Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

Professional MBA
Facility Management

TU WIEN CONTINUING EDUCATION CENTER

Technische und wirtschaftliche Betrachtung zur Adaptierung der Bürobeleuchtung in einem Bestandsobjekt Umsetzung der Nutzeranforderung nach einer modernen Arbeitsplatzbeleuchtung, am Beispiel der Wirtschaftskammer Österreich

Master Thesis zur Erlangung des akademischen Grades
„Master of Business Administration"

eingereicht bei
Dipl.-Ing. Rainer Stiller

Gernot Vallant

0727870

Wien, 31.03.2010

Eidesstattliche Erklärung

Ich, **GERNOT VALLANT**, versichere hiermit

1. dass ich die vorliegende Master These, "TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG ZUR ADAPTIERUNG DER BÜROBELEUCHTUNG IN EINEM BESTANDSOBJEKT

   UMSETZUNG DER NUTZERANFORDERUNG NACH EINER MODERNEN ARBEITSPLATZBELEUCHTUNG, AM BEISPIEL DER WIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH", 119 Seiten, gebunden, selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe, und
2. dass ich diese Master These bisher weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, 31.03.2010

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 7
1.1. Persönliche Motivation 7
1.2. Problemdefinition 8
1.3. Zielsetzung 9
1.4. Methodik und Arbeitsschritte 10
1.4.1. Technische Betrachtung 11
1.4.2. Wirtschaftliche Betrachtung 12
1.4.3. Gesamtbeurteilung 13
2. Grundlagen der Arbeitsplatzbeleuchtung 14
2.1. Begriffe und Definitionen 16
2.2. Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien 22
2.2.1. Relevante Vorschriften 22
2.3. Leuchtmittel für den Bürobereich 31
2.3.1. Leuchtstofflampen 32
2.3.2. Halogen(glüh)lampen 34
2.3.3. Leuchtdioden - LED 34
2.4. Leuchten für den Bürobereich 36
2.4.1. Spiegelrasterleuchte 36
2.4.2. Sekundärreflektor Leuchte 36
2.4.3. Mikroprismen Leuchte 37
2.4.4. Stehleuchte 38
2.4.5. Schreibtischleuchte 38
2.4.6. Downlight 39
2.4.7. Strahler 39
2.5. Lichttechnik für den Bürobereich 39
2.5.1. Beleuchtungssysteme 40

2.5.2. Beleuchtungsarten (direkt, indirekt) 42
2.5.3. Automatisierte Bürobeleuchtung 42
2.6. Wichtige (Planungs-)Größen bei der Bürobeleuchtung 44
3. Adaptierung der Arbeitsplatzbeleuchtung im Gebäude der Wirtschaftskammer Österreich 46
3.1. Objektbeschreibung / Ist-Stand 46
3.1.1. Bautechnik der Büros 47
3.1.2. Technischer Ausbau der Büros 48
3.2. Aufgabenstellung 50
3.2.1. Nutzeranforderung 52
3.3. Forschungsdesign 53
3.3.1. Versuchsaufbau 53
3.3.2. Messungen an Beleuchtungsanlagen 54
3.3.3. Kosten von Beleuchtungsanlagen 56
3.4. Beschreibung der Mustervarianten 57
3.4.1. Grundanforderungen an die Bürobeleuchtungsanlage der WKÖ 59
3.4.2. Bestandsbüro – Referenzvariante "B1" 59
3.4.3. "Energiesparröhren" in Bestandsleuchte - Variante "A1" 61
3.4.4. LED-Röhren in Bestandsleuchte - Variante "A2" 63
3.4.5. Lampenadapter mit T5 Leuchtmittel und EVG in Bestandsleuchte - Variante "A3" 66
3.4.6. Einbau einer neuen Raster-Einbauleuchte ("Sanierungsleuchte") in den Bestandsleuchtkörper mit T5-Leuchtstoffröhre und EVG – Variante "A4" 69
3.4.7. Einbau von abgehängten Langfeldleuchten mit T5-Leuchtstoffröhre und Multiwatt-EVG – Variante "A5" 72
3.4.8. Adaption zu A5, 28W-Leuchtmittel – Variante "A5a" 75
3.4.9. Abänderung der abgehängten Langfeldleuchten mit T5-Leuchtstoffröhre und Multiwatt-EVG – Variante "A6" 76

3.5. Auswertung und Interpretation der Musteraufbauten 79
3.5.1. Investitionskosten 79
3.5.2. Energiekosten 81
3.5.3. Instandhaltungskosten 81
3.5.4. Kostenübersicht 82
3.5.5. Beleuchtungstechnische Erkenntnisse 82
3.5.6. Praktische Erfahrungen 82
4. Schlußbetrachtung 85
4.1. Zusammenfassung der Resultate 85
4.2. Gesamtbetrachtung – Bewertung der Ergebnisse 85
4.2.1. Beantwortung der Forschungsfragen 86
4.3. Kritische Reflexion 87
4.4. Ausblick und weitere Empfehlungen 88
Kurzfassung 90
Literaturverzeichnis 91
Abbildungsverzeichnis 96
Tabellenverzeichnis 97
Anhang 98
I. Lichtsimulation Variante A4 98
II. Lichtsimulation Variante A5a 104
III. Lichtsimulation Variante A6 110
IV. Detailberechnung – Kosten von Beleuchtungsanlagen 116
V. Infofolder Umweltförderung der Kommunalkredit 117

Danksagung

Als erstes möchte ich meinem "2. Betreuer" Ing. Klaus Schenk danken, er stand mir mit Rat, Tat und praktischen Tips zur Seite. Trotz der erheblichen Entfernung zwischen Innsbruck und Wien und arbeitsbedingter noch größerer Distanzen – z.B. Griechenland – gab es immer eine "Kontaktmöglichkeit" für mich. Für die Besuche in Wien möchte ich mich besonders bedanken.
Weiters danke ich Dipl.-Ing. Rainer Stiller für seine Betreuung und die Möglichkeit, dass ich die Arbeit in diesem Rahmen umsetzen konnte.

Großer Dank gebührt auch meiner "Rechtschreibabteilung" - Edith Vavra und Claudia Gerzsenyi – die meine teilweise abenteuerlichen Eigeninterpretationen in geordnete Bahnen gelenkt haben.

Privat möchte ich noch meiner "Familie" danken, Claudia und Tim haben dafür gesorgt, dass mein Alltag während dem realisieren dieser Arbeit abwechslungsreich blieb und sich keine Routine einschlich.

Allen diesen Personen gebührt mein aufrichtiger Dank.

1. Einleitung

1.1. Persönliche Motivation

Als Bereichsleiter im Facility Management der WKO Immobilienmanagement GmbH – die auch gleichzeitig Eigentümer der Liegenschaft an der Wiedner Hauptstrasse 63 ist – zählt unter anderem zu meinen Aufgaben, den Nutzer Wirtschaftskammer Österreich optimal bei der Erfüllung seiner Kernaufgaben, der Interessensvertretung der Mitglieder und der Repräsentation der österreichischen Wirtschaft im internationalen Wirtschaftsraum[1] zu unterstützen. Hier sehe ich meinen Beitrag darin, das zentrale Verwaltungsgebäude der WKÖ für Besucher repräsentativ und attraktiv zu gestalten, sowie für die Nutzer des Gebäudes ein ergonomisches Arbeitsumfeld mit behaglichem Arbeitsklima zu schaffen. Dies gilt nicht nur für die allgemeinen Bereiche wie Eingangshalle, Empfang oder Veranstaltungssäle, sondern auch für den klassischen Bürobereich, da immer wieder Wirtschaftsabordnungen von einzelnen Organisationseinheiten auch in deren Räumlichkeiten empfangen werden.

Hierbei ist es erforderlich die Interessen als Eigentümervertreter und Betreiber zu vertreten, den Werterhalt der Liegenschaft sicherzustellen und die Voraussetzungen für einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. Ein funktionierendes und nachhaltiges Gebäude, welches dem Stand der Technik entspricht anzubieten, ist dabei das übergeordnete Ziel.
Die monetären Absichten der verschiedenen Interessensgruppen bilden dabei das besondere Spannungsfeld in diesem Bereich. Dem Nutzer ist eine hohe Arbeitsplatzqualität bei niedrigen Kosten wichtig. Der Eigentümer ist bestrebt mit niedrigen Investitionen einen hohen Ertrag zu erzielen. Dem Betreiber hingegen ist es wichtig, mit geringem Aufwand alles funktionstüchtig bzw. in Betrieb zu halten.

Innerhalb dieses Spannungsfeldes die unterschiedlichen Wünsche in einen für alle Beteiligten zufriedenstellenden Konsens umzusetzen, ist meine Motivation für diese Arbeit.

[1] vgl. (www.wko.at, 2009)

1.2. Problemdefinition

Die bestehende Beleuchtungsanlage im Gebäude der Wirtschaftskammer Österreich wurde im Jahr 1984 - beim Umbau des damaligen Semperitgebäudes für die Bundeswirtschaftskammer - errichtet. Nach 25 Jahren hat sie das Ende ihrer technischen und betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer[2] erreicht, erfüllt nicht mehr die Anforderungen an eine moderne Bürobeleuchtung und entspricht nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik.

Nachdem bei der jüngsten Adaptierung des Gebäudes – der thermischen Sanierung und Modernisierung der Liegenschaft in den Jahren 2007 bis 2009 – die Beleuchtungsanlage in den Bürobereichen nicht berücksichtigt werden konnte, stellt sich nun die Aufgabe die Anlage im Zuge der normalen Instandhaltung[3] auf einen adäquaten Stand zu bringen.
Im Hinblick darauf, dass die Mitarbeiter der WKÖ in den letzten Monaten durch die Umbaumaßnahmen (Lärm, Übersiedelungen, gesperrte Bereiche, ...) in Ihrer Tätigkeit zum Teil doch stark beeinträchtigt waren, soll bei den Arbeiten an der Beleuchtungsanlage darauf Bedacht genommen werden, den Büroablauf nicht zu stören. Das bedingt einerseits eine gute Einsatzplanung, viel wichtiger ist aber eine substanzschonende Vorgangsweise um den gesamten Arbeitsaufwand so gering wie möglich zu halten.
Speziell im Bereich der Zwischendecke kann es durch weitgreifende Eingriffe zu ausgedehnten Folgearbeiten kommen.
Aus haustechnischer Sicht sind z.B. die Brandmeldeanlage, die Be- und Entlüftungsanlage oder die strukturierte Verkabelung betroffen. Auch die bei der Modernisierung installierte Büroklimatisierung – mittels unter der Decke abgehängter statischer Kühlflächen (Kühlsegel) – sind im Zuge der Arbeiten nochmals von Adaptierungsmaßnahmen betroffen.

[2] vgl. (www.pw-weiss.com, 2007, S. 3, Tab.1)

[3] *"Die Instandhaltung ist eine notwendige und wesentliche Phase der Lebenszyklen eines Gebäudes und seiner Bestandteile bzw. entsprechender Betrachtungsobjekte. Sie tritt periodisch in der Nutzungszeit parallel zu Funktion der Objekte auf ..."* (Zehrer & Sasse, 2008, S. Kap.4.1, 1)

Aus baulicher Sicht sind bei wesentlichen Arbeiten an der Decke auf jeden Fall die Wand- und Fassadenanschlüsse und eventuelle Auswirkungen auf die Ausstattung (Möblierung, ...) zu berücksichtigen.

1.3. Zielsetzung

Diese Arbeit soll es ermöglichen an Hand von praktischen Modellen die wirtschaftlichste Variante zur Realisierung einer modernen Arbeitsplatzbeleuchtung zu finden. Primär sollen die Wünsche des Nutzers umgesetzt werden. Diese bilden gleichzeitig den Rahmen innerhalb dem die Eigentümer- und Betreiberinteressen bedient werden können.

Ziel ist eine substanzschonende Vorgehensweise bei der Adaptierung der Beleuchtungsanlage mit zufriedenstellendem Ergebnis für alle Interessensgruppen.

Grundsätzlich sollen die Auswirkungen auf die angrenzenden Gewerke gering gehalten werden. Folgekosten aus geänderten anzuwendenden Vorschriften - durch wesentliche Eingriffe in den Bestand – sollen nach Möglichkeit vermieden werden.

Weiters soll nach Möglichkeit eine optisch ansprechende Umsetzungsvariante gefunden werden, die sich harmonisch in den Raum eingliedert und nicht "aufgesetzt" aussieht – aus diesem Grund sollen nach Möglichkeit Teile der bestehenden Beleuchtungsanlage in das Konzept mit einbezogen werden.

Als wichtiges Vorhaben ist die Verbesserung der Beleuchtungsqualität[4] im Bürobereich, bei gleichzeitiger Reduktion des Energieverbrauchs für die Beleuchtung zu nennen. Dadurch wird auch dem Thema der Nachhaltigkeit[5] Rechnung getragen. Die Energieverbrauchsreduktion soll durch den Einsatz von modernen, energiesparenden Leuchtmitteln und abhängig von den Nutzeranforderungen, nach Möglichkeit in Kombination mit automatisierten Beleuchtungssteuersystemen erreicht werden. Die folgende Abbildung veranschaulicht die Potentiale der Kostenersparnis bei Realisierung unterschiedlicher Maßnahmen.

---

[4] Die Beleuchtungsqualität setzt sich aus Beleuchtungsstärke, Umfeldbeleuchtung und Blendungsbegrenzung zusammen.

[5] *"**Nachhaltigkeit:** Eine Form des Wirtschaftens, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse auch zu befriedigen."* (www.bmwi.de, 2009)

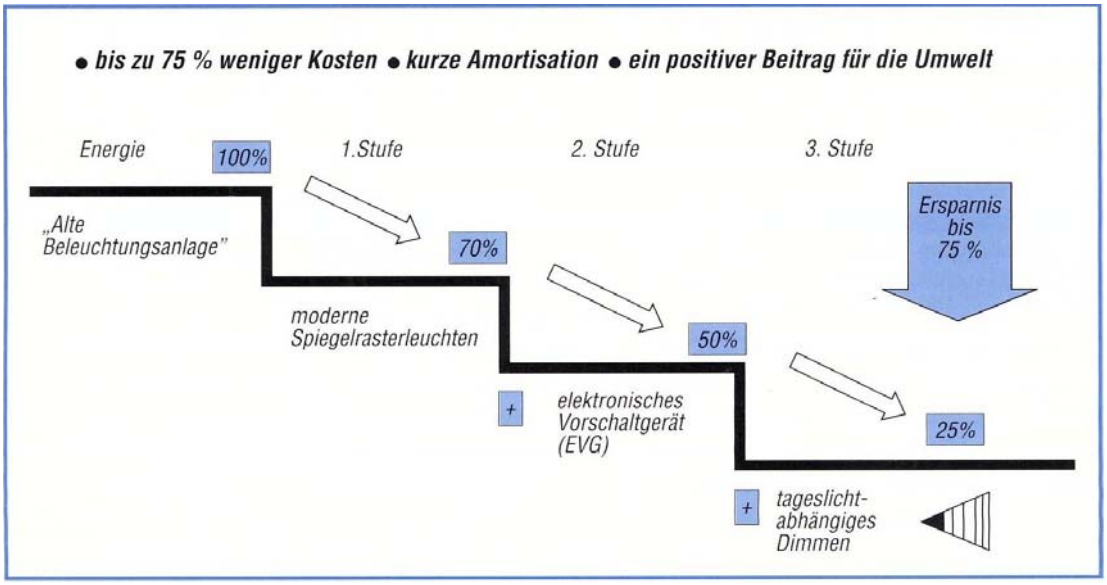


Abb. 1: Einsparpotentiale durch den Einsatz verschiedener Maßnahmen
(Baer, Eckert, Gall, & Schnor, 1996, S. 12)

Folgende übergreifende Forschungsfragen sollen im Zuge dieser Arbeit beantwortet werden:

- Welche technischen Möglichkeiten gibt es, um die sich am Ende der Nutzungsdauer befindliche Beleuchtungsanlage auf den Stand der Technik zu bringen?

- Welche Auswirkungen hat der Umbau der Beleuchtungsanlage auf die unmittelbar angrenzenden Gewerke?

- Mit welcher Adaptierungsvariante der Beleuchtungsanlage kann der Nutzerwunsch in höchstem Maß erfüllt werden?

- Welche Adaptierungsvariante ist aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen?

1.4. Methodik und Arbeitsschritte

In gemeinsamen Sitzungen zwischen Nutzervertretern, Betreibern und Eigentümern, werden die Bedürfnisse und Vorstellungen der Nutzer zu einem adäquaten Bürobeleuchtungskonzept erarbeitet. Dabei werden sowohl die unterschiedlichen

aktuellen Raumnutzungen als auch die zukünftige strategische Orientierung der Organisation mit einbezogen.
Bei diesen Abstimmungen geht es weniger um die technischen Details oder energetischen Gesichtspunkte, viel mehr soll in diesen Sitzungen die Anforderung des Nutzers hinsichtlich Funktion und Bedienung der Beleuchtungsanlage geklärt werden.

1.4.1. Technische Betrachtung

Ausgehend von dieser Basis werden unterschiedliche technische Lösungsansätze untersucht. Folgende, vorher bereits grundsätzlich abgestimmte Leuchten-Lampen Kombinationen, werden dabei in die Betrachtung mit einbezogen:

- Umbau der bestehenden Raster-Einbau-Leuchte auf EVG und T5 Leuchtstofflampe
- Umbau der bestehenden Raster-Einbau-Leuchte auf energiesparende Leuchtmittel der neuesten Generation (Energiesparröhren, LED-Röhren).
- Ausstattung der Räumlichkeiten mit Büro-Stand-Leuchten
- Einbau einer neuen Rasterleuchte mit EVG und T5 Leuchtstofflampe in den bestehenden Leuchtenkörper
- Umsetzung einer Pendelleuchten-Variante

Aus steuerungstechnischer Sicht gilt es hier in erster Linie einen sinnvollen Kompromiss zwischen den Wünschen der Nutzer und technischen und energetischen Richtlinien und Erfahrungen umzusetzen. Im Speziellen geht es hier um automatisierte Lichtsysteme - die abhängig von Raumbelegung bzw. Tageslichtanteil die Beleuchtungsanlage schalten und regeln – aber auch um grundsätzliche Überlegungen wie z.B. Aufteilung der Lichtkreise und Anordnung der Leuchten.

In der Folge werden für jedes Beleuchtungskonzept die Auswirkungen der Umbaumaßnahmen auf unmittelbar betroffene Gewerke untersucht. Diese Aufwände fließen unter anderem zu einem wesentlichen Anteil in die wirtschaftliche Betrachtung mit ein.

Um sich bei der technischen Beurteilung der Varianten nicht ausschließlich auf die von den Herstellern angegebenen Werte – Energieverbrauch, Beleuchtungsstärke, ... - zu verlassen und sich auch nicht ausschließlich auf Lichtberechnungsprogramme zu beziehen, wird im Rahmen dieser Arbeit je Beleuchtungsvariante ein vergleichbarer Musterraum ausgestattet. So wird einerseits die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Lösungsansätze gewährleistet – teilweise werden ja Bestands- und Neuteile kombiniert für welche es keine Herstellerangaben gibt – und andererseits können die tatsächlichen Auswirkungen auf den Raum und die Energieverbräuche unter den gleichen Bedingungen erfasst werden.
In der technischen Beurteilung werden

- Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz
- Funktionalität und Bedienung
- Erfüllung der Nutzervorgaben
- optischer Gesamteindruck

nach verschiedenen Gewichtungen berücksichtigt.

1.4.2. Wirtschaftliche Betrachtung

Im Zuge der wirtschaftlichen Betrachtung werden

- einmalige direkte Investitionskosten – die Kosten der Beleuchtungsanlage selbst für Leuchten, Leuchtmittel, Schaltorgane, Kabel und Leitungen, Tragsysteme und Befestigungsmaterial und der Installationsaufwand (Arbeitszeit), ...
- einmalige indirekte Investitionskosten – Aufwände für Maßnahmen an angrenzenden Gewerken wie Zwischendecke, Wand- und Fassadenanschlüsse, Brandmeldeanlage, Be- und Entlüftungsanlage, Klimatisierung, Verkabelung, ...
- laufende Instandhaltungskosten – für Leuchtmittel, Ersatzteile, Reinigungsaufwand, ...
- prognostizierte Energiekosten

jeder Variante erhoben.
Um die gewonnen Daten vergleichbar zu machen, werden die Gesamtaufwände je Anlage jeweils als Jahresgesamtkosten dargestellt. Für die Umlegung der einmaligen

Kosten wird dabei von einer gewöhnlichen Nutzungsdauer der Beleuchtungsanlage von 20 Jahren[6] ausgegangen.

1.4.3. Gesamtbeurteilung

Um am Ende eine objektive Beurteilung der Beleuchtungsvarianten aus ganzheitlicher Sicht zu erreichen, werden innerhalb der Kategorien (Technik und Wirtschaft), anhand eines Bewertungssystems, für die unterschiedlichen Kriterien Punkte vergeben.

Der unterschiedlichen Wichtigkeit / Priorität der Kriterien wird dabei mittels Gewichtungen Rechnung getragen.

Das Gesamtergebnis aus der Beurteilung ist somit eine Punktezahl, wobei der höchste Wert den besten Erfüllungsgrad darstellt.

[6] (www.pw-weiss.com, 2007, S. 3, Tab.1)

2. Grundlagen der Arbeitsplatzbeleuchtung

"Die Maßnahmen des Facilities Management müssen sich an der Effektivität messen lassen, mit der sie die Mitarbeiter in ihrer Leistungserstellung unterstützen." (Schulte, 2008, S. 348) Einen wesentlichen Einfluss auf die Leistung haben die Gestaltung und die Qualität des Arbeitsplatzes. Je wohler sich die Mitarbeiter in ihrer Arbeitsumgebung fühlen, umso produktiver wird das Ergebnis ihres Leistungserstellungsprozesses sein.

"Die Produktivität des Arbeitens ist u.a. abhängig von den räumlichen Rahmenbedingungen." (Schulte, 2008, S. 348)

Jeder Mensch hat in all seinen Lebenssituationen unterschiedliche Bedürfnisse, davon ist natürlich auch der Arbeitsplatz nicht ausgenommen. Viele unterschiedliche Faktoren nehmen hier Einfluss auf das Empfinden, ob man sich wohl fühlt oder nicht. Grundsätzlich können die Bedürfnisse im Bezug auf den Arbeitsplatz in 2 Gruppen zusammengefasst werden:

- Physische Bedürfnisse
- Psychische Bedürfnisse[7]

Innerhalb der physischen Bedürfnisse nimmt neben thermischer Behaglichkeit, Luftqualität und den Geräuschen, die Beleuchtung einen wichtigen Stellenwert ein. Die folgende Graphik veranschaulicht diesen Zusammenhang.

[7] vgl. (Schulte, 2008, S. 349f)

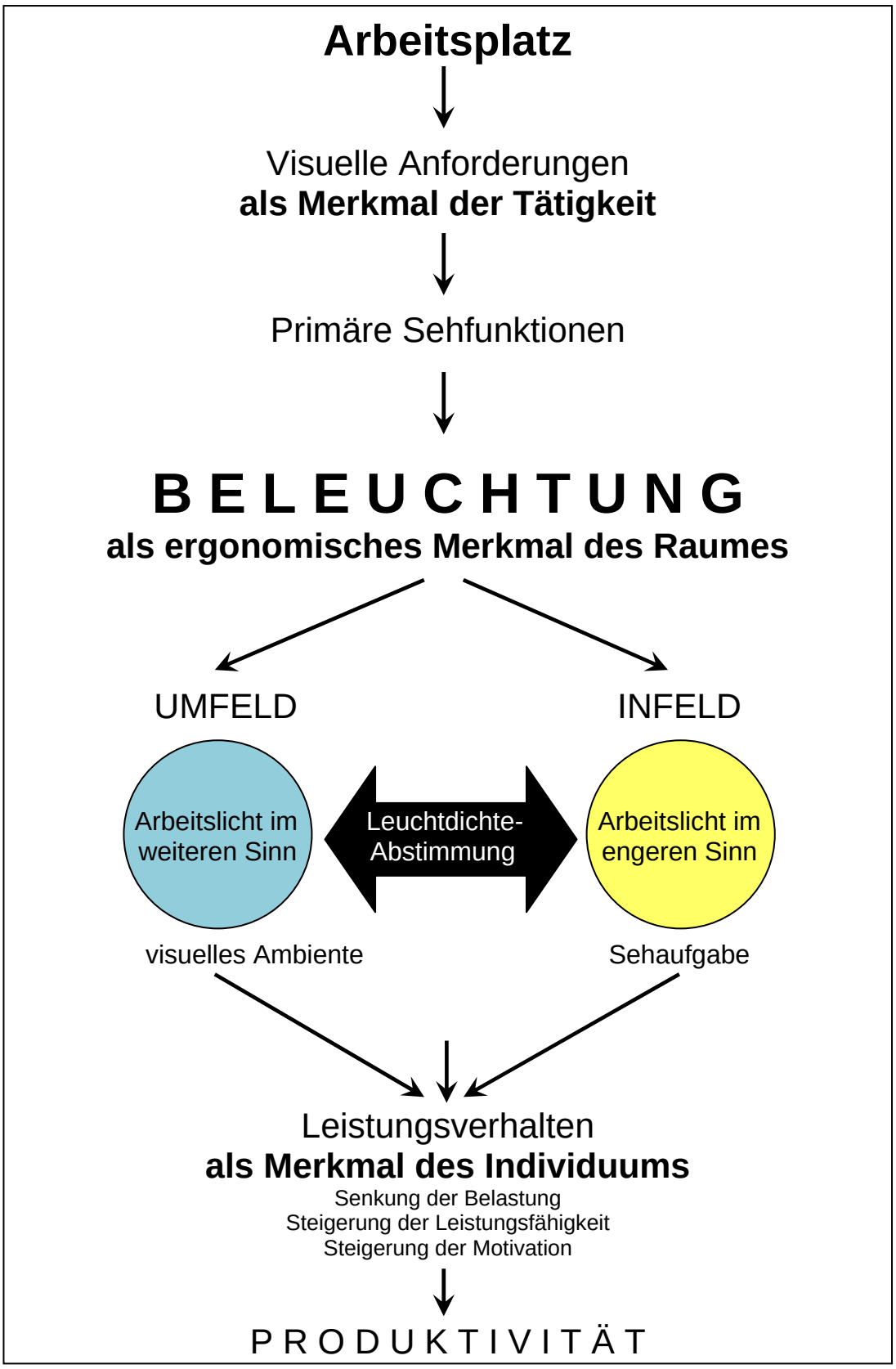


Abb. 2: Die Beleuchtung als ergonomischer Faktor am Arbeitsplatz

(Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 187)

Beleuchtung bedeutet gleichzeitig sehen und für jede Sehaufgabe gibt es die richtige Beleuchtungsart.

"Im Rahmen einer Beleuchtungsplanung sind zunächst die Beleuchtungsbereiche nach Sehaufgaben zu gliedern." (Pech & Klaus, 2007, S. 128) Die unterschiedlichen Sehaufgaben sind in der ÖNORM EN 12464-1 aufgelistet. Die folgende Tabelle bietet einen Überblick über unterschiedliche Sehaufgaben und den zugeordneten Nennbeleuchtungsstärken.

Sehaufgabe	**Beleuchtungsstärke**
Durchgänge, Straßenbeleuchtung, Notbeleuchtung	1 – 50 lx
Orientierung, vorübergehender Aufenthalt	50 – 200 lx
leichte Sehaufgaben (große Details und große Kontraste)	200 – 500 lx
normale Sehaufgaben (große Details und mittlere Kontraste)	500 – 1000 lx
schwierige Sehaufgaben (kleine Details und geringe Kontraste)	1000 – 1500 lx
sehr schwierige Sehaufgaben (sehr kleine Details und sehr geringe Kontraste)	1500 – 2000 lx

Tab. 1: Beleuchtungssituationen mit zugeordneter Nenn-Beleuchtungsstärke

Mit diesen Vorgaben gilt es nun, die richtigen Komponenten für die Realisierung der Beleuchtungsanlage zusammenzustellen.

2.1. Begriffe und Definitionen

Um ein einheitliches Verständnis zu schaffen und der teilweise missbräuchlichen Verwendung von Ausdrücken in der Praxis vorzubeugen, werden in diesem Abschnitt die wichtigsten Begriffe und Definitionen im Zusammenhang mit Licht und Beleuchtung erläutert.

- **Licht -** Ist der Teil der elektromagnetischen Strahlung, der im Auge eine Hellempfindung hervorruft.[8] Dabei ist es unerheblich ob das Licht von einer natürlichen oder künstlichen Lichtquelle ausgeht.

[8] vgl. (Baer, Eckert, Gall, & Schnor, 1996, S. 13)

- **Leuchtmittel oder ugs. - Lampe -** Ist eine technische Lichtquelle zur Erzeugung von Kunstlicht. Nach dem Prinzip der Lichterzeugung lassen sie sich in Festkörperlampen und Entladungslampen einteilen. Die folgende Graphik bietet einen Überblick über die gängige Klassifizierung.

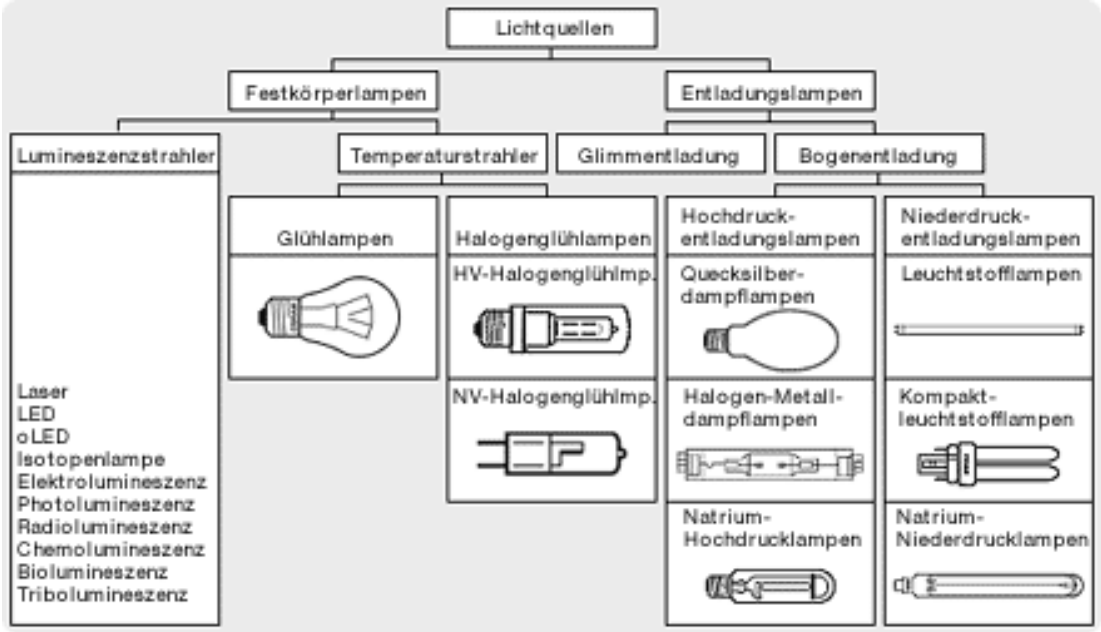


Abb. 3: Die Welt der Leuchtmittel (www.osram.at, 2008)

- **Leuchte -** *"Technisches Gerät zum Verteilen, Filtern oder Umformen des Lichtes von Lampen einschließlich der zur Befestigung, zum Schutz und zur Energieversorgung der Lampen notwendigen Bauteile."* (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 227)

  Für die unterschiedlichen Einsatzgebiete mit deren jeweiligen Anforderungen gibt es eine Vielzahl an spezifischen Leuchten. Die folgende Abbildung bietet einen Überblick über die Klassifizierung von Leuchten.

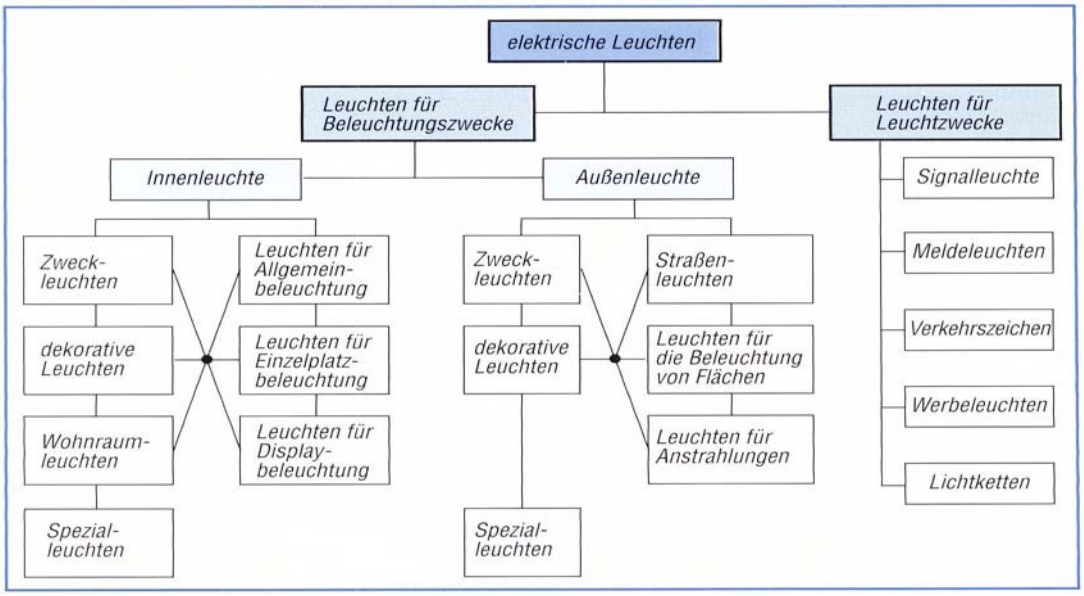


Abb. 4: Leuchteneinteilung nach dem Verwendungszweck (Baer, Eckert, Gall, & Schnor, 1996, S. 286)

- **Beleuchtungsanlage, -system -** Die Beleuchtungsanlage setzt sich aus allen erforderlichen Komponenten zur Kunstlichterzeugung zusammen. Dazu gehören neben den bereits erwähnten Leuchtmittel und Leuchten auch die Schaltgeräte, das elektrische Leitungssystem und wenn vorhanden, automatische Lichtsteuer- und Regelsysteme sowie deren Baugruppen.
  "Als Beleuchtungssystem im engeren Sinn wird oft aber nur die Leuchtenanordnung im Raum oder am Einzelplatz verstanden." (Baer, Eckert, Gall, & Schnor, 1996, S. 327)

- **Arbeitsplatzbeleuchtung -** *"Beleuchtungssystem, das die Hauptarbeitsfläche eines Arbeitsplatzes zusätzlich zur Allgemeinbeleuchtung entsprechend den Anforderungen aus der Sehaufgabe beleuchtet. Sie ist im Allgemeinen Bestandteil der kombinierten Beleuchtung."* (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 219)

- **Arbeitsbereich** - Räumlich abgegrenzter Bereich innerhalb dem die Sehaufgabe stattfindet. *"Dieser Arbeitsbereich kann, wenn die Lage der Arbeitsplätze nicht bekannt ist, auch den ganzen Raum umfassen."* (Pech & Klaus, 2007, S. 128)

- **Umgebungsbereich / Umfeld –** *"(...) der räumliche Bereich, der sich direkt an einen oder mehrere Arbeitsbereiche anschließt und bis 0,5 m vor die Raumwände reicht - sofern dort keine Arbeitsplätze angeordnet sind."* (Deutsches-Institut-für-Normung-e.V., 2004, S. 11)

- **Sehaufgabe** – Darunter versteht man *"Sehrelevante Elemente der auszuführenden Arbeit.*
  Hauptsächlich sehrelevant sind die Größe des zu erkennenden Objektes, dessen Leuchtdichte, dessen Kontrast gegenüber dem Hintergrund und dessen Darbietungsdauer. (Österreichisches-Normungsinstitut, ÖNORM EN 12464-1, Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten. Teil1: Arbeitsstätten im Innenraum, 2003, S. 4)

  Um sich auch im Bereich der Lichttechnik mit den Begrifflichkeiten vertraut zu machen und sich einen Überblick zu verschaffen sind hier in der Folge lediglich die wichtigsten Größen angeführt. *"Zur Kennzeichnung der Eigenschaften des Lichtes reichen in der Lichttechnik im Allgemeinen vier Grundgrößen aus: der **Lichtstrom Φ** (SI-Einheit Lumen, lm), die **Lichtstärke I** (SI-Einheit Candela, Cd), Die **Beleuchtungsstärke E** (SI-Einheit Lux, lx) und die **Leuchtdichte L** (SI-Einheit Candela/Quadratmeter, cd/m²)."* (Heinz, 2008, S. 16)
  Diese Arbeit beschränkt sich aber nicht nur auf diese Eigenschaften, sondern es werden auch die für die Praxis bedeutenden Größen in die Betrachtung mitaufgenommen.

- **Lichtstrom (Lumen, lm)** – *"Der Lichtstrom ... ist eine physiologische Messgröße und gibt die von einer Lichtquelle nach allen Seiten abgestrahlte und vom Auge bewertete Strahlungsleistung an."* (Müller, 2008, S. 101) D.h. es handelt sich hierbei nur um den in sichtbares Licht umgewandelten Teil der gesamten einer Lichtquelle zugeführten elektrischen Energie. Für den Lichtstrom wird manchmal auch die Bezeichnung Lichtleistung verwendet.

- **Lichtstärke (Candela, Cd)** – *"ist das Verhältnis von Lichtstrom und dem Raumwinkel und kennzeichnet das Maß für den in einer Richtung wirksamen Teillichtstrom."* (Wellpott & Bohne, 2006, S. 492)
  Lichtquellen strahlen Licht nicht in jede Richtung in gleicher Intensität ab, mit Hilfe der Lichtstärke wird für eine Lichtquelle die so genannte Lichtverteilungskurve (LVK) erstellt, mit welcher die lichttechnische Charakterisierung von Leuchten dargestellt werden kann.

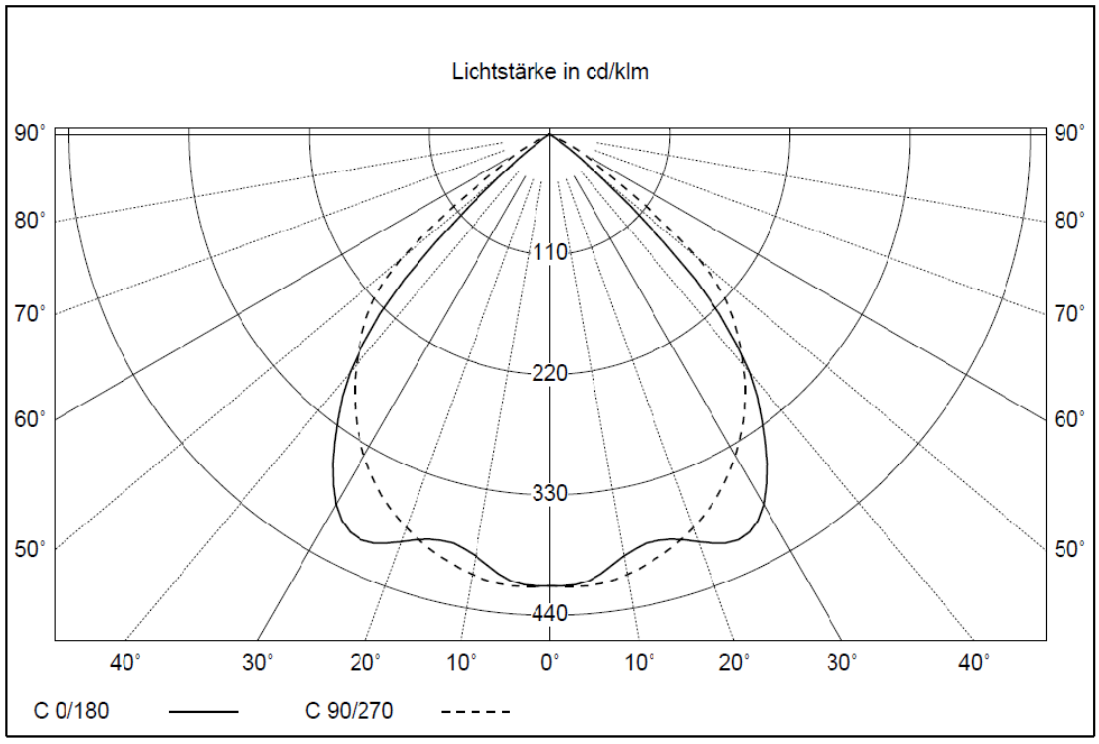


Abb. 5: Beispiel einer LVK (www.siteco.at, 2000-2009)

- **Beleuchtungsstärke (Lux, lx)** – *"Die Beleuchtungsstärke ... ist ein Maß für das auf eine Fläche auftreffende Licht"* (Müller, 2008, S. 104)

  Um ein Gefühl für die Ausprägung der Beleuchtungsstärke zu bekommen, hier einige *"Beispiele für unterschiedliche natürliche Beleuchtungsstärken:*
  Mittagssonne im Juli, klarer Himmel: 60.000 bis 10.000 lx
  Mittagssonne im Dezember, bedeckter Himmel: ca. 3.000 lx
  Vollmondnacht, klarer Himmel: ca. 0,25 lx
  Neumondnacht: ca. 0,01 lx" (Freese, 2005, S. 144)

- **Leuchtdichte (Candela pro m², cd/m²)** – ist die für den Helligkeitseindruck einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche ausschlaggebende Größe. Sie beschreibt den Lichtstromanteil der in eine bestimmte Richtung auf eine Fläche einfällt.[9]

- **Lichtausbeute (Lumen/Watt, lm/W)** – *"Die Lichtausbeute gibt den erzeugten Lichtstrom im Verhältnis zu der aufgewendeten elektrischen Leistung an."* (Müller, 2008, S. 102) Die Lichtausbeute ist somit ein wichtiges Maß für die Wirtschaftlichkeit eines Leuchtmittels.
  Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die aktuelle Lichtausbeute der gängigsten Leuchtmittel.

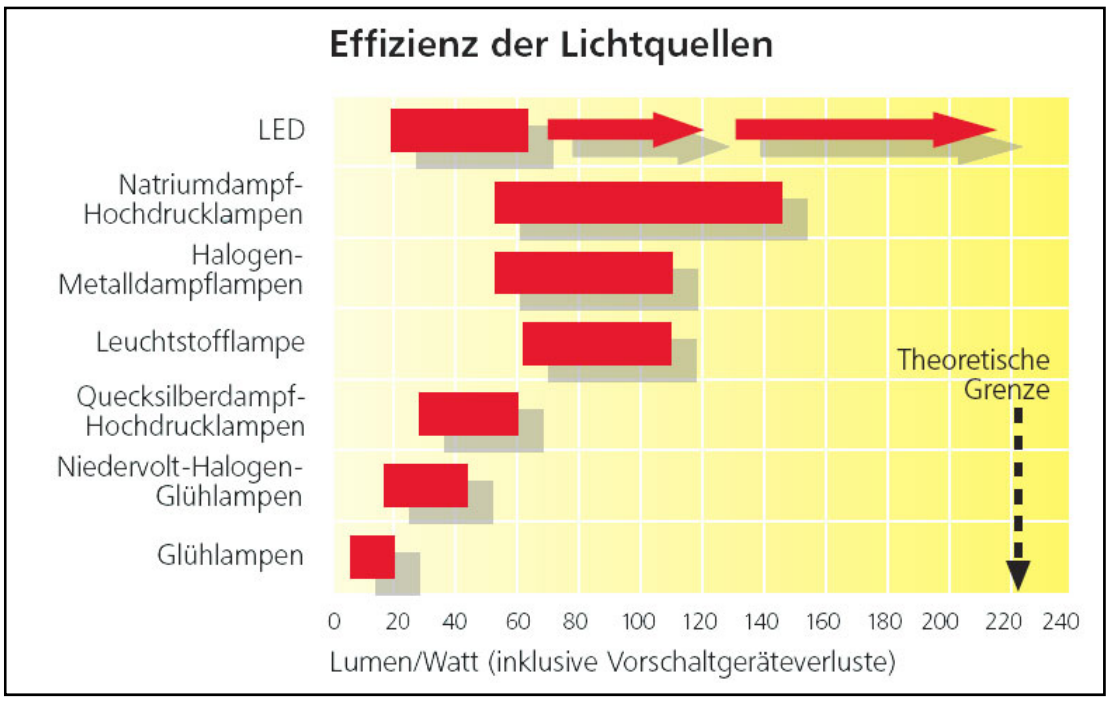


Abb. 6: Lichtausbeute der gängigsten Leuchtmitteltypen (www.goonet.ch, 2009)

- **Farbwiedergabeindex (R_a)** – Grad der Farbverfälschung unter einer gegebenen Beleuchtung im Vergleich zu einer Referenzlichtquelle. Das Optimum des Farbwiedergabeindex liegt bei 100.

[9] vgl. (Baer, Eckert, Gall, & Schnor, 1996, S. 22)

2.2. Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Auf dem Gebiet der Vorschriften gibt es unterschiedliche Regelungen, die sich direkt oder indirekt auf eine Bürobeleuchtungsanlage beziehen. Neben den Richtlinien die auf den Betrieb des Systems abzielen – wie z.B. elektrotechnische oder mechanische Anforderungen – gibt es Regelwerke, die sich auf die Auslegung, Planung bzw. die Überprüfung solcher Anlagen auswirken.

Im folgenden Abschnitt dieser Arbeit werden die dafür bedeutenden Texte dargestellt.

2.2.1. Relevante Vorschriften

Die ***ÖNORM A 8010*** beschäftigt sich mit der ergonomischen Raumgestaltung von Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung von physikalischen, physischen und sozialen, aber auch organisatorischen Gegebenheiten.

"3.2 Büroarbeitsplätze: Arbeitsplätze, an denen Informationen empfangen, erarbeitet, bearbeitet, ausgewertet, abgelegt oder weitergeleitet werden. (...)

7.2 Natürliche und künstliche Beleuchtung

Die Anordnung der Arbeitsplätze hat unter Berücksichtigung der Tagelichtverhältnisse im Raum zu erfolgen.

Wesentliche Merkmale sind:

- *Lichteinfall*
- *Niveau der Beleuchtungsstärke*
- *Leuchtdichteverteilung*

Die künstliche Beleuchtung muß der ÖNORM O 1040 entsprechen. [Diese Norm wurde mit 01.10.2003 zurückgezogen, das Nachfolgedokument ist die ÖNORM EN 12464-1.[10]] "Anmerkung des Autors"

Es ist darauf zu achten, daß insbesondere

- *zu große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld*
- *Blendungen*
- *Reflexionen*

  vermieden werden." (Österreichisches-Normungsinstitut, ÖNORM A 8010, Ergonomische Gestaltung von Büroarbeitsplätzen, 1993)

[10] vgl. (www.as-search.at)

Die ***ÖNORM EN 12464-1*** befasst sich mit Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten im Innenraum. In der Norm sind außerdem die empfohlenen Beleuchtungsstärken für die unterschiedlichen Sehaufgaben festgelegt.

"4.11 Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen

4.11.1 Allgemeines

Die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen muss für alle Aufgaben geeignet sein, die dort anfallen können, z. B. dem Lesen direkt vom Bildschirm, dem Lesen von gedruckten Texten, dem Schreiben auf Papier, dem Arbeiten an der Tastatur.

Für diese Bereiche müssen die Gütemerkmale der Beleuchtung und das Beleuchtungssystem entsprechend der Art des Raumes, der Sehaufgabe oder der Tätigkeit nach Abschnitt 5 ausgewählt werden;(...)

Das Arbeiten an einem Bildschirm oder unter bestimmten Umständen an der Tastatur kann durch Reflexionen beeinträchtigt werden, die physiologische und psychologische Blendung hervorrufen. Es ist deshalb notwendig, Leuchten so auszuwählen, einzusetzen und anzuordnen, dass Reflexionen hoher Leuchtdichte vermieden werden."

Tabelle 5.3 – Büros (Auszug)

3	***Büros***	***Wartungswert***	***Farbwiedergabe***
Ref.Nr.	***Art des Raumes, Aufgabe oder Tätigkeit***	$\bar{E}_m$	R_a
3.1	*Ablegen, Kopieren, Verkehrszonen usw.*	*300*	*80*
3.2	*Schreiben, Schreibmaschineschreiben, Lesen, Datenverarbeitung*	*500*	*80*
3.3	*Technisches Zeichnen*	*750*	*80*
3.4	*CAD-Arbeitsplätze*	*500*	*80*
3.5	*Konferenz- und Besprechungsräume*	*500*	*80*
3.6	*Empfangstheke*	*300*	*80*
3.7	*Archive*	*200*	*80*

6 Überprüfungen

6.1 Beleuchtungsstärke

Bei der Überprüfung einer Anlagenplanung muss die Lage der Messpunkte mit den Rasterpunkten übereinstimmen, die bei der Planung verwendet wurden.

Für nachfolgende Messungen sind dieselben Rasterpunkte zu verwenden.

Die Beleuchtungsstärke einer Sehaufgabe ist in der Fläche zu messen, in der sich die Sehaufgabe befindet. (...)" (Österreichisches-Normungsinstitut, ÖNORM EN 12464-1, Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten. Teil1: Arbeitsstätten im Innenraum, 2003)

Die ***ÖNORM EN ISO 9241-6*** enthält Leitsätze für die ergonomische Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen. In Verbindung mit dem Thema Beleuchtung sind folgende Punkte bedeutsam.

"5 Leitsätze zur natürlichen und künstlichen Beleuchtung

5.1 Allgemeines

Sehaufgaben bei der Arbeit mit den meisten Bildschirmanzeigen unterscheiden sich primär in drei Punkten von den Sehaufgaben bei traditioneller Büroarbeit:

– Das Hauptsehobjekt, die Bildschirmeinheit, ist vertikal orientiert.

– Das Hauptsehobjekt kann zu einem hohen Grad umgebungsabhängig sein (z. B. aufgrund von Reflexionen, Kontrastverlust und Farbinformation durch Umgebungslicht).

– Die angehobene Sehachse erhöht die Bedeutung der Berücksichtigung der Eigenschaften der visuellen Umgebung.

5.2 Grundsätzliche Aspekte

5.2.1 Sehaufgaben

Bezüglich der Art der Büroarbeit, die mit einem Bildschirmgerät durchgeführt wird, sollte eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen zwei Sehaufgaben getroffen werden:

a) Aufnahme von Informationen, die auf der Bildschirmanzeige dargeboten werden (z. B. Lesen von Text, Betrachtung von grafischen Darstellungen, Beobachtung von technischen Abläufen auf dem Bildschirm oder Wahrnehmen und Unterscheiden von Zeichen auf dem Bildschirm);

b) Aufnahme von Informationen, die auf passiven Medien dargeboten werden (z. B. Lesen von Texten oder Betrachten von grafischen Darstellungen auf Papier oder Wahrnehmen und Unterscheiden von Zeichen auf einer Tastatur).

Diese verschiedenen Sehaufgaben lassen, jede für sich allein betrachtet, erkennen, dass die Beleuchtung unterschiedlichen Benutzeranforderungen genügen sollte. (...)

5.2.2 Grundlegende Gestaltungsziele

Eine gute Beleuchtung sollte so ausgeführt sein, dass sie ihre vorgesehenen Funktionen erfüllt, und sie sollte zu der Arbeitsumgebung passen. (...)

5.3 Leuchtdichteverteilung im Arbeitsraum

(...)

Sowohl im Hinblick auf gute Sehbedingungen als auch aus psycho-physischen Gründen ist ein ausgewogenes Verhältnis der Leuchtdichten im Gesichtsfeld vorteilhaft.

5.4 Begrenzung der Blendung

Blendung sollte durch geeignete Gestaltung und Einrichtung der Arbeitsmittel und der Arbeitsumgebung vermieden werden. (...)" (Österreichisches-Normungsinstitut, ÖNORM EN ISO 9241-6, Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung, 2001)

Die ***ÖNORM EN 12665*** definiert grundlegende Begrifflichkeiten im Zusammenhang mit den Bereichen Licht, Beleuchtung und Lichttechnik. In der Norm sind auch die Hauptparameter für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung enthalten.

"4 Rahmenbedingungen für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung

Die Haupt-Planungsparameter, die berücksichtigt werden müssen, wenn die lichttechnischen Anforderungen für eine bestimmte Anwendung festgelegt werden, sind in 4.1 bis 4.8 beschrieben. (...)

4.1 Beleuchtungsstärke

4.2 Leuchtdichte

4.3 Blendung

4.3.1 Physiologische Blendung

4.3.2 Psychologische Blendung

4.4 Farbe

4.4.1 Farbwiedergabe

4.4.2 Farbe einer Lichtquelle

4.5 Energie

4.6 Wartung

4.7 Messungen

4.8 Genauigkeit/Unsicherheit

(...)" (Österreichisches-Normungsinstitut, ÖNORM EN 12665, Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung, 2002)

Die ***ÖNORM EN 13032*** behandelt die Messung für Lichtanwendungen, ***Teil 1*** setzt sich mit der Messung an sich und dem Datenformat auseinander, detailliertere Inhalte dieser Norm würden jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen und sind deshalb nicht weiter ausgeführt.

Teil 2 widmet sich der Darstellung der erforderlichen Daten in Arbeitsstätten.

"4 Lampendaten

4.1 Erforderliche Lampendaten

Folgende Lampendaten müssen für eine Überprüfung angegeben werden:

4.1.1 Lampencode

4.1.2 Lampenabmessungen

4.1.3 Lichtstrom

4.1.4 Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor (LLMF)

4.1.5 Lampenlebensdauerfaktor (LSF)

4.1.6 Allgemeiner Farbwiedergabe-Index (Ra)

4.1.7 Ähnlichste Farbtemperatur (TCP)

5 Leuchtendaten

5.1 Erforderliche Leuchtendaten

Folgende Leuchtendaten müssen, wo anwendbar, für eine Überprüfung angegeben werden:

5.1.1 Leuchtencode

5.1.2 Abmessungen der leuchtenden Teile der Leuchte

5.1.3 Normalisierte Lichtstärke-Tabelle

5.1.4 Normalisierte Leuchtdichte-Tabelle

5.1.5 UGR–Tabelle

5.1.6 Glare Rating (GR)

5.1.7 Korrekturfaktoren

5.1.8 Abschirmwinkel

(...)" (Österreichisches-Normungsinstitut, ÖNORM EN 13032-2, Licht und Beleuchtung - Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten, Teil 2: Darstellung der Daten für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien, 2007)

Im Hinblick auf energetische Gesichtspunkte ist die ***ÖNORM EN 15193*** anzuführen.

"5 Messung

5.1 Allgemeines

Der Verbrauch für Beleuchtungszwecke ist unter Verwendung eines der nachfolgenden Verfahren getrennt zu erfassen:

a) Elektrizitätszähler (en: kWh-meter) an zugewiesenen Beleuchtungsschaltkreisen innerhalb der Stromverteilung; (...)

8 Beleuchtungsplanung und Praxis

Beleuchtungsplanung und die Praxis sind in kontinuierlicher Entwicklung und können erhebliche Konsequenzen für den Beleuchtungsenergiebedarf haben.

(...)

• Dynamische Beleuchtung

Ein Beleuchtungssystem, das nicht visuelle biologische Effekte durch automatische Änderung des Beleuchtungsniveaus, der Richtung und der Farbtemperatur berücksichtigt." (Österreichisches-Normungsinstitut, ÖNORM EN 15193, Energetische Bewertung von Gebäuden - Energetische Anforderungen an die Beleuchtung, 2008)

Die ***DIN 5035-7*** hat zwar nicht den Status einer harmonisierten nationalen bzw. europäischen Norm, wird in dieser Arbeit aber als "Stand der Technik" trotzdem berücksichtigt. Von besonderer Bedeutung sind hier die beschriebenen Leuchtdichteverhältnisse vom Arbeitsbereich zum Umfeld.

"5.3.3 Leuchtdichten von Flächen im Raum

Die in dieser Norm in Abhängigkeit von der Bildschirmpolarität empfohlenen mittleren Leuchtdichten von Arbeitsmitteln, von Schreibtisch-/Arbeitstischoberflächen sowie von größeren Flächen im Raum, z. B. Decken und Wände, siehe Bild 2, sind in der Tabelle 3 aufgeführt. Abweichungen bei kleineren Flächen sind unkritisch."

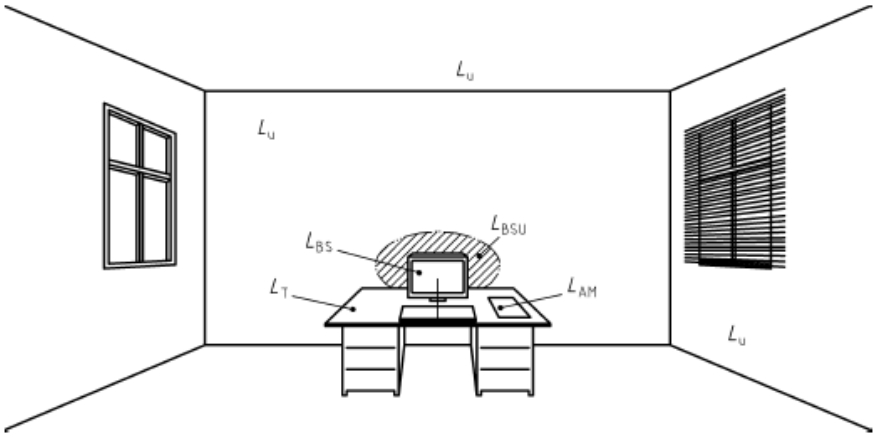


Bild 2 — Flächen und deren Kennzeichnung für die Bestimmung der empfohlenen Leuchtdichten im Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen

Tabelle 3 — Empfohlene Leuchtdichten in Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen bei $\bar{E}_{h,m}$ = 500 lx in Abhängigkeit von der Bildschirmpolarität

Arbeitsmittel, Einrichtungsgegenstände und Raumbegrenzungsflächen		Bildschirmpolarität	
		positiv	negativ
Bildschirmhintergrund (siehe Anmerkung 1)	L_{BS}	100 cd/m^2	10 cd/m^2
Arbeitsmittel, z. B. Beleg, Papiervorlage	L_{AM}	100 cd/m^2	100 cd/m^2
Schreib-/Arbeitstischoberfläche	L_T	30 bis 80 cd/m^2	30 bis 80 cd/m^2
Größere Flächen[a] im Raum	L_U	10 bis 1 000 cd/m^2	10 bis 200 cd/m^2
Größere Flächen[a], die sich hinter dem Bildschirm befinden	L_{BSU}	10 bis 500 cd/m^2	10 bis 50 cd/m^2

[a] Unter größeren Flächen werden Flächen verstanden, die dem Nutzer unter einem räumlichen Öffnungswinkel von mehr als 20° erscheinen.

(Deutsches-Institut-für-Normung-e.V., 2004)

Das ***ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – AschG*** regelt die Sicherheit und den Gesundheitsschutz bei der Arbeit im Bezug auf Beleuchtung / Beleuchtungsanlagen und enthält grundsätzliche Definitionen für Arbeitsräume, Bildschirmarbeitsplätze usw. folgende Paragraphen sind dabei als relevant zu sehen.

"§ 19. (1) Arbeitsstätten sind

1. alle Gebäude und sonstigen baulichen Anlagen sowie Teile von Gebäuden oder sonstigen baulichen Anlagen, in denen Arbeitsplätze eingerichtet sind oder eingerichtet werden sollen oder zu denen Arbeitnehmer im Rahmen ihrer Arbeit Zugang haben (Arbeitsstätten in Gebäuden), (...)

§21. (2) 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.

§22. (1) Arbeitsräume sind jene Räume, in denen mindestens ein ständiger Arbeitsplatz eingerichtet ist.

(6) 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.

(7) Arbeitsräume müssen erforderlichenfalls während der Arbeitszeit unter Berücksichtigung der Arbeitsvorgänge entsprechend künstlich beleuchtet sein.

§67. (1) Bildschirmgerät im Sinne dieser Bestimmung ist eine Baueinheit mit einem Bildschirm zur Darstellung alphanumerischer Zeichen oder zur Grafikdarstellung, ungeachtet des Darstellungsverfahrens. Bildschirmarbeitsplätze im Sinne dieser Bestimmung sind Arbeitsplätze, bei denen das Bildschirmgerät und die Dateneingabetastatur oder sonstige Steuerungseinheit sowie gegebenenfalls ein Informationsträger eine funktionale Einheit bilden.

(3) (...) Es ist für eine geeignete Beleuchtung und dafür zu sorgen, daß eine Reflexion und eine Blendung vermieden werden." (Bundeskanzleramt-Österreich, ASchG - ArbeitnehmerInnenschutzgesetz auf www.ris.bka.gv.at, 2008)

Die ***Arbeitsstättenverordnung – AstV*** enthält Bestimmungen und Anforderungen an Arbeitsstätten im Sinne des § 19 ASchG.

"§1. (4) (...) Ständige Arbeitsplätze sind jene räumlichen Bereiche, in denen sich Arbeitnehmer/innen, der Zweckbestimmung des Raumes entsprechend, bei der von ihnen im regulären Betriebsablauf auszuübenden Tätigkeit aufhalten. (...)

§ 5. (1) Alle Räume in Arbeitsstätten sind entsprechend ihrer Nutzungsart ausreichend beleuchtbar einzurichten.

(2) Die Beleuchtung von Räumen ist so zu gestalten, daß

1. sie von den Ein- und Ausgängen aus geschaltet werden kann,

2. Lichtschalter leicht zugänglich und erforderlichenfalls bei Dunkelheit erkennbar sind und

3. Leuchten so beschaffen und so angebracht sind, daß eine Gefährdung der Arbeitnehmer/innen vermieden wird.

§ 25. (1) Als Arbeitsräume dürfen nur Räume verwendet werden, die möglichst gleichmäßig natürlich belichtet sind. Sie müssen Lichteintrittsflächen aufweisen, die

1. in Summe mindestens 10% der Bodenfläche des Raumes betragen und

2. direkt ins Freie führen.

§ 29. (1) Arbeitsräume sind mit einer möglichst gleichmäßigen und möglichst farbneutralen künstlichen Beleuchtung auszustatten. Die Beleuchtungsstärke muß im ganzen Raum, gemessen 0,85 m über dem Boden, mindestens 100 Lux betragen, sofern die Nutzungsart des Raumes dem nicht entgegensteht. (Allgemeinbeleuchtung).

(2) Arbeitsplätze sind erforderlichenfalls zusätzlich zu beleuchten, wobei auf den Stand der Technik, die jeweilige Sehaufgabe und die möglichen Gefährdungen am Arbeitsplatz Bedacht zu nehmen ist.

(3) Arbeitsräume und Arbeitsplätze sind so zu gestalten und Leuchten sind so auszuwählen und zu positionieren, daß große Leuchtdichten, große Leuchtdichteunterschiede, Flimmern, stroboskopische Effekte sowie direkte und indirekte Blendung im Gesichtsfeld der Arbeitnehmer/innen vermieden werden." (Bundeskanzleramt-Österreich, AStV - Arbeitsstättenverordnung auf www.ris.bka.gv.at, 2008)

Die ***Bildschirmarbeitsverordnung - BS-V*** enthält Verordnungen zum Schutz der ArbeitnehmerInnen im Zusammenhang mit Bildschirmarbeit.

"§ 1. (1) Der 2. Abschnitt gilt für Bildschirmarbeitsplätze im Sinne des § 67 Abs. 1 zweiter Satz ASchG, (...)

(2) Der 3. Abschnitt gilt für Bildschirmarbeit, das ist die Ausführung von Tätigkeiten wie Datenerfassung, Datentransfer, Dialogverkehr, Textverarbeitung, Bildbearbeitung oder CAD/CAM - Arbeiten an Bildschirmarbeitsplätzen im Sinne

des § 67 Abs. 1 zweiter Satz ASchG unter Verwendung von Bildschirmgeräten im Sinne des § 67 Abs. 1 ASchG.

(3) Der 4. Abschnitt gilt für die Beschäftigung von Arbeitnehmern/Arbeitnehmerinnen an Bildschirmarbeitsplätzen im Sinne des Abs. 1.

(4) Ein nicht unwesentlicher Teil der normalen Arbeit im Sinne des § 68 Abs. 3 ASchG liegt vor, wenn Arbeitnehmer/innen

1. durchschnittlich ununterbrochen mehr als zwei Stunden oder

2. durchschnittlich mehr als drei Stunden

ihrer Tagesarbeitszeit mit Bildschirmarbeit beschäftigt werden.

§ 6. (1) Bildschirmarbeitsplätze sind so einzurichten, daß Blendungen und störende Reflexionen auf dem Bildschirm und anderen Arbeitsmitteln durch Lichtquellen auch bei leicht wechselnden Arbeitshaltungen vermieden werden. Bei der Aufstellung des Bildschirms ist darauf zu achten, daß die Blickrichtung annähernd parallel zu Fensterflächen gerichtet ist, wenn dies auf Grund der Raumanordnung möglich ist.

(2) Lichteintrittsöffnungen, die störende Reflexionen oder zu hohe Kontraste hervorrufen, müssen mit verstellbaren Lichtschutzvorrichtungen ausgestattet sein.

(3) Die Beleuchtung ist so zu dimensionieren und anzuordnen, daß ausreichende Lichtverhältnisse und ein ausgewogener Kontrast zwischen Bildschirm und Umgebung gewährleistet sind. Dabei sind die Art der Tätigkeit sowie die sehkraftbedingten Bedürfnisse des/der Arbeitnehmers/Arbeitnehmerin zu berücksichtigen." (Bundeskanzleramt-Österreich, BS-V - Bildschirmarbeitsverordnung auf www.ris.bka.gv.at, 2008)

2.3. Leuchtmittel für den Bürobereich

Leuchtmittel erzeugen und geben Licht ab – aber nicht jede Lampenart[11] ist für jede Beleuchtungsaufgabe geeignet. Das hängt hauptsächlich damit zusammen, dass die jeweiligen Lampenarten unterschiedliche Lichtmengen und Lichtfarben abgeben. Im Zusammenhang mit dem Bedürfnis nach Behaglichkeit am Arbeitsplatz, ergibt das die Rahmenbedingungen für die Verwendbarkeit der Leuchtmittel zum Zweck der Büroarbeitsplatzbeleuchtung.

[11] siehe dazu Punkt 2.1 – Begriffe und Definitionen

"Vor allem bei der Verwendung von Kunstlicht sind naturgegebene Verbindungen von Helligkeit und Lichtfarbe im Sinne psychologischer Behaglichkeitsgrenzen zu beachten." (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 46)

Nach der Regel von Kruithoff und Wald ergibt sich so ein Bereich, der ein angenehmes Verhältnis von Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe kennzeichnet.[12]

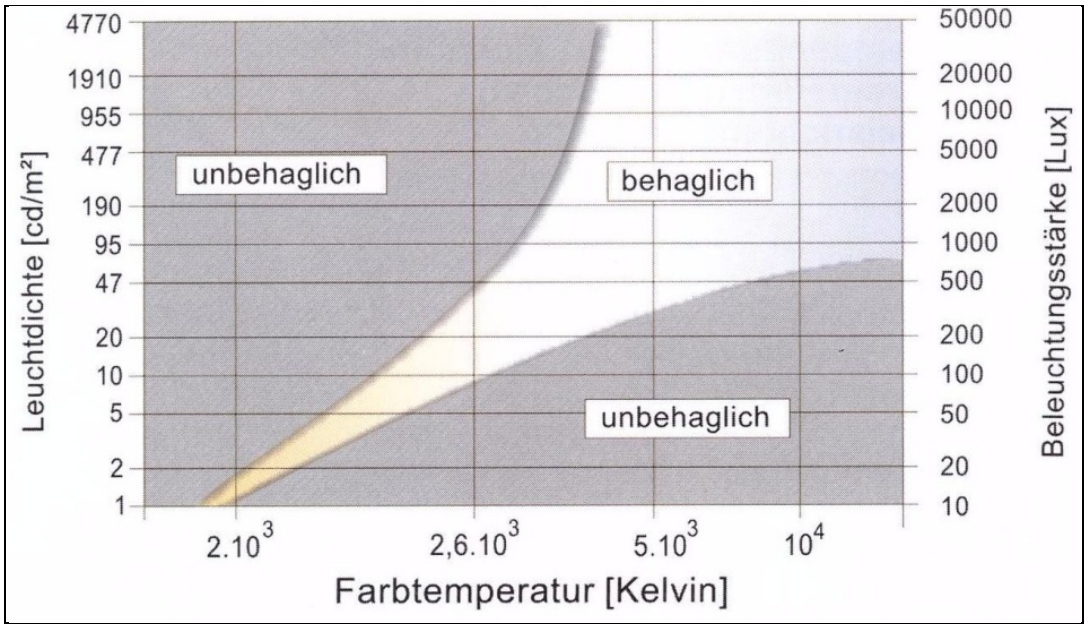


Abb. 7: Kruithoff'scher Behaglichkeitsbereich (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 46)

Aus diesem Diagramm ist ersichtlich, dass bei einer - für einen Büroarbeitsplatz mit normaler Sehaufgabe - geforderten Beleuchtungsstärke von 500lx die Lichtfarbe theoretisch bei 2700 bis 8000 Kelvin liegen soll, um Unbehaglichkeit zu vermeiden. In der Praxis hat sich jedoch überwiegend so genanntes neutralweißes Licht – welches durch eine Farbtemperatur zwischen 3300 bis 5000 Kelvin gekennzeichnet ist - als Standardlichtfarbe durchgesetzt.[13]

2.3.1. Leuchtstofflampen

Die Hauptlampenart für die Allgemeinbeleuchtung und in der Folge auch für den Bürobereich sind Leuchtstofflampen. Sie gehören zur Gruppe der Entladungslampen und kommen entweder in der gängigen Röhrenform oder in unterschiedlichen

[12] vgl. (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 46)

[13] vgl. (www.osram.at, 2008)

Kompaktbauweisen vor. Leuchtstofflampen sind in vielen verschiedenen Lichtfarben - meist von 2700 bis 8000 lx - erhältlich.
Auch in Baulänge und Durchmesser gibt es eine Vielzahl an Varianten. Die aktuell eingesetzte Bauform ist die T5 Röhre, wobei die Bezeichnung T5 den Röhrendurchmesser kennzeichnet. Die Angabe T"X" gibt den Durchmesser des Glaszylinders in 1/8-Zoll an, daraus folgt eine T5 Leuchtstofflampe hat einen Durchmesser von 5/8-Zoll, das entspricht rund 16mm.
In Bestandshäusern, so auch im Bürogebäude der Wirtschaftskammer Österreich, finden sich häufig noch T8 (rund 26mm) Leuchtstoffröhren.
Die Vorteile der T5-Technologie gegenüber der T8-Röhren liegen in der höheren Nutzlebensdauer des Leuchtmittels, der Möglichkeit Röhren mit unterschiedlicher Leistung in derselben Leuchte einzusetzen (Multiwatt-Vorschaltgeräte) und der kompakteren Bauform, was sich in der Folge vorwiegend in der Leuchtenkonstruktion niederschlägt.

Die Lebensdauer der hauptsächlich für die Bürobeleuchtung zur Anwendung kommenden Leuchtstoffröhren liegt laut Erfahrungswerten und Herstellerangaben zwischen 7000 und 20000 Stunden. Der Betriebszustand (Einschalthäufigkeit und –dauer, Spannungsniveau, …) wirkt sich dabei wesentlich auf die Haltbarkeit aus – mit zunehmender Schalthäufigkeit reduziert sich die durchschnittliche Lebensdauer der Leuchtmittel.[14]

Kompaktleuchtstofflampen, als Schraubsockellampe - bzw. oftmals auch als Energiesparlampe bezeichnet - oder in der Stecksockelform, stellen hauptsächlich eine lichtstarke Alternative zur herkömmlichen Glühlampe dar.
Als Haupteinsatzgebiet im Bürobereich ist die Arbeitsplatzbeleuchtung in Kombination mit Stand- oder Tischleuchten und Downlights (Einbaustrahler) zu nennen.

[14] vgl. (www.voltium.de, 2002-2009) & (www.hereinspaziert.de, 1998-2009)

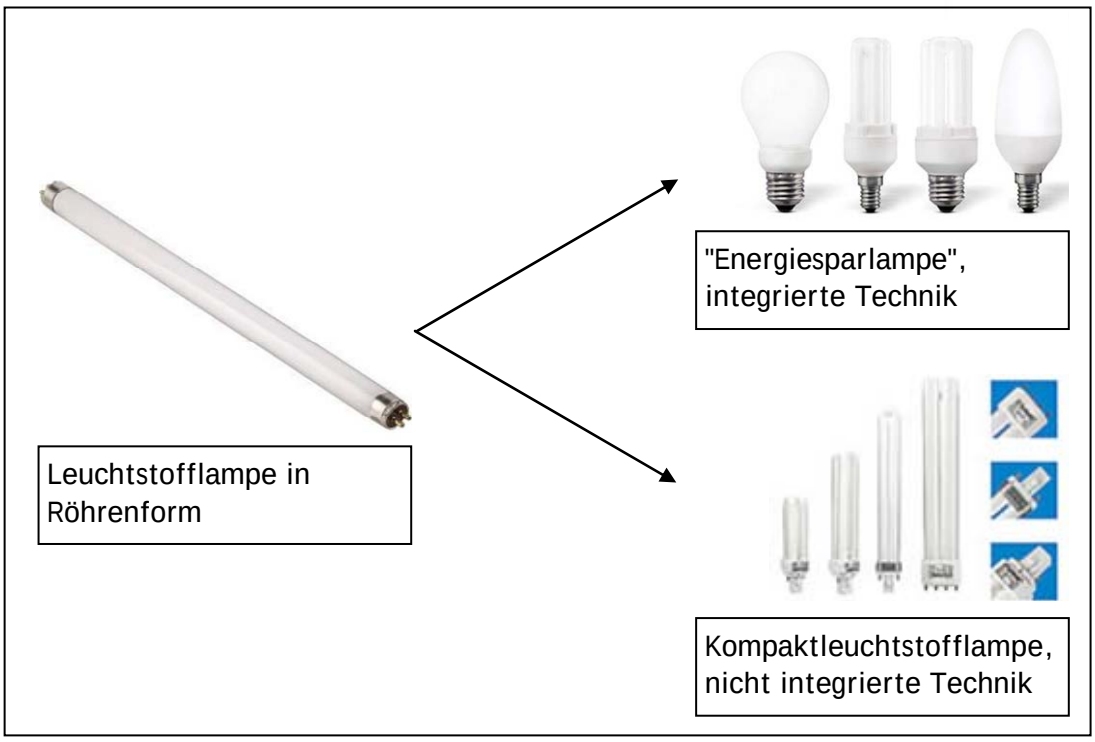


Abb. 8: Bauformen von Leuchtstofflampen (eigene Darstellung, 2010)

2.3.2. Halogen(glüh)lampen

Halogenlampen werden im Bürobereich vorwiegend für die Akzentbeleuchtung eingesetzt. Sie gehören zu den Temperaturstrahlern. Wie bei den herkömmlichen Glühlampen, wird zur Erzeugung des Kunstlichts ein elektrisch leitfähiger Festkörper – die so genannte Wendel – mittels elektrischer Energie zum Glühen gebracht. Bei der Halogenlampe wird die Lichtausbeute jedoch durch Füllung des Glaskolbens mit Halogengas – wodurch es zu einer chemischen Reaktion innerhalb des Leuchtmittels kommt – noch zusätzlich erhöht.

Am häufigsten sind in der Praxis die umgangssprachlich so genannten Halogenspots im Einsatz.

2.3.3. Leuchtdioden - LED

Eine innovative und sich nach wie vor ständig weiterentwickelnde Technologie für die Bürobeleuchtung stellt der Einsatz von Leuchtdioden dar.

"Leuchtdioden (LED, Light Emitting Diode) arbeiten nach dem Prinzip der Elektrolumineszenz." (Müller, 2008, S. 150)

Anders als bei Temperaturstrahlern oder Entladungslampen, wird ein Großteil der eingesetzten elektrischen Energie in sichtbares Licht umgewandelt. Eine einzelne LED ist durch die geringe Anschlussleistung und den daraus resultierenden geringen Lichtstrom jedoch nicht zum Einsatz in der Allgemeinbeleuchtung geeignet. Abhilfe wird dadurch geschaffen, dass mehrere einzelne LED's – einzelne Lichtpunkte – zu einem gesamten Leuchtmittel kombiniert werden. LED-Leuchtmittel sind bereits durch Ausnutzung verschiedener technologischer Möglichkeiten (beschichten, mischen, ...) in allen Lichtfarben verfügbar. Es gibt hier jedoch noch starke Unterschiede in der Lichtausbeute innerhalb der LED-Technologie und auch im Vergleich zur Leuchtstofflampe scheint die Leistungsfähigkeit der LED-Leuchtmittel nicht zufriedenstellend. Allerdings ist hier zu erwähnen, dass die Entwicklung in diesem Segment derart rasch vorangeht, dass sich Angaben über die Lichtausbeute momentan ständig überholen.
Das voraussichtliche Potential wird in folgender Abbildung veranschaulicht.

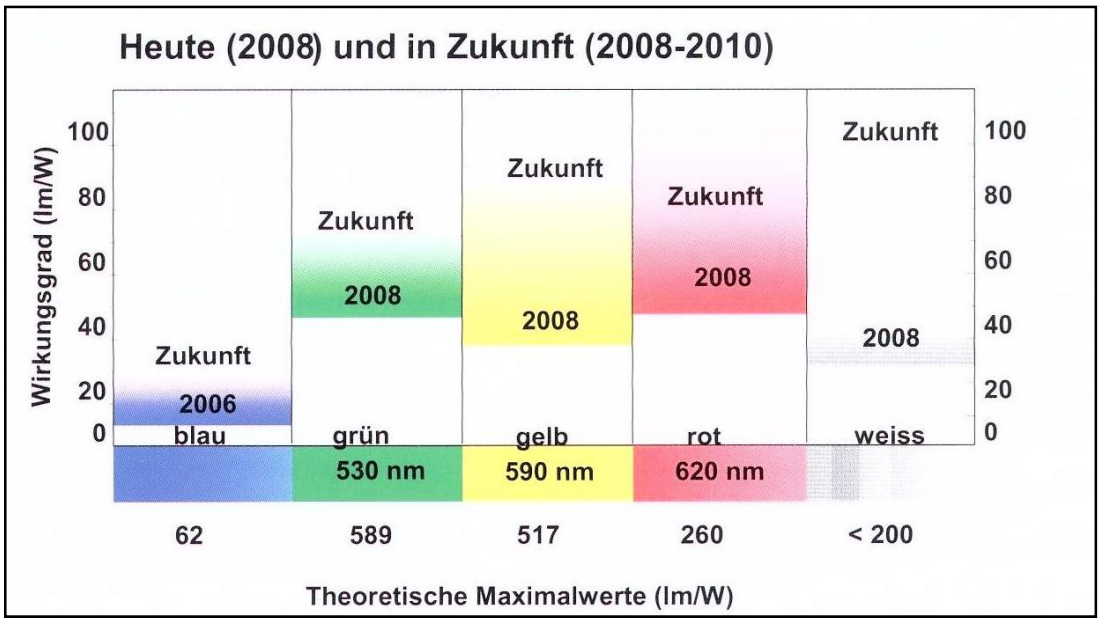


Abb. 9: Lichttechnische Wirkungsgrade kommerziell verfügbarer LED – unter Betriebsbedingungen (Heinz, 2008, S. 94)

Einen wesentlichen Vorteil im Vergleich zu herkömmlichen Leuchtmitteln stellt die Lebensdauer der LED-Leuchtmittel dar.
"Die Lebensdauer einer Leuchtdiode beträgt bei einer durchschnittlichen Temperatur von 25° C weit über 100.000 Stunden ..." (Müller, 2008, S. 151)

2.4. Leuchten für den Bürobereich

Technisch gesehen erfüllen Leuchten in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet innerhalb des gesamten installierten Lichtsystems entweder Aufgaben

- der Allgemeinbeleuchtung oder
- der Arbeitsplatzbeleuchtung oder
- beider Aufgabengebiete gleichzeitig.

Im Bürobereich gilt es unter anderem auch gewisse ästhetische Anforderungen zu erfüllen, die zum Gesamteindruck des Raums und in der Folge zur Behaglichkeit bzw. dem Wohlfühlen am Arbeitsplatz beitragen. Die Beleuchtung soll sich harmonisch in das Raumkonzept einfügen und nicht als Fremdkörper wirken.

2.4.1. Spiegelrasterleuchte

Die Hauptleuchtenart für Beleuchtungszwecke im Bürobereich ist die Spiegelrasterleuchte. In der gängigsten Bauform wird ein Leuchtenkörper – der gleichzeitig die mechanischen Anforderungen erfüllt und als Baugruppenträger dient - mit Lichtlenksystemen und Blendschutzeinrichtungen kombiniert. Die Leuchte kann dabei als Einbau-, Anbau-, Aufbau-, Wand-, Stand- oder Pendelleuchte ausgeführt werden. Je nach Beleuchtungsaufgabe, Raumkonfiguration oder ästhetischen Gesichtspunkten, ist die eine oder andere Variante besser geeignet.

In der klassischen Leisten-Form der Spiegelrasterleuchten kommen herkömmliche Leuchtstoffröhren zum Einsatz. Abhängig von der Lampenanzahl spricht man von der 1-, 2- bzw. 3-flammigen Ausführung. Spiegelrasterleuchten sind mit kombiniertem Indirektlichtanteil auch als direkt/indirekt Leuchte einzusetzen.

Auf Grund ihrer guten Eigenschaften in den Bereichen der direkten Blendung und der Reflexblendung im Zusammenhang mit Bildschirmarbeitsplätzen wird diese Leuchte umgangssprachlich auch als "Bildschirmarbeitsplatzleuchte" (BAP-Leuchte) bezeichnet.

2.4.2. Sekundärreflektor Leuchte

Bei der Sekundärreflektor Leuchte kommen, wie der Name schon sagt, zwei Reflektoren zur Lichtlenkung zum Einsatz.

"Durch die Kombination eines primären und eines sekundären Reflektorsystems entsteht so eine besonders variable Leuchte, die sowohl ausschließlich indirektes Licht, als auch direktes und indirektes Licht in frei wählbaren Anteilen abgeben kann." (Ganslandt & Hofmann, 2000, S. 105)Der indirekte Teil der Beleuchtung wird dabei nicht über die Decke, sondern über den in der Leuchte integrierten Sekundärreflektor gestrahlt – das Leuchtmittel ist dadurch vollständig entblendet. Sekundärreflektorleuchten gibt es als reine indirekt oder als direkt/ indirekt strahlende Leuchten.

Durch diese Technologie wird eine überaus homogene Leuchtdichteverteilung erreicht die dem Tageslicht sehr ähnlich ist. Im Zusammenhang mit dieser Beleuchtungstechnologie wurde von der Fa. Zumtobel auch der Begriff "mildes Licht" geprägt – zur Anwendung kommen hier Leuchten mit direkt/indirekt strahlenden Anteilen.

Die Bauformen variieren zwischen deckenintegrierter, abgependelter und aufgebauter Leuchtenform.

Als Leuchtmittel kommen zum überwiegenden Teil Leuchtstoffröhren zum Einsatz.

2.4.3. Mikroprismen Leuchte

Eine weitere Möglichkeit blendfreies Arbeiten am Bildschirmarbeitsplatz zu ermöglichen, stellt die so genannte Mikroprisen- bzw. Mikroraster-Leuchte dar. Diese Leuchten sind voll entblendet, was bedeutet, dass es unabhängig vom Betrachtungswinkel zu keiner Direktblendung kommen kann.

Statt Reflektor oder Raster wird die Lichtverteilung wie auch die Entblendung mittels Mikroprismen – das sind in die Leuchte eingearbeitete, transluzente geometrische Strukturen – realisiert.

Diese Leuchten kommen in den Bauformen deckenintegriert, abgependelt und deckenaufgebaut zur Anwendung.

Als Leuchtmittel sind auch hier hauptsächlich Leuchtstoffröhren in Verwendung.

In Leuchten der modernsten Bauart werden inzwischen auch LED-Leuchtmittel – meist jedoch noch in Kombination mit Leuchtstoffröhren – eingesetzt.[15]

[15] *„Die AERO II Hybrid kombiniert anorganische LEDs für einen brillanten Direktanteil und Leuchtstofflampen für die indirekte Allgemeinbeleuchtung."* (www.zumtobel.at, 2009)

2.4.4. Stehleuchte

Stehleuchten haben durch ihre Ortsveränderlichkeit den entscheidenden Vorteil der Flexibilität. Gerade in Zeiten sich immer rascher ändernder Büroflächenaufteilungen und ständig neuer Anforderungen, gewinnen sie auch im Büroimmobilienbereich immer mehr an Bedeutung. Mittels Stehleuchten kann auch nach Ausstattung des Raumes die Beleuchtung der jeweiligen Raumnutzung angepasst werden. Bei der Planung sind natürlich die dafür notwendigen Steckdosen zu berücksichtigen.

Moderne Stehleuchten können inzwischen auch problemlos in automatisierte Lichtsysteme mit eingebunden werden.[16]

Von der Beleuchtungsart her gesehen sind zum überwiegenden Teil Produkte mit direkt / indirekt Beleuchtung im Einsatz.

Stehleuchten erfüllen in ihrer häufigsten Ausprägung Aufgaben der Allgemein- und Arbeitsplatzbeleuchtung gleichzeitig.

In Stehleuchten nach heutigem Standard, kommen alle in dieser Arbeit beschriebenen Lampenformen, vorwiegend jedoch Kompakt- oder Metalldampflampen oder unterschiedliche Kombinationsvarianten wie z.B. Leuchtstoffröhren gemeinsam mit LED zum Einsatz.

2.4.5. Schreibtischleuchte

Die Schreibtischleuchte ist die klassische und einfachste Art der reinen Arbeitsplatzbeleuchtung. Auch Sie zeichnet sich durch ihre Flexibilität aus, ist jedoch rein an den Arbeitsplatz gebunden und nicht für die Allgemeinbeleuchtung geeignet. Deshalb trägt sie auch häufig die Bezeichnung Arbeitsplatz-Ergänzungsleuchte.

Zeitgemäße Schreibtischleuchten – meist auch als Designobjekt verwendet - werden in Kombination mit Energiespar- bzw. Kompaktleuchtstofflampen, Halogenlampen oder LED-Leuchtmitteln verwendet.

In Bestandsgebäuden sind vielfach jedoch (noch) die herkömmlichen Glühlampen zu finden – hier stellen Energiesparlampen eine energetisch sinnvolle Substitutionsmöglichkeit dar.

[16] vgl. (www.zumtobel.at, 2009)

2.4.6. Downlight

Als Downlight bezeichnet man meist runde, mit Reflektoren und anderen optischen Elementen ausgestattete Deckenleuchten. Haupteinsatzgebiet in Bürogebäuden sind Verkehrszonen und Allgemeinflächen.
Als Leuchtmittel kommen größtenteils Kompaktleuchtstofflampen zum Einsatz.

2.4.7. Strahler

Strahler kommen im Bürobereich vorwiegend zur Akzentuierung der Beleuchtung zum Einsatz und haben somit hauptsächlich repräsentative und ästhetische Bedeutung.
Überwiegend kommen in Strahlern Halogenlampen zum Einsatz.
Eine energiesparende Alternative auf diesem Einsatzgebiet sind Leuchtmittel in LED-Technologie, da es hier nicht primär um Lichtstärke, -ausbeute oder -farbe, sondern um Effekte geht. Die bereits heute verfügbare, breite Produktpalette unterschiedlicher Hersteller zeigt den hier vorhandenen Markt.

2.5. Lichttechnik für den Bürobereich

Im Bürobereich sind überwiegend normale Sehaufgaben zu erledigen. *"Darüber hinaus wird angenommen, dass die vorwiegende Sehaufgabe an Bildschirmen ausgeführt wird, sodass diese Tätigkeit (Bildschirmarbeit) das Zentralkriterium für die visuellen Wahrnehmungsabläufe (...) darstellt."* (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 192) Die dafür vorgesehene Nennbeleuchtungsstärke beträgt 500lx. Dieser Wert ist auf jeden Fall in dem für die Erledigung der Sehaufgabe maßgebenden Bereich einzuhalten. Das so genannt primäre Umfeld ist *" ...jener Bereich des globalen Gesichtsfeldes, der im Bereich der eigentlichen Arbeitsaufgabe liegt… "* (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 182).

Die folgende Graphik stellt die Bereiche der Wahrnehmung aus der Sicht eines gängigen Bildschirm-Arbeitsplatzes dar.

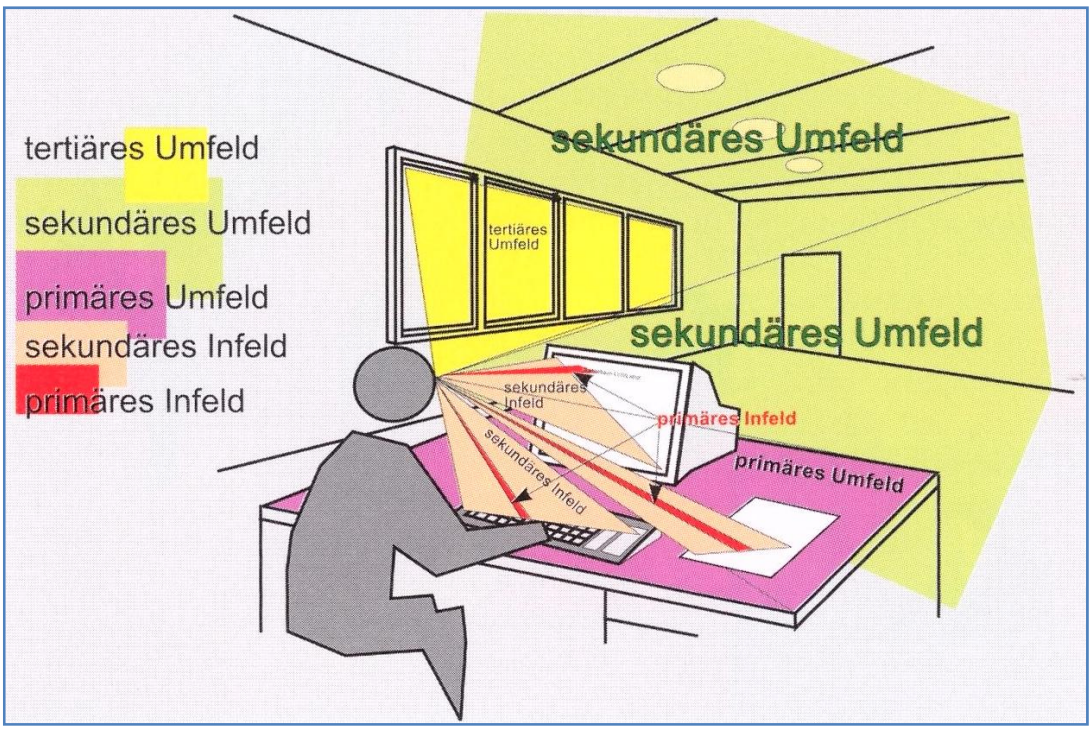


Abb. 10: Infeld-Umfeld-Komponenten eines gängigen Bildschirm-Arbeitsplatzes (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 171)

2.5.1. Beleuchtungssysteme

Wie in den Begriffsbestimmungen beschrieben, setzt sich das Beleuchtungssystem aus allen Komponenten der Lichtanlage zusammen.

Um Beleuchtungssysteme klassifizieren zu können, ist es zweckmäßig sich anhand der Funktion der Beleuchtung zu orientieren. In der Folge kann grundsätzlich in 2 Gruppen unterschieden werden

- flächenbezogene bzw. -orientierte Beleuchtung und
- objektbezogene bzw. -orientierte Beleuchtung.

Die ***flächenorientierte Beleuchtung*** ist zwar an der Hauptsehaufgabe orientiert, erlaubt es jedoch auch alle anderen im Sehfeld stattfindenden Aufgaben zu erledigen. Dabei ist es nebensächlich ob die gesamte Fläche eines Raumes oder nur Teilbereiche davon beleuchtet werden. Zur genaueren Einteilung wird die flächenbezogene Beleuchtung jedoch nochmals untergliedert in:

- Raumbezogene Beleuchtung – dabei wird im gesamten Raum oder in Raumzonen eine gleichmäßige Beleuchtung realisiert, die überall die annähernd gleichen Sehbedingungen schafft.

- Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung – dabei werden der Arbeitsbereich und der Umgebungsbereich gesondert beleuchtet.
- Teilflächenbezogene Beleuchtung – dabei wird auch der Arbeitsbereich und das Umfeld gesondert beleuchtet, jedoch die Beleuchtung im Arbeitsbereich nochmals auf die einzelnen Arbeitsbereiche abgestimmt.[17]

> *"Wird die gesamte Raumfläche beleuchtet, so spricht man von einer Allgemeinbeleuchtung des Raumes, die allgemeine Beleuchtung einer Raumzone wird als arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung und die allgemeine Beleuchtung des Einzelplatzes als kombinierte Beleuchtung (Zweikomponentenbeleuchtung, örtliche Beleuchtung) bezeichnet, da sich dieses System aus der Einzelleuchte und den Leuchten zur übrigen Raumaufhellung zusammensetzt."* (Baer, Eckert, Gall, & Schnor, 1996, S. 327)

Dementsprechend ist je nach eingesetzter Variante bei der Planung und Auslegung des Beleuchtungssystems, auf die Anforderungen in den unterschiedlichen Raumzonen Rücksicht zu nehmen. Am Beispiel der Bürobeleuchtung bedeutet das: Die geforderten Beleuchtungsstärken müssen bei allen (möglichen) im Raum angeordneten Arbeitsplätzen eingehalten werden.
Kommt in dem Objekt angenommen eine reine raumorientierte Allgemeinbeleuchtung zum Einsatz, sind auch Bereiche in denen kein Arbeitsplatz situiert ist stärker ausgeleuchtet als gefordert (z.B. Randzonen). Belegungs- und Ausstattungsänderungen können jederzeit vorgenommen werden, da mit dieser Art von Beleuchtung größtmögliche Flexibilität für das Einrichten gegeben ist.

Bei der ***objektorientierten Beleuchtung*** liegt das Hauptaugenmerk auf dem besonders guten Erkennen von Details. Ein Beispiel wäre die Qualitätskontrolle bei der Glasherstellung. Sehaufgaben die sich im Umfeld der eigentlichen Tätigkeit abspielen bleiben bei der Planung und Auslegung der Beleuchtung komplett unberücksichtigt.

[17] vgl. (Deutsches-Institut-für-Normung-e.V., 2004, S. 23f)

Da diese Beleuchtungsfunktion somit nicht zur Büroarbeitsplatzbeleuchtung geeignet ist, wird in der weiteren Folge dieser Arbeit nicht näher darauf eingegangen.

2.5.2. Beleuchtungsarten (direkt, indirekt)

Unterschiedliche Beleuchtungsarten schaffen unterschiedliche Wahrnehmungen. In der Beleuchtungstechnik wird daher auch nach der Strahlungsrichtung des Lichtes differenziert.
Wird ausschließlich mit ***direktem Licht*** beleuchtet entstehen harte Schatten, Objekte und deren Details werden dadurch schlechter erkennbar, Konturen dagegen zeichnen sich verstärkt ab.

Die reine ***Indirektbeleuchtung*** dagegen erzeugt eine schattenarme Lichtatmosphäre die häufig monoton wirkt. Ausschließlich indirekte, diffuse Beleuchtung lässt die Konturen zu Lasten gut erkennbarer Formen verschwimmen.

Die Kombination aus beiden Beleuchtungsarten wird als ***direkt/indirekt Beleuchtung*** bezeichnet und bewirkt eine ausgewogene Schattigkeit. Dadurch sind Form und Oberflächenstrukturen der Architektur, der Menschen und der Gegenstände klar und deutlich erkennbar. Die Mischung aus direktem und indirektem Licht lässt Formen gut erkennen und schafft ein lebendiges Gesamtbild. Angenehm beleuchtete Wände und Arbeitsflächen vermitteln einen offenen, freundlichen und interessanten Raumeindruck.
Eine Form der direkt/indirekt Beleuchtung ist die zwei Komponenten (2K) Beleuchtung, dabei wird die Indirektbeleuchtung mittels Stand- oder abgehängten Leuchten, mit direktstrahlenden Arbeitsplatzleuchten kombiniert.

2.5.3. Automatisierte Bürobeleuchtung

Im Sinne einer Gesamtbetrachtung im Zusammenhang mit Kunstlichtsystemen ist auch das Tageslicht zu berücksichtigen. Fenster sind ein untrennbarer Bestandteil eines „ständigen Aufenthaltsraumes“, das hier eintretende Tageslicht ist – auch bezogen auf die gewohnten Arbeitszeiten – ein wesentlicher Faktor in der gesamten Raumbelichtung. *"Damit kommt der künstlichen Beleuchtung die Funktion zu, das Tageslicht zu ergänzen oder es zu ersetzen."* (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 210) In

der Praxis bedeutet das, dass die Beleuchtungsstärke zur Ergänzungsbeleuchtung geringer gehalten werden kann, als wenn der Raum ausschließlich mit Kunstlicht ausgeleuchtet wird.
In weiterer Folge, ist der Einsatz von Kunstlicht generell nur dann notwendig, wenn der Raum auch tatsächlich genutzt wird. Wenn sich also keine Person im Raum aufhält besteht auch nicht die Erfordernis, das Beleuchtungsniveau auf der für die Sehaufgabe notwendigen Beleuchtungsstärke zu halten. In beiden Fällen entsteht so der positive Effekt der Reduzierung des Energieverbrauchs.

Aus energetischer Sicht ist es also sinnvoll, die Steuerung und Regelung des Beleuchtungssystems in Abhängigkeit von Tageslichtsituation und Raumbenutzung auszuführen.
Die "manuelle" Reduzierung des Stromverbrauchs mittels Bedienung von Lichtschaltern ist theoretisch jederzeit in jedem bereits vorhandenen System möglich, die praktische Umsetzung ist erfahrungsgemäß jedoch schwierig.
Dem Nutzer fehlt häufig das Bewusstsein, durch solche Maßnahmen aktiv zum Energiesparen beitragen zu können. Das Abdrehen der Beleuchtung beim Verlassen des Raumes bzw. die Nutzung der Möglichkeit die Lichtkreise getrennt zu schalten – z.B. in Fensternähe in Abhängigkeit vom Tageslicht, scheitert vermutlich nicht zuletzt an der mangelnden Information über die Auswirkungen. Der Aufwand steht hier wohl in keinem Verhältnis zum Nutzen – so es für den einzelnen Nutzer überhaupt einen erkennbaren Nutzen gibt.

Um die Energieeinsparung aus den zuvor beschriebenen Maßnahmen zu realisieren, ist also der Einsatz von automatisierten Systemen empfehlenswert. Bei diesen Systemen wird mit speziell dafür eingesetzten Baugruppen das Licht automatisch in Abhängigkeit des Tageslichts gedimmt bzw. in Abhängigkeit der Raumbenutzung mittels Helligkeitssensoren bzw. Präsenzmeldern ein- und ausgeschalten.
Kurz gesagt, Licht lediglich in der ausreichenden Menge und nur dann wenn es wirklich gebraucht wird.
Das Einsparpotential wird von Herstellern, Betreibern und Nutzern mit 35 – 60% angegeben, hängt jedoch sehr stark von der individuellen Ausgangssituation im jeweiligen Objekt ab. An dieser Stelle muss jedoch auch erwähnt werden, dass die

automatisierte Schaltung von Beleuchtungsanlagen, bei falscher Abstimmung des Systems, zu Lasten der Lebensdauer der Leuchtmittel gehen kann.
Im praktischen Teil dieser Arbeit wird nach Möglichkeit eine automatisierte Mustervariante der Bürobeleuchtung untersucht um so die realen Einsparpotentiale darstellen zu können.

2.6. Wichtige (Planungs-)Größen bei der Bürobeleuchtung

- **Wartungswert der Beleuchtungsstärke –** wird ausgehend vom Planungswert der Beleuchtungsstärke unter Einbeziehung des Wartungsfaktors ermittelt.

  Der Wartungswert gibt die Beleuchtungsstärke an, die im Betrieb der Beleuchtungsanlage nicht unterschritten werden darf. Der Wartungsplan legt die Reinigungsintervalle von Leuchten und Raum sowie den Lampenwechsel fest. Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke hängt damit von Leuchten, Leuchtmittel und den Raumbedingungen ab.

- **Wartungsfaktor der Beleuchtungsanlage –** um die erforderliche Beleuchtungsstärke im Betrieb auf jeden Fall gewährleisten zu können, muss bei der Planung die Lichtstromabnahme der Beleuchtungsanlage über die Lebensdauer, sowie die Beeinflussung der Lichtverteilung durch die Raumbedingungen berücksichtigt werden.

  Der Wartungsfaktor einer Beleuchtungsanlage setzt sich somit aus dem Lampenlichtstromwartungsfaktor dem Leuchtenwartungsfaktor und dem Raumwartungsfaktor (Raumbedingungen) zusammen. Dabei ist sowohl die Lichtstromabnahme der Lichtquelle durch Alterung, die Lichtstromabnahme der Leuchte durch Verschmutzung, aber auch die Abnahme der Lichtreflektionen von den Oberflächen des Raumes (Wände, Decken, Möbel, Boden) durch Alterung zu berücksichtigen.

  Der Wartungsfaktor kann mittels des Wartungsplans, durch Manipulation der Intervalle und Tätigkeiten beeinflusst werden.

- **Blendung** – kann in Form von Direktblendung oder Reflexion auftreten und eine Verminderung der Sehleistung bzw. ein unangenehmes Empfinden

hervorrufen. Deshalb ist es wichtig Lichtquellen durch geeignete Maßnahmen abzuschirmen – bei Leuchten z.B. durch Raster-Einsätze (Entblendungseinrichtung) – oder abzudunkeln – bei Fensterflächen z.B. durch Beschattungseinrichtungen. Die ausschlaggebenden Größen zur Beurteilung der Blendung durch eine Lichtquelle sind dabei die Leuchtdichte in Kombination mit den Ausstrahlwinkeln und der Neigung der reflektierenden Fläche.

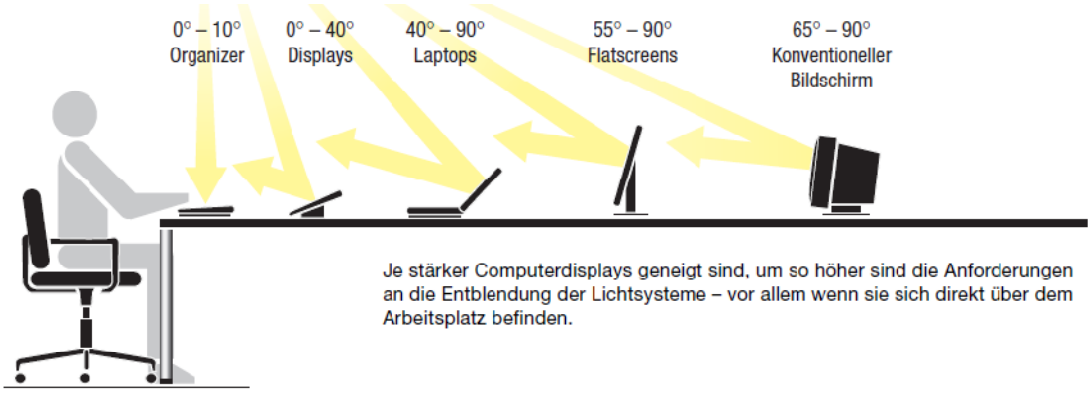


Abb. 11: Beispiele für Blendung bei unterschiedlich geneigten Displays (www.zumtobel.com, 2006)

Im Zusammenhang mit der Blendung ist der **UGR-Wert** (Unified Glare Rating) zu nennen. Mit Einführung der ÖNORM EN 12464 wurde das UGR-Verfahren zur Beurteilung der Blendung eingeführt. Der Unterschied zum bis dahin angewandten Verfahren liegt darin, dass nun nicht mehr nur die Blendung durch die Leuchtdichte einer Leuchte beurteilt wird, sondern die Blendung der gesamten Beleuchtungsanlage für eine definierte Beobachterposition berechnet wird.

Für die unterschiedlichen Beleuchtungssituationen gelten UGR-Grenzwerte die nicht überschritten werden dürfen. Der UGR-Wert wird entweder rechnerisch mit Hilfe einer Formel oder unter Verwendung der publizierten Tabellen ermittelt.

3. Adaptierung der Arbeitsplatzbeleuchtung im Gebäude der Wirtschaftskammer Österreich

3.1. Objektbeschreibung / Ist-Stand

Die von der Wirtschaftskammer Österreich genutzte Liegenschaft an der Wiedner Hauptstrasse 63 kann als klassisches Verwaltungsgebäude bezeichnet werden. Den Hauptbestandteil der Gesamtfläche bilden neben den obligatorischen Nebenflächen wie Gängen, Sanitäranlagen, Stiegen, Teeküchen und Lagerflächen die Büroräumlichkeiten. Untypisch sind jedoch die anteilsmäßig relativ großen Flächen für den Veranstaltungsbereich. Zusätzlich ist auf dem Gelände auch eine Garage mit 3 Ebenen vorhanden.

Das Gebäude ist von außen gesehen in drei wahrnehmbare Bereiche strukturiert – das Bürohochhaus, einen weiteren flacheren Bürotrakt und die Funktions- bzw. Nebengebäude.

Der flache Bürotrakt sowie das Bürohochhaus sind in bewährter Riegelbauweise errichtet und dreihüftig angelegt, wobei sich in der Innenzone die Nebenräume und Versorgungsschächte befinden. Die Büros an den Außenfronten der Gebäude sind überwiegend nordost- und südwestseitig ausgerichtet – die Gebäudetiefe beträgt im Schnitt 21m.

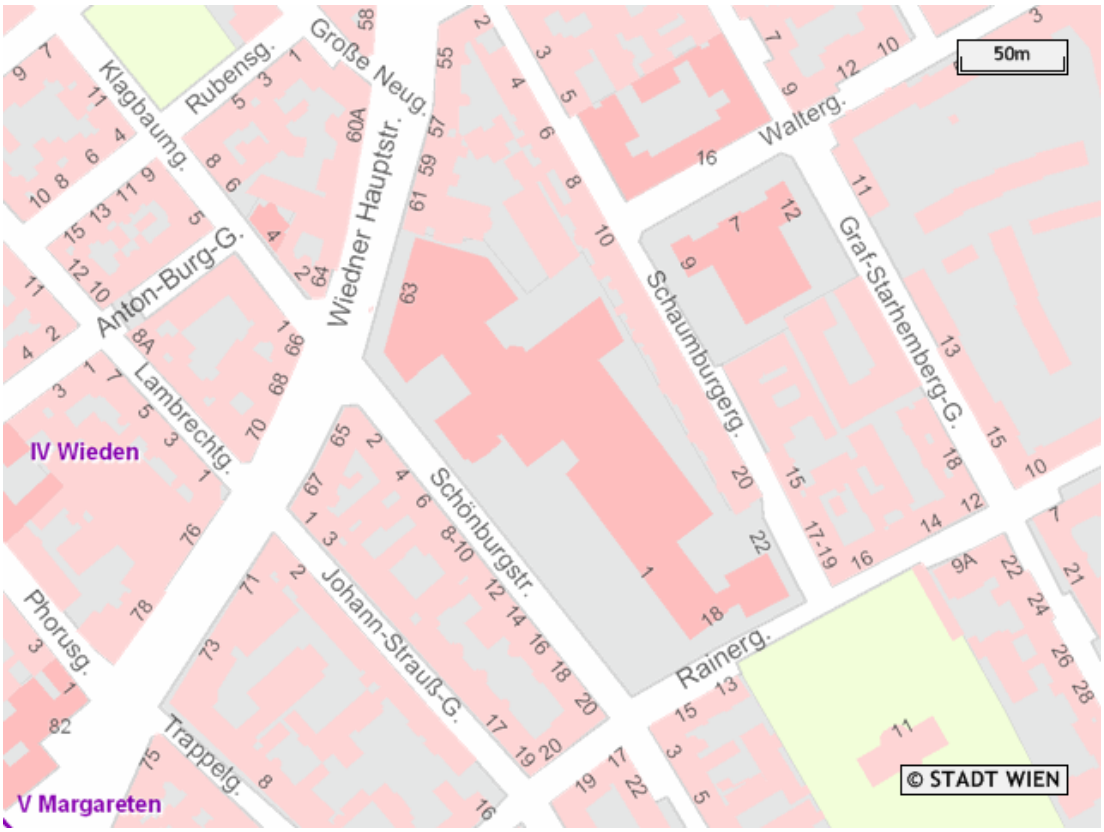


Abb. 12: Lageplan WH63, (Quelle: virtueller Stadtplan auf www.wien.gv.at)

3.1.1. Bautechnik der Büros

Charakteristisch für diese sogenannte Zellenbüro-Form, ist die Aneinanderreihung von ***Einzel- und Mehrpersonenbüros*** entlang der Fassade, die über einen gemeinsamen Flur erschlossen werden. Zum überwiegenden Teil sind die Räume als 2-achsige[18] Büros konfiguriert, seltener aber dennoch mehrfach pro Geschoß gibt es 3-achsige Räume. Die seltene Ausnahme bilden nicht zuletzt vereinzelt bestehende Sonderlösungen mit 1-, 4- oder mehr Achsen.

Die Räume verfügen zum Großteil über eine Zugangsmöglichkeit vom Gang aus und Verbindungstüren zwischen den Räumen. An der Gangfront sind generell Kästen als Ablagemöglichkeit eingebaut. Die Raumteilung erfolgt ebenfalls mittels dieser so genannten Systemtrennwände bzw. im Zuge jüngerer Umbauten durch Leichtbauwände. Die Fassade wird als Lochfensterfassade bezeichnet, wobei jeder Raumachse ein einflügeliges Fenster zugeordnet ist. Die Fenster sind - mit Ausnahme der Brandschutzfenster - öffenbar ausgeführt.

[18] Die Achsangaben beziehen sich auf die Anzahl der dem Raum zugehörigen Außenfenster.

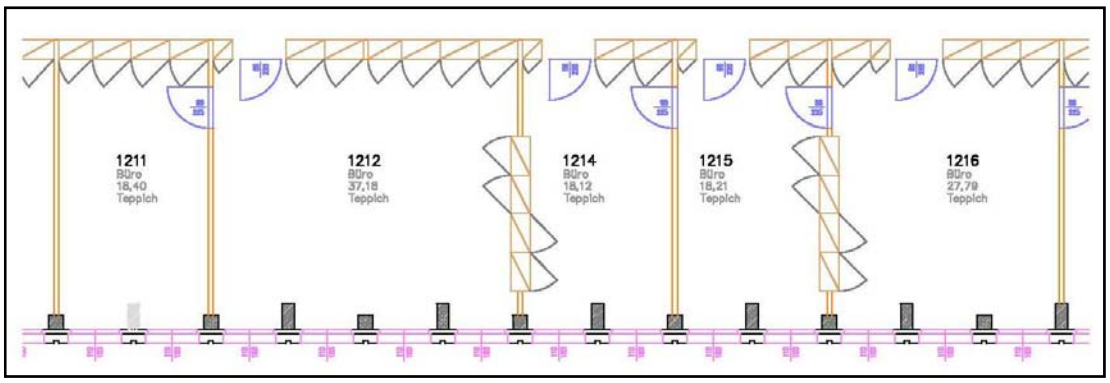


Abb. 13: Grundrissbeispiele Büroraum WKÖ (eigene Darstellung, 2010)

Die bauliche Ausstattung besteht aus Mineralfaserdecken – die seit der Errichtung 1984 bestehen, Teppichböden die 2001 komplett erneuert wurden und – im Zuge des Modernisierungsprojekts 2008/2009 - mit weißer Dispersion ausgemalten Wänden.
Als Blendschutz werden manuell bedienbare innenliegende Screens verwendet.

3.1.2. Technischer Ausbau der Büros

Die Anbindung der Arbeitsplätze (Strom, EDV, Telefon) erfolgt über Fensterbankkanäle, die Verkabelung ist in der Zwischendecke verlegt.
Die Be- und Entlüftung wird im gesamten Gebäude mit Teilklimaanlagen bewerkstelligt. Jedes Büro ist zur Raumkonditionierung zusätzlich mit Radiatoren an den Parapets und statischen Kühlsegeln, die unterhalb der Zwischendecke abgehängt sind, ausgestattet.
Weiters gibt es im Haus eine automatische Brandmeldeanlage mit Vollschutz.

Die ***Beleuchtungsanlage*** ist als arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung ausgeführt. Der Bereich der zentralen Sehaufgabe (=Arbeitsbereich) ist für alle möglichen Arbeitsplatzsituierungen im Raum definiert und nicht auf individuelle Einzelplätze bezogen. Die Anlage entspricht den bisherigen Anforderungen für flexible Arbeitsplatzgestaltung und bietet den Vorteil, dass keine genauen Angaben über die Aufstellung der Möbel benötigt werden.
Die Beleuchtung wird dabei in der direkten Form, mittels Deckeneinbauleuchten realisiert.

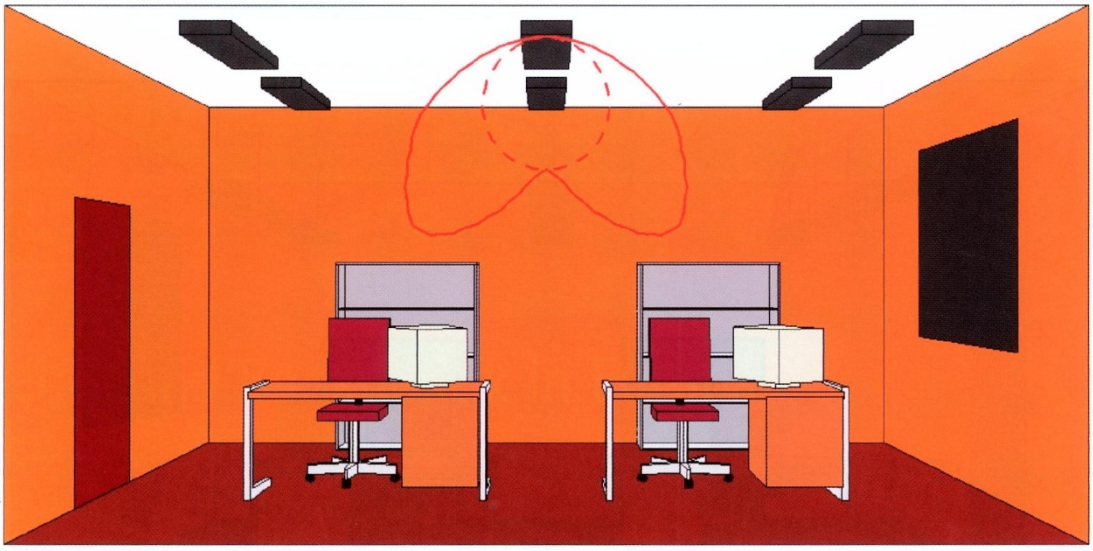


Abb. 14: Direkte Allgemeinbeleuchtung (Lange, 2002, S. S. 1 aus II - 1.1.5)

"Da in Büroräumen aller Größen die Arbeitsplätze durchweg nach der Tageslichtrichtung orientiert werden, – [was im gegenständlichen Fall auch der Raumkonfiguration entgegen kommt][19] – *lässt man auch das künstliche Licht aus Leuchten in Fensternähe in ähnlicher Richtung wie das Tageslicht einfallen."* (Laasch & Laasch, 2009, S. 469)

Durch die Raumtiefe von > 5m ist im Abstand von ca. 2/3 der Raumtiefe eine zweite Leuchtenreihe angeordnet.[20]

Die Leuchten sind parallel zur Fensterfront ausgerichtet, die Reihen können getrennt, entsprechend dem Tageslichteinfall geschaltet werden. Pro Fensterachse und Reihe ist eine Leuchte eingebaut.

Als Leuchten kommen Einbauleuchten mit Spiegel-Raster-Technik zum Einsatz, bestückt sind sie jeweils mit einer T8-Leuchtstoffröhre mit 36W.

Die vom Fenster weiter entfernte zweite Leuchtenreihe erfüllt eine weitere Funktion – das Leuchtengehäuse ist an die Entlüftungsanlage angeschlossen. *"Klimaleuchten ermöglichen die Abluftabführung klimatisierter Räume über das Leuchtengehäuse."* (Wellpott & Bohne, 2006, S. 507)

[19] Anmerkung des Autors

[20] vgl. (Laasch & Laasch, 2009, S. 469)

Abb. 15: Standardbüro 2-Fensterachsen (eigene Aufnahme, 2010)

Abb. 16: Standardbüro, möbliert 1 AP (eigene Aufnahme, 2010)

Stichprobenartige Beleuchtungsstärkemessungen in der jüngeren Vergangenheit haben immer wieder grenzwertige Ergebnisse hinsichtlich der aktuell geforderten Nennbeleuchtungsstärke von 500 lx gezeigt. Das liegt zum Einen daran, dass die bestehende Leuchtentechnik durch die bereits 25-jährige Nutzungsdauer gewissen Alterungserscheinungen unterliegt – wie. z.B. Abnutzung und Verschmutzung der Spiegel bzw. Raster – und zum Anderen am zum Errichtungszeitpunkt 1984 festgelegten Bereich der durchschnittlichen Beleuchtungsstärke von 300 bis 500 lx (leichte bis normale Sehaufgabe), der aus den damals vorherrschenden Sehaufgaben resultierte.

3.2. Aufgabenstellung

Die Adaptierung der Beleuchtungsanlage soll die zukünftige Flexibilität der Gestaltung des Arbeitsplatzes, bezogen auf die Einrichtung aber auch auf die Organisationsentwicklung, nicht negativ beeinflussen. Der Bereich, in dem die Sehaufgabe erledigt werden kann, soll den gesamten theoretisch nutzbaren Arbeitsbereich umfassen.

Obligat ist die Einhaltung aller geltenden Vorschriften und Richtlinien.

Eine große Herausforderung stellt ohne Zweifel die Aufgabe dar, angrenzende Gewerke weitgehend im Bestand zu belassen und nicht an die Substanz zu gehen.
Müsste das komplette Beleuchtungssystem erneuert werden, hätte das umfassende Auswirkungen auf alle Gewerke und in der Folge auch für die Gesamtkosten, was sich negativ auf die kurz- bzw. mittelfristige Umsetzung des Projekts auswirken würde.
Speziell die Mineralfaserdecke wurde im Zuge diverser Arbeiten bereits mehrfach geöffnet und wieder verschlossen und ist in einem dementsprechend strapazierten Gesamtzustand. Sind die Zwischendecken von den geplanten Baumaßnahmen mit betroffen, ergibt sich in der Folge Adaptierungsbedarf an den angrenzenden Gewerken von Brandmelde- und Lüftungsanlage. Weiters können die Verkabelung in der Zwischendecke (Datenkabelnetz) und der bauliche Brandschutz betroffen sein.
Ziel ist es die beste Alternative zur kompletten Erneuerung der Beleuchtungsanlage inklusive der erforderlichen Folgearbeiten an den betroffenen Gewerken zu finden.

Um eine entsprechende Entscheidungsgrundlage zu bekommen werden verschiedene, im Vorfeld mit Fachleuten besprochene, Varianten untersucht. Der praktische Aufbau jeder Variante in jeweils einem Musterraum, soll dabei helfen die Machbarkeit zu beurteilen.
Außerdem soll durch die Gelegenheit der Bemusterung beim Nutzer bereits im Vorfeld eine gewisse Akzeptanz für die dann zur Ausführung kommende Version erreicht werden.
Den Wünschen aus der Nutzeranforderung nach einer modernen Bürobeleuchtungsanlage wird nach Maßgabe der Umsetzbarkeit nachgekommen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Qualität der Beleuchtung angehoben, aber im Hinblick auf die Nachhaltigkeit, der Energiebedarf für die Bürobeleuchtung reduziert werden soll.

3.2.1. Nutzeranforderung

Die Anforderungen des Nutzers an die Bürobeleuchtungsanlage, wurden in gemeinsamen Sitzungen mit dem genannten Partner der WKÖ definiert. Ansprechstelle war in diesem Fall die Organisationseinheit ReOrg/Logistik und Koordination, als zentrale Nutzervertretung.
Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Beleuchtung wurden dabei erläutert und Vor- bzw. Nachteile herausgearbeitet.

Als eine der zentralen Forderungen stellte sich dabei die Rücksichtnahme auf die Mitarbeiter und den Betriebsablauf heraus. Der Bürobetrieb darf zu keiner Zeit beeinträchtigt sein. Daraus ergibt sich, dass die Arbeiten nicht während der Büroöffnungszeiten durchgeführt werden können und eine Arbeitsplatzbeleuchtung während der Anwesenheitszeiten verfügbar sein muss.
Zweite Priorität besitzen wirtschaftliche Belange. Die Amortisationszeit soll weniger als 10 Jahre betragen und der Energieverbrauch durch den Einsatz moderner Lichttechnologie zumindest 20% unter dem aktuellen Niveau liegen.
Die ästhetischen Belange, sowohl im Hinblick auf das Aussehen der Leuchten als auch in Bezug auf das Raummilieu, haben hier die geringste Priorität.

Diese Punkte sind somit weitgehend kongruent mit dem Betreiber- und Eigentümerinteresse, die Auswirkungen auf die bestehenden Gewerke und in der Folge die Gesamtkosten niedrig zu halten.

Im Bezug auf das Beleuchtungskonzept soll die Beleuchtung weiterhin raumbezogen erfolgen, um wieder die volle Flexibilität bei der Arbeitsplatzgestaltung zu erreichen. Die zusätzliche Verwendung von Schreibtischlampen und zusätzlichen Teilflächenbeleuchtungen soll zukünftig nicht mehr erfolgen.
Die Verwendung von Bürostandleuchten scheidet aus Nutzersicht ebenfalls aus, da bereits in der Vergangenheit mit dieser Technologie adaptierte Büroräumlichkeiten, im laufenden Betrieb nicht überzeugen konnten.
Die Automation der Beleuchtungsanlage mittels Präsenz- und Helligkeitssensor wird vom Nutzer nicht grundsätzlich abgelehnt, jedoch ist in diesem Fall ein Einspareffekt von zumindest 75% ausgehend vom derzeitigen Energieverbrauch nachzuweisen.

Zusammengefasst soll nach den Anforderungen des Nutzers mit dem Projekt "Bürobeleuchtung NEU" in der WKÖ eine Beleuchtungsanlage realisiert werden die

- raumbezogen ist
- durch die Umbauarbeiten die Mitarbeiter nicht beeinträchtigt
- eine Amortisationszeit < 10 Jahre aufweist
- eine Energieeinsparung von 20% - durch moderne Lichttechnik - bzw. 75% - durch zusätzliche Systemautomation - verwirklicht
- und den Vorschriften und Richtlinien entspricht.

3.3. Forschungsdesign

Die Ableitung der Erkenntnisse und Beantwortung der Forschungsfragen erfolgt unter Verwendung und Interpretation empirisch ermittelter Daten. Der experimentelle Aufbau hilft dabei Zusammenhänge und Auswirkungen erkennen und beschreiben zu können.

3.3.1. Versuchsaufbau

Um untereinander vergleich- und bewertbare Daten der verschiedenen Beleuchtungsmöglichkeiten zu erhalten, wird jede Beleuchtungsvariante praktisch umgesetzt. Die ermittelten Daten und Aufwände aus dem experimentellen Aufbau bilden die Grundlage für die Hochrechnung des Gesamtaufwands.

Die als Musterzimmer gewählten Räume weisen jeweils die gleiche Raumkonfiguration auf – es sind 2-achsige Standardbüros. Die Raummaße betragen im Schnitt 3,30 m x 5,70 m und somit ergibt sich daraus eine durchschnittliche Raumfläche von rund 18,80 m² - die mittlere Raumhöhe beträgt 2,70 m. Die Büros sind mit einem jadefarbigen Teppich, weiß gemalten Wänden und einer weiß-gesprenkelten Mineralfaserdecke ausgestattet.

Möbliert sind die Räume mit Standardbürotischen mit einer Arbeitshöhe von 0,75 m, in Kombination mit klassischen Bürodrehsesseln.

Je Raumachse sind 2 Leuchten, eine im Abstand von rund 1,10 m und die zweite, hintere Leuchtenreihe in ca. 2/3 der Raumtiefe, parallel zur Fensterfront angeordnet. Die Leuchten sind in einer Höhe von rund 2,70 m in der Decke eingebaut.

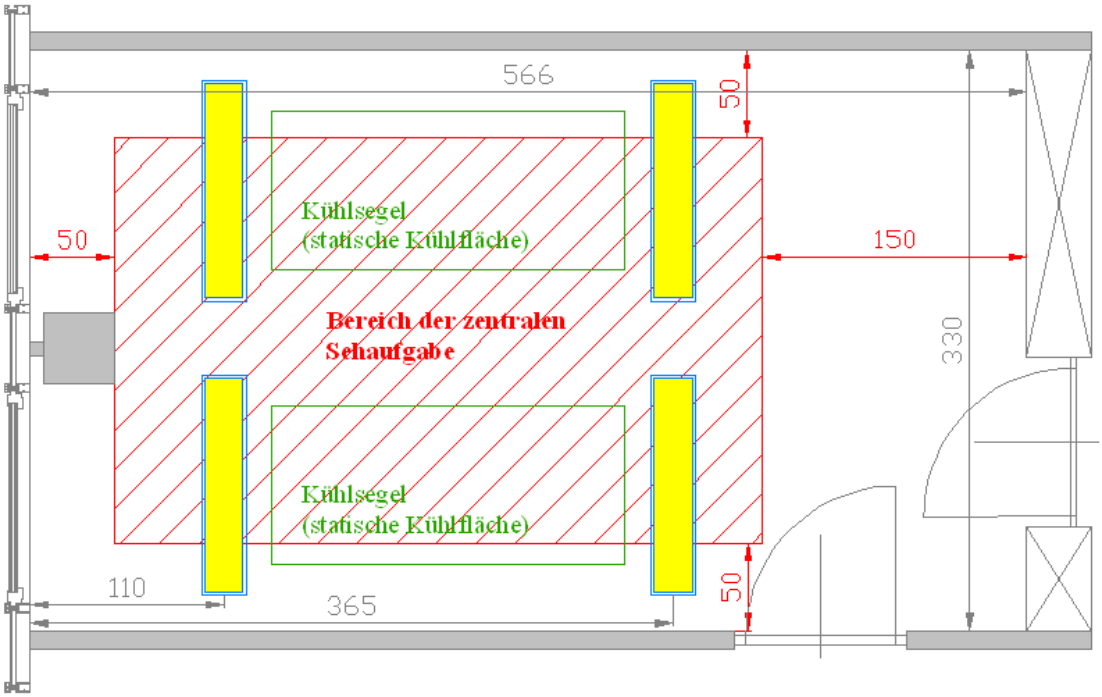


Abb. 17: Grundriß eines Musterraumes (eigene Darstellung, 2010)

Der Bereich der zentralen Sehaufgabe wurde nach Maßgabe der geltenden Vorschriften und in Abhängigkeit von Erfahrungswerten festgelegt und ist im Grundrissplan farblich gekennzeichnet dargestellt. Da die genaue Lage der Arbeitsplätze variiert, sind die möglichen Bereiche der Sehaufgabe innerhalb dieses abgegrenzten Arbeitsbereiches zusammengefasst.[21]

3.3.2. Messungen an Beleuchtungsanlagen

Folgende Größen werden im Zuge der Messungen am Beleuchtungssystem ermittelt:

- Energieverbrauch
- Beleuchtungsstärke

Um bei der Messung des Energieverbrauchs eine gleich lange Einschaltdauer aller Varianten gewährleisten zu können, werden die Räume für die Dauer des Experiments mit einer zentralen Zeitschaltuhr ausgestattet – der manuelle Eingriff über die Schalter ist somit nicht möglich. Um bei der Beleuchtungsvariante mit der

[21] vgl. (Pech & Klaus, 2007, S. 128f)

automatisierten Lichtsteuerung das Einsparungspotential beurteilen zu können, ist diesem Fall die Schalt- und Regelfunktion während des Einschaltzeitfensters aktiv.

Bei der Messung der Beleuchtungsstärke sollte darauf geachtet werden, daß unter den Bedingungen gemessen wird, unter denen die Anlage auch betrieben wird. (Baer, Eckert, Gall, & Schnor, 1996, S. 188)
Die Messungen werden während der normalen Büroarbeitszeiten durchgeführt. Um den schlechtesten Fall der realen Betriebsbedingungen zu simulieren, wird während des gesamten Messvorganges der Sonnenschutz komplett abgesenkt und mehrmals verteilt über den Tag gemessen.
Dabei werden auch die jeweils vorherrschenden Wetterkonditionen im Freien protokolliert.

Damit es nicht zur Verfälschung von Messdaten kommt, werden vor Beginn der Messungen auch die empfohlenen Mindestbrenndauern bei neuen Leuchten bzw. die Mindesteinschaltzeiten (Einbrenndauer) eingehalten.[22]

Für die Messungen der Beleuchtungsstärke wurde folgendes Messgerät verwendet:

- Testo 435-2; Art.No.: 0560 4352; Ser.Nr.: 01581966/809 in Verbindung mit
- Lux-/Hz-Sonde; Art.Nr.: 0635 0545; Ser.Nr.: 20165966/806; Messbereich 0 - 100.000 lx

[22] vgl. (Baer, Eckert, Gall, & Schnor, 1996, S. 189)

Die Teilung des Messrasters ist dem nachstehenden Plan zu entnehmen.

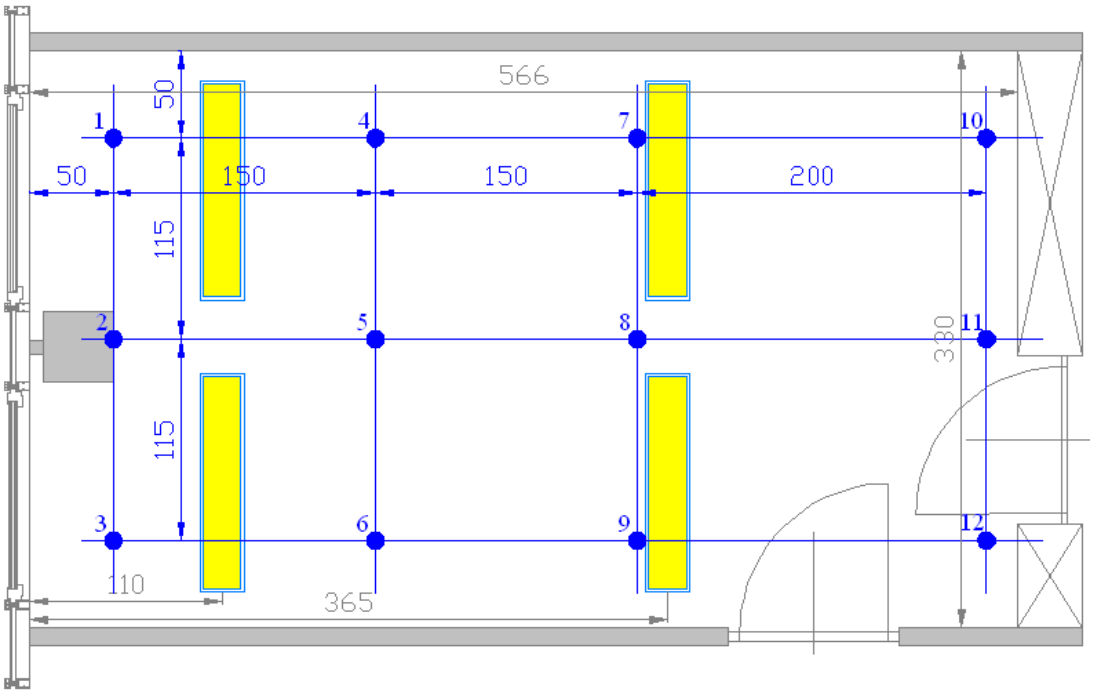


Abb. 18: Musterraum mit Messraster und Messpunkten (eigene Darstellung, 2010)

3.3.3. Kosten von Beleuchtungsanlagen

Wie schon im Kapitel 1.4.2 angeführt sind bei der Ermittlung der Kosten von Beleuchtungsanlagen unterschiedliche Kostenkategorien zu berücksichtigen. Sie *"(...) setzen sich aus den Kapitalkosten (Anschaffung und Montage) und den jährlich anfallenden Betriebskosten (Stromkosten. Lampen, Wartung) zusammen."* (Wellpott & Bohne, 2006, S. 203)

Zur Berechnung der Jahresaufwände in der Folge dieser Arbeit, dient die in der einschlägigen Literatur vorzugsweise angewandte Formel.

$$K = n_1 \times \left[\frac{\frac{k_1}{100} \times K_1 + \frac{k_2}{100} \times K_2}{n_2} + t_B \times a \times P + t_B \times \frac{K_3}{t_L} + \left(t_B \times \frac{K_4}{t_L} + \frac{R}{n_2} \right) \right]$$

In der Formel bedeuten:

K = Jährliche Gesamtkosten

K_1 = Kosten einer Leuchte

k_1 = Kapitaldienst für K1 (Verzinsung und Abschreibung) in %

K_2 = Kosten für Installationsmaterial und Montage je Leuchte

k_2 = Kapitaldienst für K2 (Verzinsung und Abschreibung) in %

R = Reinigungskosten je Leuchte und Jahr

n_1 = Anzahl aller Lampen

n_2 = Anzahl der Lampen je Leuchte

K_3 = Kosten (Preis) einer Lampe

K_4 = Kosten für das Auswechseln einer Lampe

P = Leistungsaufnahme einer Lampe einschließlich Vorschaltgerät in kW

a = Kosten der elektrischen Energie je kWh inklusive der anteiligen Bereitstellungskosten (Grundpreis)

t_L = Nutzlebensdauer der Lampe in h

t_B = Jährliche Benutzungsdauer in h

Eine wirtschaftliche Bewertung der errechneten Kosten setzt jedoch voraus, dass die verglichenen Beleuchtungssysteme die Güteanforderungen an die Beleuchtung gleichermaßen erfüllen.

3.4. Beschreibung der Mustervarianten

Bereits im Vorfeld bei der Recherche für die praktischen Versuchsaufbauten, kristallisierten sich realisierbare und nicht realisierbare Umsetzungsvarianten heraus. So wurde schnell klar, dass sich Leuchten mit moderner und umfassender Lichtlenkung, wie z.B. die Leuchten mit Sekundärreflektortechnik, wegen ihrer Abmessungen nicht für das gegenständliche Projekt eignen. Die grundsätzliche Orientierung am Sektor der Langfeldleuchten, im Rahmen der bestehenden Abmessungen der Leuchten, stellte sich immer klarer als der richtige Weg heraus.
Als zweites wesentliches Kriterium neben den Abmessungen der Leuchte, können die Kosten angeführt werden. Liegen die Betriebskosten für eine umzusetzende Variante nicht deutlich unter dem aktuellen Niveau, wird die Zielsetzung nicht

erreicht. Sind hingegen die Investitionskosten zu hoch, bringt selbst die höchste jährliche Einsparung, im Hinblick auf die Amortisationszeit, nicht das gewünschte Resultat.

Relativ bald wurde auch klar, dass die Adaptierung der bestehenden Leuchten mit neuen Lichtquellen auch keine zufriedenstellenden Ergebnisse bringt. Hier ergaben sich die größten Probleme in den Bereichen der Entblendung und der Lichtverteilung. Durch die eingesetzten asymmetrischen Raster erreicht man zwar im Bereich der zentralen Sehaufgabe eine bessere Ausleuchtung, das Umfeld und im Speziellen der Bereich des Büroeingangs wird dadurch jedoch noch negativer beeinträchtigt.[23]

Die geplante Variante mit Stehleuchten wurde einerseits auf Grund der Nutzerentscheidung ausgeschieden, andererseits wurde im Zuge der Lichtberechnungen die Erkenntnis gewonnen, dass auf Grund der Raumkonfiguration und der Lage des Arbeitsbereichs, die Aufteilung der Stehleuchten nicht effektiv möglich und somit eine ressourcenoptimierte Umsetzung nicht realisierbar ist.

Leider mussten mit dem Ausscheiden der Stehleuchtenvariante auch die Bestrebungen zur Umsetzung einer Mustervariante mit automatischer Lichtregelung aufgegeben werden. Das angedachte Stehleuchten-Produkt wäre mit integriertem Lichtregelsystem ausgestattet gewesen. Ansonsten konnte kurzfristig kein anderes geeignetes Lichtsystem mit modularem Helligkeits- und Präsenzsensor beschafft werden.
Die getrennte Installation aller Komponenten zur Umsetzung eines automatischen Beleuchtungssystems stellte sich in der ersten Kostenerhebungsphase bereits als unwirtschaftlich dar. Bei Bestandsanlagen ist der Installationsaufwand für die Adaptierung unverhältnismäßig hoch gegenüber der Erstinstallation bei Neuanlagen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Realisierung von automatisierten Lichtanlagen durch Nachrüstung beim Bestand, nicht sinnvoll ist.

[23] An den Lichtmessprotokollen (Tabellen) der Varianten mit bestehenden Leuchten, ist der Abfall der Beleuchtungsstärke im hinteren Teil des Büros klar ersichtlich.

3.4.1. Grundanforderungen an die Bürobeleuchtungsanlage der WKÖ

Abgeleitet von den Normen und Vorschriften ergeben sich folgende Anforderungen an die Büro-Beleuchtungsanlage.

Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke im zentralen Sehbereich muss mindestens 500 lx betragen. Daraus ergibt sich, dass der Wartungswert im Umfeld laut ÖNORM EN 12464-1 bei 300 lx liegen muss. Unter Berücksichtigung des Wartungsfaktors (angenommen 0,8), ergibt sich eine geforderte *Nennbeleuchtungsstärke von 625 lx im Bereich der zentralen Sehaufgabe und 375 lx im Umfeld*.

Direktblendung ist ebenso zu vermeiden - der geforderte *UGR-Grenzwert liegt bei 19* - wie Reflexblendung mit hoher Leuchtdichte.

Die Leuchtdichtegrenze der Leuchte, bei einem Ausstrahlungswinkel rundum, ab 65° und darüber – gemessen gegen die nach unten gerichtete Vertikale – liegt bei einer *mittleren Leuchtdichte von ≤ 1000 cd/m²*.

Die Mindestanforderung an den *Farbwiedergabeindex des Leuchtmittels ist 80*.

Die Anordnung und Anzahl der Leuchten ist bereits über den Bestand vorgegeben.

Die Lichtkreise sollen so ausgeführt werden, dass die Leuchten in Fensternähe und die zweite Leuchtenreihe getrennt geschaltet werden können.

3.4.2. Bestandsbüro – Referenzvariante "B1"

Eingebaute Leuchte

Type:	Einbauleuchte mit asymmetrischem Reflektor und mattem Raster, Lichtaustritt direkt
Hersteller:	Knoblich Licht
Vorschaltgerät:	KVG (konventionelles Vorschaltgerät)
Fassung:	G13

Genauere Leuchtendaten konnten nicht mehr recherchiert werden da laut Auskunft der Fa. Siteco (Rechtsnachfolger der Knoblich Licht GmbH) diese Leuchte damals als Sonderleuchte für die WKÖ produziert wurde und aktuell keine Dokumentation mehr darüber aufliegt.

Verwendetes Leuchtmittel

Type:	Leuchtstoffröhre T8
Hersteller:	OSRAM
Leistung/Lichtfarbe:	36W/830
Nennlichtstrom:	3350 lm
Nutzlebensdauer:	10000 Std.
Bezeichnung:	LUMILUX L36W/830
Systemleistung (inkl. Vorschaltgerät):	49W

Gemessene Beleuchtungsstärken

In diesem Fall entsprechen die gemessenen Beleuchtungsstärken dem Wartungswert, da die Beleuchtungsanlage bereits entsprechend lang im Betrieb ist und die Messung kurz vor der nächsten Wartung erfolgte. Um auf die Neuerrichtungswerte zu kommen müssen die gemessenen Werte durch den Wartungsfaktor von 0,8 dividiert werden.

Messpunkte laut Plan			
gemessene Beleuchtungsstärke in Lux (Wartungswert)			
1	4	7	10
287	**541**	**497**	**54**
2	5	8	11
355	**603**	**602**	**55**
3	6	9	12
299	**526**	**490**	**52**

Tab. 2: gemessene Beleuchtungsstärken Variante B1

Gemessener Energieverbrauch

Der gemessene Energieverbrauch während einer Betriebsdauer von 120 Std. (2 Arbeitswochen) liegt bei 24,08 kWh.

Hochgerechnet auf die Dauer eines Jahres (durchschnittlich 2500 Betr.-Std.) ergibt das einen **Jahresenergieverbrauch von 501,75 kWh**.

Beleuchtungs-Kosten

Von dieser Referenzvariante werden lediglich die Kosten für den laufenden Betrieb (Wartung, Lampentausch, Energie) ermittelt. Sie stellen in Relation zu den Investitionskosten der Alternativen die Grundlage für die Berechnung der Amortisationszeit dar.

Betriebskosten:	Energie und Wartung (jährlich)	€ 103,62

Die Berechnung ergibt **jährliche Beleuchtungskosten in der Höhe von € 103,62**.

Fazit

Wie bereits in dieser Arbeit beschrieben, werden die geforderten Nennbeleuchtungsstärken nicht überall im Raum ohne zusätzliche Beleuchtung erreicht. Lediglich der Bereich zwischen den beiden Leuchtenreihen weist einen für den Arbeitsbereich adäquaten Wartungswert der Beleuchtungsstärke auf. Große Auswirkungen auf die Lichtverteilung hat auch der asymmetrische Raster der Leuchten, wenige Zentimeter hinter der 2. Leuchtenreihe nimmt die Beleuchtungsstärke drastisch ab.

Problematisch ist die Situation im Hinblick auf die Blendung zu beurteilen. Die Leuchte erfüllt offensichtlich, bedingt durch den breiten Rasterabstand, nicht die aktuellen Richtlinien hinsichtlich direkter Blendung.

3.4.3. "Energiesparröhren" in Bestandsleuchte - Variante "A1"

Eingebaute Leuchte

Type:	Einbauleuchte mit asymmetrischem Reflektor und mattem Raster, Lichtaustritt direkt (Bestand)
Hersteller:	Knoblich Licht
Vorschaltgerät:	KVG (konventionelles Vorschaltgerät)
Fassung:	G13

Verwendetes Leuchtmittel

Type:	Leuchtstoffröhre T8
Hersteller:	PHILIPS
Leistung/Lichtfarbe:	32W/865

Nennlichtstrom:	3000 lm
Nutzlebensdauer:	15.000 Std.
Bezeichnung:	MASTER TL-D Eco 32W/865
Systemleistung (inkl. Vorschaltgerät):	45W

Gemessene Beleuchtungsstärken

Messpunkte laut Plan			
gemessene Beleuchtungsstärke in Lux (Neuerrichtungswert)			
1	4	7	10
175	**423**	**417**	**28**
2	5	8	11
218	**444**	**438**	**30**
3	6	9	12
191	**406**	**399**	**29**

Tab. 3: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A1

Gemessener Energieverbrauch

Der gemessene Energieverbrauch während einer Betriebsdauer von 120 Std. (2 Arbeitswochen) liegt bei 22,48 kWh.

Hochgerechnet auf die Dauer eines Jahres (durchschnittlich 2500 Betr.-Std.) ergibt das einen **Jahresenergieverbrauch von 468,25 kWh**.

Auswirkungen auf die Bestandsgewerke:

Die angrenzenden Gewerke sind von den Maßnahmen nicht betroffen.

Beleuchtungs-Kosten

Investitionskosten:	Materialkosten für die Leuchten (einmalig)	€ 0,--
	Montage und Inbetriebnahme (einmalig)	€ 0,--

Der Austausch der Leuchtmittel erfolgt im Zuge des laufenden Betriebs.

Betriebskosten:	Energie und Wartung (jährlich)	€ 98,63

Die Berechnung ergibt **jährliche Beleuchtungskosten in der Höhe von € 98,63**.

Fazit

Es war nicht davon auszugehen, dass sich die Beleuchtungsqualität durch den Einsatz der energiesparenden Leuchtstoffröhren auf das notwendige Niveau erhöhen lässt. Durch die laut Herstellerangaben beim Betrieb an KVG mögliche 10%ige Energieeinsparung und die höhere mittlere Lebensdauer der Leuchtmittel bietet sich jedoch die Möglichkeit – bei letztendlich ähnlich hohen Energiegesamtkosten – zur Erreichung der Vorgabewerte zusätzliche Arbeitsplatzleuchten einzusetzen.

Auf Grund der Nutzerentscheidung gegen Varianten mit zusätzlicher Teilbeleuchtung wird diese Variante aber nicht weiter bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt.

3.4.4. LED-Röhren in Bestandsleuchte - Variante "A2"

Eingebaute Leuchte

Type:	Einbauleuchte mit asymmetrischem Reflektor und mattem Raster, Lichtaustritt direkt (Bestand)
Hersteller:	Knoblich Licht
Vorschaltgerät:	KVG (konventionelles Vorschaltgerät)
Fassung:	G13

Verwendetes Leuchtmittel

Type:	LED-Tube
Hersteller:	Econ
Leistung/Lichtfarbe:	18W/5000 – 6500 K
Nennlichtstrom:	2300 lm
Nutzlebensdauer:	50.000 Std. (lt. Herstellerinformation)
Bezeichnung:	LED TUBE SMD NEUTRINO T8 1200 MM 18W SB-324 LED
Systemleistung (inkl. Vorschaltgerät):	18W

Abb. 19: Leuchtmittel der Variante A2 (eigene Aufnahme, 2010)

Gemessene Beleuchtungsstärken

LED's haben ein deutlich anderes Lichtspektrum als herkömmliche in dieser Arbeit beschriebene Leuchtmittel, welches mit dem verwendeten handelsüblichen Lux-Meter nicht genau gemessen werden kann. Deshalb können die Werte zur Messung mit einem Vollspektrum-Lux-Meter abweichen.

Messpunkte laut Plan			
gemessene Beleuchtungsstärke in Lux (Neuerrichtungswert)			
1	4	7	10
189	**352**	**321**	**34**
2	5	8	11
229	**390**	**390**	**35**
3	6	9	12
191	**248**	**317**	**34**

Tab. 4: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A2

Gemessener Energieverbrauch

Der gemessene Energieverbrauch während einer Betriebsdauer von 120 Std. (2 Arbeitswochen) liegt bei 8,29 kWh.

Hochgerechnet auf die Dauer eines Jahres (durchschnittlich 2500 Betr.-Std.) ergibt das einen **Jahresenergieverbrauch von 172,75 kWh**.

Auswirkungen auf die Bestandsgewerke:

Die angrenzenden Gewerke sind von den Maßnahmen nicht betroffen.

Beleuchtungs-Kosten

Investitionskosten:	Materialkosten für die Leuchten (einmalig)	€ 0,--
	Montage und Inbetriebnahme (einmalig)	€ 0,--

Der Austausch der Leuchtmittel erfolgt im Zuge des laufenden Betriebs.

Betriebskosten:	Energie und Wartung (jährlich)	€ 69,86

Die Berechnung ergibt **jährliche Beleuchtungskosten in der Höhe von € 69,86**.

Fazit

Leuchtmittel mit LED-Technologie sind momentan der innovative Trend am Beleuchtungssektor. Der geringe Energiebedarf und die hohe Lebensdauer tragen wesentlich zum Vormarsch der LED-Technologie bei.

Allerdings fehlen zu den teilweise bereits marktreifen Leuchtmitteln die passenden Leuchten – dies trifft vor allem im Segment der Raster- bzw. Langfeldleuchten zu.

Während der Testreihe kamen laufend neue, immer leistungsstärkere Röhren auf den Markt. In Kombination mit den Bestandsleuchten konnte jedoch in keinem Fall eine Verbesserung der Beleuchtungsqualität erreicht werden. Im Gegenteil kam es in den meisten Fällen sogar zu einer Verschlechterung.

Im Hinblick auf die Lichtfarbe ist zu erwähnen, dass es erhebliche Qualitätsunterschiede bei der Gleichmäßigkeit innerhalb einer Leuchtmittellieferung gibt, in der Folge kann es Unterschieden innerhalb des gesamten Beleuchtungsprojekts kommen.

Zur Stabilität der Lichtfarbe über den Lebenszyklus kann auf Grund der kurzen Testphase keine Aussage getroffen werden.

Außerdem sind auch sicherheitstechnische Aspekte beim Betrieb von LED-Röhren in bestehenden Leuchten für Leuchtstoffröhren zu bedenken. So kann es, bedingt durch die Überbrückung des Starters zu blanken spannungsführenden Teilen (PIN-Konakte) beim Einsetzen der LED-Röhre kommen. Auch die mechanische Belastung der G13-Sockel stellt in der Praxis ein Problem dar da LED-Röhren durch die notwendige "Kühlfläche" zur Wärmeabgabe im Vergleich zu Leuchtstoffröhren relativ schwer werden.
Auch diese Variante wird nicht in die weitere Betrachtung mit aufgenommen.

3.4.5. Lampenadapter mit T5 Leuchtmittel und EVG in Bestandsleuchte - Variante "A3"

Eingebaute Leuchte

Type:	Einbauleuchte mit asymmetrischem Reflektor und mattem Raster, Lichtaustritt direkt (Bestand)
Hersteller:	Knoblich Licht
Vorschaltgerät:	KVG (jedoch überbrückt)
Fassung:	G13

Verwendetes Leuchtmittel

Type:	Leuchtstoffröhre T5
Hersteller:	PHILIPS
Leistung/Lichtfarbe:	28W/840
Nennlichtstrom:	2600 lm
Nutzlebensdauer:	19.000 Std.
Bezeichnung:	Master TL5 HE 28W/840
Systemleistung (inkl. Vorschaltgerät):	29W

Verwendeter Lampenadapter

Type:	T5-Lampenadapter für T8 Leuchten mit EVG und Überbrücker
Hersteller:	etalux
Bezeichnung:	etalux 1200 EVG Adapter

Abb. 20: T5-Lampenadapter "etalux 1200 EVG" und "Überbrücker" (eigene Aufnahme, 2010)

Gemessene Beleuchtungsstärken

Messpunkte laut Plan			
gemessene Beleuchtungsstärke in Lux (Neuerrichtungswert)			
1	4	7	10
226	**425**	**380**	**40**
2	5	8	11
270	**487**	**432**	**42**
3	6	9	12
222	**408**	**370**	**39**

Tab. 5: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A3

Gemessener Energieverbrauch

Der gemessene Energieverbrauch während einer Betriebsdauer von 120 Std. (2 Arbeitswochen) liegt bei 13,92 kWh.

Hochgerechnet auf die Dauer eines Jahres (durchschnittlich 2500 Betr.-Std.) ergibt das einen **Jahresenergieverbrauch von 290,0 kWh**.

Auswirkungen auf die Bestandsgewerke:

Die angrenzenden Gewerke sind von den Maßnahmen nicht betroffen.

Beleuchtungs-Kosten

Investitionskosten:	Materialkosten für die Adapter (einmalig)	€ 141,60
	Montage und Inbetriebnahme (einmalig)	€ 52,-

Der Austausch der Leuchtmittel erfolgt im Zuge des laufenden Betriebs.

Betriebskosten:	Energie und Wartung (jährlich)	€ 70,95

Die Berechnung ergibt **jährliche Beleuchtungskosten in der Höhe von € 88,38**.

Fazit

Die Kombination Lampenadapter für T5-Leuchtmittel mit Bestandsleuchten konnte in keinem Bereich überzeugen. Sowohl die Lichtausbeute aber vor allem auch die umständliche Handhabung erfüllen nicht die Erwartungen.

Es konnte keine Verbesserung der Beleuchtungsqualität erreicht werden, was wohl daran liegt, dass die T5 Leuchtmittel an sich zwar eine höhere Effizienz aufweisen, die Kombination aus T5-Lampenadapter und Bestandsleuchte aber insgesamt einen schlechteren Beleuchtungswirkungsgrad erreicht. Die angekündigte Energieeinsparung ergibt sich alleine durch die geringere Wattanzahl der Leuchtmittel. In Fällen, wo bereits die bestehende Beleuchtungsanlage mit T8-Technologie die Vorgaben hinsichtlich Beleuchtungsqualität erfüllt, ist der Einsatz dieses Systems aus wirtschaftlicher Sicht sicherlich sinnvoll – im gegenständlichen Fall trifft das jedoch nicht zu.

Außerdem ist auch in diesem Fall die mechanische Belastung der G13-Sockel aufgrund des Gesamtgewichts von Leuchtmittel und Lampenadapter als problematisch einzustufen.

Weiters fehlen hier auch Erfahrungen und Vergleichswerte aus der Praxis betreffend der Zuverlässigkeit und Haltbarkeit des Produkts.

Aus den oben genannten Gründen wird auch diese Variante nicht weiter betrachtet.

Somit bleibt auch die Frage nach der Zulässigkeit dieser Leuchten-Lampen-Kombination unbeantwortet.

3.4.6. Einbau einer neuen Raster-Einbauleuchte ("Sanierungsleuchte") in den Bestandsleuchtkörper mit T5-Leuchtstoffröhre und EVG – Variante "A4"

Eingebaute Leuchte

Type:	Deckeneinbauleuchte, mit BAP65-Spiegelraster, symmetrisch, hochglänzend, Lichtaustritt direkt, breitstrahlend
Blendbegrenzung:	BAP65/1000cd/m²
Hersteller:	SITECO
Vorschaltgerät:	EVG (elektronisches Vorschaltgerät)
Fassung:	G5

Verwendetes Leuchtmittel

Type:	Leuchtstoffröhre T5
Hersteller:	OSRAM
Leistung/Lichtfarbe:	54W/840
Nennlichtstrom:	4450 lm
Nutzlebensdauer:	18.000 Std.
Bezeichnung:	LUMILUX T5 FQ 54W/840 HO
Systemleistung (inkl. Vorschaltgerät):	54,5W

Gemessene Beleuchtungsstärken

Messpunkte laut Plan			
gemessene Beleuchtungsstärke in Lux (Neuerrichtungswert)			
1	4	7	10
620	**874**	**743**	**312**
2	5	8	11
694	**975**	**787**	**369**
3	6	9	12
525	**848**	**710**	**310**

Tab. 6: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A4

Für diese Variante wurde zu Vergleichszwecken auch eine Lichtberechnung / -simulation angestellt.

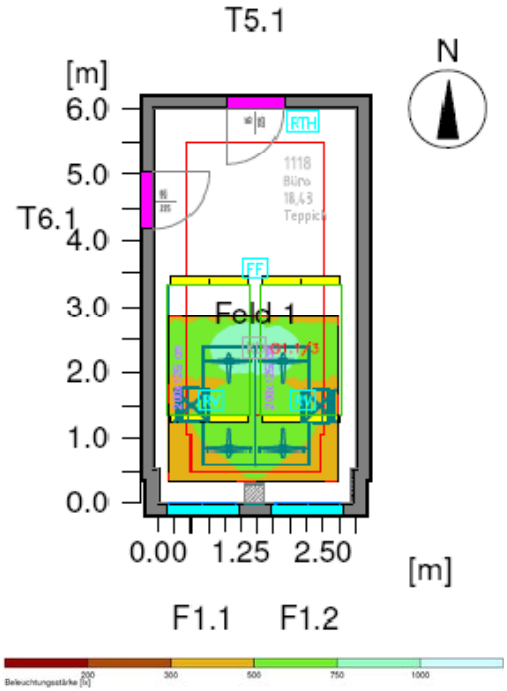


Abb. 21: Lichtberechnung für Variante "A4" Arbeitsbereich (Fa. Siteco, 2009)

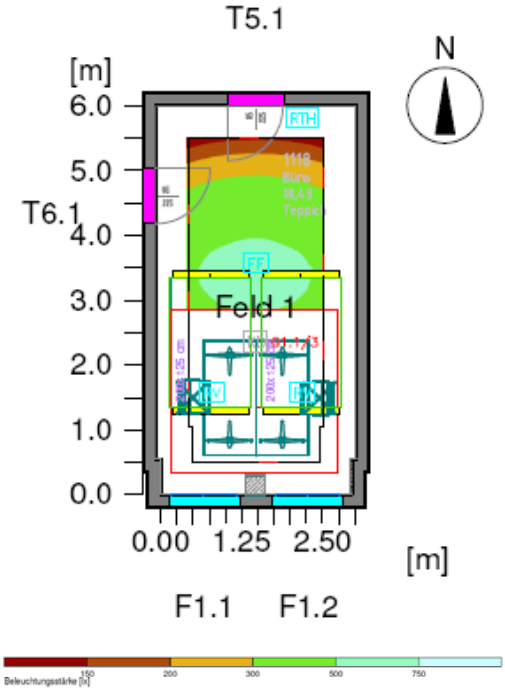


Abb. 22: Lichtberechnung für Variante "A4" Umfeldbereich (Fa. Siteco, 2009)

Abb. 23: 3D-Lichtsimulation für Variante "A4" (Fa. Siteco, 2009)

Größtenteils stimmen die Werte der Verteilung der Beleuchtungsstärke aus theoretischer Berechnung und praktischer Messung überein. Generell liegen aber die tatsächlich gemessenen Werte über den berechneten Werten.

Das detaillierte Ergebnis der Lichtsimulation kann dem Anhang dieser Arbeit entnommen werden.

Gemessener Energieverbrauch

Der gemessene Energieverbrauch während einer Betriebsdauer von 120 Std. (2 Arbeitswochen) liegt bei 26,22 kWh.

Hochgerechnet auf die Dauer eines Jahres (durchschnittlich 2500 Betr.-Std.) ergibt das einen **Jahresenergieverbrauch von 546,25 kWh**.

Auswirkungen auf die Bestandsgewerke:

Um der Anforderung nach einer Abluftleuchte für das hintere Lichtband nachzukommen, wird von der Fa. SITECO für das gegenständliche Projekt die Leuchtenabdeckung als Sonderausführung – mit Entlüftungsschlitzen – produziert.

Damit die neuen Einbauleuchten mit dem bestehenden Leuchtenkörper verschraubt werden können müssen die alten Einbauten der Bestandsleuchte ausgebaut werden. Der bestehende Elektroanschluss wird weiterverwendet.

Ansonsten sind nach Montage der neuen Leuchte in Ausnahmefällen eventuell noch vereinzelt Anpassungsarbeiten an der Mineralfaserdecke vorzunehmen die sich monetär jedoch nicht gravierend auswirken.

Die übrigen Gewerke sind von den Maßnahmen nicht betroffen.

Beleuchtungs-Kosten

Investitionskosten:	Materialkosten für die Leuchten (einmalig)	€ 510,04
	Montage und Inbetriebnahme (einmalig)	€ 238,56
Betriebskosten:	Energie und Wartung (jährlich)	€ 103,29

Die Berechnung ergibt **jährliche Beleuchtungskosten in der Höhe von € 163,17**.

Fazit

Durch den Einsatz der modernen Spiegelrasterleuchten in Kombination mit T5-Leuchtstoffröhrentechnik können die Auswirkungen auf die angrenzenden Gewerke im vertretbaren Rahmen gehalten werden. Die Verwendung von Röhren mit einer Leistung von 54W übertrifft die geforderten Werte im Hinblick auf die Beleuchtungsqualität bei weitem.

Allerdings liegen die jährlichen Betriebskosten trotz der längeren Nutzlebensdauer und der Verwendung von EVG, durch den Einsatz der 54W-Röhren, auf nahezu

gleichem Niveau wie bei der bestehenden Beleuchtungsanlage. Auffallend ist in diesem Fall die deutlich sichtbare Verschmutzung des Rasters der Abluftleuchten bereits am Ende des Musterbetriebes. In diesem Fall ist ein erhöhter Reinigungsaufwand zu berücksichtigen.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist eine Amortisation diese Variante somit nicht möglich.

3.4.7. Einbau von abgehängten Langfeldleuchten mit T5-Leuchtstoffröhre und Multiwatt-EVG – Variante "A5"

Die Leuchten werden bei dieser Variante quer zur Fensterfront, in etwa mittig unter dem Kühlsegel angeordnet. Je Fensterachse kommt eine zweilängige Pendelleuchte zum Einsatz. Die Leuchten werden auf eine Höhe von rund 2,35 m abgehängt.

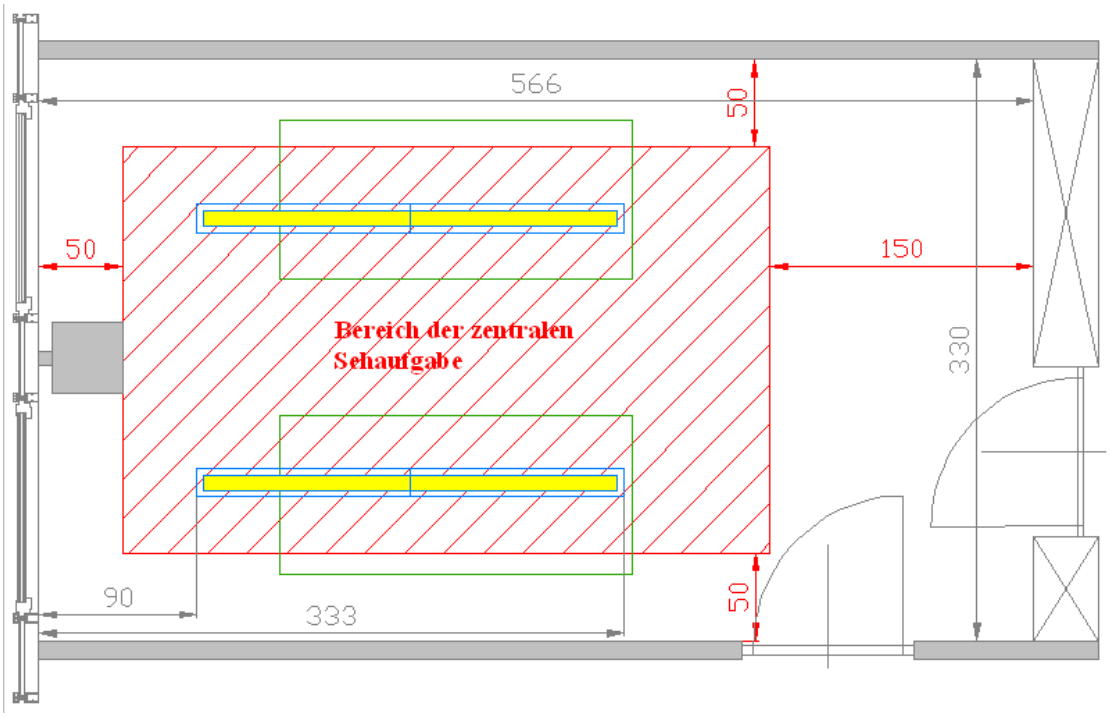


Abb. 24: Grundriß des Musterraums mit Pendelleuchten (eigene Darstellung, 2010)

Eingebaute Leuchte

Type:	Pendelleuchte, mit HDP-Lamellenraster, symmetrisch, hochglänzend, Lichtaustritt indirekt/direkt, breitstrahlend
Blendbegrenzung:	High Definition Prismatics (HDP) Raster
Hersteller:	SITECO
Vorschaltgerät:	Multiwatt-EVG (elektronisches Vorschaltgerät)

Fassung: G5

Verwendetes Leuchtmittel

Type:	Leuchtstoffröhre T5
Hersteller:	OSRAM
Leistung/Lichtfarbe:	54W/840
Nennlichtstrom:	4450 lm
Nutzlebensdauer:	18.000 Std.
Bezeichnung:	LUMILUX T5 FQ 54W/840 HO
Systemleistung (inkl. Vorschaltgerät):	54,5W

Gemessene Beleuchtungsstärken

Messpunkte laut Plan			
gemessene Beleuchtungsstärke in Lux (Neuerrichtungswert)			
1	4	7	10
635	**1138**	**567**	**146**
2	5	8	11
975	**1821**	**980**	**170**
3	6	9	12
601	**1091**	**579**	**156**

Tab. 7: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A5

Gemessener Energieverbrauch

Der gemessene Energieverbrauch während einer Betriebsdauer von 120 Std. (2 Arbeitswochen) liegt bei 26,04 kWh.

Hochgerechnet auf die Dauer eines Jahres (durchschnittlich 2500 Betr.-Std.) ergibt das einen **Jahresenergieverbrauch von 542,43 kWh**.

Auswirkungen auf die Bestandsgewerke:

Die bestehenden Leuchten bleiben eingebaut, es werden lediglich das Leuchtmittel und der Starter entfernt, gleichzeitig dient der alte Leuchtenkörper als Träger für die Befestigung der Seilabhängung der neuen Pendelleuchte. Durch die Montage an den dünnen Seilen mit "Y-Aufhängung" und der dadurch schnellen und einfachen

Demontierbarkeit, stellt die Situierung direkt unterhalb der Kühlsegel keine Beeinträchtigung dar. Vielmehr wirken sich die seit dem Umbau eingesetzten Kühlsegel zur Büroklimatisierung durch ihre weiße Farbe und glatte Oberfläche sogar ausgesprochen positiv auf die Lichtverteilung im Raum aus.
Der bestehende Elektroanschluss wird in der Zwischendecke in eine Klemmdose geführt und zum Anschluss der neuen Leuchten weiter verwendet.
Die ehemalige hintere Leuchtenreihe dient weiterhin als Abluftabsaugung.
Die übrigen Gewerke sind von den Maßnahmen nicht betroffen.

Beleuchtungs-Kosten

Investitionskosten:	Materialkosten für die Leuchten (einmalig)	€ 554,62
	Montage und Inbetriebnahme (einmalig)	€ 187,64
Betriebskosten:	Energie und Wartung (jährlich)	€ 87,91

Die Berechnung ergibt **jährliche Beleuchtungskosten in der Höhe von € 147,29**.

Fazit

Durch das Montieren von Pendelleuchten gibt es praktisch keine Auswirkungen auf andere Gewerke.
Die gewählte Leuchtenanordnung und die verwendeten 54W-Röhren übererfüllen die geforderten Richtlinien im Hinblick auf die Beleuchtungsqualität im Bereich der zentralen Sehaufgabe. Das Umfeld im hinteren Bereich des Büros ist jedoch nach den geltenden Vorschriften etwas unzulänglich ausgeleuchtet. Hier kann jedoch sehr einfach durch die weiter nach hinten gesetzte Anordnung der hinteren Leuchten Abhilfe geschaffen werden.
Die jährlichen Betriebskosten liegen im Vergleich zur Variante "A4" aber unter dem Referenzwert von "B1". Begründet kann das durch die leichtere Zugängigkeit der Leuchten und den daraus resultierenden geringeren Aufwänden für die Reinigung und den Leuchtmitteltausch werden.

Die Amortisationsdauer liegt in diesem Fall bei rund 47 Jahren.
Diese Variante wird somit ebenfalls aus wirtschaftlichen Gründen ausgeschieden.

Da die gemessenen Werte dieser Variante die geforderten Nennbeleuchtungsstärken bei Weitem übertreffen, wurde die Pendelleuchtenvariante "A5" mit einem schwächeren Leuchtmittel ausgestattet und erneut gemessen (Variante "A5a").

3.4.8. Adaption zu A5, 28W-Leuchtmittel – Variante "A5a"

Verwendetes Leuchtmittel

Type:	Leuchtstoffröhre T5
Hersteller:	PHILIPS
Leistung/Lichtfarbe:	28W/840
Nennlichtstrom:	2600 lm
Nutzlebensdauer:	19.000 Std.
Bezeichnung:	Master TL5 HE 28W/840
Systemleistung (inkl. Vorschaltgerät):	29W

Gemessene Beleuchtungsstärken

Messpunkte laut Plan			
gemessene Beleuchtungsstärke in Lux (Neuerrichtungswert)			
1	4	7	10
376	**663**	**335**	**85**
2	5	8	11
497	**1076**	**518**	**92**
3	6	9	12
331	**615**	**352**	**87**

Tab. 8: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A5a

Auch diese Variante wurde mittels einer Lichtberechnung / -simulation auf Plausibilität hin überprüft. Die detaillierten Ergebnisse können dem Anhang entnommen werden.

Gemessener Energieverbrauch

Der gemessene Energieverbrauch während einer Betriebsdauer von 120 Std. (2 Arbeitswochen) liegt bei 13,85 kWh.

Hochgerechnet auf die Dauer eines Jahres (durchschnittlich 2500 Betr.-Std.) ergibt das einen **Jahresenergieverbrauch von 288,55 kWh**.

Beleuchtungs-Kosten

Investitionskosten:	Materialkosten für die Leuchten (einmalig)	€ 555,62
	Montage und Inbetriebnahme (einmalig)	€ 187,64
Betriebskosten:	Energie und Wartung (jährlich)	€ 54,74

Die Berechnung ergibt **jährliche Beleuchtungskosten in der Höhe von € 114,21**.

Fazit

Auch der Einsatz der 28W-Röhren erfüllt die geforderten Richtlinien im Hinblick auf die Beleuchtungsstärken im Arbeitsbereich. Im hinteren Bereich des Büros ist das Beleuchtungsniveau jedoch noch schlechter.

Die jährlichen Betriebskosten sind zwangsläufig die geringsten aller betrachteten Varianten.

Die Amortisationsdauer liegt in diesem Fall bei rund 15 Jahren.

3.4.9. Abänderung der abgehängten Langfeldleuchten mit T5-Leuchtstoffröhre und Multiwatt-EVG – Variante "A6"

Um die Auswirkungen auf das Umfeld durch Leuchten die weiter in den hinteren Bereich des Raums reichen festzustellen, wurde in Abänderung zu den Varianten A5 und A5a eine Lichtberechnung / -simulation mit längeren Pendelleuchten angestellt.

Leuchte

Type:	Pendelleuchte, mit Spiegelraster, symmetrisch, hochglänzend, Lichtaustritt indirekt/direkt, breitstrahlend
Blendbegrenzung:	BAP65/1000cd/m²
Hersteller:	SITECO
Vorschaltgerät:	Multiwatt-EVG (elektronisches Vorschaltgerät)
Fassung:	G5

Leuchtmittel

Type:	Leuchtstoffröhre T5
Leistung/Lichtfarbe:	35W/840
Nennlichtstrom:	3600 lm
Nutzlebensdauer:	18.000 Std.
Systemleistung (inkl. Vorschaltgerät):	35,5W

Berechneter Energieverbrauch

Der berechnete Jahres-Energieverbrauch (durchschnittlich 2500 Betr.-Std.), ergibt einen **Jahresenergieverbrauch von 355 kWh**.

Ergebnis der Lichtberechnung

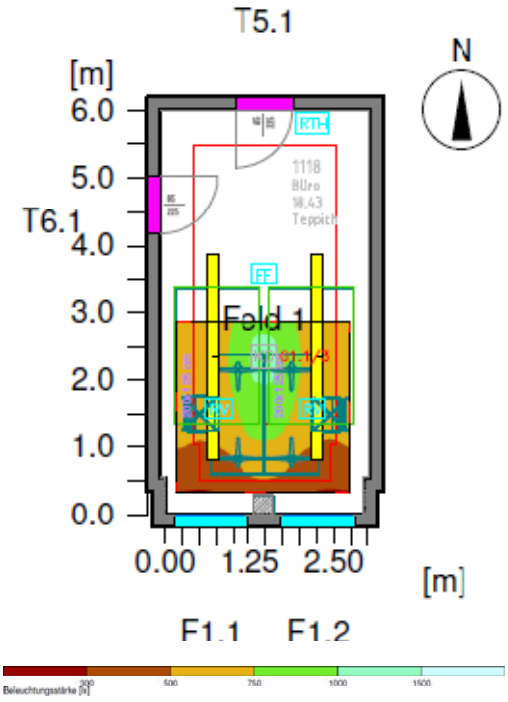


Abb. 25: Lichtberechnung für Variante "A6" Arbeitsbereich (Fa. Siteco, 2010)

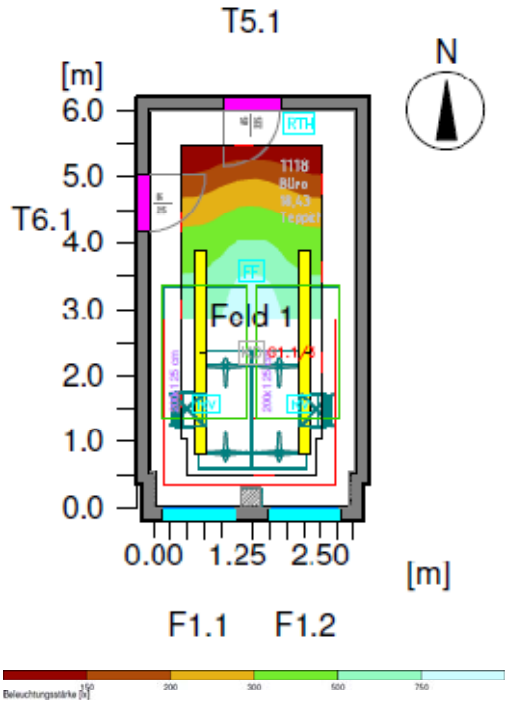


Abb. 26: Lichtberechnung für Variante "A6" Umfeldbereich (Fa. Siteco, 2010)

Abb. 27: 3D-Lichtsimulation für Variante "A6" (Fa. Siteco, 2010)

Auswirkungen auf die Bestandsgewerke:

Die bestehenden Leuchten bleiben eingebaut, es werden lediglich das Leuchtmittel und der Starter entfernt, gleichzeitig dient der alte Leuchtenkörper als Träger für die Befestigung der Seilabhängung der neuen Pendelleuchte. Durch die Montage an den dünnen Seilen mit "Y-Aufhängung" und der dadurch schnellen und einfachen Demontierbarkeit, stellt die Situierung direkt unterhalb der Kühlsegel keine Beeinträchtigung dar. Vielmehr wirken sich die seit dem Umbau eingesetzten Kühlsegel zur Büroklimatisierung durch ihre weiße Farbe und glatte Oberfläche sogar ausgesprochen positiv auf die Lichtverteilung im Raum aus.

Der bestehende Elektroanschluss wird in der Zwischendecke in eine Klemmdose geführt und zum Anschluss der neuen Leuchten weiter verwendet.

Die ehemalige hintere Leuchtenreihe dient weiterhin als Abluftabsaugung.

Die übrigen Gewerke sind von den Maßnahmen nicht betroffen.

Beleuchtungs-Kosten

Investitionskosten:	Materialkosten für die Leuchten (einmalig)	€ 588,92
	Montage und Inbetriebnahme (einmalig)	€ 187,64
Betriebskosten:	Energie und Wartung (jährlich)	€ 63,46

Die Berechnung ergibt **jährliche Beleuchtungskosten in der Höhe von € 125,58**.

Fazit

Durch das Montieren von Pendelleuchten gibt es praktisch keine Auswirkungen auf andere Gewerke.

Die gewählte Leuchtenanordnung und die verwendeten 35W-Röhren übererfüllen die geforderten Richtlinien im Hinblick auf die Beleuchtungsqualität im Bereich der zentralen Sehaufgabe. Das Umfeld im hinteren Bereich des Büros ist durch den Einsatz der längeren Leuchten ausreichend ausgeleuchtet.

Die jährlichen Betriebskosten liegen unter dem Referenzwert von "B1".

Die Amortisationsdauer liegt in diesem Fall bei rund 19 Jahren.

3.5. Auswertung und Interpretation der Musteraufbauten

Von den umgesetzten Mustervarianten erfüllen nur einige die Mindestanforderung den geltenden Normen und Vorschriften im Hinblick auf die Beleuchtungsqualität zu entsprechen.

Trotzdem sollen in diesem Abschnitt der Arbeit alle Varianten betrachtet werden, um die grundlegenden Unterschiede übersichtlich darzustellen. Die Werte und Ergebnisse beziehen sich jeweils auf das gesamte Beleuchtungssystem des Musterraums.

3.5.1. Investitionskosten

Bei den Varianten A1 und A2 fallen praktisch keine Investitionskosten an. Der Wechsel zu den neuen Leuchtmitteln kann sukzessive im Zuge des laufenden Leuchtmitteltauschs erfolgen.

Gesamtinvestitionskosten für A1 und A2	€ 0,-
Umgelegte jährliche Investitionskosten für A1 und A2	**€ 0,-**

Von der Variante A3 sind die Anschaffung und der Einbau der T5-Lampenadapter als Investition anzusetzen.

Gesamtinvestitionskosten für A3	€ 193,60
Umgelegte jährliche Investitionskosten für A3	**€ 0,-**

Die Beschaffung der Leuchten, Demontage der alten Lichttechnik und Installation der neuen Lichtanlage sind bei der Variante A4 als Investition zu berücksichtigen.

Gesamtinvestitionskosten für A4	€ 748,61
Umgelegte jährliche Investitionskosten für A4	**€ 59,89**

Investitionskosten der Variante A5 sind die Kosten für die Leuchten und deren Installation.

Gesamtinvestitionskosten für A5	€ 742,25
Umgelegte jährliche Investitionskosten für A5	**€ 59,38**

Die Investitionskosten der Variante A5a sind nahezu identisch zu jenen der Variante A5, da bei der Variante A5a lediglich andere Leuchtmittel verwendet werden. Zum Tragen kommen die Kosten für die Leuchten und deren Installation.

Gesamtinvestitionskosten für A5a	€ 743,26
Umgelegte jährliche Investitionskosten für A5a	**€ 59,46**

An Investitionen sind bei der Variante A6 die Kosten für die Leuchten und deren Installation anzusetzen.

Gesamtinvestitionskosten für A6	€ 776,54
Umgelegte jährliche Investitionskosten für A6	**€ 62,12**

3.5.2. Energiekosten

Die Energiekosten beziehen sich auf den Ressourceneinsatz für die Dauer eines Kalenderjahres. Den Berechnungen zu Grunde gelegt wurden eine durchschnittliche Einschaltdauer von 10 Std./Tag und 250 Anwesenheitstage/Jahr.
Die stichprobenartige Überprüfung der berechneten Werte mit den tatsächlich gemessenen und hochgerechneten Verbräuchen zeigt eine hohe Übereinstimmung.

Energiekosten für A1	**€ 58,23**
Energiekosten für A2	**€ 23,29**
Energiekosten für A3	**€ 37,53**
Energiekosten für A4	**€ 70,52**
Energiekosten für A5	**€ 70,52**
Energiekosten für A5a	**€ 37,53**
Energiekosten für A6	**€ 45,94**

Der Referenzwert der Energiekosten, von der bestehenden Beleuchtungsanlage (Variante B1) liegt bei € 63,41

3.5.3. Instandhaltungskosten

Zu den Instandhaltungskosten zählen die Aufwände für den Lampentausch und die Reinigung der Lichtanlage. Auch hier wurden die Kosten für die Dauer eines Kalenderjahres ermittelt.

Instandhaltungskosten für A1	**€ 40,40**
Instandhaltungskosten für A2	**€ 46,57**
Instandhaltungskosten für A3	**€ 33,43**
Instandhaltungskosten für A4	**€ 32,76**
Instandhaltungskosten für A5	**€ 17,38**
Instandhaltungskosten für A5a	**€ 17,22**
Instandhaltungskosten für A6	**€ 17,52**

Dem gegenüber steht der Referenzwert für die Instandhaltung der Bestandsvariante B1 von € 40,21

3.5.4. Kostenübersicht

Variante	B1	A1	A2	A3	A4	A5	A5a	A6
Investition gesamt in €	-	-	-	193,60	748,61	742,25	743,26	776,54
Investition jährlich in €	-	-	-	17,42	59,89	59,38	59,46	62,12
Energie jährlich in €	63,41	58,23	23,29	37,53	70,52	70,52	37,53	45,94
Instandhaltung jährlich in €	40,21	40,40	46,57	33,43	32,76	17,38	17,22	17,52
Amortisation in Jahren	-	-	-	5,93	>ND[24]	>ND	15,21	19,34

Tab. 9: Übersicht nach Kostengruppen der Varianten

3.5.5. Beleuchtungstechnische Erkenntnisse

Von den realisierten Mustervarianten entsprechen lediglich die Versionen mit neu installierten Leuchten - A4, A5, A5a und A6 - den lichttechnischen Normen und Vorschriften.

Die mit neuen Lichtquellen adaptierten Anlagen in Kombination mit den Bestandsleuchten - A1, A2 und A3 - erfüllen die Vorgaben hinsichtlich der Beleuchtungsstärke und der Blendungsbegrenzung, wie auch die Bestandslichtanlage B1, alle samt nicht.

Aus der Datensammlung der praktischen Versuchsaufbauten, ist auch klar die hohe Verlustleistung konventioneller Vorschaltgeräte ersichtlich. Bei der Bestandsvariante mit den 36W T8-Leuchtmitteln, entfallen von den 49W Systemleistung allein 13W auf das Vorschaltgerät. Im Vergleich dazu liegt die Leistungsaufnahme von EVG's bei rund 0,5 Watt

3.5.6. Praktische Erfahrungen

Während der Zeit des Probebetriebs wurden auch Erkenntnisse im Zusammenhang mit der operativen Abwicklung gesammelt.

[24] ND = Nutzungsdauer der Anlage

Die Handhabung der Energiesparröhren der Variante A1 unterscheidet sich in keiner Weise zu jener der Bestandsvariante.

Bei der LED-Röhren-Version fielen vor allem die teilweise unterschiedlichen Lichtfarben, einer Leuchtmittelcharge negativ auf. Auch die durch die technische Bauart des Leuchtmittels sichtbaren einzelnen LED-Lichtpunkte wirken sich laut subjektivem Nutzerempfinden eher negativ auf das Raumempfinden aus – " ... man muss zwangsläufig hinsehen!"

Einen sehr negativen Eindruck in der Handhabung hinterließen die T5-Leuchtenadapter. Als besonders mühsam stellte sich dabei das Einführen der T5-Röhren in das "Adapterrohr" heraus. Auch das Einsetzen der Adapter in die G13 Fassungen gestaltete sich teilweise schwierig – man hat das Gefühl, dass die gesamte Konstruktion etwas zu lang geraten ist. In Summe macht die gesamte Konstruktion einen etwas instabilen Eindruck.
Während des Probebetriebs kam es zu teilweisen Ausfällen einzelner Leuchtmittel ohne dass diese oder der Überbrücker defekt waren. Nach dem Wiedereinsetzen des Adapters funktionierte wieder alles, vermutlich sind hier Kontaktprobleme die Ursache dafür. Das könnte auch die Beobachtung unterstreichen, dass die aufgesetzten EVG's im Betrieb teilweise hohe Temperaturen erreichten.

Bei allen Varianten mit den Bestandsleuchten gestaltete sich generell das Herausnehmen und Wiedereinsetzen der Spiegelraster im Vergleich zu den neu installierten Leuchten als sehr zeitaufwendig.

Die in die Bestandsleuchte eingebauten neuen Spiegelrasterleuchten stellten sich im operativen Betrieb als unkompliziert heraus.
Allerdings muss hier die deutlich sichtbare Verschmutzung des Spiegelrasters und der daraus resultierende erhöhte Reinigungsaufwand bei den Abluftleuchten als negativer Punkt angeführt werden.

Als am betreiberfreundlichsten stellten sich die Pendelleuchtenvarianten heraus. Die gute Zugängigkeit bringt vor allem beim Leuchtmitteltausch und bei der Reinigung erhebliche Zeitvorteile.

Ein wesentlicher Vorteil einer Pendelleuchten-Version liegt darin jede am Markt verfügbare Leuchtenkonfiguration mit unterschiedlichen Lichtlenk- und Entblendungssystemen einsetzen zu können. Es gibt im Rahmen der Richtlinien und Vorschriften werden Beschränkungen im Hinblick auf die Leuchtenabmessungen noch auf die Leuchtmitteldaten bzw. den Hersteller.

Als negativer Punkt kann hier die optisch nicht sehr attraktive Gesamterscheinung der Lichtinstallation angeführt werden. Die eingebaut gebliebenen Bestandsleuchten hinterlassen einen etwas "vergessenen" Eindruck.

4. Schlußbetrachtung

4.1. Zusammenfassung der Resultate

In diesem Kapitel sollen die zu Beginn formulierten Forschungsfragen beantwortet und die Ergebnisse und Erkenntnisse der Arbeit zusammenfassend dargestellt werden.

4.2. Gesamtbetrachtung – Bewertung der Ergebnisse

Kriterium			Variante											
			B1		A1		A2		A3		A4		A5	
	muss/kann	Gewichtung	Bewertung	**Punkte**	Bewertung	**Punkte**	Bewertung	**Punkte**	Bewertung	**Punkte**	Bewertung	**Punkte**	Bewertung	**Punkte**
entspricht den Vorschriften	m			**0**		**0**		**0**		**0**		**1**		**1**
weiter für Bewertung	nein	ja												
raumbezogene Auslegung	k	3									2	**6**	1	**3**
Beeinträchtigungen durch Einbau	k	3									1	**3**	2	**6**
Amortisationsdauer (< Nutzungsdauer)	k	2									0	**0**	0	**0**
Energieeinsparung zu Bestand (min 20%)	k	1									0	**0**	0	**0**
Zwischenergebnis "Nutzeranforderungen"												*9*		*9*
Raumempfinden	k	3									1	**3**	2	**6**
Funktionalität und Bedienung	k	2									1	**2**	3	**6**
Beleuchtungsstärke im Arbeitsbereich	k	2									3	**6**	3	**6**
Beleuchtungsstärke im Umfeld	k	1									3	**3**	1	**1**
optischer Gesamteindruck	k	1									2	**2**	1	**1**
Zwischenergebnis "Technik"												*16*		*20*
Energiekosten	k	4									0	**0**	0	**0**
Instandhaltungskosten	k	3									1	**3**	2	**6**
indirekte Investitionskosten	k	2									1	**2**	2	**4**
direkte Investitionskosten	k	1									2	**2**	2	**2**
Zwischenergebnis "Wirtschaft"												*7*		*12*
Gesamtpunkte												*32*		*41*
Rang												**4**		**3**

Kriterium			Variante							
			A5a		A6					
	muss/kann	Gewichtung	Bewertung	**Punkte**	Bewertung	**Punkte**				
entspricht den Vorschriften	m			**1**		**1**				
weiter für Bewertung	nein	ja								
raumbezogene Auslegung	k	3	1	**3**	2	**6**				
Beeinträchtigungen durch Einbau	k	3	2	**6**	2	**6**				
Amortisationsdauer (< Nutzungsdauer)	k	2	2	**4**	2	**4**				
Energieeinsparung zu Bestand (min 20%)	k	1	2	**2**	1	**1**				
Zwischenergebnis "Nutzeranforderungen"				*15*		*17*				
Raumempfinden	k	3	2	**6**	2	**6**				
Funktionalität und Bedienung	k	2	3	**6**	3	**6**				
Beleuchtungsstärke im Arbeitsbereich	k	2	1	**2**	2	**4**				
Beleuchtungsstärke im Umfeld	k	1	0	**0**	3	**3**				
optischer Gesamteindruck	k	1	1	**1**	1	**1**				
Zwischenergebnis "Technik"				*15*		*20*				
Energiekosten	k	4	2	**8**	1	**4**				
Instandhaltungskosten	k	3	2	**6**	2	**6**				
indirekte Investitionskosten	k	2	2	**4**	2	**4**				
direkte Investitionskosten	k	1	2	**2**	1	**1**				
Zwischenergebnis "Wirtschaft"				*20*		*15*				
Gesamtpunkte				*50*		*52*				
Rang				**2**		**1**				

Tab. 10: Gesamtbewertung der Beleuchtungsanlagen

Auf Grund der Kombination von Nutzeranforderungen und dem geltenden Stand der Technik werden damit folgende Varianten in die Schlußbetrachtung mit aufgenommen.

- Einbau einer neuen Raster-Einbauleuchte ("Sanierungsleuchte") in den Bestandleuchtkörper mit T5-Leuchtstoffröhre und EVG mit 54W-Röhren – **Variante "A4"**
- Einbau von abgehängten Langfeldleuchten mit T5-Leuchtstoffröhre und Multiwatt-EVG mit 54W-Röhren – **Variante "A5"**

- Einbau von abgehängten Langfeldleuchten mit T5-Leuchtstoffröhre und Multiwatt-EVG mit 28W-Röhren – **Variante "A5a"**
- Einbau von abgehängten Langfeldleuchten mit T5-Leuchtstoffröhre und Multiwatt-EVG mit 35W-Röhren – **Variante "A6"**

Von den verbliebenen 4 Beleuchtungssystemen erreicht die Variante A6 die höchste Punktezahl gefolgt von der Variante A5a. Auf Grund der knappen Entscheidung werden beide Varianten zur Umsetzung empfohlen.
Die wesentlichen Unterschiede in der Bewertung der beiden Varianten, liegen in der Beleuchtungsqualität im Umfeldbereich und beim Energieverbrauch. Da zwischen diesen Bereichen eine Wechselwirkung besteht, liegt es am Nutzer Vorteile bzw. Abstriche in die letztendliche Entscheidungsfindung mit einzubeziehen.

4.2.1. Beantwortung der Forschungsfragen

- *Welche technischen Möglichkeiten gibt es, um die sich am Ende der Nutzungsdauer befindliche Beleuchtungsanlage, auf den Stand der Technik zu bringen?*

Eine Möglichkeit um dieser Forderung nachzukommen ist die Neuinstallation von Leuchten.
Eine zweite, jedoch weitaus aufwendigere Option, ist der komplette Austausch der eingebauten Lichttechnik (Fassungen, Vorschaltgerät, Lichtlenk- und Entblendungssystem) der Bestandsleuchten.
Der Austausch ausschließlich des Leuchtmittels bringt nicht die geforderten Ergebnisse.

- *Welche Auswirkungen hat der Umbau der Beleuchtungsanlage auf die unmittelbar angrenzenden Gewerke?*

Es gibt Adaptierungsvarianten, die sich ausschließlich innerhalb der Grenzen des Beleuchtungsgewerks bewegen. Direkte kostenintensive Auswirkungen auf die angrenzenden haustechnischen und baulichen Gewerke können so vermieden werden.

Indirekte Auswirkungen können sich je nach umgesetzter Variante in den Bereichen der Raumkonditionierung (Heizung und Kühlung) und der Niederspannungshauptversorgung (Kompensation, Absicherung) ergeben.

- *Mit welcher Adaptierungsvariante der Beleuchtungsanlage, kann der Nutzerwunsch in höchstem Maß erfüllt werden?*

Die Variante A6 - Einbau von abgehängten Langfeldleuchten mit T5-Leuchtstoffröhre und Multiwatt-EVG mit 35W-Röhren – kommt dem Nutzerwunsch am nächsten.
Lediglich die Forderung nach einer Amortisationszeit von < 10 Jahren kann nicht erfüllt werden.

- *Welche Adaptierungsvariante ist aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen?*

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Variante A5a zu empfehlen.
Um hier generell noch bessere Ergebnisse hinsichtlich der Amortisationsdauer zu erreichen, könnte die Möglichkeit eines Investitionszuschusses in Form einer Förderung geprüft werden.

4.3. Kritische Reflexion

Als sehr positiv hat sich im Laufe dieser Arbeit die Entscheidung herausgestellt, die angedachten Mustervarianten jeweils in der Praxis zu testen.
Es konnten so wichtige objektspezifische Erkenntnisse aus Betreibersicht gewonnen werden, die in einer rein theoretischen Abhandlung nicht herausgearbeitet hätten werden können.
Außerdem ergab sich so für den Nutzer die einmalige Möglichkeit der direkten Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Varianten bei jeweils identischen Bedingungen.
Zur abschließenden Entscheidungsfindung durch den Nutzer, kann so bei mehreren lichtqualitätsmäßig gleichwertigen Varianten auch das subjektive Nutzerempfinden in die Gesamtbeurteilung mit einbezogen werden.

Als teilweise hinderlich stellte sich das Vorhaben heraus, die Bestandsleuchten "nur" umbauen bzw. adaptieren zu wollen. Die Herausforderung war, hier einen verlässlichen Partner zu finden, der bereit war diesen Weg mit zu beschreiten und als echte Option gegenüber einer Neuinstallation zu vertreten.
In der Anfangsphase dieser Projektarbeit hatte man mehrfach den Eindruck: "wenn man etwas nicht will, dann findet man auch einen Grund es nicht zu machen".
Allerdings muss an dieser Stelle auch erwähnt werden, dass hier zu Beginn, von Seiten des Projektbetreibers zu großer Optimismus hinsichtlich der Realisierbarkeit eines Umbaus des Altbestandes herrschte.
Die Gewährleitungsthematik bei Umbau der bestehenden Leuchten, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend bearbeitet werden.

Unterschätzt wurde auch der Gesamtzeitaufwand für die Realisierung der praktischen Versuchsaufbauten, im Speziellen gestaltete sich die Auswahl- und Planungsphase als sehr zeitintensiv.

Als grundlegende Erkenntnis kann festgehalten werden, dass man den Fokus bei der weiteren Bearbeitung rein auf die Möglichkeiten in Verbindung mit neuen Leuchten legen kann. Die schlechte Ausgangslage durch die bestehende "fixe Hardware" kann nur durch die Änderung der "variablen Komponenten" nicht behoben werden.
Dieses Ergebnis stellt somit eine wesentliche Grundlage und Unterstützung für alle zukünftigen Termine zum Thema Bürobeleuchtung mit den diversen "Anbietern" dar.

4.4. Ausblick und weitere Empfehlungen

Diese Arbeit soll als Grundlage für die Realisierung eines "Beleuchtungsprojekts" in der Liegenschaft der Wirtschaftskammer Österreich dienen.
Auch wenn die Ergebnisse nicht in vollem Umfang den Erwartungen entsprechen, bilden sie eine solide Grundlage für die weiteren Entscheidungen durch den Nutzer.

Vor der Umsetzung des eigentlichen Projekts in diesem Bereich sollten jedoch einige Punkte noch einer genaueren Betrachtung unterzogen werden.

In erster Linie ist hier sicher die ökonomische Optimierung zu nennen. Vielfältige Förderungen bieten hier die Möglichkeit, die Investitionskosten und in der Folge die Amortisationsdauer zu senken – als ein aktuelles Beispiel sei hier nur die Umweltförderung der Kommunalkredit für effiziente Energienutzung[25] genannt.
Eine andere Möglichkeit eine hohe einmalige Investition für Nutzer, Eigentümer und Betreiber zu vermeiden ist die Abwicklung mittels eines Contracting-Modells. Durch die Neuinstallation der Leuchten sind hier sicherlich am Markt geeignete Partner zu finden.

Gegenstand einer weiteren vertieften Betrachtung, sollten auch die indirekten Auswirkungen auf die übrigen gebäudetechnischen Anlagen sein.
Die Beleuchtungsanlage stellt zum Beispiel einen wesentlichen Faktor bei der Berechnung von Heiz- bzw. Kühllasten dar. Hier sind durch den Einsatz energieeffizienterer Beleuchtungssysteme wesentliche Auswirkungen zu erwarten.
Auch die zentrale Kompensationsanlage muss berücksichtigt werden, stellen doch die in den Leuchten aktuell eingesetzten KVG's (Konventionelles-Vorschalt-Gerät) in Summe einen nicht unwesentlichen induktiven Verbraucher dar.

[25] siehe dazu (www.kommunalkredit.at) und Anhang

Kurzfassung

Bürobeleuchtungsanlagen in Bestandsgebäuden, befinden sich am Ende der Nutzungsdauer, oftmals am selben Stand der Technik wie zum Planungszeitpunkt bzw. Errichtungszeitpunkt. Geänderte Vorschriften und Normen im Bereich Beleuchtungstechnik und Arbeitsplatzgestaltung, machen eine Modernisierung des Beleuchtungssystems nicht nur aus technischer Sicht notwendig.
Adaptierungen an der Beleuchtung bedingen Großteils auch umfassende Maßnahmen an den angrenzenden Gewerken – sowohl in bautechnischer als auch haustechnischer Hinsicht. Diese Tatsache stellt in weiterer Folge einen wesentlichen Faktor bei den Gesamtprojektkosten und somit der Wirtschaftlichkeit der Sanierung dar.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Möglichkeit untersucht, die Beleuchtungsanlage so zu adaptieren, dass sich die Auswirkungen der Arbeiten auf das Umfeld im Geringsten möglichem Maß bewegen. Das soll einerseits durch Umbau und teilweise Weiterverwendung bestehender Anlagenteile, bzw. andererseits durch den Einsatz moderner Beleuchtungstechnik erreicht werden. Der Hauptfokus liegt dabei immer auf der substanzschonenden Vorgehensweise im Hinblick auf den Bestand.
Trotzdem soll eine Verbesserung der Beleuchtungsqualität bei gleichzeitig geringerem Ressourceneinsatz erreicht werden. Die Einhaltung der geltenden Vorschriften und Richtlinien ist dabei ebenso obligatorisch, wie die Berücksichtigung des aktuellen Stands der Technik.

Am Beispiel des Gebäudes der Wirtschaftskammer Österreich sollte dabei, ausgehend von den Nutzeranforderungen, die technisch und wirtschaftlich beste Adaptierungsvariante gefunden werden. Mit Hilfe eines Bewertungssystems werden dabei die verschiedenen, in der Praxis errichteten Mustervarianten untersucht und nach definierten Kriterien und Gewichtungen beurteilt.
Die Variante mit der höchsten Punktezahl erfüllt dabei die Vorgaben hinsichtlich

- Nutzervorgaben
- Wirtschaftlichkeit
- technische Umsetzbarkeit

am besten.

Literaturverzeichnis

Baer, R., Eckert, M., Gall, D., & Schnor, R. (1996). *Beleuchtungstechnik. Grundlagen, 2. stark bearbeitet Auflage.* Berlin: Verlag Technik GmbH.

Bartenbach, C., & Wittnig, W. (2009). *Handbuch für Lichtgestaltung. Lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen.* Wien: Springer-Verlag.

Bundeskanzleramt-Österreich. (2008). *ASchG - ArbeitnehmerInnenschutzgesetz auf www.ris.bka.gv.at.* Abgerufen am 30. Juli 2009 von http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008910

Bundeskanzleramt-Österreich. (2008). *AStV - Arbeitsstättenverordnung auf www.ris.bka.gv.at.* Abgerufen am 30. Juli 2009 von http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10009098

Bundeskanzleramt-Österreich. (2008). *BS-V - Bildschirmarbeitsverordnung auf www.ris.bka.gv.at.* Abgerufen am 30. Juli 2009 von http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10009121

Deutsches-Institut-für-Normung-e.V. (2004). *Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Freese, T. (2005). *Handbuch für den Innenausbau, Sanitärtechnik, Heizungstechnik, Beleuchtungstechnik, Klimatechnik.* München: Deutsche Verlags-Anstalt GmbH.

Ganslandt, R., & Hofmann, H. (2000). *Handbuch der Lichtplanung.* Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

Heinz, R. (2008). *Grundlagen der Lichterzeugung. - von der Glühlampe bis zum Laser -, 3. erweiterte Auflage.* Rüthen: HIGHLIGHT Verlagsges.mbH.

Laasch, T., & Laasch, E. (2009). *Haustechnik, Grundlagen - Planung - Ausführung, 12. überarbeitete und aktualisierte Ausgabe.* Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH.

Lange, H. (2002). *Handbuch für Beleuchtung.* Landsberg am Lech: ecomed SICHERHEIT in der ecomed verlagsgesellschaft AG & Co.KG.

Müller, J. (2008). *Handbuch der Lichttechnik. Das Kompendium für den Praktiker. Know-How für Film, Fernsehen, Theater, Veranstaltungen und Events, 4. aktualisierte und erweiterte Auflage.* Bergkirchen: PPVMEDIEN GmbH.

Österreichisches-Normungsinstitut. (1993). *ÖNORM A 8010, Ergonomische Gestaltung von Büroarbeitsplätzen.* Wien: Johann Zellmayer's Söhne Ges.m.b.H.

Österreichisches-Normungsinstitut. (2003). *ÖNORM EN 12464-1, Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten. Teil1: Arbeitsstätten im Innenraum.* Wien: Österreichisches-Normungsinstitut.

Österreichisches-Normungsinstitut. (2002). *ÖNORM EN 12665, Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung.* Wien: Österreichisches-Normungsinstitut.

Österreichisches-Normungsinstitut. (2007). *ÖNORM EN 13032-2, Licht und Beleuchtung - Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten, Teil 2: Darstellung der Daten für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien.* Wien: Österreichisches-Normungsinstitut.

Österreichisches-Normungsinstitut. (2008). *ÖNORM EN 15193, Energetische Bewertung von Gebäuden - Energetische Anforderungen an die Beleuchtung.* Wien: Österreichisches-Normungsinstitut.

Österreichisches-Normungsinstitut. (2001). *ÖNORM EN ISO 9241-6, Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung.* Wien: Österreichisches-Normungsinstitut.

Pech, A., & Klaus, J. (2007). *Elektro- und Regeltechnik. Reihe: Baukonstruktionen* (Bd. 17). Wien: Springer-Verlag.

Schulte, K.-W. (2008). *Immobilienökonomie. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 4. Auflage* (Bd. 1). München: Oldenburg Verlag.

Wellpott, E., & Bohne, D. (2006). *Technischer Ausbau von Gebäuden, 9. völlig überarbeitete und aktualisierte Auflage.* Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH.

www.as-search.at. (kein Datum). Abgerufen am 03. August 2009 von https://www.on□norm.at/shopV5/search/Search.action?search=&interval=false&navigatorField=groupnumber&navigatorDisplayName=Gruppe&searchTerm=%C3%96NORM+O

www.bmwi.de. (2009). Abgerufen am 03. Juli 2009 von http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Mittelstand/corporate□citizenship,did=60866.html

www.goonet.ch. (2009). Abgerufen am 07. 12 2009 von http://www.goonet.ch/wp-content/uploads/2008/07/solarbeleuchtung_led.jpg

www.hereinspaziert.de. (1998-2009). Abgerufen am 27. November 2009 von http://www.hereinspaziert.de/lampen/Leuchtstoff.htm

www.kommunalkredit.at. (kein Datum). Abgerufen am 11. Jänner 2010 von http://www.public□consulting.at/de/portal/umweltfrderungen/bundesfrderungen/betrieblicheumweltfrderungiminland/effizienteenergienutzung/effizienteenergienutzung/

www.osram.at. (2008). Abgerufen am 13. Juni 2009 von http://www.osram.at/osram_at/Lichtplanung/Ueber_Licht/Licht_%26_Raum/Arten_der_Lichterzeugung/index.html

www.osram.at. (2008). Abgerufen am 05. Februar 2010 von http://www.osram.at/osram_at/Lichtplanung/Ueber_Licht/Licht_%26_Mensch/Wahrnehmung/Lichtfarbe/index.html

www.pw-weiss.com. (20. Juli 2007). Abgerufen am 21. Juli 2009 von http://www.pw-weiss.com/0uploads/datei3.pdf

www.siteco.at. (2000-2009). Abgerufen am 07. 12 2009 von http://www.siteco.at/products/lp/35312_1.pdf

www.stromeffizienz.de. (2009). Abgerufen am 14. Juni 2009 von http://www.stromeffizienz.de/uploads/media/Grafik_Beleuchtung_04.jpg

www.voltium.de. (2002-2009). Abgerufen am 27. November 2009 von http://www.voltimum.de/news/772/s/Wie□hoch□ist□die□Lebensdauer□von□Leuchtstofflampen.html

www.wko.at. (2009). Abgerufen am 23. Juni 2009 von http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?AngID=1&StID=446228&DstID=0

www.zumtobel.at. (2009). Abgerufen am 08. Juli 2009 von http://www.zumtobel.at/at/de/productrange_82840.htm

www.zumtobel.at. (2009). Abgerufen am 07. Juli 2009 von http://www.zumtobel.at/at/de/productrange_58360.htm

www.zumtobel.com. (Oktober 2006). Abgerufen am 09. 12 2009 von http://www.zumtobel.com/PDB/teaser/de/MildesLichtIV.pdf

Zehrer, H., & Sasse, E. (2008). *Handbuch Facility Management. mit 17. Ergänzungslieferung.* Landsberg: ecomed SICHERHEIT Verlagsgruppe Hüthing.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Einsparpotentiale durch den Einsatz verschiedener Maßnahmen (Baer, Eckert, Gall, & Schnor, 1996, S. 12) 10
Abb. 2: Die Beleuchtung als ergonomischer Faktor am Arbeitsplatz (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 187) 15
Abb. 3: Die Welt der Lampen (www.osram.at, 2008) 17
Abb. 4: Leuchteneinteilung nach dem Verwendungszweck 18
Abb. 5: Beispiel einer LVK (www.siteco.at, 2000-2009) 20
Abb. 6: Lichtausbeute der gängigsten Leuchtmitteltypen (www.goonet.ch, 2009) ... 21
Abb. 7: Kruithoff'scher Behaglichkeitsbereich (Bartenbach & Wittnig, 2009, S. 46) 32
Abb. 8: Bauformen von Leuchtstofflampen 34
Abb. 9: Lichttechnische Wirkungsgrade kommerziell verfügbarer LED – unter Betriebsbedingungen (Heinz, 2008, S. 94) 35
Abb. 10: Infeld-Umfeld-Komponenten eines gängigen Bildschirm-Arbeitsplatzes .. 40
Abb. 11: Beispiele für Blendung bei unterschiedlich geneigten Displays (www.zumtobel.com, 2006) 45
Abb. 12: Lageplan WH63, Quelle: virtueller Stadtplan auf www.wien.gv.at 47
Abb. 13: Grundrissbeispiele Büroraum WKÖ 48
Abb. 14: Direkte Allgemeinbeleuchtung 49
Abb. 15: Standardbüro 2-Fensterachsen 50
Abb. 16: Standardbüro, möbliert 1 AP 50
Abb. 17: Grundriß eines Musterraumes 54
Abb. 18: Musterraum mit Messraster und Messpunkten 56
Abb. 19: Leuchtmittel der Variante A2 64
Abb. 20: T5-Lampenadapter "etalux 1200 EVG" und "Überbrücker" 67
Abb. 21: Lichtberechnung für Variante "A4" Arbeitsbereich 70
Abb. 22: Lichtberechnung für Variante "A4" Umfeldbereich 70
Abb. 23: 3D-Lichtsimulation für Variante "A4" 70
Abb. 24: Grundriß des Musterraums mit Pendelleuchten 72
Abb. 25: Lichtberechnung für Variante "A6" Arbeitsbereich 77
Abb. 26: Lichtberechnung für Variante "A6" Umfeldbereich 77
Abb. 27: 3D-Lichtsimulation für Variante "A6" 78

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Beleuchtungssituationen mit zugeordneter Nenn-Beleuchtungsstärke..... 16
Tab. 2: gemessene Beleuchtungsstärken Variante B1 60
Tab. 3: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A1 62
Tab. 4: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A2 64
Tab. 5: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A3 67
Tab. 6: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A4 69
Tab. 7: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A5 73
Tab. 8: gemessene Beleuchtungsstärken Variante A5a 75
Tab. 9: Übersicht nach Kostengruppen der Varianten 82
Tab. 10: Gesamtbewertung der Beleuchtungsanlagen 85

Anhang

I. Lichtsimulation Variante A4

siteco

WKO

Anlage : Musterbüro

Projektnummer : S0121-01.1
Kunde : WKO
Bearbeiter : Lydia Sandhofer/Andreas Brandstädter
Datum : 07.09.2009

Die Ermittlung der Beleuchtungsergebnisse erfolgte verkaufsunterstützend mit größter Sorgfalt auf Basis der uns vorliegenden Unterlagen mit Hilfe von marktüblichen Berechnungsverfahren (z.B. Relux, Dialux).
Eine Garantie / Gewährleistung / Haftung für diese kostenlose Errechnung wird von SITECO nicht übernommen. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die Leistungen der Lichtplanungs- u. Ingenieurbüros.

Die nachfolgenden Werte basieren auf exakten Berechnungen an kalibrierten Lampen, Leuchten und deren Anordnung. In der Praxis können graduelle Abweichungen auftreten. Gewährleistungsansprüche für die Leuchten-Daten sind ausgeschlossen. Der Hersteller übernimmt keine Haftung für die Folgeschäden und Schäden, die dem Benutzer oder dritten gegenüber entstehen.

siteco

Inhaltsverzeichnis

Deckblatt 1
Inhaltsverzeichnis 2
1 Leuchtendaten
1.1 Siteco, Comfit XS (5LF 41B 7-1JW)
1.1.1 Datenblatt 3
2 Raum
2.1 Zusammenfassung, Raum
2.1.1 Ergebnisübersicht, Umgebung 1 4
2.1.2 Ergebnisübersicht, Arbeitsbereich 1 5
2.2 Berechnungsergebnisse, Raum
2.2.1 3D-Leuchtdichte, Ansicht von rechts 6

Objekt	:	WKO
Anlage	:	Musterbüro
Projektnummer	:	S0121-01.1
Datum	:	07.09.2009

siteco

1 Leuchtendaten

1.1 Siteco, Comfit XS (5LF 41B 7-1JW)

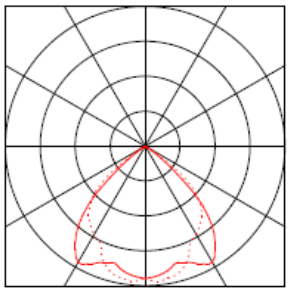
1.1.1 Datenblatt

Hersteller: Siteco

5LF 41B 7-1JW Rastereinbauleuchte Comfit XS
Gehäuse aus Stahlblech, leuchtenweiß lackiert (ähnlich RAL 9010)
BAP60-Spiegelraster, hochglänzend
direkt strahlend
Schutzart:IP 23
Schutzklasse: SK I
Montageart: Einbau

Leuchtendaten		
Leuchten-Wirkungsgrad	:	73.5% (A60) ⇓ 99.9% ⇑ 0.1%
Betriebsmittel	:	EVG
tot. Systemleistung	:	61 W
Länge	:	1177 mm
Breite	:	114 mm

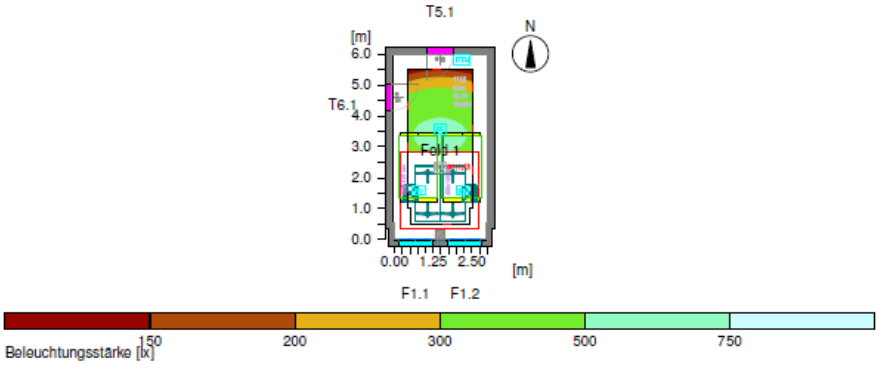
Bestückung mit		
Anzahl	:	1
Bezeichnung	:	FDH
Leistung	:	54 W
Farbe	:	
Lichtstrom	:	4450 lm



2 Raum

2.1 Zusammenfassung, Raum

2.1.1 Ergebnisübersicht, Umgebung 1



Allgemein

Verwendeter Rechenalgorithmus	Hoher Indirektanteil
Höhe der Bewertungsfläche	0.75 m
Höhe Leuchtenebene	2.80 m
Wartungsfaktor	0.80
Gesamtlichtstrom aller Lampen	17800 lm
Gesamtleistung	244 W
Gesamtleistung pro Fläche (18.52 m²)	13.18 W/m²

Beleuchtungsstärken

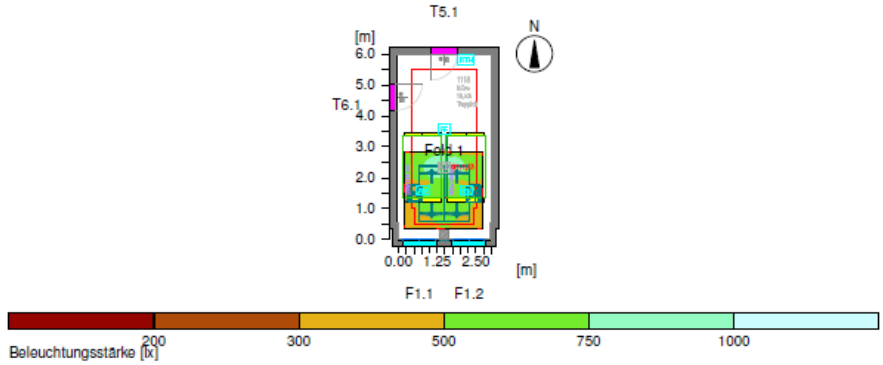
Mittlere Beleuchtungsstärke	Em	397 lx
Minimale Beleuchtungsstärke	Emin	168 lx
Maximale Beleuchtungsstärke	Emax	561 lx
Gleichmäßigkeit g1	Emin/Em	1:2.36 (0.42)
Gleichmäßigkeit g2	Emin/Emax	1:3.34 (0.3)

Typ	Anz.	Fabrikat	
		Siteco	
1	4	Bestell Nr.	: 5LF 41B 7-1JW
		Leuchtenname	: Comfit XS
		Bestückung	: 1 x FDH 54 W / 4450 lm

siteco

2.1 Zusammenfassung, Raum

2.1.2 Ergebnisübersicht, Arbeitsbereich 1



Allgemein

Verwendeter Rechenalgorithmus	Hoher Indirektanteil
Höhe der Bewertungsfläche	0.75 m
Höhe Leuchtenebene	2.80 m
Wartungsfaktor	0.80
Gesamtlichtstrom aller Lampen	17800 lm
Gesamtleistung	244 W
Gesamtleistung pro Fläche (18.52 m²)	13.18 W/m²

Beleuchtungsstärken

Arbeitsbereich		horizontale (0.75 m)
Mittelwert	Em	568 lx
Minimalwert	Emin	370 lx
Gleichmäßigkeit g1	Emin/Em	1:1.54 (0.65)
Umgebung		horizontale (0.75 m)
Mittelwert	Em	397 lx
Minimalwert	Emin	168 lx
Gleichmäßigkeit g1	Emin/Em	1:2.36 (0.42)

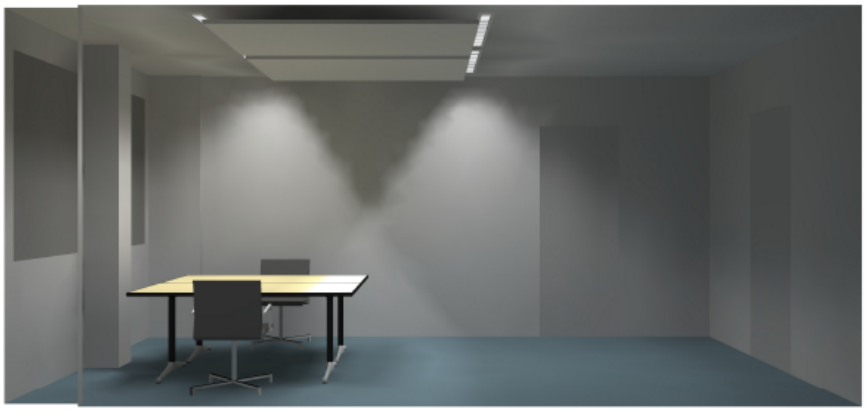
Typ	Anz.	Fabrikat	
		Siteco	
1	4	Bestell Nr.	: 5LF 41B 7-1JW
		Leuchtenname	: Comfit XS
		Bestückung	: 1 x FDH 54 W / 4450 lm

siteco

2 Raum

2.2 Berechnungsergebnisse, Raum

2.2.1 3D-Leuchtdichte, Ansicht von rechts



Leuchtdichte in der Szene
Minimum : 0 cd/m²
Maximum : 2350 cd/m²

II. Lichtsimulation Variante A5a

siteco

WKO

Anlage : Musterbüro - Variante 2 - montierte Ausführung

Projektnummer : S0121-01.7
Kunde : WKO
Bearbeiter : Lydia Sandhofer/Andreas Brandstädter
Datum : 14.01.2010

Projektbeschreibung:
Comfolight 2x1x28W

Die Ermittlung der Beleuchtungsergebnisse erfolgte verkaufsunterstützend mit größter Sorgfalt auf Basis der uns vorliegenden Unterlagen mit Hilfe von marktüblichen Berechnungsverfahren (z.B. Relux, Dialux).
Eine Garantie / Gewährleistung / Haftung für diese kostenlose Errechnung wird von SITECO nicht übernommen. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die Leistungen der Lichtplanungs- u. Ingenieurbüros.

Die nachfolgenden Werte basieren auf exakten Berechnungen an kalibrierten Lampen, Leuchten und deren Anordnung. In der Praxis können graduelle Abweichungen auftreten. Gewährleistungsansprüche für die Leuchten-Daten sind ausgeschlossen. Der Hersteller übernimmt keine Haftung für die Folgeschäden und Schäden, die dem Benutzer oder dritten gegenüber entstehen.

siteco

Inhaltsverzeichnis

Deckblatt 1
Inhaltsverzeichnis 2
1 Leuchtendaten
1.1 Siteco, COMFOLIGHT 2 (!5MF 43B 7-1HS)
1.1.1 Datenblatt 3
2 Raum
2.1 Zusammenfassung, Raum
2.1.1 Ergebnisübersicht, Umgebung 1 4
2.1.2 Ergebnisübersicht, Arbeitsbereich 1 5
2.2 Berechnungsergebnisse, Raum
2.2.1 3D-Leuchtdichte, Ansicht von rechts 6

Objekt	:	WKO
Anlage	:	Musterbüro - Variante 2 - montierte Ausführung
Projektnummer	:	S0121-01.7
Datum	:	14.01.2010

siteco

1 Leuchtendaten

1.1 Siteco, COMFOLIGHT 2 (!5MF 43B 7-1HS)

1.1.1 Datenblatt

Hersteller: Siteco

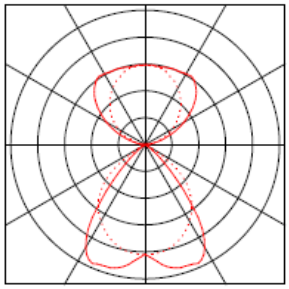
!5MF 43B 7-1HS Einzelleuchte für abgehängte Montage COMFOLIGHT 2
Gehäuse aus Aluminium-Strangpreßprofil
BAP65-Spiegelraster, hochglänzend, (L <= 1000 cd / m² rundum)
direkt / indirekt strahlend
Schutzart:IP 20
Schutzklasse: SK I
Montageart: abgehängt

Leuchtendaten

Leuchten-Wirkungsgrad	:	88.7% (C63)
		⇓ 46.1% ⇑ 53.9%
Betriebsmittel	:	EVG
tot. Systemleistung	:	236 W
Länge	:	2432 mm
Breite	:	162 mm
Höhe	:	56 mm

Bestückung mit

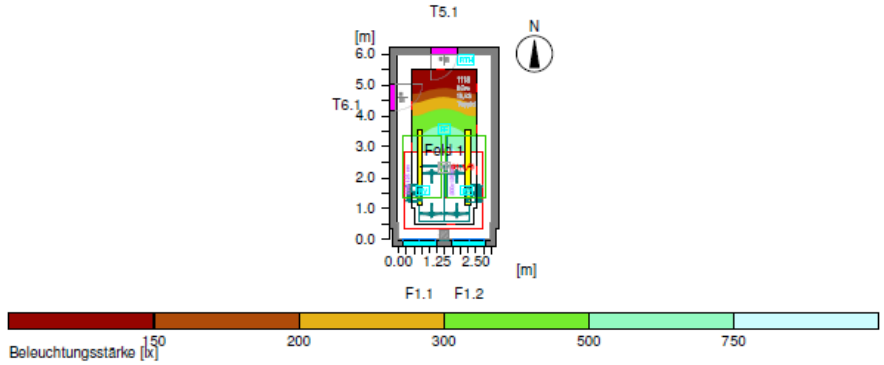
Anzahl	:	2
Bezeichnung	:	FDH
Leistung	:	28 W
Farbe	:	
Lichtstrom	:	2900 lm



2 Raum

2.1 Zusammenfassung, Raum

2.1.1 Ergebnisübersicht, Umgebung 1



Allgemein

Verwendeter Rechenalgorithmus	Hoher Indirektanteil
Höhe der Bewertungsfläche	0.75 m
Höhe Leuchtenebene	2.30 m
Wartungsfaktor	1.00
Gesamtlichtstrom aller Lampen	11600 lm
Gesamtleistung	472 W
Gesamtleistung pro Fläche (18.52 m²)	25.49 W/m²

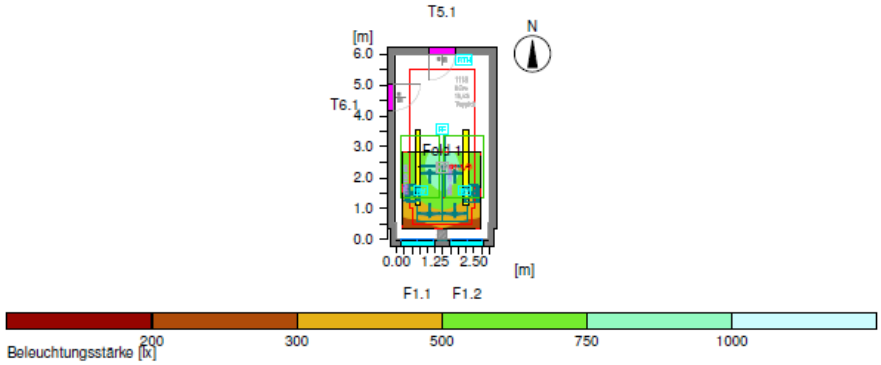
Beleuchtungsstärken

Mittlere Beleuchtungsstärke	Em	308 lx
Minimale Beleuchtungsstärke	Emin	94 lx
Maximale Beleuchtungsstärke	Emax	688 lx
Gleichmäßigkeit g1	Emin/Em	1:3.27 (0.31)
Gleichmäßigkeit g2	Emin/Emax	1:7.31 (0.14)

Typ	Anz.	Fabrikat	
		Siteco	
1	2	Bestell Nr.	: l5MF 43B 7-1HS
		Leuchtenname	: COMFOLIGHT 2
		Bestückung	: 2 x FDH 28 W / 2900 lm

2.1 Zusammenfassung, Raum

2.1.2 Ergebnisübersicht, Arbeitsbereich 1



Allgemein

Verwendeter Rechenalgorithmus	Hoher Indirektanteil
Höhe der Bewertungsfläche	0.75 m
Höhe Leuchtenebene	2.30 m
Wartungsfaktor	1.00
Gesamtlichtstrom aller Lampen	11600 lm
Gesamtleistung	472 W
Gesamtleistung pro Fläche (18.52 m²)	25.49 W/m²

Beleuchtungsstärken

Arbeitsbereich		horizontale (0.75 m)
Mittelwert	Em	574 lx
Minimalwert	Emin	224 lx
Gleichmäßigkeit g1	Emin/Em	1:2.57 (0.39)
Umgebung		horizontale (0.75 m)
Mittelwert	Em	308 lx
Minimalwert	Emin	94 lx
Gleichmäßigkeit g1	Emin/Em	1:3.27 (0.31)

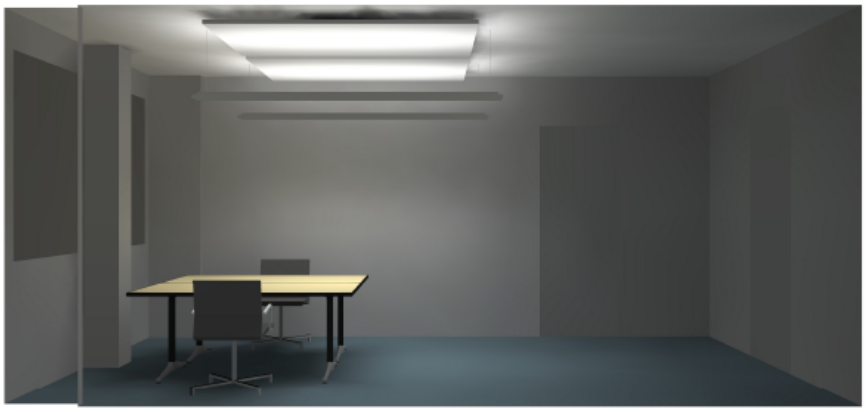
Typ	Anz.	Fabrikat	
		Siteco	
1	2	Bestell Nr.	: !5MF 43B 7-1HS
		Leuchtenname	: COMFOLIGHT 2
		Bestückung	: 2 x FDH 28 W / 2900 lm

siteco

2 Raum

2.2 Berechnungsergebnisse, Raum

2.2.1 3D-Leuchtdichte, Ansicht von rechts



Leuchtdichte in der Szene
Minimum : 0 cd/m²
Maximum : 283 cd/m²

III. Lichtsimulation Variante A6

siteco

WKO

Anlage : Musterbüro - Variante 3 auf Wunsch - Termin Hr. Vallant

Projektnummer : S0121-01.8
Kunde : WKO
Bearbeiter : Lydia Sandhofer/Andreas Brandstädter
Datum : 14.01.2010

Projektbeschreibung:
Comfolight 2x1x35W

Die Ermittlung der Beleuchtungsergebnisse erfolgte verkaufsunterstützend mit größter Sorgfalt auf Basis der uns vorliegenden Unterlagen mit Hilfe von marktüblichen Berechnungsverfahren (z.B. Relux, Dialux).
Eine Garantie / Gewährleistung / Haftung für diese kostenlose Errechnung wird von SITECO nicht übernommen. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die Leistungen der Lichtplanungs- u. Ingenieurbüros.

Die nachfolgenden Werte basieren auf exakten Berechnungen an kalibrierten Lampen, Leuchten und deren Anordnung. In der Praxis können graduelle Abweichungen auftreten. Gewährleistungsansprüche für die Leuchten-Daten sind ausgeschlossen. Der Hersteller übernimmt keine Haftung für die Folgeschäden und Schäden, die dem Benutzer oder dritten gegenüber entstehen.

Siteco Österreich GmbH Leonard-Bernstein-Straße 10
1220 Wien Tel.: +43 1 25024 0 mail:info@siteco.at web:www.siteco.at

Objekt	:	WKO
Anlage	:	Musterbüro - Variante 3 auf Wunsch - Termin Hr. Vallant
Projektnummer	:	S0121-01.8
Datum	:	14.01.2010

siteco

Inhaltsverzeichnis

Deckblatt		1
Inhaltsverzeichnis		2
1	**Leuchtendaten**	
1.1	**Siteco, COMFOLIGHT 2 (!5MF 43B 7-1WS)**	
1.1.1	Datenblatt	3
2	**Raum**	
2.1	**Zusammenfassung, Raum**	
2.1.1	Ergebnisübersicht, Umgebung 1	4
2.1.2	Ergebnisübersicht, Arbeitsbereich 1	5
2.2	**Berechnungsergebnisse, Raum**	
2.2.1	3D-Leuchtdichte, Ansicht von rechts	6

Objekt	:	WKO
Anlage	:	Musterbüro - Variante 3 auf Wunsch - Termin Hr. Vallant
Projektnummer	:	S0121-01.8
Datum	:	14.01.2010

1 Leuchtendaten

1.1 Siteco, COMFOLIGHT 2 (!5MF 43B 7-1WS)

1.1.1 Datenblatt

Hersteller: Siteco

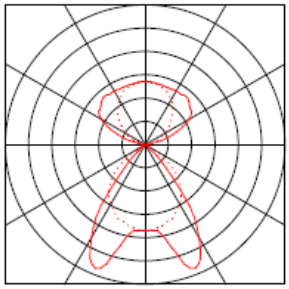
!5MF 43B 7-1WS Einzelleuchte für abgehängte Montage COMFOLIGHT 2
Gehäuse aus Aluminium-Strangpreßprofil
BAP65-Spiegelraster, hochglänzend, (L <= 1000 cd / m² rundum)
direkt / indirekt strahlend
Schutzart:IP 20
Schutzklasse: SK I
Montageart: abgehängt

Leuchtendaten

Leuchten-Wirkungsgrad	:	85.9% (C63) ⇓ 45.9% ⇑ 54.1%
Betriebsmittel	:	EVG
tot. Systemleistung	:	78 W
Länge	:	3032 mm
Breite	:	162 mm
Höhe	:	56 mm

Bestückung mit

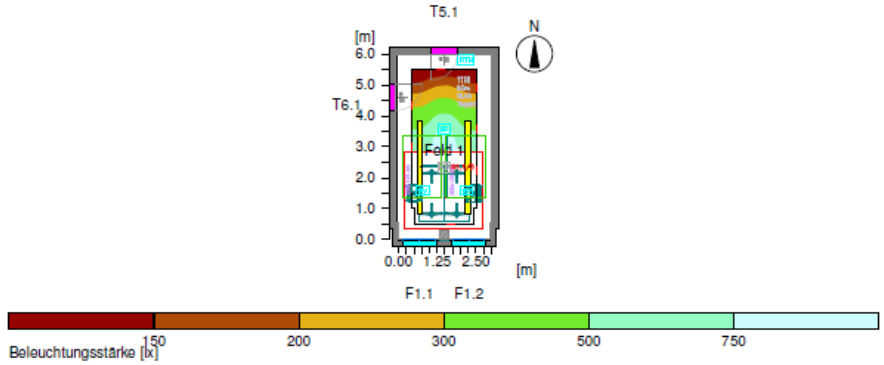
Anzahl	:	2
Bezeichnung	:	FDH
Leistung	:	35 W
Farbe	:	
Lichtstrom	:	3600 lm



2 Raum

2.1 Zusammenfassung, Raum

2.1.1 Ergebnisübersicht, Umgebung 1



Allgemein

Verwendeter Rechenalgorithmus	Hoher Indirektanteil
Höhe der Bewertungsfläche	0.75 m
Höhe Leuchtenebene	2.30 m
Wartungsfaktor	1.00
Gesamtlichtstrom aller Lampen	14400 lm
Gesamtleistung	156 W
Gesamtleistung pro Fläche (18.52 m²)	8.42 W/m²

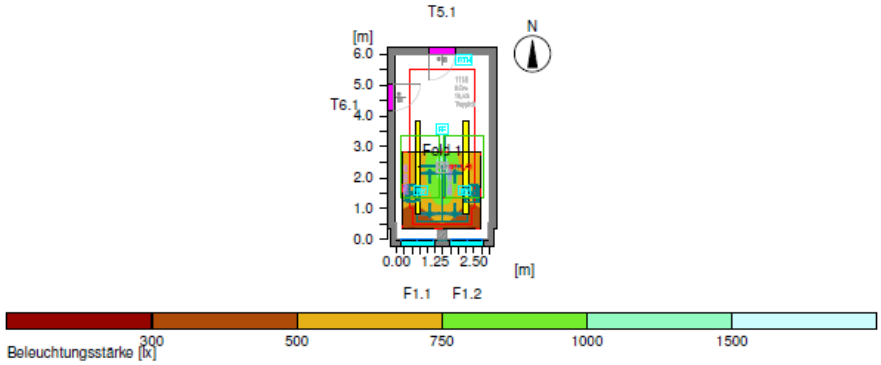
Beleuchtungsstärken

Mittlere Beleuchtungsstärke	Em	386 lx
Minimale Beleuchtungsstärke	Emin	128 lx
Maximale Beleuchtungsstärke	Emax	864 lx
Gleichmäßigkeit g1	Emin/Em	1:3.01 (0.33)
Gleichmäßigkeit g2	Emin/Emax	1:6.73 (0.15)

Typ	Anz.	Fabrikat	
		Siteco	
2	2	Bestell Nr.	: !5MF 43B 7-1WS
		Leuchtenname	: COMFOLIGHT 2
		Bestückung	: 2 x FDH 35 W / 3600 lm

2.1 Zusammenfassung, Raum

2.1.2 Ergebnisübersicht, Arbeitsbereich 1



Allgemein

Verwendeter Rechenalgorithmus	Hoher Indirektanteil
Höhe der Bewertungsfläche	0.75 m
Höhe Leuchtenebene	2.30 m
Wartungsfaktor	1.00
Gesamtlichtstrom aller Lampen	14400 lm
Gesamtleistung	156 W
Gesamtleistung pro Fläche (18.52 m²)	8.42 W/m²

Beleuchtungsstärken

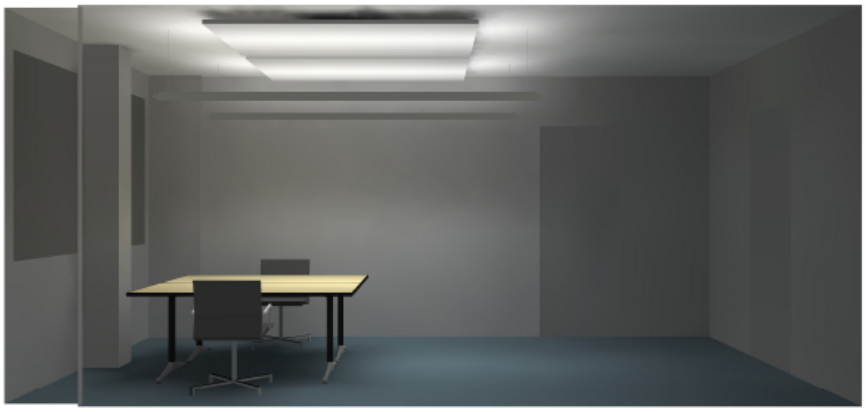
Arbeitsbereich		horizontale (0.75 m)
Mittelwert	Em	654 lx
Minimalwert	Emin	303 lx
Gleichmäßigkeit g1	Emin/Em	1:2.16 (0.46)
Umgebung		horizontale (0.75 m)
Mittelwert	Em	386 lx
Minimalwert	Emin	128 lx
Gleichmäßigkeit g1	Emin/Em	1:3.01 (0.33)

Typ	Anz.	Fabrikat	
		Siteco	
2	2	Bestell Nr.	: !5MF 43B 7-1WS
		Leuchtenname	: COMFOLIGHT 2
		Bestückung	: 2 x FDH 35 W / 3600 lm

2 Raum

2.2 Berechnungsergebnisse, Raum

2.2.1 3D-Leuchtdichte, Ansicht von rechts



Leuchtdichte in der Szene
Minimum : 0 cd/m²
Maximum : 263 cd/m²

IV. Detailberechnung – Kosten von Beleuchtungsanlagen

Kosten von Beleuchtungsanlagen

$$K = n_2 \times \left[\frac{\frac{k_1}{100} \times K_1 + \frac{k_2}{100} \times K_2}{n_2} + t_B \times a \times P + t_B \times \frac{K_4}{t_L} + \left(t_B \times \frac{K_3}{t_L} + \frac{R}{n_2} \right) \right]$$

Variante		B1	A1	A2	A3	A4	A5	A5a	A6
K	**Jährliche Gesamtkosten**	**103,62**	**98,63**	**69,86**	**88,38**	**163,17**	**147,29**	**114,21**	**125,58**
K_1	Kosten einer Leuchte	€ -	€ -	€ -	€ 35,40	€ 127,51	€ 277,31	€ 277,81	€ 294,46
k_1	Kapitaldienst für K1 (Verzinsung und Abschreibung) in %	8	8	8	9	8	8	8	8
K_2	Kosten für Installationsmaterial und Montage je Leuchte	€ -	€ -	€ -	€ 13,00	€ 59,64	€ 93,82	€ 93,82	€ 93,82
k_2	Kapitaldienst für K2 (Verzinsung und Abschreibung) in %	8	8	8	9	8	8	8	8
R	Reinigungskosten je Leuchte und Jahr	€ 6,55	€ 6,55	€ 6,55	€ 6,55	€ 6,55	€ 5,87	€ 5,87	€ 5,87
n_1	Anzahl aller Lampen	4	4	4	4	4	4	4	4
n_2	Anzahl der Lampen je Leuchte	1	1	1	1	1	2	2	2
K_3	Kosten (Preis) einer Lampe	€ 2,88	€ 8,72	€ 93,58	€ 3,76	€ 3,50	€ 3,50	€ 3,76	€ 3,76
K_4	Kosten für das Auswechseln einer Lampe	€ 8,33	€ 8,33	€ 8,33	€ 10,00	€ 8,33	€ 6,67	€ 6,67	€ 6,67
P	Leistungsaufnahme einer Lampe einschließlich Vorschaltgerät in kW	0,049	0,045	0,018	0,029	0,0545	0,0545	0,029	0,0355
a	Kosten der elektrischen Energie je kWh inklusive der anteiligen Bereitstellungskosten (Grundpreis)	€ 0,1294	€ 0,1294	€ 0,1294	€ 0,1294	€ 0,1294	€ 0,1294	€ 0,1294	€ 0,1294
t_L	Nutzlebensdauer der Lampe in h	8000	12000	50000	19000	18000	18000	19000	18000
t_B	Jährliche Benutzungsdauer in h	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
	Gesamtinvestitionskosten	€ -	€ -	€ -	€ 193,60	€ 748,61	€ 742,25	€ 743,26	€ 776,54
	jährliche Investitionskosten	€ -	€ -	€ -	€ 17,42	€ 59,89	€ 59,38	€ 59,46	€ 62,12
	jährliche Energiekosten	€ 63,41	€ 58,23	€ 23,29	€ 37,53	€ 70,52	€ 70,52	€ 37,53	€ 45,94
	jährliche Instandhaltungskosten	€ 40,21	€ 40,40	€ 46,57	€ 33,43	€ 32,76	€ 17,38	€ 17,22	€ 17,52
	Amortisationsdauer in Jahren				5,93	2272,85	47,25	15,21	19,34

Lohnkosten	€ / Std.
Elektriker	€ 65,00
Reinigungskraft	€ 20,40
Haustechniker	€ 50,00

V. Infofolder Umweltförderung der Kommunalkredit

UMWELTFÖRDERUNG
▸ UMWELTFÖRDERUNG IM INLAND
Umweltförderung des Bundes – managed by Kommunalkredit Public Consulting

Effiziente Energienutzung - Gebäudebezogene Haustechnik

Zielsetzung

Die seit den 70-er Jahren erfolgte Entkopplung von Produktionsausstoß und Energieverbrauch soll weiter forciert werden. Im Rahmen dieses Förderschwerpunktes sollen verschiedene Maßnahmen auf betrieblicher Ebene gefördert werden, die zu einer Erhöhung der Energieeffizienz in Gebäuden führen.

Zielgruppe

- Sämtliche natürliche und juristische Personen zur Ausübung von gewerblicher Tätigkeiten (jedoch nicht auf GewO beschränkt);
- Konfessionelle Einrichtungen und gemeinnützige Vereine;
- Einrichtungen der öffentlichen Hand in der Form eines Betriebes mit marktbestimmter Tätigkeit;
- Contractoren;

Nicht gefördert werden natürliche und juristische Personen, die von anderen Förderungssystemen, insbesondere der Wohnbauförderung erfasst werden.

Förderungsgegenstand

Maßnahmen zur effizienten Nutzung von Energie in bestehenden Gebäuden, insbesondere

- Energetische Optimierung von heizungs- und raumlufttechnischen Anlagen (Nachrüstung von Abluftwärmerückgewinnung, Drehzahlregelungen von Lüftungsventilatoren und Pumpen, Abwärmenutzung von Klimaanlagen und Abwässern);
- Beleuchtungsoptimierung (Einbau von Vorschaltgeräten, sensorgeführte Beleuchtungsregelung). Geringwertige Wirtschaftsgüter wie z.B. Leuchtmittel werden nicht gefördert;

Hinweis: Der Einbau einer Abluftwärmerückgewinnung bzw. einer Gebäudeleittechnik im Zuge einer thermischen Gebäudesanierung wird gemeinsam mit den Sanierungsmaßnahmen im Förderschwerpunkt „Thermische Gebäudesanierung" behandelt.
Alternative Kälte- und Klimaanlagen sind im Förderschwerpunkt „Kühlen und Klimatisieren" einzureichen.
Wärmerückgewinnung bei Lüftungsanlagen, Kältemaschinen und Druckluftanlagen bis zu einem Investitionsvolumen von EUR 50.000,- sind im Förderschwerpunkt „Effiziente Energienutzung - Wärmerückgewinnung" einzureichen.

Förderungsbasis

- „De-minimis"-Förderung[1]: Förderungsbasis sind die gesamten umweltrelevanten Investitionskosten;
- Förderung über der „de-minimis"-Grenze: Förderungsbasis sind die umweltrelevanten Mehrinvestitionskosten. Die umweltrelevanten Mehrinvestitionskosten werden gemäß Allgemeiner Gruppenfreistellungsverordnung (Verordnung EG Nr. 800/2008) von der Kommunalkredit Public Consulting GmbH ermittelt.

Förderungssatz

- Der Standardförderungssatz beträgt 30% (und allfällige Zuschläge) der umweltrelevanten Investitionskosten.
- Darüber hinaus darf für Projekte über der „de-minimis"-Grenze die Förderung 40% (und allfällige Zuschläge) der gemäß Allgemeiner Gruppenfreistellungsverordnung (Verordnung EG Nr. 800/2008) ermittelten umweltrelevanten Mehrinvestitionskosten nicht überschreiten.
- Die von der Kommission in Angelegenheiten der Umweltförderung im In- und Ausland im Handbuch der Umweltförderung festgelegte Begrenzung der anerkennbaren umweltrelevanten Investitionskosten in Bezug auf den Umwelteffekt zur Sicherstellung der Förderungseffizienz wird bei der Förderungsermittlung berücksichtigt.

Förderungsvoraussetzungen

- Das Ansuchen muss vor Baubeginn bzw. Liefertermin bei der Kommunalkredit Public Consulting GmbH einlangen;
- Die gesamten umweltrelevanten Investitionskosten müssen mindestens EUR 10.000,- betragen;
- Die durch die beantragten Maßnahmen erzielten Einsparungen müssen in Summe zumindest 10% bezogen auf die eingesetzten Energieträger betragen;

Erforderliche Unterlagen

Bitte überprüfen Sie anhand folgender Liste die Vollständigkeit Ihres Förderungsansuchens. Sämtliche Formblätter und weiterführende Informationen finden Sie unter *www.publicconsulting.at/foerdermappe_ufi.htm*.

- **Förderungsansuchen** - das vollständig ausgefüllte und firmenmäßig gefertigte Ansuchenformblatt;
- **Technisches Datenblatt** - das vollständig ausgefüllte Technische Datenblatt für Effiziente Energienutzung – Gebäudebezogene Haustechnik gemäß Formblatt ;
- **Beschreibung der Maßnahme** - eine technische Beschreibung der beantragten Maßnahme (gegebenenfalls mit Anlagenschema oder Übersichtsplänen);
- **Kosteneinsparungen** - Angaben und Nachweise (Rechnungen) zu den Kosten der eingesparten Energieträger;
- **Kostenaufstellung** – eine detaillierte Kostenaufstellung zur beantragten Maßnahme sowie hierauf bezugnehmende Kostenvoranschläge, Angebote und Vergleichsangebote;

Bei **Contracting- oder Leasingfinanzierten Maßnahmen** ist dem Förderungsansuchen weiters der Contracting- oder Leasingvertrag beizulegen. (Hinweis: Auch bei Förderung von

[1] Definition „de-minimis"-Förderung: Sämtliche als „de-minimis"-Förderung gewährten Förderungen zugunsten eines Unternehmens bis zu einem maximalen Ausmaß von EUR 200.000,- innerhalb von 3 Steuerjahren.

Contractoren muss die zu fördernde Anlage zumindest teilweise betrieblich, oder von öffentlichen Gebietskörperschaften genutzte Objekte versorgen).

Weitere Unterlagen sind bei Bedarf auf Aufforderung der Kommunalkredit Public Consulting GmbH vorzulegen.

Formblätter sind bei allen Kreditinstituten und auf der Homepage der Kommunalkredit Public Consulting GmbH unter *http://www.publicconsulting.at* erhältlich.

Informationen erteilt die Kommunalkredit Public Consulting GmbH:
Telefon: 01/31 6 31-723, Fax: 01/31 6 31-104, Email: kpc@kommunalkredit.at,
Kommunalkredit Public Consulting GmbH, Türkenstraße 9, 1092 Wien.