, elektrische Anlagen, Blitzschlag
- statische Elektrizität, kathodischer Korrosionsschutz
- elektrische Ausgleichsströme
- Ultraschall, nichtionisierende und ionisierende Strahlung
- chemische Reaktionen
- adiabatische Kompression, Stoßwellen<sup>124</sup>

Nach §12 VEXAT ist die Definition von Gefahrenbereichen (Zonen) gestaffelt nach der Explosionsgefahr vorzunehmen. Als Parameter für die Zonendefinition ist das Ausmaß, die Häufigkeit und die Dauer des Auftretens von explosionsfähigen Atmosphären zu beurteilen. Es wird dabei zwischen brennbaren Gasen, Dämpfen und Nebel sowie brennbaren Stäuben unterschieden.

|  |
|--|
| Zonen für brennbare Gase, Dämpfe, Nebel:   |
| <i>„Zone 0: Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphären als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.“<sup>125</sup></i>                  |
| <i>„Zone 1: Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich explosionsfähige Atmosphären als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden können.“<sup>126</sup></i>                        |
| <i>„Zone 2: Bereich, in dem bei Normalbetrieb explosionsfähige Atmosphären als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftreten.“<sup>127</sup></i> |

**Tab. 5.3: Einstufung und Kennzeichen von explosionsgefährdeter Zonen für brennbare Gase, Dämpfe, Nebel**

---

<sup>124</sup> Vgl. [20] ÖNORM EN 1127-1, S. 13ff.

<sup>125</sup> §12 Abs. 1 Z1 Verordnung explosionsfähige Atmosphären, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-24).

<sup>126</sup> §12 Abs. 1 Z2 Verordnung explosionsfähige Atmosphären, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-24).

<sup>127</sup> §12 Abs. 1 Z3 Verordnung explosionsfähige Atmosphären, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-24)

|  |
|--|
| Zonen für brennbare Stäube:  |
| „Zone 20: Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphären in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden sind“ <sup>128</sup>                 |
| „Zone 21: Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich explosionsfähige Atmosphären in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden können“ <sup>129</sup>                        |
| „Zone 22: Bereich, in dem bei Normalbetrieb explosionsfähige Atmosphären in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftreten“ <sup>130</sup> |

Tab. 5.4: Einstufung und Kennzeichen von explosionsgefährdeter Zonen für brennbare Stäube

Als dritte Säule des Explosionsschutzes bildet der konstruktive Explosionsschutz nach §20 VEXAT die letzte Schutzmaßnahme gegen Explosionen. Diese konstruktiven Maßnahmen kommen dann zum Tragen, wenn trotz der Maßnahmen des primären und sekundären Explosionsschutzes die Explosionsgefährdung nicht ausgeschlossen werden kann. Dabei steht der Personenschutz an oberster Stelle beziehungsweise sind die Auswirkungen auf Personen auf ein unbedenkliches Maß zu reduzieren. Dies kann durch explosionsfeste Bauweise, Explosionsunterdrückungen oder Explosionsdruckentlastungen bewerkstelligt werden.

Für die Verwendung von Geräten und Schutzsystemen in explosionsgefährdeten Bereichen müssen diese den Anforderungen der ExSV entsprechen. Dazu erfolgt die Einteilung der Geräte je nach ihren konstruktiven Schutzausführungen. Hierfür wurde eine systematische Kennzeichnung der Geräte geschaffen, um eine einfache Zuteilung zu ermöglichen. Im ersten Schritt erfolgt (wie bereits oben erwähnt) nach §3 Z1 ExSV eine Unterscheidung der Betriebsmittel nach der Gerätegruppe:

|              |   |
|--------------|---|
| Gerätegruppe |   |
| Gruppe I     | Geräte für Schlagwettergefährdung im Berg- und/oder Grubenbau |
| Gruppe II    | Geräte für alle sonstigen explosionsgefährdeten Atmosphären   |

Tab. 5.5: Einteilung der Geräte in Gerätegruppen

Im zweiten Schritt wird die Gerätekategorie festgelegt. Diese bestimmt den Einsatz in der entsprechenden explosionsgefährdeten Zone. Dabei ist die Fehlersicherheit der Geräte das jeweilige Zuordnungskriterium. Für die Gerätegruppe I wird nach §21 Abs. 3 Z1 ExSV zwischen folgenden beiden Gerätekategorien unterschieden:

<sup>128</sup> §12 Abs. 1 Z2 Verordnung explosionsfähige Atmosphären, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-24).

<sup>129</sup> §12 Abs. 1 Z2 Verordnung explosionsfähige Atmosphären, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-24).

<sup>130</sup> §12 Abs. 1 Z2 Verordnung explosionsfähige Atmosphären, Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2013-12-24).

|              |  |
|--------------|--|
| Kategorie M1 | <p>„Die Kategorie M 1 umfaßt Geräte, die konstruktiv so gestaltet sind und erforderlichenfalls zusätzlich mit besonderen Schutzmaßnahmen so versehen sind, daß sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein sehr hohes Maß an Sicherheit gewährleisten. Die Geräte dieser Kategorie sind zur Verwendung in untertägigen Bergwerken sowie deren Übertageanlagen bestimmt, die durch Grubengas und/oder brennbare Stäube gefährdet sind. Geräte dieser Kategorie müssen selbst bei seltenen Gerätestörungen in vorhandener explosionsfähiger Atmosphäre weiterbetrieben werden und weisen daher Explosionsschutzmaßnahmen auf, so daß</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beim Versagen einer apparativen Schutzmaßnahme mindestens eine zweite unabhängige apparative Schutzmaßnahme die erforderliche Sicherheit gewährleistet bzw.</li> <li>• beim Auftreten von zwei unabhängigen Fehlern noch die erforderliche Sicherheit gewährleistet wird.</li> </ul> <p>Die Geräte dieser Kategorie müssen die weitergehenden Anforderungen des Anhangs II Nummer 2.0.1 [der ExSV, d. Verf.] erfüllen.“<sup>131</sup></p> |
| Kategorie M2 | <p>„Die Kategorie M 2 umfaßt Geräte, die konstruktiv so gestaltet sind, daß sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein hohes Maß an Sicherheit gewährleisten. Geräte dieser Kategorie sind zur Verwendung in untertägigen Bergwerken sowie deren Übertageanlagen bestimmt, die durch Grubengas und/oder brennbare Stäube gefährdet sind. Beim Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre müssen die Geräte abgeschaltet werden können.</p> <p>Die apparativen Explosionsschutzmaßnahmen innerhalb dieser Kategorie gewährleisten das erforderliche Maß an Sicherheit bei normalem Betrieb, auch unter schweren Betriebsbedingungen und insbesondere bei rauher Behandlung und wechselnden Umgebungseinflüssen.</p> <p>Die Geräte dieser Kategorie müssen die weitergehenden Anforderungen des Anhangs II Nummer 2.0.2 [der ExSV, d. Verf.] erfüllen.“<sup>132</sup></p>  |

Tab. 5.6: Kategorisierung der Gerätgruppe I

Für die Kategorisierung der Gerätegruppe II sind die Einteilungskriterien in §21 Abs. 3 Z2 zusammengefasst. Die Abkürzung G der Gerätekategorie steht für „Gase, Dämpfe und Nebel“, D beschreibt „Staub/Luft-Gemische“. Die Mindestanforderungen an die Fehlerschutzeinrichtungen der Geräte für die entsprechende Zone sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

<sup>131</sup> §21 Abs. 3 Z1 Explosionsschutzverordnung 1996 , Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2014-01-07).

<sup>132</sup> §21 Abs. 3 Z1 Explosionsschutzverordnung 1996 , Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2014-01-07).

| Zone    | Gerätekategorie          | Mindestanforderungen  |
|---------|--------------------------|---|
| 0<br>20 | 1G<br>1D                 | <p>„Geräte dieser Kategorie müssen selbst bei selten auftretenden Gerätestörungen das erforderliche Maß an Sicherheit gewährleisten und weisen daher Explosionsschutzmaßnahmen auf, so daß</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- beim Versagen einer apparativen Schutzmaßnahme mindestens eine zweite unabhängige apparative Schutzmaßnahme die erforderliche Sicherheit gewährleistet bzw.</li> <li>- beim Auftreten von zwei unabhängigen Fehlern die erforderliche Sicherheit gewährleistet wird.“<sup>133</sup></li> </ul> <p>Zusätzlich sind die Anforderungen des Anhangs II Nummer 2.1 der ExSV zu erfüllen.</p> |
| 1<br>21 | 1G, 2G<br>1D, 2D         | <p>„Die apparativen Explosionsschutzmaßnahmen dieser Kategorie gewährleisten selbst bei häufigen Gerätestörungen oder Fehlerzuständen, die üblicherweise zu erwarten sind, das erforderliche Maß an Sicherheit.“<sup>134</sup></p> <p>Zusätzlich sind die Anforderungen des Anhangs II Nummer 2.2 der ExSV zu erfüllen.</p>   |
| 2<br>22 | 1G, 2G, 3G<br>1D, 2D, 3D | <p>„Geräte dieser Kategorie gewährleisten bei normalem Betrieb das erforderliche Maß an Sicherheit.“<sup>135</sup></p> <p>Zusätzlich sind die Anforderungen des Anhangs II Nummer 2.3 der ExSV zu erfüllen.</p>   |

Tab. 5.7: Mindestanforderungen an die Fehlerschutzeinrichtungen der Gerätegruppe II

In einem weiteren Schritt wird die Gerätegruppe II nach den in der ÖNORM EN 60079-0 beschriebenen Gasatmosphären weiter unterteilt. Dafür wird eine Einteilung der brennbaren Gase und Dämpfe hinsichtlich der Wirksamkeit der Zündfunken getroffen:

- IIA (als Beispiel Propan)
- IIB (als Beispiel Ethylen)
- IIC (als Beispiel Wasserstoff)<sup>136</sup>

<sup>133</sup> §21 Abs. 3 Z2 Explosionsschutzverordnung 1996 , Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2014-01-07).

<sup>134</sup> §21 Abs. 3 Z2 Explosionsschutzverordnung 1996 , Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2014-01-07).

<sup>135</sup> §21 Abs. 3 Z2 Explosionsschutzverordnung 1996 , Quelle: <http://www.ris.bka.gv.at> (2014-01-07).

<sup>136</sup> Vgl. [27] ÖVE/ÖNORM EN 60079-0, S. 26.

Als zusätzlicher Kategorisierungsschritt ist die Zündtemperatur der explosionsgefährdeten Atmosphäre ein weiteres Einteilungskriterium. Dabei wird zwischen folgenden Temperaturklassen unterschieden:

| <i>Temperaturklasse</i> | <i>maximale Oberflächentemperatur</i> |
|-------------------------|---------------------------------------|
| <i>T1</i>               | <i>450°C</i>                          |
| <i>T2</i>               | <i>300°C</i>                          |
| <i>T3</i>               | <i>200°C</i>                          |
| <i>T4</i>               | <i>135°C</i>                          |
| <i>T5</i>               | <i>100°C</i>                          |
| <i>T6</i>               | <i>85°C</i>                           |

**Tab. 5.8: Einteilung der maximalen Oberflächentemperaturen bei elektrischen Geräten der Gruppe II<sup>137</sup>**

In Bereichen, in jenen man trotz primärer Explosionsschutzmaßnahmen mit dem Auftreten gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären rechnen muss, ist nur die Verwendung explosionsgeschützter Betriebsmittel zulässig. Dieser Explosionsschutz erfolgt mittels verschiedener Zündschutzarten. Diese sind in der Normenreihe ÖVE/ÖNORM EN 60079-ff erläutert. Als Beispiel werden einige dieser auch in Kombination einsetzbaren Zündschutzarten für elektrische Betriebsmittel in Tab. 5.9 angeführt.

| Zündschutzart        | Symbol | Norm  |
|----------------------|--------|---|
| Druckfeste Kapselung | d      | ÖVE/ÖNORM EN 60079-1: Explosionsfähige Atmosphäre - Teil 1: Geräteschutz durch druckfeste Kapselung "d" |
| Überdruckkapselung   | p      | ÖVE/ÖNORM EN 60079-2: Explosionsfähige Atmosphäre - Teil 2: Geräteschutz durch Überdruckkapselung "p"   |
| Sandkapselung        | q      | ÖVE/ÖNORM EN 60079-5: Explosionsfähige Atmosphäre - Teil 5: Geräteschutz durch Sandkapselung "q"        |

**Tab. 5.9: Auszug der Zündschutzarten der Normenreihe ÖVE/ÖNORM EN 60079-ff**

Mit diesen Unterteilungen ist die Kennzeichnung der in explosionsgefährdeten Atmosphären eingesetzten Geräte gesetzeskonform möglich. Die Kennzeichnung von Geräten, die für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen zugelassen sind, ist wie folgt geregelt:

*„Auf jedem Gerät und Schutzsystem müssen deutlich und unauslöschbar die folgenden Mindestangaben angebracht werden:*

<sup>137</sup> [27] ÖVE/ÖNORM EN 60079-0, S. 28.



- *Name und Anschrift des Herstellers,*
- *CE-Kennzeichnung (siehe Anhang X, Abschnitt A) [der VEXAT, d. Verf.],*
- *Bezeichnung der Serie und des Typs,*
- *gegebenenfalls die Seriennummer,*
- *das Baujahr,*
- *das spezielle Kennzeichen zur Verhütung von Explosionen,*
- *für die Gerätegruppe II der Buchstabe „G“ (für Bereiche, in denen explosionsfähige Gas-, Dampf-, Nebel-, Luft-Gemische vorhanden sind) und/oder*
- *der Buchstabe „D“ (für Bereiche, in denen Staub explosionsfähige Atmosphären bilden kann).*

*Zusätzlich, und wenn erforderlich, müssen auch alle für die Sicherheit bei der Verwendung unabdingbaren Hinweise angebracht werden.*<sup>138</sup>

Als Zusammenfassung der oben erläuterten Kategorie- und Gruppeneinteilungen ist in Abb. 5.1 ein Beispiel für eine Kennzeichnung nach ATEX 94/9 EG beziehungsweise nach ExSV 1996 abgebildet.

---

<sup>138</sup> Anhang II, Punkt 1.0.5 ExSV 1996.

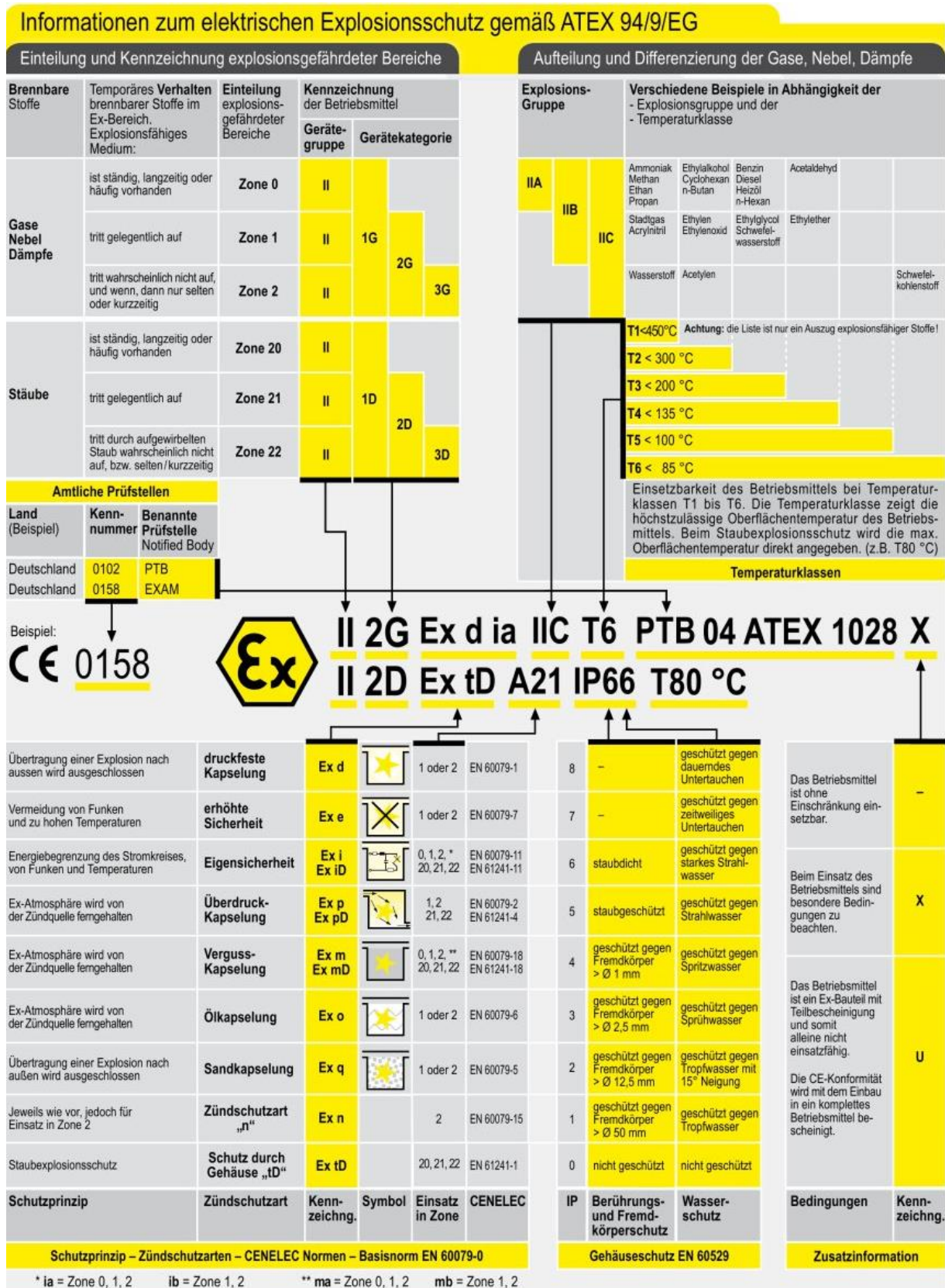


Abb. 5.1: Übersicht der Kennzeichnung für Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Atmosphären<sup>139</sup>

<sup>139</sup> [33] Schischek GmbH: Technische Kurzinformation, 2012, S. 36.

## 6 Beleuchtung für Freiflächen

Bei der Situierung der Beleuchtungseinheiten stellt sich in erster Linie die Frage nach der notwendigen Beleuchtungsstärke. Diese Anforderungen sind in den gesetzlichen Vorgaben, den lichttechnischen Normen der Normengruppe ÖNORM EN 12464 und sonstigen Empfehlungen geregelt (siehe Kapitel 3). Zusätzlich zu den lichttechnischen Anforderungen sind auch die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen. Gerade bei Baustellenflächen ist die zu beleuchtende Fläche oftmals durch, mitunter nur temporär vorhandene, Hindernisse oder Gerätschaften sehr schwierig zu beleuchten. Daher ist neben der Allgemeinflächenbeleuchtung eine konzentrierte örtlich lokale Beleuchtung mittels mobiler Beleuchtungsanlagen notwendig. Die Anordnung der Allgemeinbeleuchtung sollte möglichst gleichmäßig erfolgen. Bei annähernd rechteckigen Grundrissen mit der Baustelleneinrichtungsfläche bietet sich die Rand- oder Seitenbeleuchtung an.

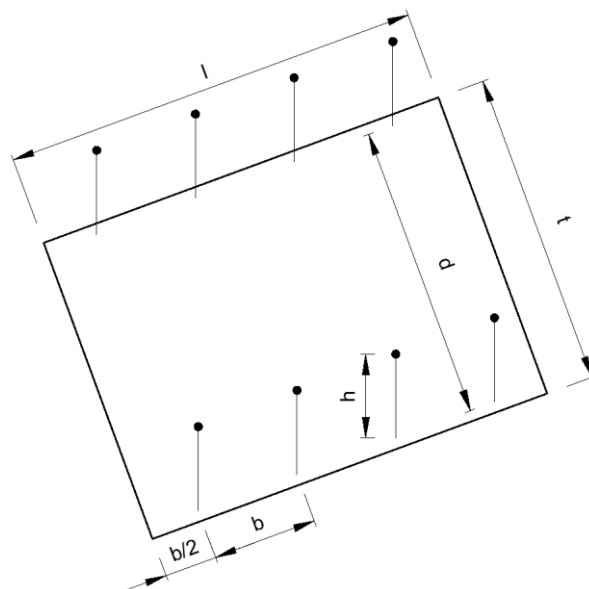


Abb. 6.1: Seitenanordnung Leuchten<sup>140</sup>

Dabei werden die Beleuchtungskörper entlang der Randbegrenzungen des Baufeldes in erhöhter Position angebracht, um eine gleichmäßige Ausleuchtung zu gewährleisten. Bei sehr hoher Montage der Leuchtkörper müssen mitunter sehr weite Distanzen überbrückt werden. Aus diesem Grund sind bei sehr hoher Lichtpunkthöhe Beleuchtungselemente mit sehr geringer Streuung zu wählen. Entgegen können bei der Montage knapp über Bodenniveau Beleuchtungselemente mit sehr großen Streuwinkeln verwendet werden. Um ein ausgeglichenes und gleichmäßiges Beleuchtungsniveau

<sup>140</sup> [13] SLG, LTAG, LiTG: Handbuch für Beleuchtung, 1975, S. 419.

zu erhalten, sind für rechteckige Baufeldflächen mit Randbeleuchtung folgende Richtwerte einzuhalten:

|     |       |   |
|-----|-------|---|
| b/h | = 2,5 | bei normalbreiter Ausstrahlung der Flutlichtanlage          |
|     | = 4,0 | bei sehr breit gefächerter Ausstrahlung der Flutlichtanlage |
| d/h | ≈ 7   | ohne nächtliche Tätigkeit                                   |
|     | ≈ 5   | bei vorübergehender nächtlicher Tätigkeit                   |
|     | ≈ 4   | bei ganznächtlicher Tätigkeit                               |

**Tab. 6.1: Richtwerte für Abstände zwischen den Flutlichtern<sup>141</sup>**

Diese Richtwerte sind nur bei einfachen, annähernd rechteckigen Grundrissen gültig. Bei komplexen Baufeldflächen kann diese auf kleinere Teilflächen reduziert werden. Bei der notwendigen Situierung von Beleuchtungskörpern innerhalb der Baufeldfläche müssen genauere Berechnungsmethoden, wie zum Beispiel Berechnungen mittels EDV-Software, angewendet werden. Es kommt oft vor, dass erhöhte Punkte direkt am Baufeld oder in dessen angrenzender Umgebung wie zum Beispiel Krane, Silos oder Gebäude vorhanden sind, die vorteilhaft für die Beleuchtungsanordnung genutzt werden können. Jedenfalls ist darauf zu achten, dass durch die Beleuchtungseinrichtungen der Arbeitsablauf nicht gestört wird. Um die Beeinträchtigung durch die von den künstlichen Beleuchtungselementen hervorgerufenen Schattenbildungen zu vermeiden, ist eine Beleuchtung von zumindest zwei unterschiedlichen Richtungen anzustreben. Ein Maß dafür ist der Bedeckungskoeffizient  $K_{\min}$ , welcher auf der allgemeinen Baustelleneinrichtungsfläche zumindest bei  $K_{\min} = 2$  (Beleuchtung von zumindest zwei Richtungen) und direkt am Arbeitsplatz bei  $K_{\min} \geq 3$  liegen sollte. Bei hohen Bedeckungskoeffizienten, also der Flächenbeleuchtung von möglichst vielen unterschiedlichen Richtungen, ist die aufwendige Leitungsführung beziehungsweise Verkabelung der Beleuchtungseinheiten zu beachten.<sup>142</sup>

Im Regelfall wird für die großflächige Allgemeinbeleuchtung der Baustelleneinrichtungsfläche Flutlichtbeleuchtung verwendet. Als Leuchtmittel kommen häufig Hochvolt-Halogenglühlampen, aber auch Halogen-Metall dampflampen oder die sehr effizienten Natriumdampf-Hochdrucklampen zum Einsatz. Für punktuelle Arbeitseinsätze bieten sich kleinere Halogenlampen an, um die Blendung gering zu halten. In Bereichen unter Tage finden sehr häufig Leuchtstofflampen Verwendung. Diese werden aufgrund der verminderten Verstaubung zumeist vertikal an der Ulme montiert. Als Alternative bieten

<sup>141</sup> Vgl. [13] SLG, LTAG, LiTG: Handbuch für Beleuchtung, 1975, S. 419.

<sup>142</sup> Vgl. [13] SLG, LTAG, LiTG: Handbuch für Beleuchtung, 1975, S. 419f. / Vgl. [5] DREES G., REIFF K.-O.: Die Baustelleneinrichtung, 1971, S. 82.

sich in letzter Zeit durch die wesentlichen Entwicklungsschritte der LED-Technologie auch LED-Leuchtmittel als sehr effiziente Beleuchtungsmöglichkeit an.

## 6.1 Lichttechnische Berechnungsmethoden

### 6.1.1 Punktbeleuchtungsformel

Mit dieser Methode wird die Beleuchtungsstärke in einem beliebigen Punkt berechnet. Die berechneten Werte sind sehr exakt, bei vielen Punkten ist diese Methode jedoch sehr aufwendig. Die Formel dafür lautet:<sup>143</sup>

$$E = \frac{I_{\alpha}}{r^2} \cdot \cos i \quad (12)$$

|               |  |
|---------------|--|
| E             | Beleuchtungsstärke im Punkt P [lx]                                     |
| $I_{\alpha}$  | Lichtstärkeverteilung in Richtung P [cd] aus der Lichtverteilungskurve |
| $\cos \alpha$ | Lichteinfallswinkel  |
| r             | Abstand zwischen Scheinwerfer und Punkt P [m]                          |

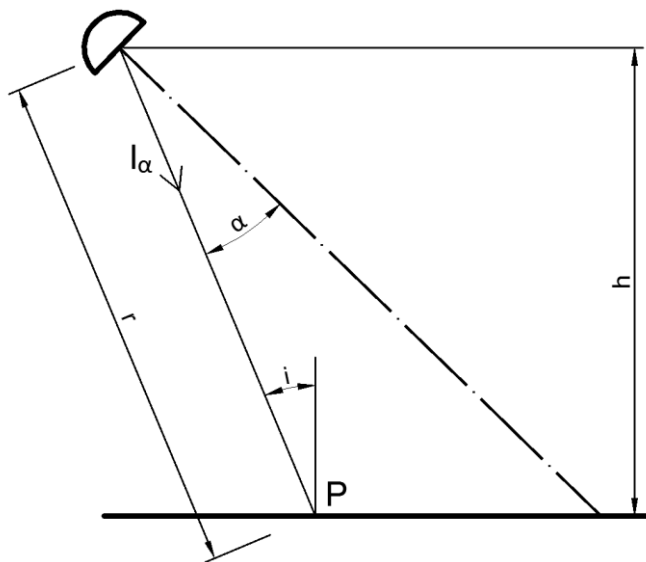


Abb. 6.2: Skizze zur Punktbeleuchtungsformel<sup>144</sup>

---

<sup>143</sup> Vgl. [5] DREES G., REIFF K.-O.: Die Baustelleneinrichtung, 1971, S. 84.

<sup>144</sup> [5] DREES G., REIFF K.-O.: Die Baustelleneinrichtung, 1971, S. 84.

### 6.1.2 Wirkungsgradformel

Bei der Wirkungsgradformel wird mit der vorgegebenen Beleuchtungsstärke die erforderliche Anzahl an Leuchtkörpern ermittelt. Die Anordnung der Beleuchtungseinheiten fließt dabei nicht in die Berechnung mit ein. Die sich aus der Berechnung ergebenden notwendigen Leuchtmittel sollen möglichst gleichmäßig auf die Beleuchtungsfläche verteilt werden, um eine ausgewogene Beleuchtungssituation zu erhalten. Zur Abschätzung der notwendigen Leuchtmittelanzahl kann folgende Berechnungsformel angewendet werden:<sup>145</sup>

$$E_m = \frac{z \cdot \phi_l \cdot \eta}{A \cdot b} \quad (13)$$

|          |   |
|----------|---|
| $E_m$    | mittlere Beleuchtungsstärke P [lx]  |
| $z$      | Anzahl der installierten Leuchten   |
| $\phi_l$ | Lampenlichtstrom [lm]   |
| $A$      | Beleuchtete Fläche  |
| $\eta$   | Beleuchtungswirkungsgrad<br>für Baustellenverhältnisse zwischen $\eta = 0,2$ und $\eta = 0,4$   |
| $b$      | Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Verschmutzung und der alterungsbedingten Lichtstromabnahme der Leuchtmittel<br>Bei durchschnittlichen Verhältnissen $b = 1,2$ bis $1,4$<br>bei starker Rauch- und Staubentwicklung bis zu $b = 3$ |

### 6.1.3 Berechnungen mittels EDV-Software

Die in Kapitel 6.1.1 und 6.1.2 genannten Verfahren stellen entweder nur eine grobe Übersicht über die zu erwartende mittlere Beleuchtungsstärke (Wirkungsgradformel) dar oder sind in der Anwendung sehr aufwendig (Punktbeleuchtungsformel). Mittlerweile wurden viele Softwareprogramme zur Berechnung und Simulation von Beleuchtungsanwendungen entwickelt, die mitunter auch zum freien Download zur Verfügung stehen. Diese Softwarelösungen bieten sowohl die Möglichkeit verschiedenste Problemstellungen im Innen- sowie Außenbereich zu berechnen, als auch vorhandene Beleuchtungsanlagen zu überprüfen und zu optimieren. Dabei werden neben den örtlichen Randbedingungen (Objekte auf der Beleuchtungsfläche, Anordnung der Leuchten, Lichtpunkthöhen, Leuchtrichtungen) auch die beleuchtungstechnischen Eingangsparameter (zum Beispiel Lichtstrom, Leuchtdichte) erfasst. Diese beleuchtungstechnischen Eingangsparameter werden von den

---

<sup>145</sup> [5] DREES G., REIFF K.-O.: Die Baustelleneinrichtung, 1971, S. 84.

Produzenten der Leuchtmittel als Datenbank zur Verfügung gestellt, sodass diese auf direktem Weg in dieses Softwarepaket eingelesen und in die Berechnung übernommen werden können. Als Berechnungsergebnisse werden flächendeckende Analysen sowohl im Hinblick auf die Beleuchtungsstärken in den verschiedensten räumlichen Richtungen als auch Bewertungen hinsichtlich der Blendung und Kennzahlen zur Abstrahlung in die Umgebung (Lichtverschmutzung) in die Umgebung ausgegeben. Neben diesen Berechnungsoptionen ist auch die Erfassung der zu erwartenden Kosten für die zu simulierende Beleuchtungsanlage in diesem Softwarepaket inkludiert, sodass bereits im Vorfeld eine Abschätzung der zu erwartenden Kosten für die Beleuchtungseinheiten gegeben ist.

## 7 Bewertung der Kosten

Anhand von drei gewählten fiktiven Beispielen wird mithilfe der in Kap. 6.1.2 erläuterten Wirkungsgradformel eine Abschätzung der Kosten für die häufigsten auf Baustellen vorkommenden Situationen dargestellt. Dabei werden die Kosten für das Gehäuse des Leuchtmittels, die Stromkosten und die Kosten des Leuchtmittels selbst bezogen auf die Geräte- beziehungsweise Leuchtmittelleinsatzdauer und 100 m<sup>2</sup> betrachtet. Der Aufwand für die Montage und für die Verkabelung beziehungsweise für die Inbetriebnahme wurde aufgrund der schweren Abschätzbarkeit der Einzelsituationen nicht für diesen Kostenvergleich bewertet. Für die Berechnung der notwendigen Leuchtmittellanzahl pro 100 m<sup>2</sup> wird der für die Situation passende Wartungswert der Beleuchtungsstärke in Bezug zu den anderen in der Gleichung vorkommenden Parametern gesetzt, wobei der Lichtstrom bei jedem Beispiel variiert wird. Dabei wird die Gleichung (13) so umgestellt, dass die notwendige Anzahl an Beleuchtungseinheiten als Ergebnis vorliegt:

$$z = \frac{E_m \cdot b \cdot A}{\Phi_1 \cdot \eta} \quad (14)$$

Für die Berechnung der Stromkosten wurde der Jahresdurchschnittspreis für elektrischen Strom (Industrie) aus dem Jahr 2012 in der Höhe von

$$13,00 \text{ ct/kWh} = 0,13 \text{ €/kWh}^{146}$$

verwendet. Die Bewertung der Einsatzdauer der jeweiligen Leuchtmittelgehäuse wurde bei jedem Beispiel in Abhängigkeit der individuellen Einsatzsituation des Leuchtelementes neu bewertet.

### 7.1 Verkehrsfläche

Der vorgegebene Wartungswert der mittleren Beleuchtungsstärke für allgemeine Verkehrsflächen (Geschwindigkeiten bis zu 40 km/h) bei Arbeitsbereichen im Freien liegt gemäß EN 12464-2 bei 20 lx (siehe Tab. 3.2). Entsprechend den Vorgaben der AUVA-Sicherheitsmappe <sup>147</sup> müssen Baustellenleuchten zumindest schutzisoliert sein und der Schutzart IP23 genügen. Als für alle Beispiele der Verkehrsflächen konstante Parameter werden die folgenden Annahmen zur Lösung der Gleichung (14) verwendet:

---

<sup>146</sup> Quelle:

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/oeffentliche\\_finanzen\\_und\\_steuern/steuerstatistiken/energiesteuern/074081.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/oeffentliche_finanzen_und_steuern/steuerstatistiken/energiesteuern/074081.html) (2014-01-29).

<sup>147</sup> Vgl. [11] AUVA: Sicherheit am Bau, 2010, S. B13.2.



|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Mittlerer Wartungswert der Beleuchtung               | $\bar{E}_m = 20 \text{ lx}$ |
| Beleuchtungswirkungsgrad                             | $\eta = 0,3$                |
| Abminderungsfaktor                                   | $b = 1,3$                   |
| (mittlere Staubentwicklung, unregelmäßige Reinigung) |                             |

### 7.1.1 Wand- und Aufsatzleuchte mit Natriumdampf-Hochdrucklampe

Es wird eine Wand- und Aufsatzleuchte der Type 20 35/50 HS GR<sup>148</sup> verwendet, welche in der Schutzklasse I und der Schutzart IP 54 ausgeführt ist. Daher entspricht dieses Leuchtelement den für den Einsatz auf Baustellen gestellten Anforderungen. Dieser Gehäusetyt kann entweder auf einem Lichtmast oder an der Wand montiert werden. Die Einsatzdauer des fix montierten Gehäuses wird mit 10 Jahren bei einer Brenndauer von rund 10 h pro Tag angenommen und beträgt demnach

$$10 \text{ Jahre} \times 365 \text{ Tage} \times 10 \text{ h/Tag} = 36.500 \text{ h}$$

In weiterer Folge sind wesentliche Daten für die Lampe und die Leuchte angeführt:

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Gehäusekosten <sup>149</sup>                       | 157,60 €                    |
| Gehäuseeinsatzdauer                                | 36.500 h                    |
| Leuchtmittel: MASTER SON-T PIA Plus <sup>150</sup> | Natriumdampf-Hochdrucklampe |
| Leistung   | 50 W                        |
| Kosten des Leuchtmittels <sup>151</sup>            | 41,40 €                     |
| Lichtstrom des Leuchtmittels                       | 4.400 lm                    |
| Einsatzdauer des Leuchtmittels                     | 30.000 h                    |

Durch das einsetzen in die Gleichung (14) erhält man

$$z = \frac{20 \text{ lx} \cdot 1,3 \cdot 100 \text{ m}^2}{4400 \text{ lm} \cdot 0,3} = 1,97 \frac{\text{Stk}}{100 \text{ m}^2}$$

Damit berechnen sich die Kosten des Gehäuses, des Leuchtmittels und des Stromes bezogen auf die Einsatzdauer des Leuchtmittels pro Stunde und 100 m<sup>2</sup> zu:

---

<sup>148</sup> [2] Adolf Schuch GmbH: Produktkatalog, 2012/13, S. 214.

<sup>149</sup> [1] Adolf Schuch GmbH: Preisliste, 2012/14, S. 52.

<sup>150</sup> [31] Philips GmbH: Produktkatalog, 2012, S. 92.

<sup>151</sup> [30] Philips GmbH GMBH: Preisliste, 2012, S. 33.

|                      |   |   |
|----------------------|---|---|
| Gehäusekosten =      | $\frac{1,97 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{157,60 \text{ €}}{36500 \text{ h}}$  | = 0,009 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| Leuchtmittelkosten = | $\frac{1,97 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{41,40 \text{ €}}{30000 \text{ h}}$   | = 0,003 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| Stromkosten =        | $\frac{1,97 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{70 \text{ W}}{1000} \times 1 \text{ h} \times 0,130 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ | = 0,013 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| <hr/> SUMME          |   | = 0,024 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |

### 7.1.2 Wand- und Aufsatzleuchte mit Kompaktleuchtstofflampe

Es wird eine Wand- und Aufsatzleuchte des Typs 20 218 KL GR <sup>152</sup> verwendet, welche in der Schutzklasse I und der Schutzart IP 54 ausgeführt ist. Daher entspricht dieses Leuchtelement den für den Einsatz auf Baustellen gestellten Anforderungen. Dieser Gehäusotyp kann entweder auf einem Lichtmast oder an der Wand montiert werden. Die Einsatzdauer des fix montierten Gehäuses wird mit 10 Jahren bei einer Brenndauer von rund 10 h pro Tag angenommen und beträgt demnach

$$10 \text{ Jahre} \times 365 \text{ Tage} \times 10 \text{ h/Tag} = 36.500 \text{ h}$$

In weiterer Folge sind wesentliche Daten für das Gehäuse angeführt:

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Gehäusekosten <sup>153</sup>                     | 150,70 €/Stk.               |
| Gehäuseeinsatzdauer                              | 36.500 h                    |
| Leuchtmittel: DULUX L 18 W/840 SP <sup>154</sup> | 2 x Kompaktleuchtstofflampe |
| Leistung   | 2 x 18 W                    |
| Kosten des Leuchtmittels <sup>155</sup>          | 14,86 €/Stk.                |
| Lichtstrom des Leuchtmittels                     | 1.200 lm/Stk.               |
| Einsatzdauer des Leuchtmittels                   | 20.000 h                    |

Durch das Einsetzen in die Gleichung (14) erhält man

$$z = \frac{20 \text{ lx} \cdot 1,3 \cdot 100 \text{ m}^2}{2 \times 1200 \text{ lm} \cdot 0,3} = 3,61 \frac{\text{Stk}}{100 \text{ m}^2}$$

Damit berechnen sich die Kosten des Gehäuses, des Leuchtmittels und des Stromes bezogen auf die Einsatzdauer des Leuchtmittels pro Stunde und 100 m<sup>2</sup> zu:

<sup>152</sup> [2] Adolf Schuch GmbH: Produktkatalog, 2012/13, S. 214.

<sup>153</sup> [1] Adolf Schuch GmbH: Preisliste, 2012/14, S. 52.

<sup>154</sup> [17] Osram AG: Lichtprogramm 2012/2013, S. 4.35.

<sup>155</sup> [18] Osram AG: Preisliste, November 2012, S. 56.

|                      |  |   |
|----------------------|--|---|
| Gehäusekosten =      | $\frac{3,61 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{150,70 \text{ €}}{36500 \text{ h}}$   | = 0,015 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| Leuchtmittelkosten = | $\frac{3,61 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{2 \times 14,86 \text{ €}}{20000 \text{ h}}$   | = 0,005 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| Stromkosten =        | $\frac{3,61 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{2 \times 18 \text{ W}}{1000} \times 1 \text{ h} \times 0,130 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ | = 0,017 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| SUMME                |  | = 0,037 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |

### 7.1.3 Planflächenstrahler mit Halogen-Metall dampflampe

Es wird ein Planflächenstrahler des Typs 7574/2000 HI ZG<sup>156</sup> verwendet, welcher in der Schutzklasse I und der Schutzart IP 54 ausgeführt ist. Daher entspricht dieses Leuchtelement den für den Einsatz auf Baustellen gestellten Anforderungen. Dieser Gehäusotyp wird hauptsächlich an erhöhten Punkten wie zum Beispiel Kranen oder Silos montiert. Die Einsatzdauer des fix montierten Gehäuses wird mit 10 Jahren bei einer Brenndauer von rund 10 h pro Tag angenommen und beträgt demnach

$$10 \text{ Jahre} \times 365 \text{ Tage} \times 10 \text{ h/Tag} = 36.500 \text{ h}$$

In weiterer Folge sind wesentliche Daten für das Gehäuse angeführt:

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Gehäusekosten <sup>157</sup>                | 1.084,20 €                |
| Gehäuseeinsatzdauer                         | 36.500 h                  |
| Leuchtmittel: HPI-T E40 Klar <sup>158</sup> | Halogen-Metall dampflampe |
| Leistung                                    | 2.000 W                   |
| Kosten des Leuchtmittels <sup>159</sup>     | 388,47 €                  |
| Lichtstrom des Leuchtmittels                | 189.000 lm                |
| Einsatzdauer des Leuchtmittels              | 12.000 h                  |

Durch das Einsetzen in die Gleichung (14) erhält man

$$z = \frac{20 \text{ lx} \cdot 1,3 \cdot 100 \text{ m}^2}{189000 \text{ lm} \cdot 0,3} = 0,05 \frac{\text{Stk}}{100 \text{ m}^2}$$

<sup>156</sup> [2] Adolf Schuch GmbH: Produktkatalog, 2012/13, S. 244.

<sup>157</sup> [1] Adolf Schuch GmbH: Preisliste, 2012/14, S. 63.

<sup>158</sup> [31] Philips GmbH: Produktkatalog, 2012, S. 97.

<sup>159</sup> [30] Philips GmbH: Preisliste, 2012, S. 35.

Damit berechnen sich die Kosten des Gehäuses, des Leuchtmittels und des Stromes bezogen auf die Einsatzdauer des Leuchtmittels pro Stunde und 100 m<sup>2</sup> zu:

$$\text{Gehäusekosten} = \frac{0,05 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{1084,20 \text{ €}}{36500 \text{ h}} = 0,001 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$\text{Leuchtmittelkosten} = \frac{0,05 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{388,47 \text{ €}}{12000 \text{ h}} = 0,001 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$\text{Stromkosten} = \frac{0,05 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{2000 \text{ W}}{1000} \times 1 \text{ h} \times 0,130 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0,012 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

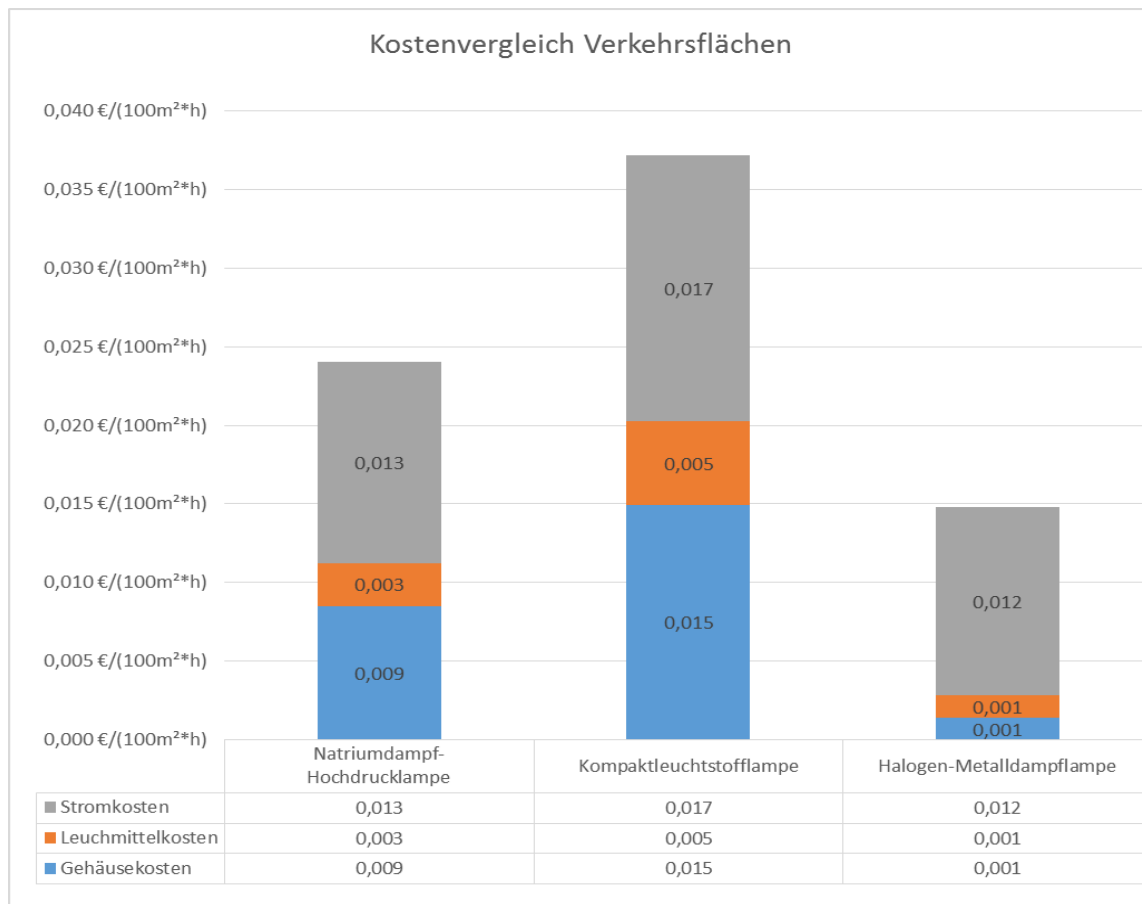
---


$$\text{SUMME} = 0,015 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

#### 7.1.4 Übersicht Verkehrsflächen

Als Zusammenfassung der in den Kapiteln 7.1.1, 7.1.2 und 7.1.3 ermittelten Kostenwerte ist in der Abb. 7.1 deutlich die Gewichtung der Kostenanteile zu erkennen. Aus diesem Diagramm lässt sich eindeutig ablesen, dass eine große Leistungsaufnahme des Gerätes (siehe Planflächenstrahler mit 2.000 W - Kapitel 7.1.3) nicht zwingend zu hohen Gesamtbetriebskosten führen muss. Auch die hohen Anfangsinvestitionskosten in Summe von 1.472,67 € (Gehäuse inkl. Leuchtmittel) sind für die Gesamtbetriebskosten nicht ausschlaggebend. Der Grund dafür liegt in der Gerätekonfiguration. Durch den großen abgegebenen Lichtstrom wird eine sehr große Beleuchtungsfläche erhellt, sodass nur sehr wenige Beleuchtungseinheiten notwendig sind, um die geforderte Beleuchtungsstärke zu erreichen. Dadurch werden die Kostenkomponenten derart abgemindert, dass sich im Gesamtvergleich die geringsten Kosten ergeben. Es ist jedoch die Berücksichtigung des Bedeckungskoeffizienten  $K_{\min}$  zu beachten, welcher in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt wurde und auf Baustellen zumindest den Wert  $K_{\min} \geq 2$  erreichen sollte, um die Schattenbildung zu reduzieren. Als teuerste Variante kristallisiert sich in diesem Beispiel die Verwendung von Kompaktleuchtstofflampen heraus. Die Kosten liegen deutlich über der kostengünstigsten Variante der berechneten Beispiele. Die Kostenbewertung liegt bei der Verwendung einer Hochdrucknatriumdampflampe im Gehäuse einer Mast- oder Aufsatzleuchte ebenfalls über der des Planflächenstrahlers. Als maßgebender Faktor für dieses Ergebnis lässt sich auch hier der Lichtstrom identifizieren, welcher beim Beispiel aus Kapitel 7.1.3 mit deutlichem Abstand über den Vergleichsparametern der Vergleichslichtkörper liegt. Als weiterer bemerkenswerter Punkt in dieser Untersuchungskonfiguration sind die bezogenen Stromkosten zu nennen. Trotz der im Vergleich zu den anderen Leuchtmittelkombinationen (32 W beziehungsweise 50 W) extrem hohen Leistungsaufnahme des Planflächenstrahlers mit 2000 W lässt sich kein Einsparungspotential bei den Stromkosten erkennen. Die geringe Stückzahl für die Referenzfläche mindert die Gehäuse-, Leuchtmittel- und Stromkosten derart ab, sodass nach dieser Untersuchung der

Schluss gezogen werden kann, dass die Verwendung von möglichst lichtstarken und damit einhergehend wenigen Leuchteinheiten die besten Einsparungspotentiale birgt.



**Abb. 7.1: Kostenvergleich Verkehrsflächen**

## 7.2 Allgemeine Baustellenfläche

Der vorgegebene Wartungswert der mittleren Beleuchtungsstärke auf Baustellen liegt gemäß EN 12464-2 zwischen 20 lx und 200 lx. In diesem Beispiel wird eine Arbeitsbeleuchtung für einfache Bewehrungsarbeiten, Schalungsarbeiten, Fertigteilmontagen und ähnliches simuliert und daher ein Wartungswert der mittleren Beleuchtungsstärke von 100 lx (siehe Tab. 3.2) gewählt. Den Vorgaben der AUVA-Sicherheitsmappe<sup>160</sup> folgend, müssen Baustellenleuchten zumindest schutzisoliert sein und der Schutzart IP23 genügen. Als konstante Parameter für Bereiche auf Baustellen werden die folgenden zur Lösung der Gleichung (14) verwendet:

<sup>160</sup> Vgl. [11] AUVA: Sicherheit am Bau, 2010, S. B13.2.

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Mittlerer Wartungswert der Beleuchtung             | $\bar{E}_m = 100 \text{ lx}$ |
| Beleuchtungswirkungsgrad                           | $\eta = 0,3$                 |
| Abminderungsfaktor                                 | $b = 1,2$                    |
| (mittlere Staubentwicklung, regelmäßige Reinigung) |                              |

### 7.2.1 Scheinwerfer mit Halogen-Metall dampflampe

Es wird ein Scheinwerfer des Typs Jupiter<sup>161</sup> verwendet, welcher in der Schutzklasse I und der Schutzart IP 65 ausgeführt ist. Daher entspricht dieses Leuchtelement den für den Einsatz auf Baustellen gestellten Anforderungen. Dieser Gehäusotyp wird hauptsächlich an erhöhten Punkten wie zum Beispiel Kranen oder Silos montiert, um eine Grundbeleuchtung der Baustelleneinrichtungsfläche zu gewährleisten. Die Einsatzdauer des fix montierten Gehäuses wird mit 10 Jahren bei einer Brenndauer von durchschnittlich 10 h pro Tag angenommen und beträgt demnach

$$10 \text{ Jahre} \times 365 \text{ Tage} \times 10 \text{ h/Tag} = 36.500 \text{ h}$$

In weiterer Folge sind wesentliche Daten für das Gehäuse angeführt:

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Gehäusekosten   | 224,00 €                  |
| Gehäuseeinsatzdauer                                     | 36.500 h                  |
| Leuchtmittel: MASTER HPI-T Plus E40 Klar <sup>162</sup> | Halogen-Metall dampflampe |
| Leistung  | 400 W                     |
| Kosten des Leuchtmittels <sup>163</sup>                 | 120,77 €                  |
| Lichtstrom des Leuchtmittels                            | 32.000 lm                 |
| Einsatzdauer des Leuchtmittels                          | 20.000 h                  |

Durch das Einsetzen in die Gleichung (14) erhält man

$$z = \frac{100 \text{ lx} \cdot 1,2 \cdot 100 \text{ m}^2}{32.000 \text{ lm} \cdot 0,3} = 1,25 \frac{\text{Stk}}{100 \text{ m}^2}$$

Damit berechnen sich die Kosten des Gehäuses, des Leuchtmittels und des Stromes bezogen auf die Einsatzdauer des Leuchtmittels pro Stunde und 100 m<sup>2</sup> zu:

<sup>161</sup> [14] Ing. Emmerich Csernohorszky GmbH: Produktkatalog, 2011, S. G.26.

<sup>162</sup> [31] Philips GmbH: Produktkatalog, 2012, S. 98.

<sup>163</sup> [30] Philips GmbH: Preisliste, 2012, S. 35.

|                      |  |   |
|----------------------|--|---|
| Gehäusekosten =      | $\frac{1,25 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{224,00 \text{ €}}{36500 \text{ h}}$   | = 0,008 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| Leuchtmittelkosten = | $\frac{1,25 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{120,77 \text{ €}}{20000 \text{ h}}$   | = 0,008 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| Stromkosten =        | $\frac{1,25 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{400 \text{ W}}{1000} \times 1 \text{ h} \times 0,130 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ | = 0,065 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| <hr/> SUMME          |  | = 0,080 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |

### 7.2.2 Scheinwerfer mit Hochvolt-Halogenglühlampe

Es wird ein Scheinwerfer der Firma Meyer<sup>164</sup> verwendet, welcher in der Schutzklasse I und der Schutzart IP 55 ausgeführt ist. Daher entspricht dieses Leuchtelement den für den Einsatz auf Baustellen gestellten Anforderungen. Dieser Gehäusetyyp kann sowohl für die Flächenbeleuchtung an erhöhten Punkten montiert, als auch auf mobilen Stativen für die punktuelle Arbeitsplatzbeleuchtung verwendet werden. Durch diese Mobilität und den damit verbundenen Verschleiß des Gehäuses wird in Anlehnung an die Österreichische Baugeräteliste 2009 von einer Geräteeinsatzdauer von 5 Jahren ausgegangen. Die monatliche Einsatzdauer wird ebenfalls nach der ÖBGL mit 170 h/Mo kalkuliert, wodurch sich eine Gesamteinsatzdauer von

$$5 \text{ Jahre} \times 12 \text{ Monate} \times 170 \text{ h/Monat} = 10.200 \text{ h}$$

In weiterer Folge sind wesentliche Daten für das Gehäuse angeführt:

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Gehäusekosten   | 134,00 €.                 |
| Gehäuseeinsatzdauer                                   | 10.200 h                  |
| Leuchtmittel: Plusline Large 230V Klar <sup>165</sup> | Hochvolt-Halogenglühlampe |
| Leistung  | 1000 W                    |
| Kosten des Leuchtmittels <sup>166</sup>               | 15,76 €                   |
| Lichtstrom des Leuchtmittels                          | 24.200 lm                 |
| Einsatzdauer des Leuchtmittels                        | 2.000 h                   |

Durch das Einsetzen in die Gleichung (14) erhält man

$$z = \frac{100 \text{ lx} \cdot 1,2 \cdot 100 \text{ m}^2}{24.200 \text{ lm} \cdot 0,3} = 1,65 \frac{\text{Stk}}{100 \text{ m}^2}$$

<sup>164</sup> [14] Ing. Emmerich Csernohorszky GmbH: Produktkatalog, 2011, S. G.18.

<sup>165</sup> [31] Philips GmbH: Produktkatalog, 2012, S. 128.

<sup>166</sup> [30] Philips GmbH: Preisliste, 2012, S. 47.

Damit berechnen sich die Kosten des Gehäuses, des Leuchtmittels und des Stromes bezogen auf die Einsatzdauer des Leuchtmittels pro Stunde und 100 m<sup>2</sup> zu:

$$\text{Gehäusekosten} = \frac{1,65 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{134,00 \text{ €}}{10200 \text{ h}} = 0,022 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$\text{Leuchtmittelkosten} = \frac{1,65 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{15,76 \text{ €}}{2000 \text{ h}} = 0,013 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$\text{Stromkosten} = \frac{1,65 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{100 \text{ W}}{1000} \times 1 \text{ h} \times 0,130 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0,215 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

---


$$\text{SUMME} = 0,250 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

### 7.2.3 Planflächenstrahler in LED-Ausführung

Es wird ein Planflächenstrahler des Typs 7573/6403 LED/A<sup>167</sup> verwendet, welcher in der Schutzklasse I und der Schutzart IP 65 ausgeführt ist. Daher entspricht dieses Leuchtelement den für den Einsatz auf Baustellen gestellten Anforderungen. Dieser Gehäusotyp ist für die Montage an Flächenbeleuchtung an erhöhten Punkten konstruiert. Da bei LED-Strahlern die Leuchteinheit direkt im Gehäuse integriert ist und auch eine sehr hohe Einsatzdauer der Leuchteinheit möglich ist, wird sowohl für das Gehäuse als auch für das Leuchtmittel dieselbe Einsatzdauer, in diesem Fall 50.000 h, kalkuliert.

In weiterer Folge sind wesentliche Daten für das Gehäuse angeführt:

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| Gehäusekosten <sup>168</sup>   | 1.289,00 € |
| Leuchtmittel                   | LED        |
| Leistung                       | 136 W      |
| Kosten des Leuchtmittels       | -          |
| Lichtstrom des Leuchtmittels   | 12.000 lm  |
| Einsatzdauer des Leuchtmittels | 50.000 h   |

Durch das Einsetzen in die Gleichung (14) erhält man

$$z = \frac{100 \text{ lx} \cdot 1,2 \cdot 100 \text{ m}^2}{12.000 \text{ lm} \cdot 0,3} = 3,33 \frac{\text{Stk}}{100 \text{ m}^2}$$

Damit berechnen sich die Kosten des Gehäuses und des Stromes bezogen auf die Einsatzdauer pro Stunde und 100 m<sup>2</sup> zu:

<sup>167</sup> [2] Adolf Schuch GmbH: Produktkatalog, 2012/13, S. 242.

<sup>168</sup> [1] Adolf Schuch GmbH: Preisliste, 2012/14, S. 62.



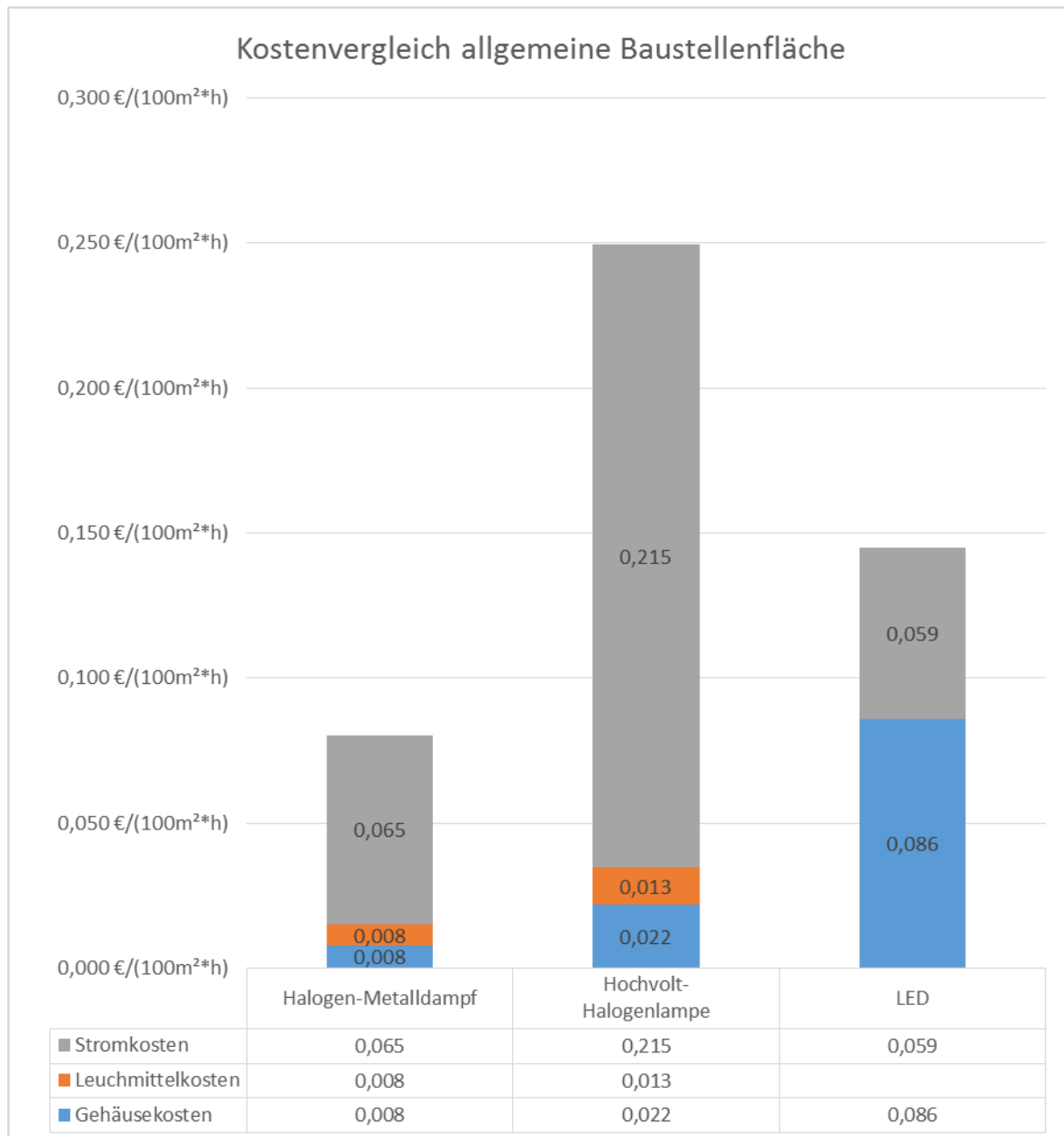
---


$$\begin{aligned} \text{Gehäusekosten} &= \frac{3,33 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{1289,00 \text{ €}}{50000 \text{ h}} = 0,086 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}} \\ \text{Stromkosten} &= \frac{3,33 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{136 \text{ W}}{1000} \times 1 \text{ h} \times 0,130 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0,059 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}} \\ \text{SUMME} &= 0,145 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}} \end{aligned}$$


---

#### 7.2.4 Übersicht Arbeitsbereich Baustellenfläche

Als Zusammenfassung der in den Kapiteln 7.2.1, 7.2.2 und 7.2.3 ermittelten Kostenwerte ist in der Abb. 7.2 deutlich die Gewichtung der Kostenanteile zu erkennen. Als Besonderheit bei dieser Beispielgruppe ist eindeutig die Untersuchung des LED-basierten Leuchtmittels aus Kapitel 7.2.3 zu nennen. Bei dieser Variante ist die Leuchteinheit bereits im Gehäuse integriert. Daher werden die Gesamtkosten der Leuchte auf die zu erwartende Lebensdauer der LED-Einheit (in diesem Fall 50.000 h) bezogen und zusätzlich nur die Stromkosten berücksichtigt. Das vielleicht erwartete Ergebnis, dass sich die LED-Technologie als kostengünstigste Variante herausstellt, kann hier in dieser Beispielvariation nicht bestätigt werden. Dies drückt sich vor allem durch die hohen auf die Referenzfläche und Einsatzdauer bezogenen (zusammengefassten) Leuchtmittel- und Gehäusekosten aus. Selbst die mögliche höchste Einsatzdauer von 50.000 h kann die höchsten Anfangsinvestitionskosten von allen Beispielen in der Höhe von 1.289,00 € nicht kompensieren. Die benötigte elektrische Leistung liegt bei dem betrachteten LED-Strahler lediglich bei 136 W, was auch zu den geringsten Stromkosten in dieser betrachteten Gruppe führt. In Summe betrachtet verhindert die zur Erfüllung des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke notwendige Anzahl an Leuchtelementen ein kostengünstigeres Ergebnis. Als kostengünstigste Variante stellte sich der Scheinwerfer mit Halogen-Metall dampflampe heraus (Kapitel 7.2.1). Dieser Strahler verfügt über einen großen Lichtstrom, das 2,7-fache der LED-Einheit, und es werden aus diesem Grund nur wenige Leuchtelemente für die geforderte Beleuchtung der Referenzfläche benötigt. Als teuerste Variante (Kapitel 7.2.2) wurde der Halogen-Scheinwerfer mit einer Hochvolt-Halogenglühlampe berechnet. Dieser Typ liegt, im Vergleich zu den anderen betrachteten Leuchtmitteln, beim Lichtstrom im oberen Bereich (24.200 lm). Um diesen zu erreichen ist jedoch ein sehr hoher Energieeinsatz notwendig. Das kann auch durch die Lichtausbeute von  $\eta = 24,2 \text{ lm/W}$  direkt ausgedrückt werden, während die Vergleichsleuchten (Halogen-Metall dampflampe  $\eta = 80 \text{ lm/W}$  und LED  $\eta = 88 \text{ lm/W}$ ) deutlich höhere Lichtausbeuten erzielen können. Zudem ist die Einsatzdauer von Halogen glühlampen mit 2.000 h begrenzt, was zusätzlich zu einem schlechteren Ergebnis führt. Daher schlägt sich die hohe Leistung direkt in den Stromkosten nieder, welche die höchsten der betrachteten Beispiele sind.



**Abb. 7.2: Kostenvergleich Arbeitsbereich Baustellenfläche**

### 7.3 Unter Tage

Die empfohlene Mindestbeleuchtungsstärke auf Baustellen unter Tage liegt gemäß den Empfehlungen der AUYA beziehungsweise BG-Bau zwischen 10 lx und 120 lx. In diesem Beispiel wird daher eine mittlere Mindestbeleuchtungsstärke für Arbeitsplätze, Abbau- und Ladestellen von 60 lx (siehe Tab. 3.4) gewählt. Den Vorgaben der Literatur<sup>169</sup> folgend, müssen Baustellenleuchten der Schutzart IP54 entsprechen, sofern sie nicht als Bodenleuchten verwendet werden. Werden die Beleuchtungseinheiten hingegen als Bodenleuchten verwendet, so ist die Schutzart IP 55

<sup>169</sup> Vgl. [12] BG Bau, AUYA: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, 2007, S. 58f.

nachzuweisen. Für Lampen mit Steckvorrichtung ist der Betrieb über Schutzkleinspannung (Schutzklasse III) oder über Fehlerschutzeinrichtungen  $I\Delta N \leq 30 \text{ mA}$  vorgeschrieben. Als konstante Parameter für Bereiche unter Tage werden die folgenden zur Lösung der Gleichung (14) verwendet:

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Mittlere Mindestbeleuchtungsstärke               | $E_m = 60 \text{ lx}$ |
| Beleuchtungswirkungsgrad                         | $\eta = 0,3$          |
| Abminderungsfaktor                               | $b = 1,4$             |
| (Starke Staubentwicklung, regelmäßige Reinigung) |                       |

### 7.3.1 Feuchtraumwannenleuchte mit Leuchtstofflampe

Es wird ein Gehäuse für Feuchtraumbedingungen zur Anwendung im Innen- und Außenbereich des Typs 144 158 EVG<sup>170</sup> verwendet, welches in der Schutzklasse II und der Schutzart IP 66 ausgeführt ist. Die robuste mechanische und chemische Ausführung wird im Datenblatt des Produkts bestätigt. Daher entspricht dieses Leuchtelement den Anforderungen für den Einsatz auf Baustellen unter Tage. In der Regel wird dieser Gehäusotyp vertikal an der Ulme montiert. Durch die sehr hohe mögliche Einsatzdauer des Leuchtmittels ist die Einsatzdauer für das Gehäuse mit demselben Wert kalkuliert.

In weiterer Folge sind wesentliche Daten für die Beleuchtungseinheit angeführt:

|   |                  |
|---|------------------|
| Gehäusekosten <sup>171</sup>                      | 214,00 €.        |
| Gehäuseeinsatzdauer                               | 55.000           |
| Leuchtmittel: MASTER TL-D Xtra G13 <sup>172</sup> | Leuchtstofflampe |
| Leistung  | 58 W             |
| Kosten des Leuchtmittels <sup>173</sup>           | 30,71 €          |
| Lichtstrom des Leuchtmittels                      | 5.200 lm         |
| Einsatzdauer des Leuchtmittels                    | 55.000 h         |

Durch das Einsetzen in die Gleichung (14) erhält man

$$z = \frac{60 \text{ lx} \cdot 1,4 \cdot 100 \text{ m}^2}{5.200 \text{ lm} \cdot 0,3} = 5,38 \frac{\text{Stk}}{100 \text{ m}^2}$$

---

<sup>170</sup> [2] Adolf Schuch GmbH: Produktkatalog, 2012/13, S. 86.

<sup>171</sup> [1] Adolf Schuch GmbH: Preisliste, 2012/14, S. 21.

<sup>172</sup> [31] Philips GmbH GmbH: Produktkatalog, 2012, S. 27.

<sup>173</sup> [30] Philips GmbH GmbH: Preisliste, 2012, S. 11.

Damit berechnen sich die Kosten des Gehäuses, des Leuchtmittels und des Stromes bezogen auf die Einsatzdauer des Leuchtmittels pro Stunde und 100 m<sup>2</sup> zu:

$$\text{Gehäusekosten} = \frac{5,38 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{214,00 \text{ €}}{55000 \text{ h}} = 0,021 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$\text{Leuchtmittelkosten} = \frac{5,38 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{30,71 \text{ €}}{55000 \text{ h}} = 0,003 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$\text{Stromkosten} = \frac{5,38 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{58 \text{ W}}{1000} \times 1 \text{ h} \times 0,0734 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0,041 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

---


$$\text{SUMME} = 0,065 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

### 7.3.2 Feuchtraumwannenleuchte mit LED-Lampe

Es wird ein Gehäuse für Feuchtraumbedingungen zur Anwendung im Innen- und Außenbereich des Typs 144 158 EVG<sup>174</sup> verwendet, welches in der Schutzklasse II und der Schutzart IP 66 ausgeführt ist. Die robuste mechanische und chemische Ausführung wird im Datenblatt des Produkts bestätigt. Daher entspricht dieses Leuchtelement somit den Anforderungen für den Einsatz auf Baustellen unter Tage. In der Regel wird dieser Gehäusotyp vertikal an der Ulme montiert. Als Leuchtmittel wird anstelle einer konventionellen Leuchtstoffröhre eine LED-Leuchteinheit in das Gehäuse für Feuchtraumbedingungen eingesetzt. Da in diesem Beispiel dasselbe Gehäuse wie im Beispiel der konventionellen Leuchtstoffröhre verwendet wurde (siehe Kapitel 7.3.1) wurde die Einsatzdauer des Gehäuses ebenfalls mit 55.000 h angenommen. In weiterer Folge sind wesentliche Daten für die Beleuchtungseinheit angeführt:

|  |           |
|--|-----------|
| Gehäusekosten <sup>175</sup>                 | 214,00 €  |
| Gehäuseeinsatzdauer                          | 55.000 h  |
| Leuchtmittel: ST8-EA5-320-840 <sup>176</sup> | LED-Lampe |
| Leistung                                     | 32 W      |
| Kosten des Leuchtmittels <sup>177</sup>      | 117,80 €  |
| Lichtstrom des Leuchtmittels                 | 3.200 lm  |
| Einsatzdauer des Leuchtmittels               | 40.000 h  |

---

<sup>174</sup> [2] Adolf Schuch GmbH: Produktkatalog, 2012/13, S. 86.

<sup>175</sup> [1] Adolf Schuch GmbH: Preisliste, 2012/14, S. 21.

<sup>176</sup> [31] Philips GmbH: Produktkatalog, 2012, S. 27.

<sup>177</sup> [30] Philips GmbH: Preisliste, 2012, S. 11.

Durch das Einsetzen in die Gleichung (14) erhält man

$$z = \frac{60 \text{ lx} \cdot 1,4 \cdot 100 \text{ m}^2}{5.200 \text{ lm} \cdot 0,3} = 8,75 \frac{\text{Stk}}{100 \text{ m}^2}$$

Damit berechnen sich die Kosten des Gehäuses, des Leuchtmittels und des Stromes bezogen auf die Einsatzdauer des Leuchtmittels pro Stunde und 100 m<sup>2</sup> zu:

$$\text{Gehäusekosten} = \frac{8,75 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{214,00 \text{ €}}{55000 \text{ h}} = 0,034 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$\text{Leuchtmittelkosten} = \frac{8,75 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{30,71 \text{ €}}{40000 \text{ h}} = 0,026 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$\text{Stromkosten} = \frac{8,75 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{32 \text{ W}}{1000} \times 1 \text{ h} \times 0,130 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0,036 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

---


$$\text{SUMME} = 0,096 \frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$$

### 7.3.3 Scheinwerfer mit Halogen-Metall dampflampe

Es wird ein Halogenscheinwerfer des Typs Earth<sup>178</sup> verwendet, welcher in der Schutzklasse I und der Schutzart IP 65 gefertigt ist. Die mechanisch robuste Ausführung (schlagfest) ist im Datenblatt bescheinigt. Eine nähere Information bezüglich der Qualität der mechanischen Robustheit des Geräts wäre trotzdem anzufordern. Da das Leuchtelement lediglich in Schutzklasse I ausgeführt ist, ist der Betrieb, ausgenommen bei einer Fehlerstromschutzabsicherung mit  $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$ , mit Steckverbindungen nicht zulässig. Daher entspricht dieses Leuchtelement nur unter Vorbehalt den Anforderungen für den Einsatz auf Baustellen unter Tage. Die Anwendung dieses Leuchtmittels erfolgt häufig durch die fixe Montage als erhöhte Lichtquelle für den Arbeitseinsatz unter Tage. Die Einsatzdauer des fix montierten Gehäuses wird aufgrund des Einsatzes unter Tage mit 5 Jahren bei einer Brenndauer von 24 h pro Tag angenommen und beträgt demnach

$$5 \text{ Jahre} \times 365 \text{ Tage} \times 24 \text{ h/Tag} = 43.800 \text{ h}$$

In weiterer Folge sind wesentliche Daten für die Beleuchtungseinheit angeführt:

|                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Gehäusekosten                       | 145,00 €                  |
| Gehäuseeinsatzdauer                 | 43.800 h                  |
| Leuchtmittel: MHN-TD <sup>179</sup> | Halogen-Metall dampflampe |

<sup>178</sup> [14] Ing. Emmerich Csernohorszky GmbH: Produktkatalog, 2011, S. G.25.

<sup>179</sup> [31] Philips GmbH: Produktkatalog, 2012, S. 83.

|   |           |
|---|-----------|
| Leistung                                | 150 W     |
| Kosten des Leuchtmittels <sup>180</sup> | 57,69 €   |
| Lichtstrom des Leuchtmittels            | 12.900 lm |
| Einsatzdauer des Leuchtmittels          | 10.500 h  |

Durch einsetzen in die Gleichung (14) erhält man

$$z = \frac{60 \text{ lx} \cdot 1,4 \cdot 100 \text{ m}^2}{12900 \text{ lm} \cdot 0,3} = 2,17 \frac{\text{Stk}}{100 \text{ m}^2}$$

Damit berechnen sich die Kosten des Gehäuses, des Leuchtmittels und des Stromes bezogen auf die Einsatzdauer des Leuchtmittels pro Stunde und 100 m<sup>2</sup> zu:

|                      |  |   |
|----------------------|--|---|
| Gehäusekosten =      | $\frac{2,17 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{145,00 \text{ €}}{43800 \text{ h}}$   | = 0,007 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| Leuchtmittelkosten = | $\frac{2,17 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{57,69 \text{ €}}{10.500 \text{ h}}$   | = 0,012 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| Stromkosten =        | $\frac{2,17 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{150 \text{ W}}{1000} \times 1 \text{ h} \times 0,130 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ | = 0,042 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| <hr/> SUMME          |  | = 0,061 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |

#### 7.3.4 Halogenscheinwerfer mit Niedervolt-Halogenglühlampe (Schutzklasse III)

Es wird ein Halogen-Scheinwerfer für Schutzkleinspannung 12/24V<sup>181</sup> verwendet, welcher in der Schutzklasse III und der Schutzart IP 54 gefertigt ist. Damit ist der Einsatz von diesem Leuchtmittel auf Baustellen unter Tage nur als Decken- oder Wandleuchte zulässig. Der Einsatz als Bodenleuchte in Bereichen unter Tage ist nicht zulässig. Zusätzlich ist die mechanisch robuste Ausführung im Datenblatt nicht bescheinigt und müsste für die Verwendung gesondert nachgewiesen werden. Daher entspricht dieses Leuchtelement nur unter Vorbehalt den Anforderungen für den Einsatz auf Baustellen unter Tage. Die Anwendung dieses Leuchtmittels erfolgt häufig durch die Montage als punktuelle mobile Lichtquelle für den kurzfristigen Arbeitseinsatz auf Stativen. Durch diese Mobilität und den damit verbundenen Verschleiß des Gehäuses wird in Anlehnung an die Österreichische Baugeräteliste 2009 von einer Geräteeinsatzdauer von 5 Jahren ausgegangen. Die monatliche Einsatzdauer wird ebenfalls nach der ÖBGL mit 170 h/Mo kalkuliert, wodurch sich eine Gesamteinsatzdauer von

$$5 \text{ Jahre} \times 12 \text{ Monate} \times 170 \text{ h/Monat} = 10.200 \text{ h}$$

<sup>180</sup> [30] Philips GmbH: Preisliste, 2012, S. 31.

<sup>181</sup> [14] Ing. Emmerich Csernohorszky GmbH: Produktkatalog, 2011, S. G.18.

In weiterer Folge sind wesentliche Daten für die Beleuchtungseinheit angeführt:

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Gehäusekosten <sup>182</sup>                | 114,00 €                         |
| Gehäuseeinsatzdauer                         | 10.200 h                         |
| Leuchtmittel: CAPSULELINE <sup>183</sup>    | 2 x Niedervolt-Halogenglühlampen |
| Leistung                                    | 50 W/Stk.                        |
| Kosten des Leuchtmittels                    | 2 x 2,94 €/Stk.                  |
| Lichtstrom des Leuchtmittels <sup>184</sup> | 2 x 880 lm/Stk.                  |
| Einsatzdauer des Leuchtmittels              | 4.000 h                          |

Durch das Einsetzen in die Gleichung (14) erhält man

$$z = \frac{60 \text{ lx} \cdot 1,4 \cdot 100 \text{ m}^2}{2 \cdot 880 \text{ lm} \cdot 0,3} = 15,91 \frac{\text{Stk}}{100 \text{ m}^2}$$

Damit berechnen sich die Kosten des Gehäuses, des Leuchtmittels und des Stromes bezogen auf die Einsatzdauer des Leuchtmittels pro Stunde und 100 m<sup>2</sup> zu:

|                      |  |   |
|----------------------|--|---|
| Gehäusekosten =      | $\frac{15,91 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{114,00 \text{ €}}{10200 \text{ h}}$  | = 0,178 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| Leuchtmittelkosten = | $\frac{15,91 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{2 \cdot 2,94 \text{ €}}{4000 \text{ h}}$   | = 0,023 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| Stromkosten =        | $\frac{15,91 \text{ Stk}}{100 \text{ m}^2} \times \frac{2 \cdot 50 \text{ W}}{1000} \times 1 \text{ h} \times 0,130 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ | = 0,207 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |
| SUMME                |  | = 0,408 $\frac{\text{€}}{100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}}$ |

### 7.3.5 Übersicht unter Tage

Als Zusammenfassung der in den Kapitel 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3 und 7.3.4 ermittelten Kostenwerte ist in der Abb. 7.3 deutlich die Gewichtung der Kostenanteile zu erkennen. Als kostengünstigste Variante für die Beleuchtung unter Tage hat sich ein Scheinwerfer mit Halogen-Metall dampflampenbestückung erwiesen. Dieses Ergebnis beruht wieder auf dem im Vergleich zu den anderen untersuchten Leuchtmittelkombinationen hohen Lichtstrom des Leuchtmittels, was eine sehr geringe notwendige Stückzahl zur Erreichung der gewünschten Beleuchtungsstärke zur Folge hat. Die Beleuchtung mittels Leuchtstoffröhren liegt kostenmäßig nur unwesentlich höher. Vergleicht man die

<sup>182</sup> [1] Adolf Schuch GmbH: Preisliste, 2012/14, S. 62.

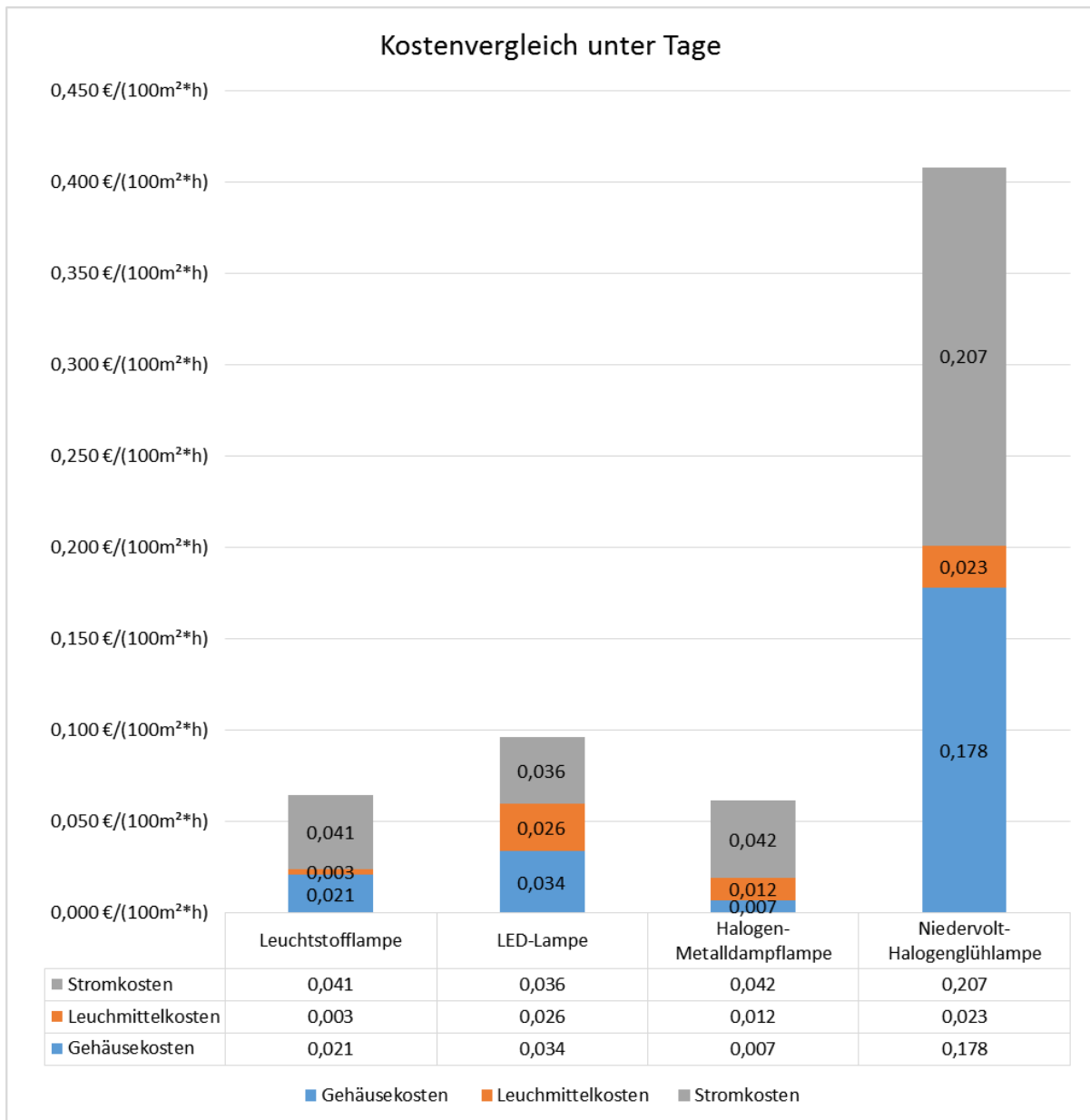
<sup>183</sup> [14] Ing. Emmerich Csernohorszky GmbH: Produktkatalog, 2011, S. H.10.

<sup>184</sup> [31] Philips GmbH: Produktkatalog, 2012, S. 115.

Feuchtraumwannenleuchte mit konventioneller Leuchtstofflampe dagegen mit der LED bestückten Feuchtraumwannenleuchte, so stellt man fest, dass die bezogenen Kosten der LED-Version um den Faktor 1,48 höher liegen als die konventionelle Leuchtstofflampe. Ausschlaggebend dafür sind zum einen die deutlich höheren bezogenen Kosten des Leuchtmittels, zum anderen die Gehäusekosten. Diese höheren Gehäusekosten lassen sich leicht identifizieren und begründen. Da in beiden Beispielvarianten dieselbe Feuchtraumwannenleuchte verwendet wurde, bewirkt nur der Faktor für die berechnete Leuchtenanzahl einen Unterschied. Durch den geringeren Lichtstrom der LED-Lampe wird daher eine entsprechend höhere Anzahl an Leuchtelementen für die Beleuchtung der Referenzfläche notwendig und steigert daher in direkten Zusammenhang die Gehäusekosten.

Der Halogen-Scheinwerfer mit Niedervolt-Halogenglühlampenbesatz ist in der Schutzklasse III ausgeführt und hat sich sehr deutlich als kostenintensivste aller Leuchtmittelkombinationen herausgestellt. Die Auswertung der Kosten ergibt den mit Abstand höchsten aller berechneten Werte, wodurch aus diesem Grund auch nicht von einem flächendeckenden Einsatz des Leuchtmittels ausgegangen werden kann. Dafür spricht auch der sehr geringe Lichtstrom und damit in direktem Zusammenhang stehend, die notwendige hohe Stückzahl der Leuchteinheit, um die gewünschte Beleuchtungsstärke zu erreichen. Dieser Umstand unterstreicht deutlich die bereits in den Kapiteln 7.1.4 und 7.2.4 gezeigten offensichtlichen Trends. Dabei wird die lichtstromstärkste Leuchte als kostengünstigste Variante identifiziert, da sich die notwendige Stückzahl pro Referenzfläche als deutlich schwerwiegenderer Faktor als Strom-, Leuchtmittel- und Gehäusekosten herausstellt.





**Abb. 7.3: Kostenvergleich für Leuchtmittel unter Tage**

## 8 Zusammenfassung

Neben den physikalischen Grundbegriffen der Optik und Elektrodynamik zum Verständnis der elektromagnetischen Lichtwellen ist auch das grundlegende Verständnis und die Funktionsweise des menschlichen Auges die Basis für jede Fragestellung, die sich im Zusammenhang mit der Planung, Optimierung und dem Betrieb einer Beleuchtungsanlage ergibt. Die unterschiedlichen Seheigenschaften, also das differenzierte lichtabhängige Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges bei hellem Tageslicht (photopisches Sehen) und bei Dunkelheit (skotopisches Sehen) machen eine Bewertung mit dem Helligkeitsempfindungsgrad  $V(\lambda)$  für das photopische Sehen und  $V'(\lambda)$  für das skotopische Sehen notwendig. Mit dieser Bewertung ist der Übergang der (für das gesamte Spektrum der elektromagnetischen Strahlung angewendeten) radiometrischen Größen zu den (nur für den sichtbaren Bereich von Menschen verwendeten) photometrischen Größen geschaffen. Die Erläuterung dieser lichttechnischen (photometrischen) Größen stellte die Basis für die im Anschluss folgenden Kapitel dieser Arbeit dar. Dort stand der Einfluss des natürlichen Tageslichts und der künstlichen Beleuchtung auf den menschlichen Organismus im Vordergrund und es wurden die potentiellen positiven Effekte von lichttechnisch gesteuerten Beleuchtungsanlagen aufgezeigt.

Die Analyse der gesetzlichen Rahmenbedingungen zur Beleuchtung auf Baustellen ergab ein diffuses Bild. In den betrachteten Gesetzen und Verordnungen (ASchG, BauV, AStV) ist durchwegs für alle Beleuchtungssituationen eine „ausreichende“ oder „angemessene“ Beleuchtung gefordert. Lediglich in §2 Abs. 7 AStV ist für Verkehrswege eine Mindestbeleuchtungsstärke für Verkehrswege von mindestens 30 Lux angeführt. Nachdem die AStV lediglich für ständige und genehmigte Arbeitsplätze anzuwenden ist, kommt sie lediglich für Baustellenbüros, Werkstätten usw. zur Anwendung. Baustellen sind daher nicht im Anwendungsbereich der AStV eingeschlossen. Genauer geregelte Vorgaben sind, sowohl für Arbeitsstätten im Inneren von Gebäuden, als auch für Arbeitsstätten im Freien, in der Normengruppe „ÖNORM EN 12646 Licht und Beleuchtung — Beleuchtung von Arbeitsstätten“ angeführt. Dabei wird in Teil 1 dieser Norm die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen behandelt, während in Teil 2 Angaben zu Arbeitsstätten im Freien gemacht werden. In beiden Teilen werden sowohl die Wartungswerte der mittleren Beleuchtungsstärke angeführt, als auch Angaben zur Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, zur Blendungsbeschränkung zur Farbwiedergabe und so weiter. gemacht. Im Merkblatt „M 243 Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau“ der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) sind empfohlene Mindestwerte der Beleuchtungsstärke für diverse Bereiche sowohl für die Allgemeinbeleuchtung, als auch für die Sicherheitsbeleuchtung unter Tage angeführt.

In weiterer Folge wurde die aktuell in Umsetzung befindliche Öko-Design-Richtlinie der europäischen Union und der weitere Umsetzungsfahrplan dieser Richtlinie erläutert. Generell hervorzuheben ist dabei das bereits heute bestehende Verbot, Glühlampen in den Verkehr zu bringen, nach der Verordnung 244/2009. Eine weitere Verschärfung dieses Verbotes findet am 1. September 2016 für alle Lampen mit einer schlechteren Energieeffizienzklasse als B statt. Ab April 2015 wurde im Rahmen der Verordnung (EG) Nr. 245/2009 ein Verkaufsverbot von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen initiiert.

Im Anschluss daran erfolgte eine Zusammenfassung der zu Beleuchtungszwecken zur Verfügung stehenden Leuchtmittel. Als große Obergruppen können hier die Temperaturstrahler, die Entladungslampen und die erst seit jüngster Zeit verfügbaren LED-Lampen genannt werden. Anschließend wurden die Anforderungen an Leuchtmittel an exponierten Orten, im Speziellen am Beispiel vom Einsatz unter Tage erläutert. Dabei werden nach ÖNORM EN 61140 die Schutzklassen gegen elektrischen Schlag und die Schutzarten nach dem der ÖVE/ÖNORM EN 60529 entsprechenden IP-Code, also dem Eindringwiderstand gegen Fremdkörper (Staub) und Feuchtigkeit, erklärt. Für Baustellenleuchten ist der Schutz den Vorschriften entsprechend gegen Sprühwasser und Fremdkörper größer 12 mm vorgeschrieben (IP 23). Zusätzlich müssen diese Leuchten schutzisoliert (Schutzklasse II) ausgeführt sein. Für Handleuchten ist ebenfalls eine Schutzisolierung sowie die Schutzart IP 45 (Schutz gegen Strahlwasser und Fremdkörper größer 1 mm Durchmesser) vorgeschrieben. Handleuchten müssen für den rauen Betrieb geeignet sein und mit einem Schutzglas inklusive Schutzkorb oder gleichwertiger mechanischer Schutzausrüstung ausgestattet sein.

Bei dem Einsatz von Beleuchtungen in explosionsgefährdetem Umfeld wird nach §3 Abs. 7 und Abs. 8 ExSV 1996 zwischen Geräten, die durch Grubengase und/oder brennbare Stäube in Untertagebetrieben oder deren obertägigen Einrichtungen gefährdet sind, und zwischen Geräten in allen anderen explosionsgefährdeten Bereichen unterschieden. In dem sich dem Explosionsschutz widmenden Kapitel wurden maßgebende Einteilungen, Kategorien und Einteilungsgruppen erläutert. Als Zusammenfassung wurde mit Abb. 5.1 die Bezeichnung von explosionsgeschützten Geräten angeführt.

Für die Beleuchtung von Freiflächen wurden die wesentlichsten geometrischen Beziehungen zwischen Leuchtpunkthöhe und deren Abstände zueinander angeführt und damit Richtwerte für die Verhältnisse zueinander auf Baustellenflächen mit begrenzten Abmessungen erläutert. Im Vordergrund standen Randbeleuchtungen an rechteckigen oder annähernd rechteckigen Baustelleneinrichtungsflächen. Für komplexere Grundrisse mit mitunter im Zentrum situierten Leuchtkörpern sind diese Richtwerte zur Abschätzung nicht gültig. Hier muss die Baustelleneinrichtungsfläche in kleinere Teilflächen aufgeteilt werden. Führt diese Aufteilung ebenfalls

nicht zum Ziel kann in weiterer Folge auf eine Leuchtstärkensimulation mittels einer Softwarelösung zurückgegriffen werden. Diese Softwaresimulation ist in der Lage, sehr viele Randbedingungen wie beispielsweise die Lichtpunkthöhen und Abstände der Beleuchtungskörper zueinander, die optischen örtlichen Gegebenheiten und auch die speziellen Lampeneigenschaften zu berücksichtigen und dafür eine flächendeckende Analyse der betrachteten Fläche hinsichtlich der mittleren Beleuchtungsstärke, der Gleichmäßigkeit der Beleuchtung sowie ihrer Reflexions- und Blendungsgrade und noch anderer Parameter wie zum Beispiel auch einen Ansatz der Kosten bereitzustellen. Für die händische Berechnung der Lichtstärke an beliebigen Punkten ist die genaue Abschätzung mittels der Punktbeleuchtungsformel möglich und wird so wie die Wartungswertformel zur Bestimmung der mittleren Beleuchtungsstärke auf Flächen erklärt.

Den Abschluss dieser Arbeit bildete eine Kostenanalyse für Verkehrsflächen auf Baustellen im Freien, für einen Arbeitsbereich auf der Baustellenfläche sowie für einen Arbeitsplatz im unter Tage. Als Annahme wurden dabei die Wartungswerte der mittleren Beleuchtungsstärke nach Tab. 3.2 und Tab. 3.3 beziehungsweise die empfohlene Mindestbeleuchtungsstärke nach Tab. 3.4 angesetzt. Die dafür zugrunde gelegten Werte liegen bei 20 Lux für die Verkehrsfläche mit Fahrzeugverkehr bis maximal 40 km/h und bei 100 Lux für die Beleuchtung der Arbeitsfläche, die für einfache Bewehrungs- und Schalungsarbeiten ausgelegt ist. Für den Arbeitsplatz im Tunnelbau sind als minimale Beleuchtungsstärken 60 Lux empfohlen. Für die Beleuchtungsflächen ober Tage wurden drei verschiedene Beleuchtungskombinationen betrachtet, für die Beleuchtungssituation unter Tage wurden vier Beleuchtungskombinationen analysiert. Verglichen wurden dabei gänzlich unterschiedliche Leuchten.

| Baustellenfläche   | Verkehrsfläche                           | Tunnel   |
|--|--|--|
| Wand- und Aufsatzleuchte mit Natriumdampf-Hochdrucklampe | Scheinwerfer mit Halogen-Metallampflampe | Feuchtraumwannenleuchte mit konventioneller Leuchtstofflampe |
| Wand- und Aufsatzleuchte mit Kompaktleuchtstofflampe     | Scheinwerfer mit Hochvolt-Halogenlampe   | Feuchtraumwannenleuchte mit LED-Lampe                        |
| Planflächenstrahler mit Natriumdampf-Hochdrucklampe      | Planflächenstrahler in LED-Ausführung    | Halogenscheinwerfer mit Halogen-Metallampflampe              |
|  |  | Halogenscheinwerfer mit Niedervolt-Halogenglühlampe          |

Tab. 8.1: Übersicht der in Kapitel 7 angeführten Leuchten inklusive Lampe

Die Kostenbewertung erfolgte inklusive der für die Beleuchtung notwendigen Gehäuse der Leuchtmittel, jedoch ohne die Montage- und Verkabelungsaufwände. Die Kosten für die Gehäuse und

der zugehörigen Leuchtmittel wurden den aktuellen Herstellerpreislisten entnommen. Durch die Vorgabe des notwendigen Wartungswertes der mittleren Beleuchtungsstärke konnte durch umstellen der Wirkungsgradformel mithilfe der Gleichung (14) die notwendige Leuchtmittelanzahl pro 100 m<sup>2</sup> (die gewählte Referenzfläche) ermittelt werden. In weiterer Folge wurden die Gehäusekosten durch eine angenommene Einsatzdauer des Gehäuses gebrochen und mit dem Wert der Leuchtmittel pro 100 m<sup>2</sup> multipliziert. Als Ergebnis resultieren Gehäusekosten pro 100 m<sup>2</sup> pro Stunde. Dasselbe Verfahren wurde auf die Leuchtmittelkosten angewendet. Dazu wurden die Leuchtmittelkosten durch die zu erwartende Einsatzdauer des Leuchtmittels gebrochen und in weiterer Folge ebenfalls mit der notwendigen Stückzahl pro 100 m<sup>2</sup> multipliziert. Analog dazu wurde mit den Stromkosten verfahren, wobei von einem mittleren Strompreis von 0,13 €/kWh ausgegangen wurde. Durch Addition dieser Werte ließ sich eine Abschätzung der Leuchtmittelkosten bezogen auf die Einsatzdauer des Leuchtmittels pro 100 m<sup>2</sup> berechnen. Die Detailauswertungen dieser Analyse sind in Abb. 7.1, Abb. 7.2 und Abb. 7.3 ersichtlich. Als Tendenz lässt sich aus den Auswertungen eindeutig herauslesen, dass die lichtstromstärksten Beleuchtungskombinationen, und damit jene mit den geringsten notwendigen Stückzahlen pro 100 m<sup>2</sup>, die kostengünstigsten Varianten bilden. Die Abminderung der Gehäuse-, Leuchtmittel- und Stromkosten durch die geringe erforderliche Stückzahl pro Referenzfläche wirkt sich am deutlichsten aus. Ebenfalls lässt sich die vielleicht im Vorfeld erwartete Variante, dass die LED-besetzten Leuchteinheiten, die günstigste Leuchtmittleinheit bilden, nicht bestätigen. Im Beispiel des Beleuchtungsbereiches unter Tage konnte sich die LED-Einheit nur als drittgünstigste Leuchtmittelkombination etablieren, während sich diese im Beispiel der Baustellenfläche auf dem zweiten Platz finden lässt. Als Schlussfolgerung aus diesen Erkenntnissen kann eindeutig der Einsatz von Geräten mit möglichst hohen Lichtströmen empfohlen werden, da diese nach den ausgewerteten untersuchten Beispielen als günstigste Variante hervorstechen. Auch wird damit eine aufwendige Verkabelung vermieden, da die Beleuchtung mit wenigen Beleuchtungselementen auskommt. Jedoch auf den Bedeckungskoeffizienten zu achten, der angibt aus wievielen unterschiedlichen Richtungen ein Punkt beleuchtet werden sollte. Dieser Bedeckungskoeffizient ist für Baustellen mit dem Wert größer gleich zwei angegeben.<sup>185</sup> Als Hintergrund für die Beleuchtung eines Punktes von zumindest zwei unterschiedlichen Richtungen ist der Schattenwurf zu nennen. Dadurch hebt sich die Bildung von harten Schatten auf und die Sichtverhältnisse können verbessert werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass das Thema der Baustellenbeleuchtung bei der Planung der Baustelleneinrichtungsfläche oft vernachlässigt wird. Im Nachhinein wird häufig der Bedarf an Beleuchtungselementen erkannt und es werden jene Leuchtmittel installiert, die kurzfristig verfügbar sind. Durch diese Vorgehensweise kann kein ausgewogenes Beleuchtungskonzept entstehen. Dabei

---

<sup>185</sup> Vgl. [5] Drees G., Reiff K.-O.: Die Baustelleeinrichtung, 1971, S. 82.

steckt im Bereich der Beleuchtungsplanung großes Potential, um die Produktivität und Qualität auf der Baustelle zu steigern und die Arbeitssicherheit zu erhöhen.

Durch das Verbot von Quecksilberdampflampen im April 2015 stehen in Zukunft dennoch

- Halogenglühlampen
- Leuchtstofflampen
- Natriumdampflampen
- Induktionslampen
- Halogen-Metaldampflampen
- LED

für die Beleuchtung der Baustellenfläche zur Verfügung. Sicherlich wird die Verwendung von LEDs in Zukunft eine immer größere Rolle spielen. Für großflächige Allgemeinbeleuchtungen werden jedoch Entladungslampen nicht zu verdrängen sein, was auch in der Auswertung der Beispiele bestätigt wurde und aufgrund der landläufigen Meinung nicht unbedingt zu erwarten war.

Ziel dieser Arbeit war es, die vorhandenen Leuchtmittel zu analysieren und die bestmöglichen Einsatzorte zu evaluieren. Daher soll mit dieser Arbeit eine Grundlage geschaffen sein, die die Vor- und Nachteile der Leuchtmittel zusammenfasst und auf die notwendigen örtlichen Einsatzbedingungen und Voraussetzungen eingeht, um für die Planung, den Betrieb und die Optimierung von Beleuchtungsanlagen die für den Einzelfall bestmöglichen Entscheidungen treffen zu können.

## Literaturverzeichnis

- [1] Adolf SCHUCH GmbH: *PREISLISTE*, Worms, 2012/2013, [www.schuch.de](http://www.schuch.de)
- [2] Adolf SCHUCH GmbH: *PRODUKTKATALOG*, Worms, 2012/2013, [www.schuch.de](http://www.schuch.de)
- [3] BAER, Roland: *Beleuchtungstechnik*, 3. vollständig überarbeitete Auflage, Huss-Medien GmbH, Berlin, 2006
- [4] CAR, Martin; RITSCHL, Norbert; BARESCH, Johann: *Skriptum TU Wien zur LVA „Sicherheit und Umweltschutz auf Baustellen“*, TU Wien - Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Wien, Wintersemester 2010/2011
- [5] DREES, Gerhard; REIFF, Karl-Otto: *Die Baustelleneinrichtung*, 1. Auflage, Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1971
- [6] HALBRITTER, Hans-Peter; SATTLER, Jürgen: *Leuchten – Erläuterungen zu DIN VDE 0711/EN 60598 und VDE 0710*, 4. vollständig überarbeitete Auflage, VDE VERLAG, Berlin und Offenbach, 2001
- [7] HARTEN, Ulrich: *Physik*, 2. durchgesehene und korrigierte Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2004
- [8] HEINZ, Roland: *Grundlagen der Lichterzeugung*, 1. Auflage, HIGHLIGHT Verlag, Rüthen, 2004
- [9] HERING, Ekbert; MARTIN, Rolf; STOHRER, Martin: *Physik für Ingenieure*, 10. vollständig neu bearbeitete Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2007
- [10] Hrsg.: Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), WEBER, Marko: *M 013 - UV-Strahlung und Arbeiten im Freien*, Erste Auflage, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Wien, 2008
- [11] Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Sicherheit am Bau (Bundesinnung Bau, AUVA, BUAK), *Mappe „Sicherheit am Bau“*, Wien, Ausgabe 2010
- [12] Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau); Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA): *Broschüre M243 „Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau“*, München, 2007
- [13] Hrsg.: Schweizer Lichttechnische Gesellschaft (SLG); Österreichische Lichttechnische Arbeitsgemeinschaft (LTAG); Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) Bundesrepublik Deutschland: *Handbuch für Beleuchtung*, 4. völlig neu bearbeitete Auflage, Essen, Verlag W. Girardet, 1975

- [14] Ing. Emmerich Csernohorszky GmbH: *PRODUKTKATALOG inkl. PREISLISTE*, 2011, [www.cserno.at](http://www.cserno.at)
- [15] KRÜCKEBERG, Johannes: *Hochleistungs-LEDs in der Praxis*, Franzis Verlag, Poing, 2007
- [16] KUNZ, Dieter: *Melatonin taktet die innere Uhr neu*, In: InFo Neurologie & Psychiatrie, München, 2012, Vol. 14, Nr. 1, S. 38-41  
[http://www.schlafmedizin-berlin.de/material/38-43\\_CME\\_0112\\_Melatonin%20und%20Schlaf\\_Kunz.pdf](http://www.schlafmedizin-berlin.de/material/38-43_CME_0112_Melatonin%20und%20Schlaf_Kunz.pdf), (2014-01-04)
- [17] Osram AG: *LICHTPROGRAMM 2012/2013*, München, [www.osram.at](http://www.osram.at)
- [18] Osram AG: *PREISLISTE LICHTPROGRAMM 2012/2013*, Stand November 2012; Wien, [www.osram.at](http://www.osram.at)
- [19] OSTERHAGE, Wolfgang: *Studium Generale Physik*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2013
- [20] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖNORM EN 1127-1 Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz Teil 1: Grundlagen und Methodik*, Wien, i. d. F. 2011-09-01
- [21] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖNORM EN 12366 Tunnelbaumaschinen – Schildmaschinen, Pressbohrmaschinen, Schneckenbohrmaschinen, Geräte für die Errichtung der Tunnelauskleidung – Sicherheitstechnische Anforderungen*, i. d. F. 2009-12-01
- [22] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖNORM EN 12464-1, Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen*, Wien, i. d. F. 2011-07-01
- [23] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖNORM EN 12464-2, Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 2: Arbeitsplätze im Freien*, Wien, i. d. F. 2007-10-01
- [24] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖNORM EN 1838 Angewandte Lichttechnik - Notbeleuchtung*, Wien, i. d. F. 2013-09-01
- [25] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖNORM EN 61140 Schutz gegen elektrischen Schlag*, Wien, i. d. F. 2007-05-01
- [26] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖVE/ÖNORM EN 50172 Sicherheitsbeleuchtungsanlagen*, Wien, i. d. F. 2005-03-01
- [27] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖVE/ÖNORM EN 60079-0 Explosionsgefährdete Bereiche Teil 0: Betriebsmittel – Allgemeine Anforderungen*, Wien, i. d. F. 2013-05-01



- [28] Österreichisches Normungsinstitut, ÖVE/ÖNORM EN 61231, *Internationales Lampenbezeichnungssystem (ILCOS)*, Wien, i. d. F. 2011-01-01
- [29] Österreichisches Normungsinstitut, ÖVE/ÖNORM PAS 62717 *LED-Module für die Allgemeinbeleuchtung – Anforderungen an die Arbeitsweise*, Wien, i. d. F. 2012-06-01
- [30] Philips GmbH, Unternehmensbereich Lighting: *PREISINFORMATION Lampen, Vorschaltgeräte, Leuchten – Österreich – unverbindliche Preisempfehlung, gültig ab 01.02.2012*, [www.philips.de/lighting](http://www.philips.de/lighting)
- [31] Philips GmbH, Unternehmensbereich Lighting: *PRODUKTÜBERSICHT Lampen, Vorschaltgeräte, Leuchten – Deutschland, Österreich, Schweiz – Frühjahr 2012*, [www.philips.de/lighting](http://www.philips.de/lighting)
- [32] RIS; Hans Rudolf: *Beleuchtungstechnik für Praktiker*, 4. Auflage, VDE Verlag GMBH, Berlin und Offenbach, 2008
- [33] Schischek GmbH: *Schischek Explosionsschutz – Technische Kurzinformation 2012*, Langenzenn, [www.schischek.de](http://www.schischek.de)
- [34] THEIß, Erik: *Beleuchtungstechnik*, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2000
- [35] WEIS, Bruno: *Grundlagen der Beleuchtungstechnik*, Richard Pflaum GmbH & Co. KG, München Bad Kissingen Berlin Düsseldorf Heidelberg, 2001
- [36] ZIESENIß, Carl-Heinz: *Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann*, 7. neu bearbeitete Auflage, Hüthig & Pflaum Verlag, München Heidelberg Berlin, 2002

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abb. 2.1: Gesamtspektrum der elektromagnetischen Strahlung.....                                 | 6  |
| Abb. 2.2: Wellenlängenabhängige Farbverteilung des sichtbaren Lichts .....                      | 7  |
| Abb. 2.3: Aufbau des menschlichen Auges .....   | 8  |
| Abb. 2.4: Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges.....                                      | 10 |
| Abb. 2.5: Darstellung Lichtstrom.....   | 11 |
| Abb. 2.6: Raumwinkel $\Omega$ .....   | 13 |
| Abb. 2.7: Lichtstärkeverteilungskurve Glühlampe mit/ohne Reflektor .....                        | 14 |
| Abb. 2.8: Relative Leistungsfähigkeit (Munterkeit) während 24 Stunden .....                     | 23 |
| Abb. 4.1: Übersicht der verschiedenen Leuchtmittelarten .....                                   | 41 |
| Abb. 4.2: Relative spektrale Strahlungsverteilung einer 40W-Glühlampe.....                      | 46 |
| Abb. 4.3: Querschnitt Hochleistungs-LED .....   | 57 |
| Abb. 5.1: Übersicht der Kennzeichnung für Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Atmosphären.. | 75 |
| Abb. 6.1: Seitenanordnung Leuchten.....   | 76 |
| Abb. 6.2: Skizze zur Punktbeleuchtungsformel .....  | 78 |
| Abb. 7.1: Kostenvergleich Verkehrsflächen .....   | 86 |
| Abb. 7.2: Kostenvergleich Arbeitsbereich Baustellenfläche .....                                 | 91 |
| Abb. 7.3: Kostenvergleich für Leuchtmittel unter Tage .....                                     | 98 |

## Tabellenverzeichnis

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 2.1: Vergleich der radiometrischen und photometrischen Größen .....                                     | 10  |
| Tab. 2.2: Übersicht Beleuchtungsstärken.....   | 15  |
| Tab. 2.3: Beispiele für Leuchtdichte .....   | 16  |
| Tab. 2.4: Farbtemperaturen der Leuchtmittel .....  | 18  |
| Tab. 2.5: Lichtfarbengruppen von Lampen .....  | 18  |
| Tab. 3.1: Büros.....   | 34  |
| Tab. 3.2: Allgemeine Verkehrsbereiche bei Arbeitsstätten/Arbeitsplätzen im Freien .....                      | 35  |
| Tab. 3.3: Baustellen .....   | 36  |
| Tab. 3.4: Empfohlene Mindestwerte der Beleuchtungsstärke für Baustellen unter Tage.....                      | 37  |
| Tab. 3.5: Empfohlene Mindestwerte der Beleuchtungsstärke der Notbeleuchtung für Baustellen unter Tage .....  | 37  |
| Tab. 3.6: Übersicht der gesetzlichen Regelungen und Normen.....  | 38  |
| Tab. 4.1: Übersicht Lampensockel.....  | 44  |
| Tab. 4.2: Empfohlene Werte für x und y als Maßzahlen für die Lebensdauer.....                                | 58  |
| Tab. 4.3: Übersicht Leuchtmittel .....   | 60  |
| Tab. 5.1: Übersicht der Schutzklassen nach ÖVE/ÖNORM 61140 .....   | 64  |
| Tab. 5.2: Schutzarten nach DIN VDE 0470-1(EN 60 529) .....   | 65  |
| Tab. 5.3: Einstufung und Kennzeichen von explosionsgefährdeter Zonen für brennbare Gase, Dämpfe, Nebel ..... | 69  |
| Tab. 5.4: Einstufung und Kennzeichen von explosionsgefährdeter Zonen für brennbare Stäube .....              | 70  |
| Tab. 5.5: Einteilung der Geräte in Gerätegruppen .....   | 70  |
| Tab. 5.6: Kategorisierung der Gerätgruppe I.....   | 71  |
| Tab. 5.7: Mindestanforderungen an die Fehlerschutzeinrichtungen der Gerätegruppe II.....                     | 72  |
| Tab. 5.8: Einteilung der maximalen Oberflächentemperaturen bei elektrischen Geräten der Gruppe II .....      | 73  |
| Tab. 5.9: Auszug der Zündschutzarten der Normenreihe ÖVE/ÖNORM EN 60079-ff .....                             | 73  |
| Tab. 6.1: Richtwerte für Abstände zwischen den Flutlichtern .....  | 77  |
| Tab. 8.1: Übersicht der in Kapitel 7 angeführten Leuchten inklusive Lampe.....                               | 101 |

