



**Universität für Bodenkultur**  
Institut für Verfahrens- und Energietechnik

**E-Verbrauchsanalyse und  
Optimierungspotenzial im  
Bereich 'Beleuchtung' eines öffentli-  
chen Dienstleistungsgebäudes**

**Masterarbeit**  
Zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplomingenieur

eingereicht von  
Markus Bencsik, BSc  
Stud Kennz.:427 Matr. Nr.: 0940084

Mitbetreuer: Dipl.-Ing. Dr. Jan Kotik  
Betreuter: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Tobias Pröll

Wien, November 2017

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Inhaltsverzeichnis.....                                                              | 2  |
| Zusammenfassung.....                                                                 | 6  |
| Abstract .....                                                                       | 7  |
| 1. Einleitung.....                                                                   | 8  |
| 1.1. Energieverbrauch – Beleuchtung allgemein (weltweit, österreichweit).....        | 8  |
| 1.2. Energieverbrauch – Beleuchtung, Dienstleistungsgebäude.....                     | 9  |
| 2. Motivation und Forschungsfragen .....                                             | 10 |
| 2.1. Internes Projekt `Energieeffiziente Boku´ .....                                 | 10 |
| 2.2. Bestandsgebäude Simon Zeisel Haus .....                                         | 10 |
| 2.3. Motivation innerhalb des Projektes `Energieeffiziente Boku´ .....               | 11 |
| 2.4. Forschungsfragen .....                                                          | 11 |
| 3. Theoretische und praktische Grundlagen .....                                      | 11 |
| 3.1. Lichttechnische Grundgrößen .....                                               | 11 |
| 3.2. Leuchtmittel .....                                                              | 16 |
| 3.2.1. Glühlampe .....                                                               | 16 |
| 3.2.2. Leuchtstoffröhren, -lampen .....                                              | 16 |
| 3.2.2.1. Betrieb mit konventionellen Vorschaltgerät (KVG).....                       | 17 |
| 3.2.2.2. Betrieb mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) .....                       | 18 |
| 3.2.3. Kompakt-Leuchtstofflampen (Energiesparlampen) .....                           | 18 |
| 3.2.4. LED´s .....                                                                   | 18 |
| 3.3. Steuerung in der Lichttechnik .....                                             | 20 |
| 3.3.1. Manuelle Steuerung .....                                                      | 21 |
| 3.3.2. Bewegungs- und Präsenzmelder .....                                            | 21 |
| 3.4. Arbeitsrechtliche Grundlagen .....                                              | 21 |
| 3.5. Notbeleuchtung - Gesetzliche Rahmenbedingungen.....                             | 22 |
| 3.5.1. Richtlinien an die Sicherheitsbeleuchtung eines Dienstleistungsgebäudes ..... | 23 |
| 4. Methodik .....                                                                    | 23 |
| 4.1. Beleuchtungssituation Simon Ziesel Haus.....                                    | 23 |
| 4.1.1. Versorgung der Sicherheitsbeleuchtung Simon Ziesel Haus.....                  | 24 |
| 4.1.2. Schaltung der Sicherheitsleuchten .....                                       | 24 |
| 4.2. Erhebung der Datengrundlage .....                                               | 26 |
| 4.2.1. Dokumentationen .....                                                         | 26 |
| 4.2.2. Bestandsliste .....                                                           | 26 |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.3. Vor-Ort-Begehungen .....                              | 27 |
| 4.3. Experimentelles .....                                   | 27 |
| 4.3.1. Messgerät .....                                       | 27 |
| 4.3.1.1. Prototyp .....                                      | 30 |
| 4.3.1.2. Finale Version .....                                | 30 |
| 4.3.2. Messreihen und Durchführungszeitraum .....            | 31 |
| 4.3.3. Festlegung der Messpunkte .....                       | 31 |
| 4.3.3.1. 2.Untergeschoß .....                                | 32 |
| 4.3.3.2. 1.Untergeschoß .....                                | 33 |
| 4.3.3.3. Erdgeschoß .....                                    | 34 |
| 4.3.3.4. 1.Obergeschoß .....                                 | 35 |
| 4.3.3.5. 2.Obergeschoß .....                                 | 36 |
| 4.3.3.5. 3.Obergeschoß .....                                 | 37 |
| 4.3.3.6. Dachgeschoß .....                                   | 38 |
| 4.3.4. Aufbereitung der Messdaten .....                      | 39 |
| 5. Ergebnisse .....                                          | 40 |
| 5.1. Beleuchtungstechnische Datengrundlage .....             | 40 |
| 5.1.1. Einteilung nach Nutzungsarten .....                   | 40 |
| 5.1.2. Installierte Leuchtmittel .....                       | 42 |
| 5.1.3. Beleuchtungsschaltung Simon Ziesel Haus .....         | 42 |
| 5.2. Messtechnische Ergebnisse .....                         | 43 |
| 5.2.1. Grafische Aufbereitung der Messergebnisse .....       | 43 |
| 5.2.1.1. Gemessene Betriebsstunden – Laborräume .....        | 43 |
| 5.2.1.2. Gemessene Betriebsstunden – Professorenräume .....  | 44 |
| 5.2.1.3. Gemessene Betriebsstunden - Büroräume .....         | 44 |
| 5.2.1.4. Gemessene Betriebsstunden - Sonstige Räume .....    | 45 |
| 5.2.1.5. Gemessene Betriebsstunden - Lagerräume .....        | 45 |
| 5.2.1.6. Gemessene Betriebsstunden - Technische Räume .....  | 46 |
| 5.2.1.7. Gemessene Betriebsstunden - Seminarräume .....      | 46 |
| 5.2.1.8. Gemessene Betriebsstunden - Gänge .....             | 47 |
| 5.2.1.9. Gemessene Betriebsstunden - Stiegen .....           | 48 |
| 5.2.1.10. Gemessene Betriebsstunden - Sanitärräume .....     | 48 |
| 5.2.2. Gemittelte Betriebsstunden nach Raumnutzungsart ..... | 49 |
| 5.2.3. Hochrechnungen für den Jahresverbrauch .....          | 49 |
| 5.2.4. Gesamtübersicht der Messergebnisse .....              | 50 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 6. Diskussion und Analyse des Optimierungspotentials .....                | 52 |
| 6.1. Gesamtenergiebedarf der allgemeinen Beleuchtung .....                | 52 |
| 6.2. Spezifischer Anschlusswert (inkl. EVG).....                          | 53 |
| 6.3. Endenergiebedarf der Beleuchtung pro Fläche und Jahr [kWh/m²a] ..... | 54 |
| 6.4. Optimierungsmaßnahmen .....                                          | 54 |
| 6.4.1. Tageslichtnutzung .....                                            | 55 |
| 6.4.2. Einsatz von energieeffizienteren Leuchten .....                    | 55 |
| 6.4.2.1. Optimierung Seminarraumbeleuchtung .....                         | 56 |
| 6.4.2.2. Optimierung Gangbeleuchtung.....                                 | 59 |
| 6.4.2.3. Optimierung Laborräume.....                                      | 61 |
| 6.4.2.4. Optimierung Stiegen .....                                        | 64 |
| 6.4.2.5. Optimierung Sanitärräume .....                                   | 64 |
| 6.4.2.6. Optimierung Büroraumbeleuchtung.....                             | 66 |
| 6.4.2.7. Übrige Raumnutzungsarten .....                                   | 67 |
| 6.5. Sofortmaßnahmen .....                                                | 67 |
| 7. Ausblick .....                                                         | 68 |
| 8. Literaturverzeichnis.....                                              | 72 |
| 9. Abbildungsverzeichnis.....                                             | 74 |
| 14. Tabellenverzeichnis.....                                              | 75 |
| 15. Formelverzeichnis .....                                               | 75 |
| 16. Anhang .....                                                          | 76 |
| 16.1. Bestandsaufnahme des Dienstleistungsgebäudes .....                  | 76 |
| 16.1.1. 2.Untergeschoß .....                                              | 76 |
| 16.1.2. 1.Untergeschoß .....                                              | 77 |
| 16.1.3. Erdgeschoß .....                                                  | 80 |
| 16.1.4. 1.Obergeschoß .....                                               | 83 |
| 16.1.5. 2.Obergeschoß .....                                               | 86 |
| 16.1.6. 3.Obergeschoß .....                                               | 89 |
| 16.1.7. Dachgeschoß .....                                                 | 93 |

## Danksagung

Meinen besonderen Dank möchte ich folgenden Personen zum Ausdruck bringen:

**DI Dr. Jan Kotik,**

für die Betreuung meiner Masterarbeit und die vielen wichtigen Besprechungen und Ratschläge.

**Meinen Eltern,**

die immer für mich da waren und mich in allen meinen Tätigkeiten stets unterstützt haben.

**Meiner Lebenspartnerin Marlene,**

die sich oft in Geduld üben musste und stets zu mir stand.

**Meinem Freund Christoph Friedrich**

der sich die Zeit nahm und mir seine Werkstätte zur Verfügung stellte um die Messplatine zu bauen und zu erproben. Ohne deine Hilfe wäre dies nicht möglich gewesen.

## Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Verbrauchsanalyse eines Dienstleistungsgebäudes im Beleuchtungssektor durchzuführen um im weiteren Schritt Optimierungsmaßnahmen und Einsparungspotentiale aufzuzeigen. Zu Beginn wurden die tatsächlichen Betriebsstunden der gesamten Beleuchtung des Gebäudes erhoben. Dadurch kann der Stromverbrauch der Beleuchtung jeder Räumlichkeit erfasst werden. Dies ist für den weiteren Schritt, der effizienteren Gestaltung des Beleuchtungssektors, vorteilhaft. Die meisten heutigen Energieberatungsunternehmen arbeiten mit Durchschnittswerten bei der Optimierung von Beleuchtungsanlagen. Durch den Bau einer Platine, welche die tatsächlichen Betriebsstunden erfasst, wurde ein Vorteil generiert, um gezieltere Optimierungsvorschläge abgeben zu können. Probleme die hierbei auftauchten waren mit der hohen Anzahl der Räume des Gebäudes verbunden. Bei über 470 Räumen und 35 Messgeräten galt es gut geplant und strategisch an die Messungen vorzugehen. Hierbei wurde eine geschoßweise Messung gewählt und auf eine gute Verteilung der Messgeräte geachtet.

Um die Verbrauchsanalyse der Beleuchtung eines Gebäudes durchführen zu können, war es von großer Bedeutsamkeit eine detailgetreue Datengrundlage, zu den vorhandenen Leuchtmitteln, deren Leistung und Stückanzahl und Raumgrößen, zu erheben. Durch Begehungen und den Zugriff auf Pläne der Installations- und Planungsbüros, die für die Beleuchtung zuständig waren, gelang es vollständig diese Daten für jeden einzelnen Raum herauszufinden. Als weiteren Schritt wurden die Daten ausgewertet, um sowohl den Gesamtstrombedarf, als auch den Anteil der einzelnen Raumnutzungsarten zu erheben.

Trotz des Einsatz von neueren Leuchtmitteln (Baujahr des Gebäudes 2009) konnten mehrere Optimierungsvorschläge erarbeitet werden. Setzt man alle gegebenen Empfehlungen um, können Einsparungen des Stromverbrauchs der Beleuchtung von über 30% generiert werden. Diese sind bei aufrechterhaltenen Betrieb möglich umzusetzen. Weitere Erkenntnisse waren unter Anderem, dass sich bei momentaner Beleuchtung ein Leuchtmitteltausch erst bei etwa 40 Betriebsstunden pro Woche auszahlt. Darunter betragen die Amortisationszeiten über 12 Jahre. Optimierungsvorschläge, die in dieser Arbeit erarbeitet wurden, waren die Verringerung der Leuchtenanzahl und der Einbau von Bewegungsmeldern, um die Betriebsstunden zu minimieren. Für weitere Räume wurde ein Leuchtmitteltausch empfohlen. Bei den Stiegenetagen wurde durch die Messungen entdeckt, dass diese im Dauerbetrieb aufgrund eines Fehlers betrieben werden.

Eine Schwierigkeit war es, eine realitätsgetreue Hochrechnung der Messungen zu vollziehen. Es wurde für eine Woche im Sommer, geschoßweise gemessen und anschließend mit den erhobenen Werten ein Jahresverbrauch mit dem Faktor 52 errechnet. Es konnten somit keine Unterschiede zwischen den Jahreszeiten im Verbrauch erhoben und erkannt werden.

## Abstract

Die vorliegende Masterarbeit gibt konkrete Optimierungsmaßnahmen im Leuchtmittelsektor für ein Dienstleistungsgebäude. Dieses wurde 2009 errichtet und erstreckt sich über sechs Stockwerke. Vorrangig sind Büro- und Laborräume vorhanden. Die installierte Beleuchtung besteht aus Kompaktleuchtstoffröhren und mehreren unterschiedliche Modellen von Leuchtstoffröhren. Im ersten Schritt wurden die tatsächlichen Betriebsstunden erhoben. Dies geschah über ein selbstgebautes Messgerät. Aufbauend darauf wurde für jede Räumlichkeit des Gebäudes eine Hochrechnung für das gesamte Jahr durchgeführt. Mittels einer Vor-Ort-Begehung und vorhandenen Installationsplänen konnten jegliche Daten erarbeitet werden. Aus diesen und den gemessenen Daten werden Einsparungspotentiale aufgezeigt und maßgeschneiderte Maßnahmen für die Optimierung der Beleuchtung empfohlen. Durch Umsetzung dieser Maßnahmen, können über 30% des Stromverbrauchs der Beleuchtung eingespart werden. Die Amortisationsdauer befindet sich unter 12 Jahren. Die Empfehlungen betrafen den Leuchtmitteltausch, den Einbau von Bewegungsmeldern und die Reparatur vorhandener defekter Bewegungsmelder.

This master thesis presents specific optimization actions in the lighting sector for a service building. It was built in 2009 and has six floors. Mainly/Principally? there are Offices and laboratory rooms. The existing lighting in this building, consists compact fluorescent tubes and several different models of fluorescent tubes. At first, the actual operating hours of the lighting were measured. This was done by using a self-assembled measuring instrument. Based on this measures, an extrapolation for a whole year was carried out for each room of the building. Because of an inspection and as well of existing installation plans, it was possible to compile all data. Thereby savings potentials are shown and tailor-made measures for the optimization of the lighting could be given. By implementing these outcome, over 30% of the electricity consumption of the lighting in this building can be saved. The amortization period is less than 12 years. The recommendations concerned the lighting exchange, the installation of motion detectors and the repair of existing ruined motion detectors.

## 1. Einleitung

Aufgrund des stetig steigenden Weltenergieverbrauchs und der damit einhergehenden Knappheit an Rohstoffen ist ein verantwortungsbewusster und schonender Umgang mit unseren Ressourcen nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus wirtschaftlicher Sicht von Wichtigkeit. Für die erfolgreiche Umsetzung ist die Energieeffizienzsteigerung unbedingt notwendig. Dabei spielt die technische Entwicklung - unter anderem im Leuchtmittelsektor - eine zentrale Rolle.

Da die tägliche Beleuchtung fast ein Fünftel des Gesamtelektrizitätsverbrauchs ausmacht, birgt diese, einerseits enormes wirtschaftliches Einsparungspotential, andererseits eine Reduktion an Treibhausgasemissionen (vgl. Halonen et al., 2010, S. 15). Immerhin werden - nach Angaben der Internationalen Energieagentur (IEA) - 5% der weltweiten Treibhausgasemissionen durch die tägliche Beleuchtung verursacht.

### 1.1. Energieverbrauch – Beleuchtung allgemein (weltweit, österreichweit)

Weltweit betrachtet sind 12% des jährlichen globalen Primärenergiebedarfs für die Erzeugung elektrischen Stroms verwendet werden. Wovon im weiteren 19% auf die Beleuchtung fallen, angefangen von der Straßenlaterne, bis zur kleinen Tischlampe zum Lesen eines Buches am Nachtkasten. In Abbildung 1 wird zur Vereinfachung nur auf den elektrischen Strom und der Beleuchtung eingegangen (vgl. Halonen et al., 2010, S. 3).

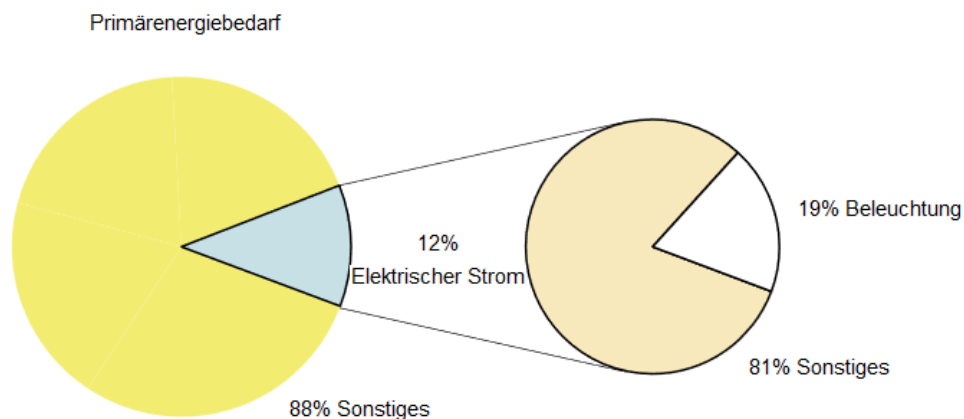


Abbildung 1: Beleuchtungsanteil bezogen auf den globalen Primärenergiebedarf

(Quelle: Halonen et al., 2010, S. 24)

Um eine ähnliche Betrachtung in Österreich darzustellen, wird der energetische Endverbrauch des Jahres 2013 herangezogen. Dieser zeigt, dass die elektrische Energie gut ein Fünftel des energetischen Endverbrauchs ausmacht. Davon werden 14,66% der elektrischen Energie für Beleuchtung und EDV verbraucht. Auch in Abbildung 2 wird nur der elektrische Strom und davon der Beleuchtungsanteil angezeigt.

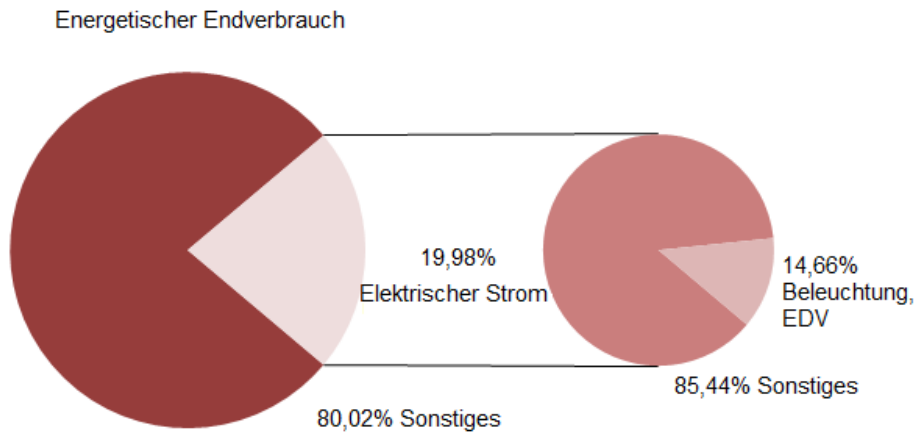


Abbildung 2: Beleuchtungsanteil bezogen auf den energetischen Endverbrauch Österreichs

(Quelle: Energiestatus Österreich, 2015, S. 110)

Zu sehen ist, dass in Österreich der elektrische Strom ein Fünftel des energetischen Endverbrauchs ausmacht. Betrachtet man diesen Sektor genauer, so werden wiederum 14,66% des elektrischen Stroms für Beleuchtung und EDV verwendet.

## 1.2. Energieverbrauch – Beleuchtung, Dienstleistungsgebäude

In Abbildung 3 ist ersichtlich, dass der Strombedarf sich auf drei Hauptsektoren aufteilt. Hierzu werden die OECD Länder mit den Nicht-OECD Länder gegenübergestellt um zu verdeutlichen, dass in Zukunft der kommerzielle Sektor noch weiter ansteigen wird, da die Entwicklung in Richtung der OECD-Länder geht. Eine Studie der IEA geht ebenfalls von einem Anstieg bis 2030 um jährlich 2,6% aus. Den größten Beitrag daran sollen China und Indien leisten (vgl. World Energy Outlook, 2006, S. 123).

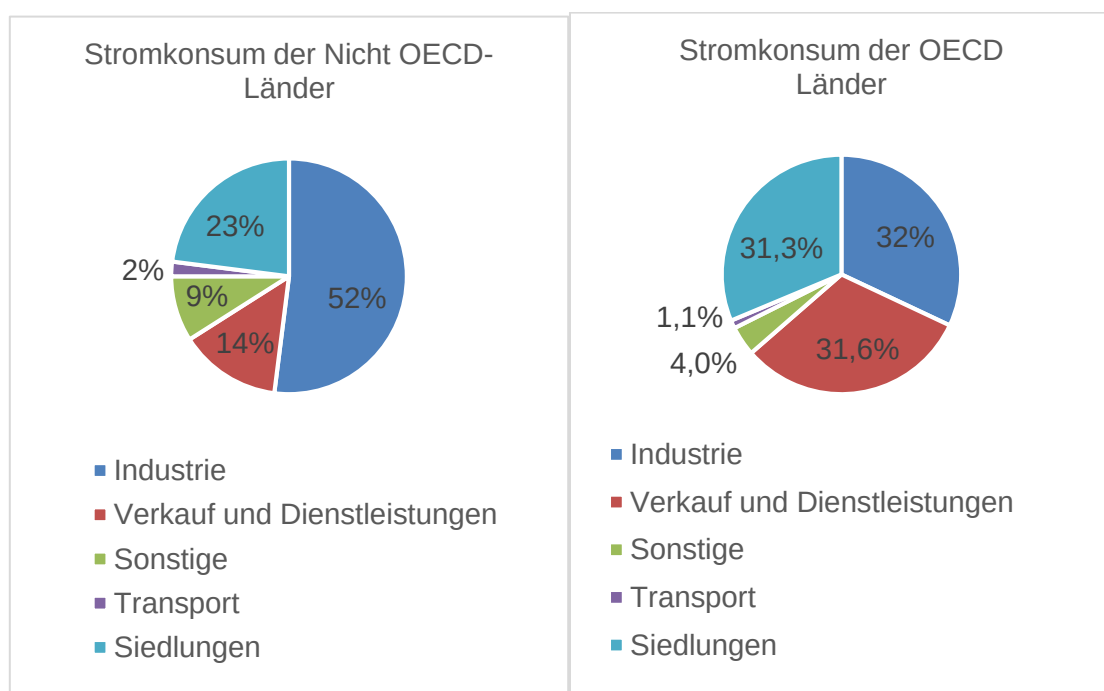
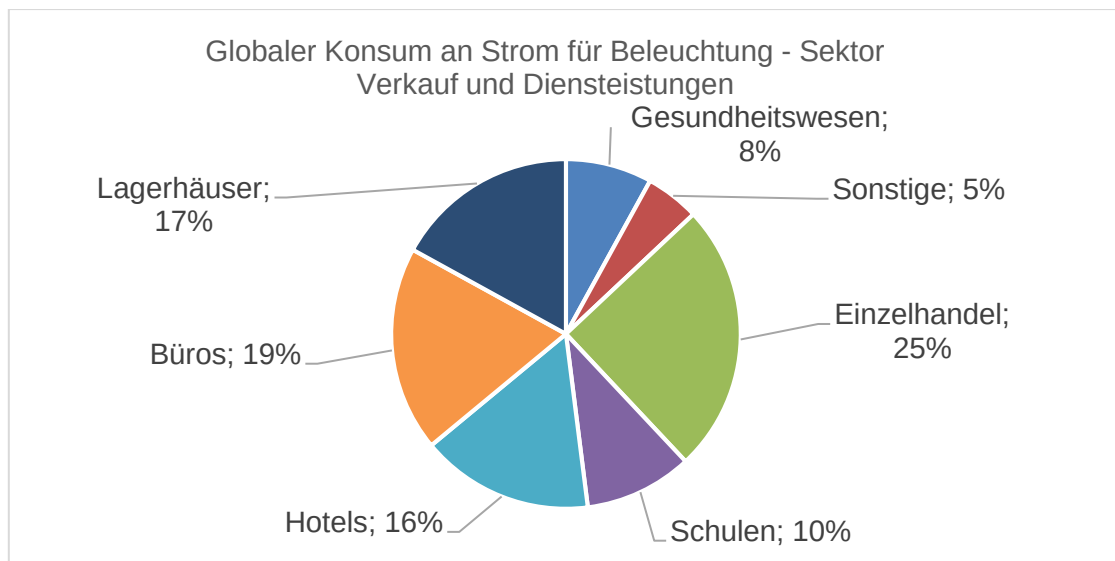


Abbildung 3: Stromkonsum OECD- und Nicht OECD-Länder auf Sektoren aufgeteilt

(Quelle: IEA, 2016, S. 5)

In Nicht OECD-Ländern konsumiert die Industrie die Hälfte des benötigten elektrischen Stroms. In den OECD-Ländern hat sich jedoch ein nahezu gleiches Verhältnis zwischen Transport, Industrie und Siedlungen eingestellt. In Abbildung 4 ist ersichtlich, welchen Anteil die Beleuchtung im Sektor Verkauf und Dienstleistungen ausmacht.



*Abbildung 4: Globaler Konsum an Strom für Beleuchtung am Sektor Verkauf*  
(Quelle: IEA, 2006, S. 124)

Aus Abbildung 4 geht hervor, dass der Großteil des Konsums an Strom für Beleuchtung, seine Verwendung im Einzelhandel findet. Die Büros stehen mit 19% bereits an zweiter Stelle. Somit kann global gesehen der Anteil des Stromverbrauchs der Beleuchtung in Bürogebäuden am elektrischen Strom mit 4,33% angenommen werden.

## 2. Motivation und Forschungsfragen

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Optimierungsvorschlag im Bereich der Beleuchtung eines Dienstleistungsgebäudes abzugeben. Dies führt einerseits zu wirtschaftlichen Ersparnissen und andererseits zu einem schonenden Ressourcenumgang, da diese effektiver umgesetzt werden können.

### 2.1. Internes Projekt 'Energieeffiziente Boku'

Die Universität für Bodenkultur startete ein Projekt, welches das Ziel verfolgt, das Universitätsgebäude Simon Zeisel Haus („Muthgasse III“), in der Muthgasse 11 im 19. Bezirk Wiens, energieeffizienter zu gestalten. Im Projekt wird ein ganzheitlicher Ansatz zur Optimierung herangezogen. Es sollen Warmwasseraufbereitung, Lüftung, Beleuchtung und Heizung verbessert werden. Diese Arbeit stellt einen Subbereich des Projektes dar und befasst sich mit der Beleuchtungsoptimierung der vorhandenen Leuchtmittel.

### 2.2. Bestandsgebäude Simon Zeisel Haus

Das Gebäude hat eine Grundfläche von 3380,30 m<sup>2</sup> und erstreckt sich über sechs Stockwerke. Zwei dieser Stockwerke sind zur Gänze unterkellert. Errichtet wurde das Gebäude 2009 und die Nettogeschoßfläche beträgt 16.752 m<sup>2</sup>. Es befinden sich vorrangig Labor-, Büro- und Seminarräume im Gebäude. Alle verwendeten Leuchtmittel sind ausschließlich Niederdruck-Gasentladungslampen (Leuchtstoff- und Energiesparlampen), die mit einem elektronischen Vorschaltgerät betrieben werden. Die Notstrombeleuchtung,

welche teilweise in Dauerbetrieb und teilweise in Bereitschaftsschaltung betrieben wird, besteht überwiegend aus 8-Watt Gasentladungslampen, die ebenso mit einem elektronischen Vorschaltgerät betrieben werden.

### 2.3. Motivation innerhalb des Projektes 'Energieeffiziente Boku'

Motivation des Projektes ist es, trotz des relativ jungen Baualters des Gebäudes (2009) herauszufinden, welche Möglichkeiten vorhanden sind, Optimierungsmaßnahmen im energetischen Bereich umzusetzen. Diese Arbeit beinhaltet einen Teil des Projektes. Es sollen mögliche Einsparungspotentiale der Leuchtmittel erarbeitet werden und überprüfen, ob diese wirtschaftlich sinnvoll umzusetzen sind. Hierzu ist es vorerst notwendig, den gesamten Bestand zu erheben und die aktuellen Betriebsstunden zu ermitteln.

### 2.4. Forschungsfragen

Somit sollen die Forschungsfragen dieser Arbeit folgendermaßen lauten:

*„Wie hoch ist der tatsächliche Stromverbrauch der gesamten Beleuchtungsanlage des Simon Zeisel Haus in der Muthgasse 11, 1190 Wien?“*

*„Welche Maßnahmen würden den Stromverbrauch unter Einbeziehung der Amortisationsdauer, Installations- und Entsorgungskosten, nachhaltig senken?“*

## 3. Theoretische und praktische Grundlagen

Dieses Kapitel beschreibt die grundlegenden Größen der Lichttechnik, unter Berücksichtigung dieser Größen werden in den späteren Kapiteln die Anforderungen und Optimierungsmaßnahmen für das Gebäude abgegeben.

### 3.1. Lichttechnische Grundgrößen

„Als Licht wird der Teil des elektromagnetischen Spektrums bezeichnet, der im Auge eine Hellempfindung hervorruft.“ (Naumann et al., 2014, S. 23). Die Lichtstrahlung breitet sich in homogenen Medien linear aus und hat den Charakter einer periodischen Schwingung. Bei der Wechselwirkung von Licht mit stofflicher Materie unter Energieaustausch (Absorption und Emission) zeigt das Licht Korpuskelcharakter. Es verhält sich wie ein Körper. (vgl. Neumann et al., 2014, S. 23). Es besitzt nun die Eigenschaft eines Teilchens (Photons). Die Energie die ein Photon oder Lichtquant transportiert ist von der Wellenlänge  $\lambda$  und der Frequenz  $f$  abhängig und wird durch folgende Formel beschrieben.

$$c = \lambda * f \quad (1)$$

Die Lichtgeschwindigkeit mit dem Zeichen  $c$  ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes. Das sichtbare Licht, welches für das Auge wahrnehmbar ist, stellt nur einen sehr geringen Anteil am gesamten Wellenlängenbereich des Lichtes dar (vgl. Haferkorn, 2003, S. 13). Wie in der Abbildung 1 ersichtlich, erstreckt sich das sichtbare Licht über eine Wellenlänge von 380nm(violett) zu 780nm, welches als Rot empfunden wird. Befindet man sich unter dieser sichtbaren Wellenlänge spricht man von Ultravioletter-Strahlung, darüber von Infrarot-Strahlung.

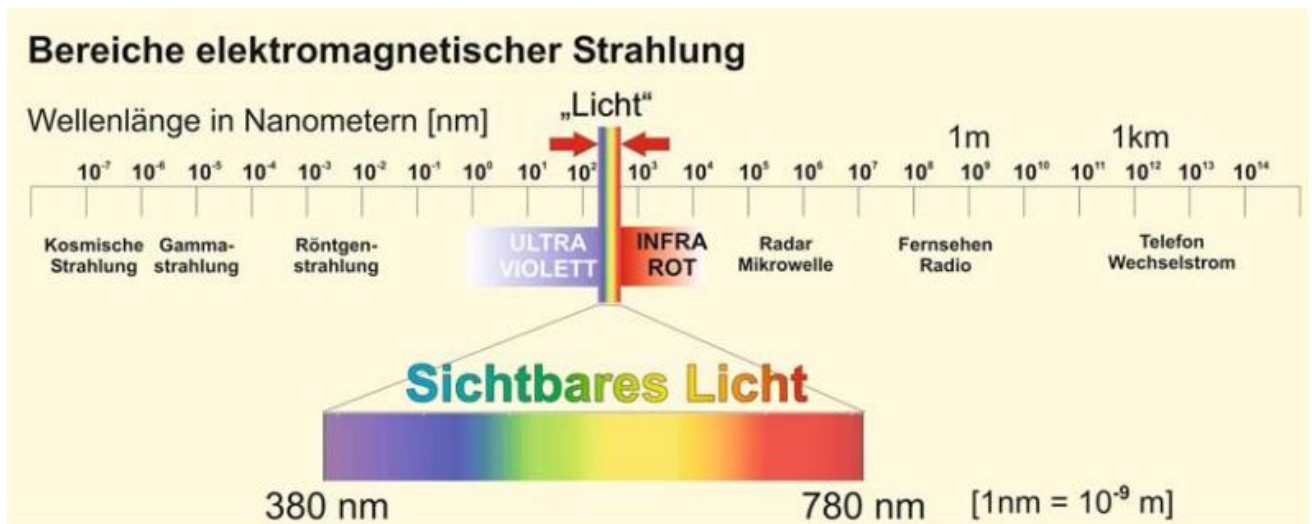


Abbildung 5: Sichtbares Licht im elektromagnetischen Spektrum

(Quelle: Bartenbach und Witting, 2009, S. 3)

Zusammen ergeben diese 3 Bereiche der Strahlung die optische Strahlung. Diese Definition ist festgelegt in der Verordnung für optische Strahlung, § 2 Absatz 1 Zeile 2 Verordnung Optische Strahlung.

Im Folgenden werden in Tabelle 1 die Grundgrößen der Lichttechnik mit ihren dazugehörigen Einheiten und Formelzeichen aufgelistet.

Tabelle 1: Grundlegende Größen der Lichttechnik

(Quelle: Generalsekretariat des VDE, 1926, S. 390)

| Größe              | Einheit            |              |
|--------------------|--------------------|--------------|
| Namen              | Zeichen            | Bezeichnung  |
| Lichtmenge         | Q                  | Lumensekunde |
| Lichstrom          | $\varphi=Q/t$      | Lumen        |
| Lichtstärke        | $I=\varphi/\Omega$ | Candela      |
| Beleuchtungsstärke | $E=\varphi/A$      | Lux          |

Der Raumwinkel  $\Omega$ , in welchem der Lichtstrom ausgestrahlt wird, ist in  $^\circ$  angegeben.

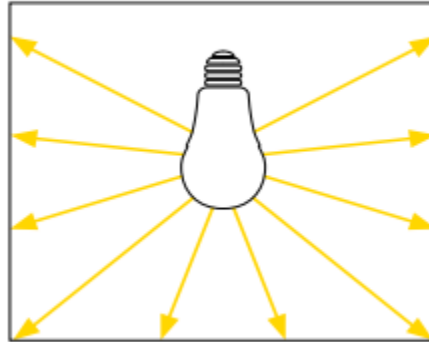
Die Fläche A auf die der Lichtstrom eintrifft wird in  $m^2$  angegeben.

Die Lichtmenge bzw. die Lichtenergie ist – ebenso wie die Strahlungsenergie – Lichtstrom mal Zeit. Ihre Einheit wird in Lumensekunden dargestellt. Voraussetzung dafür ist ein stationärer Lichtstrom, andernfalls würde ein Integral über die Zeit gesetzt werden (vgl. Willems, 2013, S. 563).

Der Lichtstrom  $\varphi$ , die Lichtenergie pro Zeit, ist die gesamte in den Raum abgegebene Lichtleistung (vgl. Willems, 2013, S. 563). Die Einheit beträgt Lumen und der Lichtstrom erfasst alle Winkeln und Seiten des abgestrahlten Lichts (vgl. Plaßmann und Schulz, 2013, S. 895).

Für weitere Betrachtungen z.B. im Wirtschaftlichkeitsbereich kann gut auf die Größe lm/W umgerechnet werden, um somit übersichtlich die Strahlungsenergie auf den elektrischen Verbrauch zu bündeln (vgl. Wosnitza und Hilgers, 2012, S. 322).

### Lichtstrom $\Phi$



Lumen [lm]

Abbildung 6: Lichtstrom  $\Phi$   
(Quelle: Zumtobel, 2016, S. 10)

Für eine hohe Lichtstärke muss nicht zwingend ein hoher Lichtstrom stehen, da jeglicher Abstrahlungswinkel beim Lichtstrom erfasst wird und dieser auch unterschiedlich stark in verschiedenen Richtungen ausgestrahlt werden kann (vgl. Willems, 2013, S. 563).

Die Lichtstärke  $I$  beschreibt die abgehende Strahlungsenergie die in eine bestimmte Richtung und somit in einem ausgewählten Winkel abgestrahlt wird. Ihre Einheit ist Candela. „Die Candela ist die einzige physikalische Grundgröße in der Photometrie“ (Willems, 2013, S. 563). Zur Veranschaulichung dient Abbildung 7.

### Lichtstärke $I$

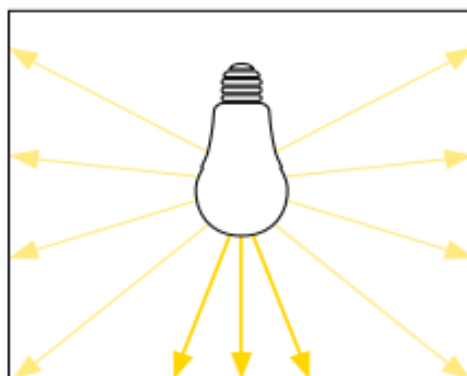


Abbildung 7: Lichtstärke  $I$   
(Quelle: Zumtobel, 2016, S. 10)

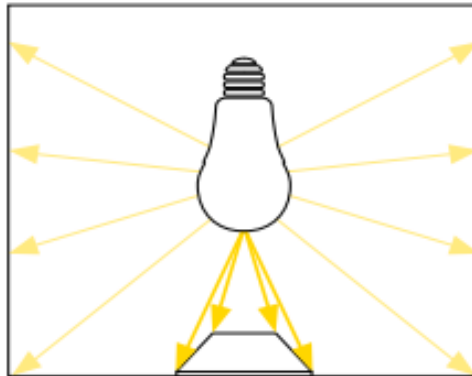
Hier ist nur mehr jener Winkel interessant, der, je nach eingesetztem Leuchtmittel, den Raum beleuchtet. Oftmals werden innerhalb der Aufhängung Reflektoren verwendet, um die Lichtstärke unterhalb der Lampe zu erhöhen. Hierbei werden die zur Seite und schräg nach oben gehenden Lichtströme nach unten reflektiert.

Bei der Beleuchtungsstärke handelt es sich um eine sehr aussagekräftige Größe, welche für Richtlinien herangezogen wird. Diese Größe beschreibt den Lichtempfang auf eine Fläche. Die Beleuchtungsstärke mit der Einheit lx ist definiert als Lichtstrom pro Fläche (vgl. Willems, 2013, S. 570). Die Formel zur Berechnung lautet:

$$1\text{lx} = 1\text{lm}/1\text{m}^2 \quad (2)$$

Im Folgenden wird dieser Zusammenhang grafisch dargestellt.

### **Beleuchtungsstärke E**



*Abbildung 8: Beleuchtungsstärke E  
(Quelle: Zumtobel, 2016, S. 10)*

Die Beleuchtungsstärke in Lux ist auch maßgebend für die rechtlichen Anforderungen von künstlicher Beleuchtung. Die genauen Werte, die rechtlich eingehalten werden müssen, sind für Österreich in der Arbeitsstättenverordnung (ASTV) und in der ÖNORM EN-12464 für die künstliche Beleuchtung von Innenräumen enthalten.

Licht und Farbe bestimmen das Farbklima eines Raumes. Sie beeinflussen die Stimmung und das Wohlbefinden.

Als Einheit der Lichtfarbe dient die SI-Einheit der thermodynamischen Temperatur, „Kelvin“. Zur Bestimmung der Lichtfarbe eines Leuchtmittels wird ein schwarzer Körper herangenommen. Dies kann eine massive Holzkugel mit einer kleinen Öffnung sein. Dringt Licht in diese Öffnung ein, wird es durch Mehrfachreflexionen vollständig absorbiert. Es kommt somit zu keinem Austritt und die Öffnung erscheint schwarz. Diese Vorrichtung wird „Planck'scher Strahler“ genannt. Wird nun diese Vorrichtung so stark erhitzt, dass diese zum Glühen beginnt, tritt aus der vorhin schwarzen Öffnung Licht heraus. Je mehr dieser Körper erhitzt wird, desto unterschiedlicher ist die Lichtfarbe die daraus austritt. Die Farbe des Strahlungslichts steht in einem Zusammenhang mit der Temperatur des Planck'schen Körpers. Daher ist die Einheit der Lichtfarbe Kelvin (vgl. Bartenbach und Witting, 2009, S. 37).

## Lichtfarbe und Farbtemperatur

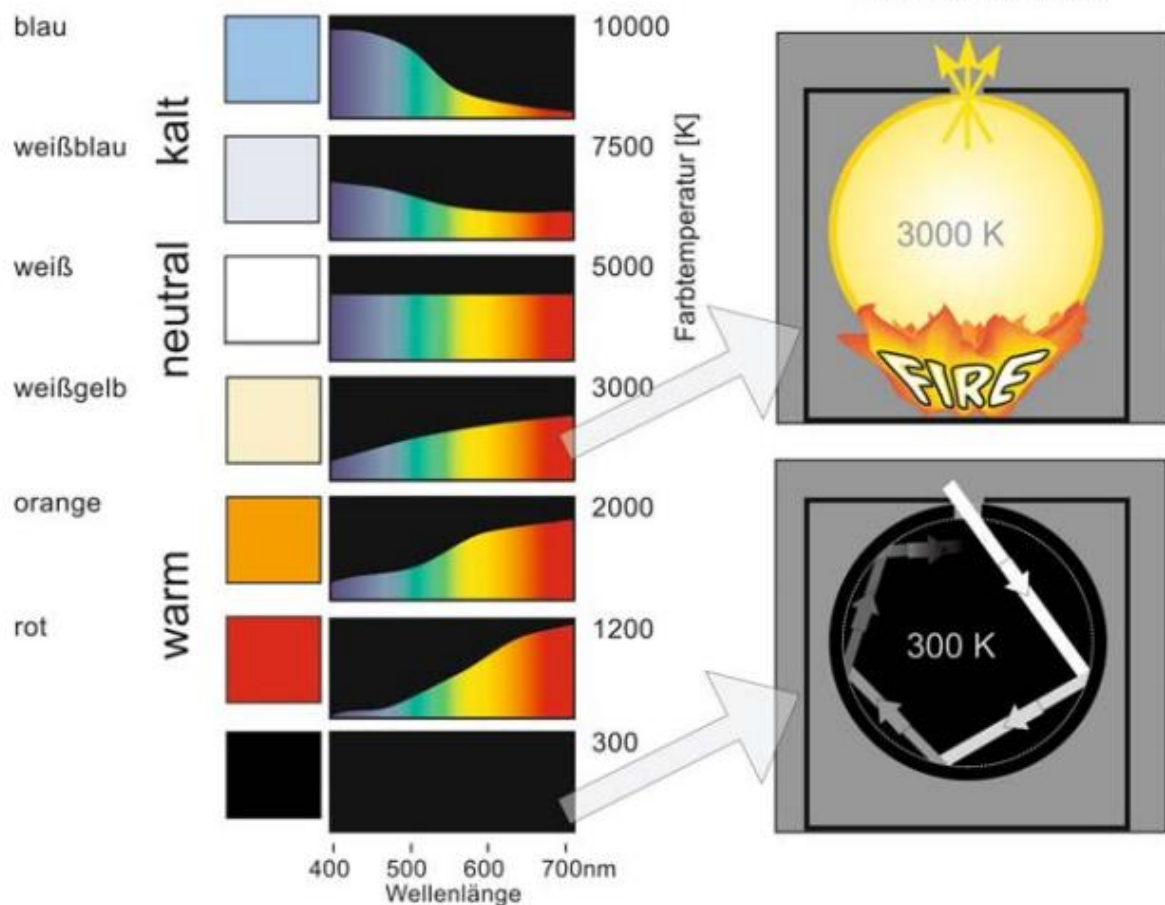


Abbildung 9: Lichtfarbe und Farbtemperatur in Bezug auf Planck'schen Strahler

(Quelle: Bartenbach und Witting, 2009, S. 37)

In Abbildung 9 ist zu sehen, dass sich bei einer Farbtemperatur von 300K, das gesamte Licht absorbiert, da kein Lichtstrahl reflektiert wird. Bei 1200K ist der Rotlichtanteil am höchsten und bei 3000K wirkt das austretende Licht weißlich gelb. Bei 5000K ist die Spektralverteilung der Lichtfarbenanteile gleich groß und die Lichtfarbe erscheint neutral weiß. Bei weiterer Erhöhung der Farbtemperatur steigt der Blauanteil.

In der Praxis werden bei Leuchtmitteln drei verschiedene Weißfarben unterschieden. Diese unterscheiden sich von der spektralen Strahlungsverteilung. Eine Übersicht dieser drei Weißtemperaturen ist in Tabelle 2 auf nächster Seite abgebildet.

Tabelle 2: Unterschiede der Weißfarben

(Quelle: Theiß, 2000, S. 23)

| Lichtfarbe                             | Warmweiß                                                                | Neutralweiß                                                          | Tageslichtweiß                                                                          |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Abkürzungen                            | ww                                                                      | nw                                                                   | tw                                                                                      |
| Kelvin ca.                             | < 3300 K                                                                | 3300 – 5000 K                                                        | > 5000 K                                                                                |
| Stimmungsbeeinflussung                 | ww unterstreicht ein wohnliches, erholsames Umfeld                      | nw erscheint wesentlich kühler. Es unterstreicht ein aktives Umfeld. | tw ist im wohnlichen Umfeld und in der Arbeitswelt weniger gebräuchlich.                |
| Beleuchtungsniveau allgemein           | Relativ niedriges Beleuchtungsniveau, das noch angenehm empfunden wird. | Ein mittleres Beleuchtungsniveau, das wünschenswert ist.             | Für die Behaglichkeit bei dieser Lichtfarbe sind hohe Beleuchtungsstärken erforderlich. |
| Beleuchtungsstärke Anhaltswerte in Lux | bis 500                                                                 | 500 bis 1000                                                         | > 1000                                                                                  |

Zu sehen sind die drei in der Praxis gängigen Weißfarben mit ihrer unterschiedlichen Farbtemperatur in K. Die wahrnehmungsphysiologischen Unterschiede grenzen den Bereich für ein aktives Umfeld auf neutralweiß ein. Hier ist ein aktives Arbeiten am besten möglich. Gleiches gilt für das Beleuchtungsniveau und die Beleuchtungsstärke, welche den Ansprüchen für den Einsatz dieser Lichtfarbe in Arbeitsplätzen am gerechtesten wird.

Im Simon Zeisel Haus haben alle eingesetzten Leuchtmittel eine Lichtfarbe von neutralweiß.

### 3.2. Leuchtmittel

In diesem Kapitel werden die gebräuchlichsten Kunstlichtquellen erörtert und näher beschrieben.

#### 3.2.1. Glühlampe

Bei der Glühlampe erfolgt die Lichterzeugung durch die Erwärmung eines Wolframdrahtes. Dieser wird mit Hilfe des elektrischen Stroms zum Glühen gebracht, wodurch wiederum Licht abgestrahlt wird. Zum Schutz vor Verdampfung befindet sich der Draht in einem Kolben, welcher mit einem nicht brennbaren Gas gefüllt ist. Zum Schutz vor Oxidation kann auch ein Vakuum im Kolben vorhanden sein. Wolfram kommt hierbei zur Anwendung, da dieser mit 3800K einen sehr hohen Schmelzpunkt besitzt (vgl. Willems, 2013, S.627).

Vorteile liegen einerseits in der einfachen Dimmbarkeit durch die Spannungsreduktion und andererseits durch ein nicht wahrnehmbares Flackern bei 50Hz, da der Wolframdraht aufgrund seiner hohen spezifischen Wärmekapazität sehr träge ist. Ein weiterer Vorteil bietet der hohe Farbwiedergabewert von 100. Somit sind Farben im Licht der Glühlampe ident erkennbar mit denen unter Sonnenbestrahlung.

Die Nachteile sind die hohen Wärmeverluste und dadurch eine geringe Lichtausbeute mit 5-15 lm/W. Diese stellt die geringste Lichtausbeute aller elektrischen Lichtquellen dar.

#### 3.2.2. Leuchtstoffröhren, -lampen

Diese beiden Leuchtmittel gehören der Gruppe der Niederdruck-Gasentladungslampen an und unterscheiden sich nur in ihrer Bauweise. Das Funktionsprinzip bleibt gleich.

Kompaktleuchtstofflampen sind etwas kleiner, da ihre Glasröhre oftmals gebogen ist. Umgangssprachlich wird der Ausdruck Energiesparlampe gebraucht.

Die Bezeichnung Gasentladungslampe kommt daher, dass das Licht durch eine Gasentladung erzeugt wird. Dadurch werden die gasförmigen Quecksilberatome, die in der Röhre vorhanden sind, über freie Elektronen angeregt und UV-Strahlung emittiert. Leuchtstoffe, die an der Glaswandung angebracht sind wandeln die UV-Strahlung in sichtbares Licht mit unterschiedlicher spektraler Verteilung um (vgl. Willems, 2013, S.628).

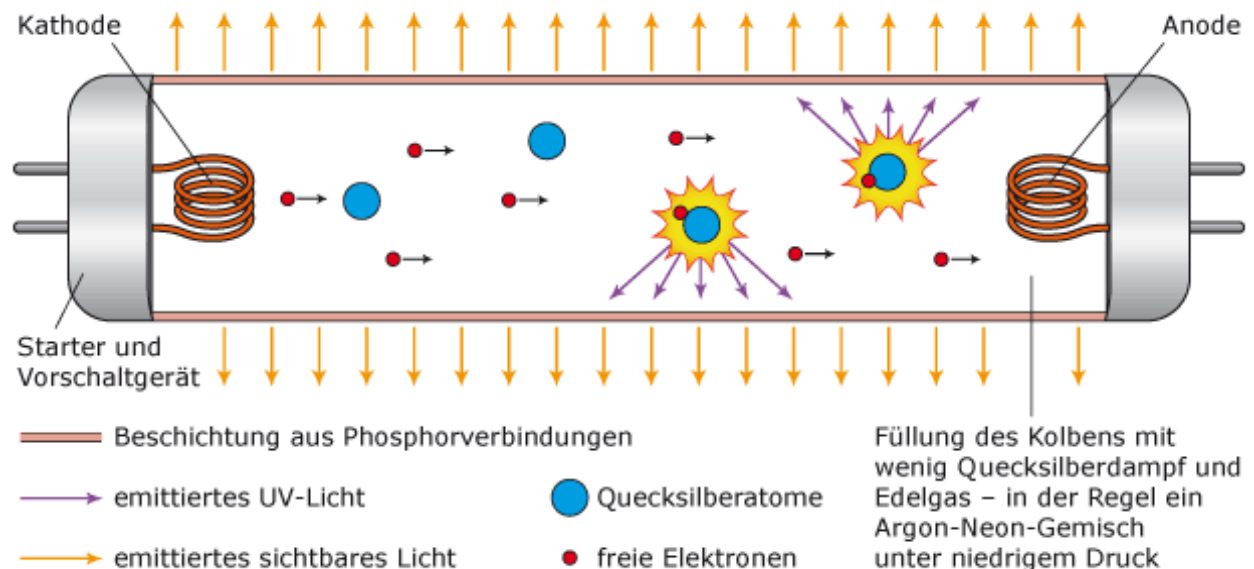


Abbildung 10: Funktionsprinzip einer Leuchtstofflampe

(Quelle: <http://www.vip-bremen-nord.de/Wissen/Kompaktleuchtstofflampe.html>)

Wie in Abbildung 10 ersichtlich besteht eine Leuchtstoffröhre/Lampe aus 2 Elektroden an den Enden. Zwischen Anode und Kathode befindet sich ein mit Gas gefüllter Raum. Das verwendete Gas ist ein Gemisch aus Argon-Neon. Durch die kontinuierlichen Entladungen in der Entladungsstrecke zwischen den Elektroden entsteht während des Betriebes nur ein sehr geringer Anteil an sichtbarem Licht. Dieser ist zwischen 2-3% angegeben. Der größte Anteil des emittierenden Lichtes wird in UV-Strahlung abgegeben. Mit Hilfe einer innenseitigen Röhrenbeschichtung aus Leuchtstoffen wird diese durch Fluoreszenz in sichtbare Strahlung umgewandelt (vgl. Pistohl, 2009, K. 40). Somit entsteht größtenteils das sichtbare Licht zur Beleuchtung durch die Leuchtstoffe die an der Röhreninnenseite aufgetragen sind. Durch die unterschiedlichen Zusammensetzungen des Leuchtstoffes können unterschiedliche Lichtfarben hergestellt werden (vgl. Bohne, 2014, S. 488).

### 3.2.2.1. Betrieb mit konventionellen Vorschaltgerät (KVG)

Für den Start und den Betrieb sind Starter und Vorschaltgeräte notwendig, da Leuchtstofflampen nicht mit 230V-Wechselspannung betrieben werden können. Der Starter hat die Aufgabe, die Elektroden über einen Vorheizstrom vorzuheizen und durch Öffnen der Bimetallkontakte einen Spannungsstoß zu erzeugen um die Gasentladung zu starten. Die Entladungsvorgänge sind nicht stabil und es wird ein strombegrenzendes Element erforderlich, das Vorschaltgerät. (vgl. Willems, 2013, S. 629). Früher kamen konventionelle Vorschaltgeräte (KVG) zum Einsatz.

Beim KVG „zündet und erlischt die Gasentladung mit einer Frequenz von 100Hz“ (Willems, 2013, S. 629). Ein großer Nachteil hierbei ist, dass schnell rotierende Teile durch den Stroboskop-Effekt nicht sichtbar sind.

#### 3.2.2.2. Betrieb mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG)

Die EVG's betreiben die Leuchtstoffröhre nicht mit 100Hz, sondern transferieren die Wechselspannung in den kHz-Bereich (50.000Hz). Für die Realisierung werden ein Gleichrichter und eine Glättung für die Gleichspannung angebracht. Vorteile die dadurch generiert werden sind kein wahrnehmbares Flackern im Betrieb, eine Erhöhung der Lampenlebensdauer, eine Reduzierung der Verlustleistung und damit ein höherer Wirkungsgrad (vgl. Willems, 2013, S. 629). Diese sind Stand der Technik bei Leuchtstoffröhren und auch im Simon Zeisel Haus werden die Leuchtstoffröhren zur Gänze mit EVG's betrieben.

#### 3.2.3. Kompakt-Leuchtstofflampen (Energiesparlampen)

Die Lichterzeugung bei kompakten Leuchtstofflampen erfolgt analog zu den bereits beschriebenen Leuchtstofflampen. Die Unterscheidung ist durch die kompaktere Bauform gegeben. Die Entladungsröhren können sehr unterschiedlich ausgeführt sein. Ein weiterer bedeutender Unterschied ist die Integration des Vorschaltgerätes (vgl. Böhne, 2014, S. 490). Dadurch sind sie so komprimiert, dass sie anstelle von gewöhnlichen Glühlampen zum Einsatz kommen können.

Ein Vorteil ist, wie bereits der Name vermuten lässt, dass sie weniger Platz zum Einbau benötigen.

Ein großer Nachteil ist allerdings der deutlich geringere Farbwiedergabewert. Ebenso wegen der gekrümmten Bauform bei Kompakt-Leuchtstofflampen, benötigen die Lampen eine Weile, bis sie die volle Lichtabgabe erreichen. „Ihre volle Helligkeit erreichen die Lampen erst nach 28–180 Sekunden“ (Böhne, 2014, S. 490). Die große Zeitspanne ist nicht nur durch unterschiedliche Qualitäten der Hersteller gegeben, durch niedrige Umgebungstemperaturen wird der Vorgang zur Erreichung der vollständigen Helligkeit verlängert. (vgl. Willems, 2013, S.630).

#### 3.2.4. LED's

LED's verwenden einen anderen Ansatz als bei den oben beschriebenen Gasentladungslampen, wo sichtbares Licht als Umwandlung von UV-Strahlung mittels Leuchtstoffen erzeugt wird. Hierbei wird „ein Festkörperkristall elektrisch zum Leuchten angeregt“ (Pistohl, 2009, K. 52).

Sie sind im Prinzip umgekehrt betriebene Solarzellen, durch Anlegen einer Spannung in Durchlassrichtung wird Licht emittiert (vgl. Willems, 2013, S. 635).

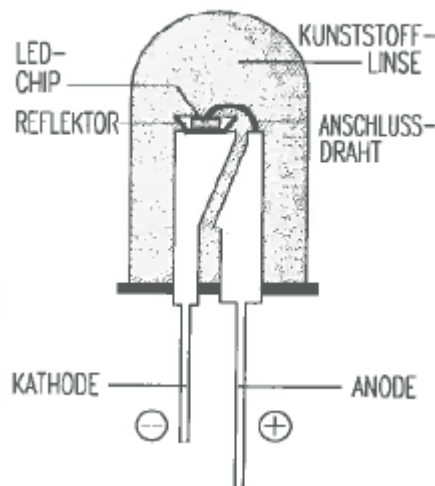


Abbildung 11: Aufbau einer Leuchtdiode

(Quelle: Pistohl, 2009, K. 52)

In Abbildung 11 ist zu sehen, dass die LED von einer Kunststofflinse umgeben ist. Diese hat zwei Funktionen, sie schützt einerseits vor Feuchtigkeit und Staub, andererseits bündelt sie das austretende Licht. Für die Spannungsversorgung gibt es eine Anode und Kathode, wobei die Anode als Erkennungsmerkmal immer länger ausgeführt ist wie die Kathode. Auf der Kathode befindet sich der eigentliche LED-Chip in einer Reflektorwanne. Über einen Anschlussdraht ist er mit der Anode verbunden um bei angelegter Spannung in Durchflussrichtung einen Stromfluss zu ermöglichen.

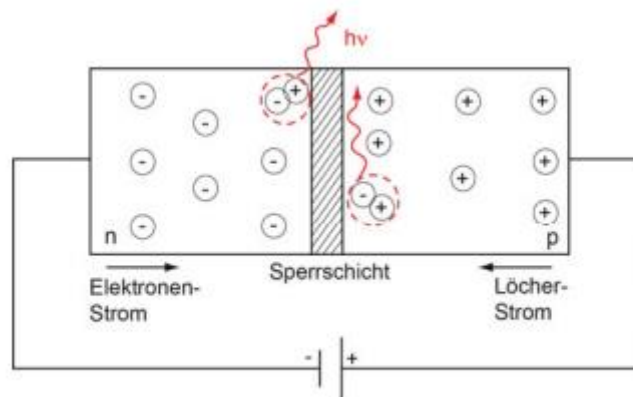


Abbildung 12: Strahlende Rekombination einer LED

(Quelle: Löffler-Mang, 2014, S. 77)

Leuchtdioden bestehen aus zwei unterschiedlichen Schichten Halbleitermaterial. Die n-Schicht ist ein negativ leitender Grundhalbleiter mit einem Überschuss an Elektronen. Darüber liegt eine positiv leitende Halbleiterschicht mit einem Mangel an Elektronen (p-Schicht). Zwischen diesen beiden ist eine Sperrschicht vorhanden. Durch Anlegen einer Spannung in Durchlassrichtung diffundieren Elektronen vom n-Bereich durch die Sperrschicht zum p-Bereich. Dadurch kommt es zum Refundieren der positiv und negativ geladenen Teilchen. Die frei werdende Energie wird in Form von Photonen abgegeben (vgl. Löffler-Mang, 2014, S. 77). LEDs können in verschiedensten Farben Licht emittieren. Die

entstehende Lichtfarbe ist abhängig vom verwendeten Halbleitermaterial (vgl. Pistohl, 2009, K. 52).

| Leuchtfarbe | Wellenlänge    | Halbleitermaterial                                                                  | Chem. Zeichen              | Spannung      |
|-------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------|
| Infrarot    | >750 nm        | Galliumarsenid<br>Aluminiumgalliumarsenid                                           | GaAs<br>AlGaAs             | 1,3 ... 1,5 V |
| Rot         | 610 ... 750 nm | Galliumarsenidphosphid<br>Aluminiumgalliumarsenid<br>Aluminiumgalliumindiumphosphid | GaAsP<br>AlGaAs<br>AlGaAsP | 1,6 ... 1,8 V |
| Orange      | 590 ... 610 nm | Galliumarsenidphosphid<br>Aluminiumgalliumindiumphosphid<br>Galliumphosphid         | GaAsP<br>AlGaAsP<br>GaP    | 2,0 ... 2,2 V |
| Gelb        | 570 ... 590 nm | Galliumarsenidphosphid<br>Aluminiumgalliumindiumphosphid<br>Galliumphosphid         | GaAsP<br>AlGaAsP<br>GaP    | 2,0 ... 2,2 V |
| Grün        | 500 ... 570 nm | Indiumgalliumnitrid<br>Zinkoxid<br>Galliumphosphid                                  | InGaN<br>ZnO<br>GaP        | 2,2 ... 2,4 V |
| Blau        | 450 ... 500 nm | Zinkselenid<br>Siliziumkarbid<br>Indiumgalliumnitrid                                | ZnSe<br>SiC<br>InGaN       | 3 ... 5 V     |
| Violett     | <450 nm        | Aluminiumnitrid<br>Aluminiumgalliumnitrid<br>Aluminiumgalliumindiumphosphid         | AlN<br>AlGaN<br>AlGaAsP    | 2,8 ... 3,0 V |

Abbildung 10: Lichtfarbe in Abhängigkeit der Halbleitermaterialien

(Quelle: <http://www.itwissen.info/Leuchtdiode-light-emitting-diode-LED.html>)

In Abbildung 10 ist gut erkennbar, dass sich, je nach verwendetem Halbleitermaterial, die Leuchtfarbe einerseits, jedoch auch der Spannungsbereich andererseits, verändert. Des Weiteren sind die Wellenlängen und die Chemischen Zeichen abgebildet.

Für die Beleuchtung von Räumen kamen die LED zu Anfang nicht in Betracht, da man kein weißes Licht erzeugen konnte. Heute ist es zur Normalität geworden, weiß leuchtende LED in verschiedenen Bauformen als Leuchtmittel einzusetzen.

Für die Erzeugung von weißem Licht gibt es zwei unterschiedliche Arten von LEDs. Zum einen die Kombination von roten, grünen und blauen Leds - durch die additive Farbmischung ergibt dies weiß (RGB-LEDs). Zum anderen wird das Licht einer einzelnen LED durch einen geeigneten Leuchtstoff in ein andersfarbiges umgewandelt (Konversion-LED). Vorteil der Konversion-LEDs ist eine höhere Farbwiedergabe (vgl. Willems, 2013, S.635f.).

Die wichtigsten Vorteile der LED-Technik gegenüber der Leuchtstofftechnik sind vor allem ihre lange Lebensdauer, eine bessere Umweltverträglichkeit (Quecksilberfrei) und ihre hohe Energieeffizienz. Sie sind sparsamer und entwickeln weniger Wärme. (vgl. Bogner und Schäppi, 2013, S. 30)

### 3.3. Steuerung in der Lichttechnik

Zur Steuerung der Beleuchtung in einem Gebäude gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten.

Die Steuerung der Lichttechnik hat mehrere zentrale Aufgaben:

- Anpassung der künstlichen Beleuchtung an das Tageslicht

- Anpassung an die Anwesenheit von Personen
- Anpassung an verschiedene Nutzererwartungen (Arbeiten, Lesen)

Diese Punkte sind sowohl mittels einer manuellen Steuerung, aber auch über eine automatisierte Steuerung möglich. Es ist jedoch unabdingbar ein Lichtmanagementsystem sehr früh in die Planungsphase eines Systems miteinzubeziehen, da nachträglich die Kosten um ein Vielfaches steigen. (Praxishandbuch Bibliotheksbau: Planung Gestaltung Betrieb S. 277.)

Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel bewusst nur Präsenz- und Bewegungsmelder und die manuelle Steuerung erwähnt.

### 3.3.1. Manuelle Steuerung

Bei der manuellen Steuerung mittels örtlich angebrachten Taster, kann der Nutzer individuell und je nach Anforderung an seine Tätigkeiten entscheiden, ob die künstliche Beleuchtung als Unterstützung verwendet werden soll oder nicht.

Als Nachteil anzusehen ist jedoch einerseits, dass die Möglichkeit besteht die Beleuchtung aktiviert zu haben, obwohl momentan ausreichend natürliches Licht vorhanden ist und andererseits, dass beim Verlassen vergessen wird, das künstliche Licht abzuschalten.

### 3.3.2. Bewegungs- und Präsenzmelder

Um die Beleuchtung an die tatsächliche Nutzung anzupassen, bietet sich eine Steuerung an, die nicht per Hand ausgeführt wird. Durch eine Automatisierung mittels Bewegungsmelder kann die Beleuchtungsanlage energiesparend und effizient betrieben werden. Die Leuchten werden erst dann eingeschaltet oder vom Stand-by-Modus (30% der Beleuchtungsstärke) in Vollbetrieb gewechselt, wenn Personen den Raum betreten bzw. durchgehen. Dies wird durch einen PIR-Bewegungsmelder (passives Infrarot) ermöglicht. Durch Messen der Infrarotstrahlung erkennt der Bewegungsmelder eine Person, da der menschliche Körper Infrarotstrahlung bzw. Wärmestrahlung emittiert (vgl. Wosnitza und Hilgers, 2012, S. 425).

Wie in Abbildung 2 zu sehen, erstreckt sich das Spektrum der IR-Strahlung von 0,78 µm bis 1,5mm und ist für das menschliche Auge nicht sichtbar.

Der Bewegungsmelder hat ein Erfassungsfeld. In diesem wird nicht die menschliche Bewegung, sondern die auftretende Wärmeänderung erfasst. Durch die Wärmeänderung im Erfassungsfeld wird ein Spannungswert innerhalb des Messintervalls im Bewegungsmelder überschritten und der Bewegungsmelder löst aus (vgl. Hager, 2012, S. 112). Durch einen pyroelektrischen Aufnehmer wird diese Spannungsänderung ausgelöst (vgl. Pläßmann und Schulz, 2013, S. 761).

Der Hauptvorteil bei Bewegungsmeldern liegt eindeutig in der bedarfsgerechten Nutzung des künstlichen Lichts, jedoch können auch einige Probleme auftreten. So können durchaus auch Falschmeldungen, ausgelöst durch Heizkörper (IR-Strahlung der Wärme), auftreten, wie auch zu lange Schaltzeiten für einen zu hohen Verbrauch sorgen.

## 3.4. Arbeitsrechtliche Grundlagen

Bei der Beleuchtung gibt es gesetzliche Regelungen die einzuhalten sind. Die Arbeitsstättenrichtlinie der Europäischen Union (RL 89/654/EWG) wurde mit der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) in nationales Recht umgesetzt.

Zur Aufgabe der zu verwendeten Beleuchtungsanlagen für Arbeitsstätten gilt es nicht nur für eine ausreichende Beleuchtung zu garantieren. Vielmehr soll die Beleuchtung so gewählt werden, dass neben der Sehaufgabe, um effizient und effektiv seine Arbeitstätigkeit verrichten zu können, auch die Unfallvermeidung und Gesundheitsgefährdung planerisch miteinbezogen werden (vgl. Görner, 2008, S. 4).

Aus der AStV geht hervor, dass bei der Beleuchtung von Arbeitsplätzen auf den Stand der Technik Bedacht zu nehmen sei (§29 Abs.2 Z1). Hierbei kann auf die ÖNORM EN 12464-1 zurückgegriffen werden, die den anerkannten Stand der Technik darstellt.

### 3.5. Notbeleuchtung - Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die Notbeleuchtung ist eine Beleuchtung, welche bei Störung der Allgemeinbeleuchtung wirksam wird. Sie ermöglicht einerseits ein sicheres Verlassen der Arbeitsstätte (Sicherheitsbeleuchtung), andererseits verfolgt dieser auch kommerzielle Gründe und ein Produktionsstopp soll verhindert werden (Ersatzbeleuchtung) (vgl. Olenik und Malzahn, 1998, S. 25).

Eine Notbeleuchtung ist gesetzlich notwendig. So geben einerseits die Arbeitsstättenverordnung (AStV) und auch die technische Richtlinie für vorbeugenden Brandschutz (TRVB E102) Rahmenbedingungen vor. Die gesetzlichen Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung richten sich nach den Widmungsbereichen innerhalb der Gebäudeabschnitte. So unterscheiden sich die gesetzlichen Anforderungen nach Gebäudetypus, aber auch innerhalb eines Gebäudes durch unterschiedliche Raumnutzung. Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über die unterschiedlichen Bezeichnungen und die gesetzlichen Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung, um darauffolgend diese bei unserem Dienstleistungsgebäude konkret zu beschreiben.

Es gibt den gesetzlichen und einheitlichen übergeordneten Begriff der Notbeleuchtung.

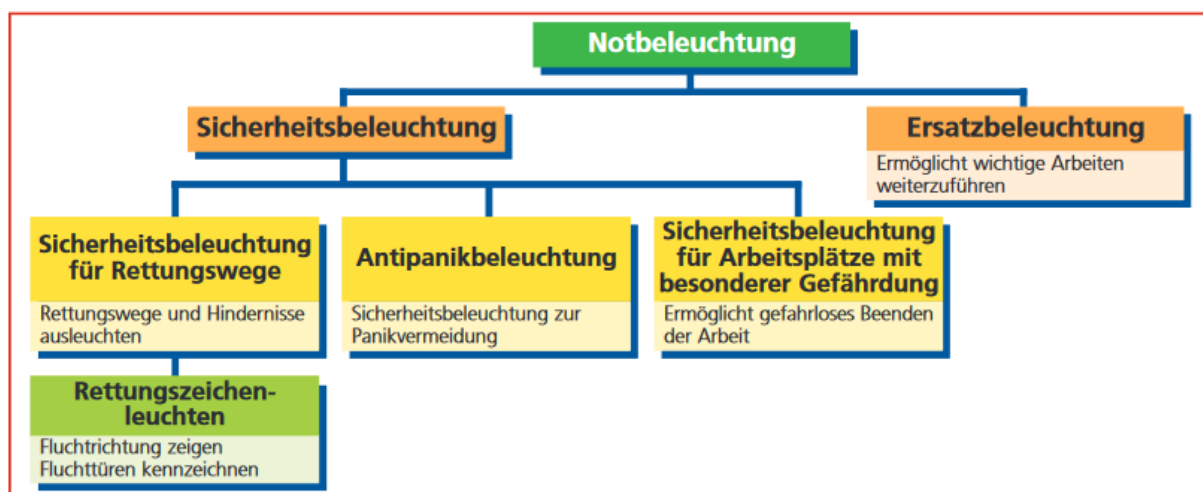


Abbildung 13: Übersicht der Not und Sicherheitsbeleuchtung  
(Quelle: Schrack, s.a., S. 3)

Der Begriff der Notbeleuchtung wird unterteilt in Sicherheits- und Ersatzbeleuchtung. Die Sicherheitsbeleuchtung ist eine Notbeleuchtung und soll bei Störung und Ausfall der Allgemeinbeleuchtung ein sicheres Verlassen unter Gefahrminimierung gewährleisten (vgl.

Sauer et al., 2013, S. 634). Die Ersatzbeleuchtung hat primär den Grund, dass wichtige Arbeiten weitergeführt werden. Diese kommt unter anderen in Operationssälen und großen Produktionshallen zur Anwendung.

Die Sicherheitsbeleuchtung gliedert sich in drei Teile. Die Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege sorgt für ein erkennen der Rettungseinrichtungen und ermöglicht diese gefahrlos zu benutzen (vgl. Olenik und Malzahn, 1998, S. 24).

Die Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung hat das Ziel zur Sicherheit von Personen beizutragen, die sich momentan in einer potentiellen Gefahr durch ihren Arbeitsplatzaufenthalt befinden. Es soll gewährleistet werden, dass angemessene Abschaltmaßnahmen des Arbeitsprozesses getätigt werden können (vgl. Bohne, 2014, S. 478).

Die Antipanikbeleuchtung hat das Ziel Paniksituationen in fensterlosen Räumen zu vermeiden und gewährleistet ausreichende Sehbedingungen um die Rettungswege zu erreichen (vgl. Bohne, 2014, S. 478).

Für die Sicherheitsbeleuchtung von Rettungswegen kommen Rettungszeichenleuchten zum Einsatz. Diese sind mit einem Bildzeichen in Grün und Weiß versehen. In Dauerschaltung werden diese aus dem Netz versorgt, fällt dieses aus speisen Batteriesysteme die Versorgung der Leuchten (vgl. Bohne, 2014, S. 478).

#### 3.5.1. Richtlinien an die Sicherheitsbeleuchtung eines Dienstleistungsgebäudes

Es sind alle Objektbereiche mit einer Fluchtwegorientierungs- und Sicherheitsbeleuchtungsanlage ausgestattet. Die gesamte Sicherheitsbeleuchtung wurde nach den Vorgaben der AStV und unter Einhaltung der TRVB E102 installiert. Die TRVB E102 ist für die Fluchtweg-Orientierungsbeleuchtung zuständig und kennzeichnet hauptsächlich den Verlauf des Fluchtweges. Die AStV stellt Erfordernisse über den Ort der Anbringung und die Energieversorgung der Sicherheitsbeleuchtung.

So müssen alle Arbeitsräume und Fluchtwege ausgestattet werden, die natürlich nicht belichtet sind und zusätzlich auch jene Räume, die aufgrund des längeren Betriebs nicht durchgehend natürlich belichtet werden können (vgl. AStV, 2016, §9 Abs. 1). Eine weitere Anforderung ist, dass eine unabhängige Energieversorgung und das selbsttätige wirksam Werden und Bleiben der Sicherheitsbeleuchtung vorhanden sein muss (vgl. AStV, 2016, §9 Abs. 2).

## 4. Methodik

Dieses Kapitel soll die methodische Herangehensweise an dieser Arbeit widerspiegeln und gliedert sich in mehreren Bereichen.

### 4.1. Beleuchtungssituation Simon Ziesel Haus

Im gesamten Gebäude sind serienmäßig Leuchten mit dem T5-Beleuchtungssystem (16mm Durchmesser) installiert. Betrieben werden diese mit Leuchtstofflampen. Ergänzend sind spezielle Leuchten montiert, die für brandgefährdete, feuchte, explosions- und korrosionsgefährdete Räume zulässig sind. Eine Leuchte ist der gesamte Beleuchtungskörper, in dem eine Lampe, bzw. ein Leuchtmittel betrieben, geschützt und befestigt wird. Sie schützt ebenso vor Blendung (vgl. Wosnitza und Hilgers, 2012, S. 357).

Im Folgenden wird ein Überblick über die installierten Beleuchtungskörper je Nutzungsart hergestellt.

- Labor:  
In diesen Räumlichkeiten wurden Rasterleuchten verwendet. Diese sind so ausgeführt, dass bildschirmunterstütztes Arbeiten möglich ist und keine Blendung auftritt. Reflexblendung entsteht durch Spiegelungen an glänzenden Oberflächen wie z.B. Bildschirmen. Diese Blendung vermindert das Sehvermögen und setzt das Wohlbefinden herab. Die richtige Anordnung von Leuchten im Raum schützt vor Reflexblendung (vgl. Wosnitza und Hilgers, 2012, S. 355). In den Laborräumen ist die Ausblendung der Leuchten oberhalb eines Winkels von 60°, somit wird eine Abzeichnung des Leuchtenbildes auf der Bildschirmoberfläche vermieden.
- Büro- und Professorenräume:  
Auch hier werden Rasterleuchten, wie in den Laborräumen, verwendet. Somit ist ein bildschirmunterstütztes Arbeiten möglich.
- Seminarräume:  
In diesen Räumlichkeiten kamen ebenso Rasterleuchten zum Einsatz, deren Anbringung für bildschirmunterstütztes Arbeiten erfolgte.
- Flure – Verkehrswege/Sanitarräume:  
In Gängen mit abgehängter Decke wurden Deckeneinbauleuchten (sogenannte Downlights) mit Energiesparlampen angebracht. In Gängen ohne Zwischendecke kamen Spiegel rasterleuchten zum Einsatz.
- Stiegenhaus/Lager/Technische Räume/Sonstige Räume:  
Die Systemleuchten sind ebenfalls Rasterleuchten, die zusätzlich mit Spiegelrastern oder Plexiglasabdeckungen ausgestattet sind.

Im Simon Ziesel Haus werden somit ausschließlich, Leuchtstoffröhren und Kompaktleuchtstofflampen eingesetzt.

#### 4.1.1. Versorgung der Sicherheitsbeleuchtung Simon Ziesel Haus

Die Sicherheitsbeleuchtung ist mit einer eigenen zentralen Spannungsversorgung ausgestattet. Diese befindet sich im 2UG und besteht aus mehreren zusammengeschlossenen Batteriesystemen. Die Versorgungsspannung der Blei-Akkumulatoren beträgt 220V und die Kapazität mindestens 160Ah. Die gesamte Anschlussleistung der Sicherheitsbeleuchtung beträgt 15,5kW. Somit kann die Sicherheitsbeleuchtung bei Stromausfall für ca. 2,27h betrieben werden.

Die Versorgungsspannung von 220 V hat den Grund, dass auch entferntere Stromkreise gut und mit möglichst geringem Spannungsabfall versorgt werden können. Ein großer Vorteil ist, dass die EVG der Allgemeinbeleuchtung, die vor Ort zur Verfügung stehen, sowohl mit Gleich- als auch Wechselspannung betrieben werden können. Dadurch kann wahlweise jede installierte Beleuchtungsleuchte für die Bereitschaftsbeleuchtung verwendet werden. Alle Sicherheitsleuchten werden gemäß ÖVE/ÖNORM E 8002 mit einer Einzelleuchtenüberwachung auf Störung/Betrieb überwacht.

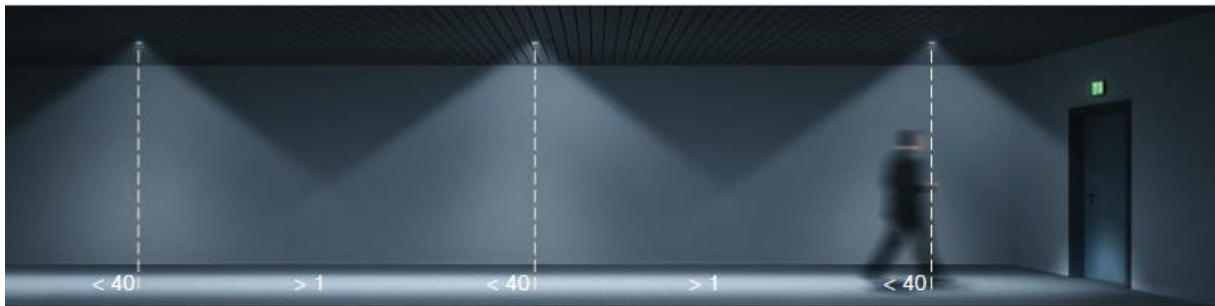
#### 4.1.2. Schaltung der Sicherheitsleuchten

Da es sich bei unserem Gebäude laut ÖVE/ÖNORM E 8002-1 um eine bauliche Anlage für Menschenansammlungen handelt kommt diese zusätzlich zur Geltung. Diese gibt vor, dass in Bereichen von Arbeitsstätten bzw. Arbeitsräumen, in denen mit gefährlichen Gütern han-

tiert wird, eine Sicherheitsbeleuchtung vorgeschrieben, welche bei gestörter Allgemeinbeleuchtung die Mindestausleuchtung dieser Räumlichkeiten und der Verkehrs-/ Fluchtwege für die Dauer von 1 Stunde übernimmt (ÖVE/ÖNORM E 8002-1, 2002, S.16)

Im folgenden Abschnitt wird die Art der Schaltung jener Nutzungsbereiche beschrieben, die mit Sicherheitsbeleuchtungsanlagen ausgestattet sind.

- Flucht- und Rettungswege (Gänge und Stiegenhäuser bis ins Freie) – in Bereitschaftsschaltung und Sicherheitsleuchten mit Rettungszeichen in Dauerschaltung.



*Abbildung 14: Darstellung der Sicherheitsbeleuchtung eines Fluchtweges  
(Quelle: Zumtobel, 2012, S. 12)*

In Abbildung 14 ist die Sicherheitsbeleuchtung eines Flucht- bzw. Rettungsweges ersichtlich. Bei einem Stromausfall schaltet sich über die Notstromversorgungsbatterien die Sicherheitsbeleuchtung über die Allgemeinbeleuchtung ein. Über der Türe ist eine Sicherheitsbeleuchtung mit Rettungszeichen abgebildet. Diese ist wie oben bereits beschrieben in Dauerschaltung.

Selbiges gilt für Ausgänge und die Garage. Sicherheitsleuchten mit Rettungszeichen werden in Dauerschaltung und die Notbeleuchtung in Bereitschaftsschaltung betrieben.

Die Zahlen <40 und >1 beschreiben die notwendige Gleichmäßigkeit die laut ÖNORM E 8002 gegeben sein muss. Entlang des Mittelweges darf das Verhältnis der höchsten zur niedrigsten Beleuchtungsstärke einen Wert von 40:1 nicht überschreiten (vgl. Zumtobel, 2012, S.12) Die minimale zulässige Beleuchtungsstärke direkt über den Boden beträgt 1lux.

- Labor, Lager, Seminar-, Professoren, sonstige-, technische-, Sanitär- und Büroräume sind in Bereitschaftsschaltung.

Aus der ÖVE/ÖNORM E 8002-1 gehen folgende Definitionen für Dauerschaltung und Bereitschaftsschaltung hervor.

Dauerschaltung: „Schaltung der Sicherheitsbeleuchtung, bei der deren Lampen in der Schaltstellung „betriebsbereit“ dauernd wirksam sind Eine Unterbrechung von maximal 0,5 s ist zulässig.“ (ÖVE/ÖNORM E 8002-1, 2002, S.8)

Bereitschaftsschaltung: „Schaltung der Sicherheitsbeleuchtung, bei der deren Lampen in der Schaltstellung „betriebsbereit“ bei Störung der Stromversorgung der allgemeinen Beleuchtung selbsttätig wirksam werden.“ (ÖVE/ÖNORM E 8002-1, 2002, S.8)

## 4.2. Erhebung der Datengrundlage

Im ersten Schritt sind die notwendigen Grundlagen für eine Ausgangsbasis der bevorstehenden Messungen erhoben worden. Es konnte auf der Homepage der Universität für Bodenkultur auf Raumpläne mit Flächenangaben zurückgegriffen werden. Dadurch war es möglich, sich einen ersten genaueren Überblick über die Raumaufteilungen und deren Nutzungsart zu erarbeiten.

### 4.2.1. Dokumentationen

Zusätzlich konnten Unterlagen der Firma Trilux-Leuchten GmbH und der Firma Sumetzberger, wie in Abbildung 15 ein kleiner Ausschnitt zeigt, eingesehen werden. Diese waren für die Planung und Installation der Beleuchtungstechnik zuständig. Dadurch konnten einerseits die tatsächlichen Beleuchtungsstärken der jeweiligen Räume und andererseits die Anzahl der installierten Leuchtmittel, mit deren Anschlussleistung inkl. elektronischen Vorschaltgerät (EVG), ermittelt werden.

|                                                                                  |                |                                        |                |                             |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------|----------------|-----------------------------|-------|
| Raumhöhe: 3.000 m, Montagehöhe: 3.097 m, Wartungsfaktor: 0.80                    |                |                                        |                | Werte in Lux, Maßstab 1:117 |       |
| Fläche                                                                           | $\rho$ [%]     | $E_m$ [lx]                             | $E_{min}$ [lx] | $E_{max}$ [lx]              | $g_1$ |
| Nutzebene                                                                        | /              | 545                                    | 379            | 636                         | 0.696 |
| Boden                                                                            | 20             | 410                                    | 263            | 500                         | 0.641 |
| Decke                                                                            | 70             | 120                                    | 85             | 298                         | 0.711 |
| Wände (4)                                                                        | 50             | 278                                    | 115            | 1462                        | /     |
| <b>Nutzebene:</b>                                                                |                |                                        |                |                             |       |
| Höhe:                                                                            | 0.750 m        |                                        |                |                             |       |
| Raster:                                                                          | 32 x 16 Punkte |                                        |                |                             |       |
| Randzone:                                                                        | 0.500 m        |                                        |                |                             |       |
| <b>Leuchten-Stückliste</b>                                                       |                |                                        |                |                             |       |
| Nr.                                                                              | Stück          | Bezeichnung (Korrekturfaktor)          | $\Phi$ [lm]    | P [W]                       |       |
| 1                                                                                | 5              | TRILUX Fidesca-BS 625 T 3TCL36 (1.000) | 8700           | 117.0                       |       |
|                                                                                  |                |                                        | Gesamt:        | 43500                       | 585.0 |
| Spezifischer Anschlußwert: 18.78 W/m² = 3.44 W/m²/100 lx (Grundfläche: 31.15 m²) |                |                                        |                |                             |       |

Abbildung 15: Beleuchtungsberechnung eines Raumes Simon Ziesel Haus

(Quelle: Trilux, 2009, S. 5)

### 4.2.2. Bestandsliste

Mittels der recherchierten Informationen war es nun möglich Raum für Raum zu dokumentieren, um schlussendlich für das gesamte Gebäude eine Bestandsliste schreiben zu können.

Tabelle 3: Auszug der Bestandsliste

| Raumnummer<br>Erdgeschoß | Funktion                | Fläche<br>[m²] | Leuchtkörper (Tri-<br>lux)      | Anzahl | ges. Leistung<br>[W] | Lichtstärke<br>[lm] |
|--------------------------|-------------------------|----------------|---------------------------------|--------|----------------------|---------------------|
| A-EG-V01                 | Vorraum - Eingangshalle | 224,96         | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32      | 25     | 1400                 | 90000               |
| A-EG-007                 | Seminarraum             | 92,42          | ENTERIO M37 PA<br>128 E ENTERIO | 38     | 1368                 | 98800               |

Aus dieser Tabelle sind die Raumbezeichnungsnummern und die dazugehörige Fläche ersichtlich. Zusätzlich ist die Nutzungsart (welche Funktion hat der Raum), die Anzahl der installierten Leuchtkörper mit der tatsächlichen Gesamtleistung (inkl. EVG) und der abzugebenden Lichtstärke eingetragen. Der Typus der Beleuchtung ist mit voller Bezeichnung angegeben. Die vollständige Bestandsliste ist dem Anhang zu entnehmen.

#### 4.2.3. Vor-Ort-Begehungen

Mittels Begehungen vor Ort wurden die erhobenen Daten auf Richtigkeit geprüft. Mit Hilfe des Generalschlüssels konnte jede Räumlichkeit benützt werden. Da jedoch Räumlichkeiten mit sehr empfindlichen Gerätschaften, gefährlichen Kulturen oder sensible momentan laufende Experimente im Simon Zeisel Haus vorhanden sind, musste zuvor stets ein Termin ausgemacht und fixiert werden. Dadurch war selbst die Begehung ein großer Zeitaufwand.

### 4.3. Experimentelles

Um herauszufinden wo die Optimierungs- und Einsparungsmaßnahmen der Beleuchtung liegen, ist es unausweichlich zu erkennen wo die größten Verbraucher liegen. Im weiteren Schritt kann dann herausgefunden werden, ob diese Verbraucher auch zu Recht die größten sind. Hierzu ist in erster Linie wichtig die momentane Betriebsdauer der installierten Leuchtmittel zu erfassen. Durch die erfasste Nutzungsdauer kann dann über den Messzeitraum eine Hochrechnung für ein ganzes Jahr durchgeführt werden. Nach längerer Überlegungsphase wurde ein Messgerät für die Erfassung der momentanen Betriebsdauer angefertigt.

#### 4.3.1. Messgerät

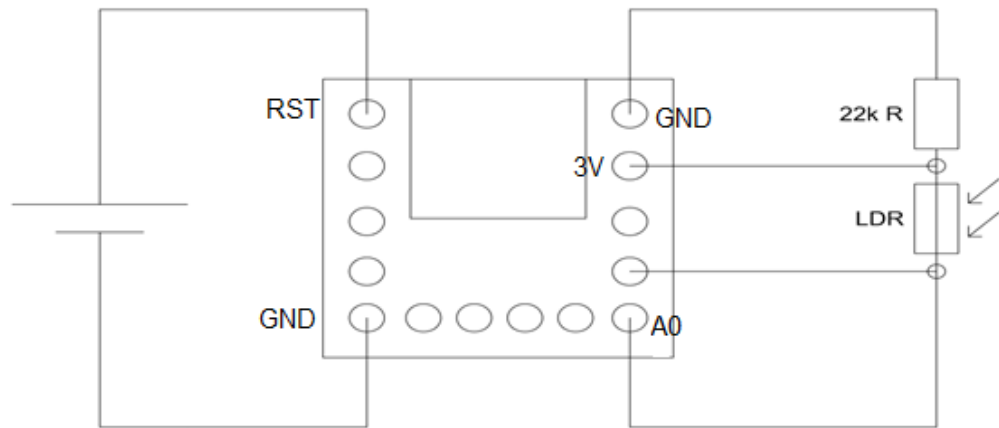
Für die Erfassung der tatsächlichen Betriebsdauer der Beleuchtung in den Räumlichkeiten wurde ein Messgerät gebaut und programmiert. Ziel dessen soll es sein, im Minutentakt zu erfassen, ob die Beleuchtung ein- oder ausgeschaltet ist. Zur Realisierung wurde ein ArduLog Data Logger V3 verwendet, der die Beleuchtungsstärke mittels eines Fotowiderstandes (LDR) erfasst und die erhobenen Daten auf eine MicroSD-Karte abspeichert. Um auch den genauen Zeitpunkt zu erfassen, und mögliche Ineffizienzen zu entdecken, wurde auf eine Platine mit Real Time Clock (RTC) zurückgegriffen.

Der ArduLog ist ein Mikrocontroller, der mit einer Versorgungsspannung von 3,3 V betrieben wird. Zusätzlich erfasst dieser Mikrocontroller serienmäßig eine RTC die mit einer Knopfatterie CR 1225 versorgt wird. Diese Lithiumbatterie weist eine Kapazität von 48mAh auf und versorgt die RTC mit einer Spannung von 3,3V. Diese Knopfzelle garantiert für etwa ein Jahr die Versorgung der RTC. Dadurch wird ermöglicht, dass bei Abbruch der Spannungsversorgung des Mikrocontrollers, die Zeit weiterhin gespeichert bleibt und mitläuft, um somit nicht jedes Mal neu programmiert werden muss. Der Mikrocontroller wurde über die Verbindung mit einer seriellen Schnittstelle programmiert. Über das Produkt „FTDI Driver“ der Firma Future Technology Devices International war es möglich eine serielle Schnittstelle über einen USB-Anschluss eines Computers verfügbar zu machen. Da der Mikrocontroller kompatibel mit Arduino's ist, konnte er mit der von Arduino entwickelten Java-Software programmiert werden. Programmiert wurde der Mikrocontroller so, dass jede Minute die Spannung, die am LDR anliegt, gemessen wird. Durch einen Digital-Analog-Wandler des Mikrocontrollers wird ein gewandelter Wert auf die MicroSD-Karte abgespeichert.

Um den Widerstandswert des LDR mit dem ArduLog messen zu können, wird ein Spannungsteiler aufgebaut. Dafür wurde ein Widerstandswert von 22kOhm gewählt, da sich

dieser auf einer Logarithmischen Skala etwa in der Mitte des Messbereiches von 10 bis 1000 Lux befindet (siehe Abbildung 13). So kann über die Spannung die am LDR anliegt auf die Helligkeit, und damit auf den Betriebszustand des Beleuchtungskörpers, geschlossen werden

Die Schaltung des Messgerätes ist in der Abbildung 12 Seite schematisch und vereinfacht dargestellt.



**Komponenten:**

- Batterie Sockel 3xAA + Kabel/Starre Drähte
- ArduLog
- Widerstand 22k
- LDR
- Kabel 4-Adrig

Abbildung 16: Schematische Darstellung der Schaltung der Messplatine

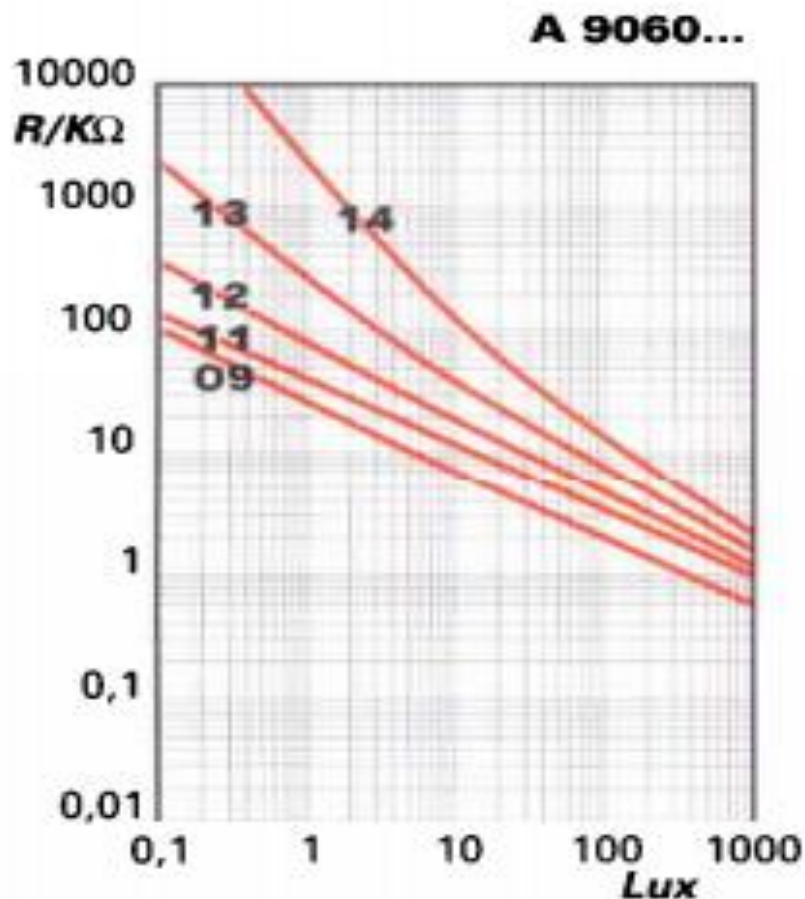
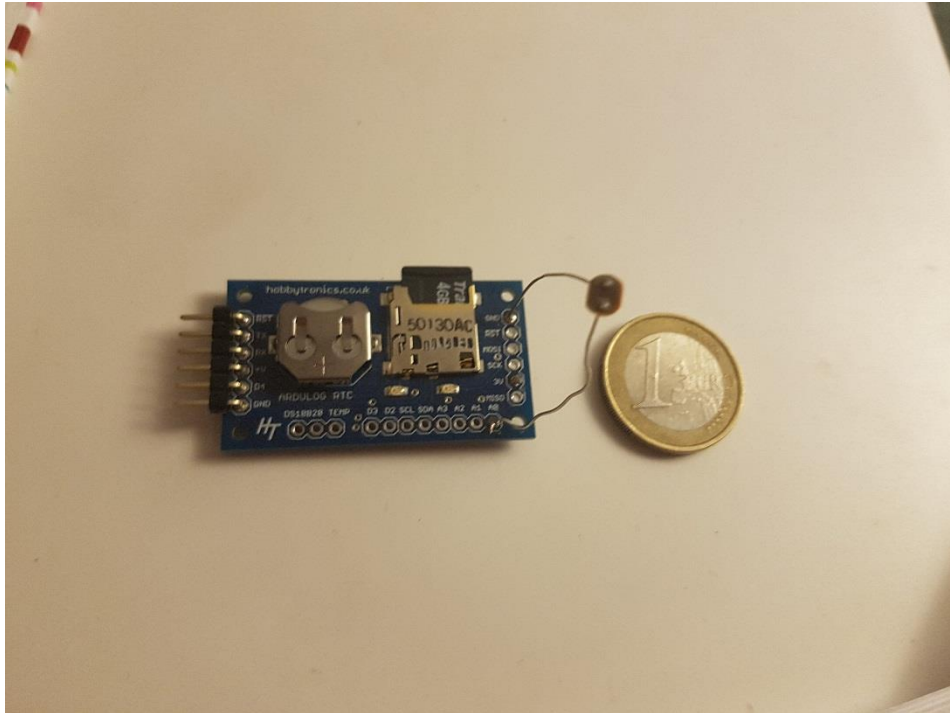


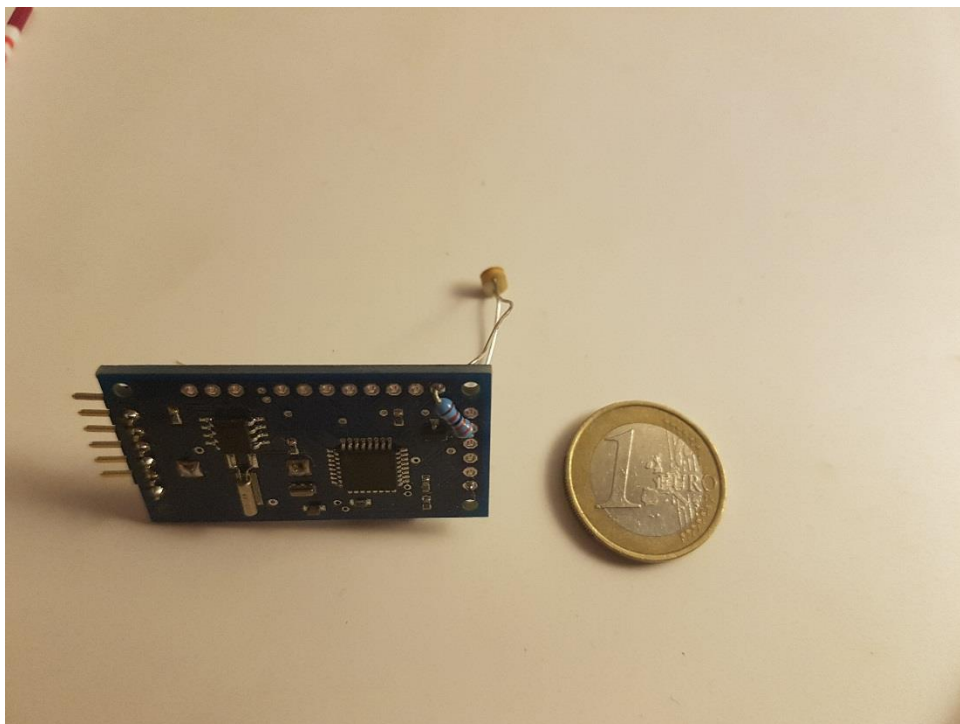
Abbildung 17: Kennlinie des LDR

In Abbildung 17 ist die Veränderung des eigenen Widerstands bei unterschiedlicher einstrahlender Beleuchtung zu sehen. Man sieht, dass der LDR bei einer Beleuchtungsstärke von 10 Lux einen Widerstand von 100kOhm hat, bei 1000 Lux nur noch 2kOhm. Wie bereits oben erwähnt befindet sich der gewählte Widerstandswert von 22kOhm in etwa mittig am Kennlinienverlauf.

Abbildung 18 und 19 zeigen den realen Aufbau der Messplatine.



*Abbildung 18: Vorderseite des ArduLog's*



*Abbildung 19: Rückseite des ArduLog's*

#### 4.3.1.1. Prototyp

Nach der Testphase des ersten Prototyps stand man vor dem Problem der Reduzierung des Fremdlichtanteils. Da der Mikrocontroller lediglich die Helligkeit vor Ort misst, konnte bei der Auswertung nicht eindeutig zu jedem Zeitpunkt festgestellt werden, ob das Licht eingeschaltet ist. Ein weiteres Problem, welches sich in der Testphase zeigte, waren die verwendeten Akkumulatoren, da diese bereits nach vier Tagen entladen waren. Grund hierfür war die niedrige Kapazität von 1500mAh.

#### 4.3.1.2. Finale Version

Nach einer zweiten Messwoche mit den neuen Akkumulatoren konnte eine einwandfreie Messung über die Dauer von 7 Tagen durchgeführt werden. Dies geschah einerseits durch eine lichtundurchlässige Aluminiumdose. In diese wurde das Messgerät hineingegeben um danach direkt unter dem Beleuchtungskörper befestigt zu werden. Zur Überprüfung wurde dieser in einem sehr hellen Raum mit hohem Tageslichteinfall erprobt. Nach der Abnahme und Auswertung der Daten konnten die Zustände ein- und ausgeschaltet realitätsgetreu wiedergegeben werden. Es konnte selbst bei Mittagssonne und ausreichender Helligkeit im Raum anhand der Messwerte erkannt werden, ob die Beleuchtungskörper eingeschaltet waren. Andererseits konnte das Problem der kurzen Messspanne von vier Tagen durch einen Austausch der wiederaufladbaren Akkumulatoren behoben werden. Bei der zweiten Testphase wurden Akkumulatoren mit einer Kapazität von 2600mAh verwendet.

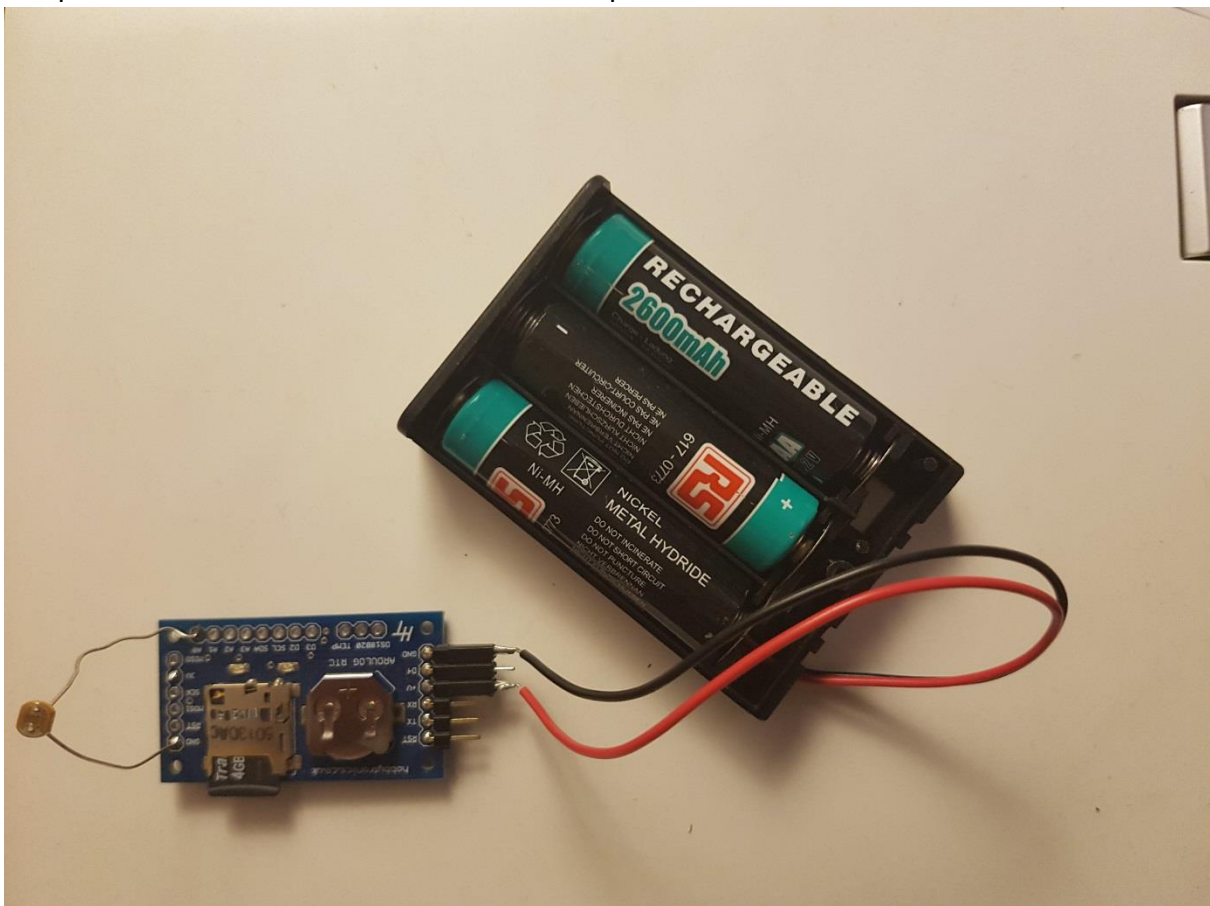


Abbildung 20: ArduLog mit drei wiederaufladbaren AA-Batterien mit einer Kapazität von 2600mAh

#### 4.3.2. Messreihen und Durchführungszeitraum

Da, wie schon oben beschrieben, das Gebäude aus 7 Stockwerken besteht, wurde eine kurze Messdauer pro Stockwerk von sieben Tagen vorgenommen. Diese Messdauer aus einer Woche wurde aus zeitlichen Gründen gewählt. Nach der Abnahme der Messgeräte wurden die vorhandenen Batterien über zwei Tage wieder aufgeladen und währenddessen die Daten ausgewertet. So ergab sich eine Durchführungszeitraum der Messungen des gesamten Simon Ziesel Haus in 9 ½ Wochen.

#### 4.3.3. Festlegung der Messpunkte

Bevor die Messgeräte befestigt wurden, galt es zu überlegen, welche und wie viele Messpunkte gewählt werden, um eine aussagekräftige Datengrundlage zu erheben.

Es wurden 35 Messpunkte pro Stockwerk zur Messung herangezogen. Diese 35 Messpunkte wurden so gewählt, dass eine gute Verteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsflächen gegeben ist. Schlussendlich wurden in einer Woche etwa 5 Messungen pro Labor- und Büroräume, Gänge, Sanitäranlagen, Lager- und Seminarräumen durchgeführt wurden. Auf den folgenden Seiten sind die Raumpläne mit den eingezeichneten Messpunkten als Schwarzer Punkt abgebildet. Die ausgewählten Messpunkte sind auf den nächsten Seiten in den Plänen abgebildet.

#### 4.3.3.1. 2.Untergeschoß

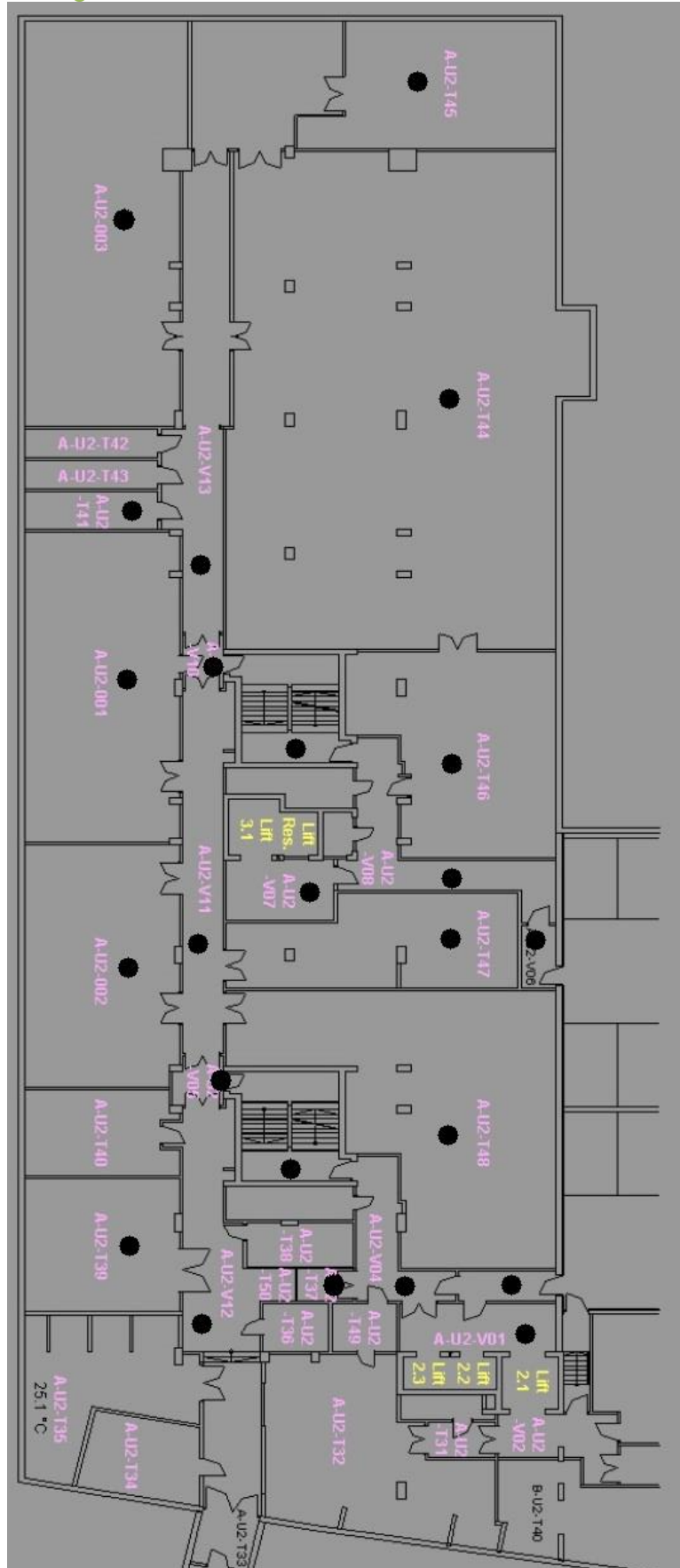


Abbildung 21: Messpunkte des 2.UG

#### 4.3.3.2.



Abbildung 22: Messpunkte des 1.UG

#### 4.3.3.3.

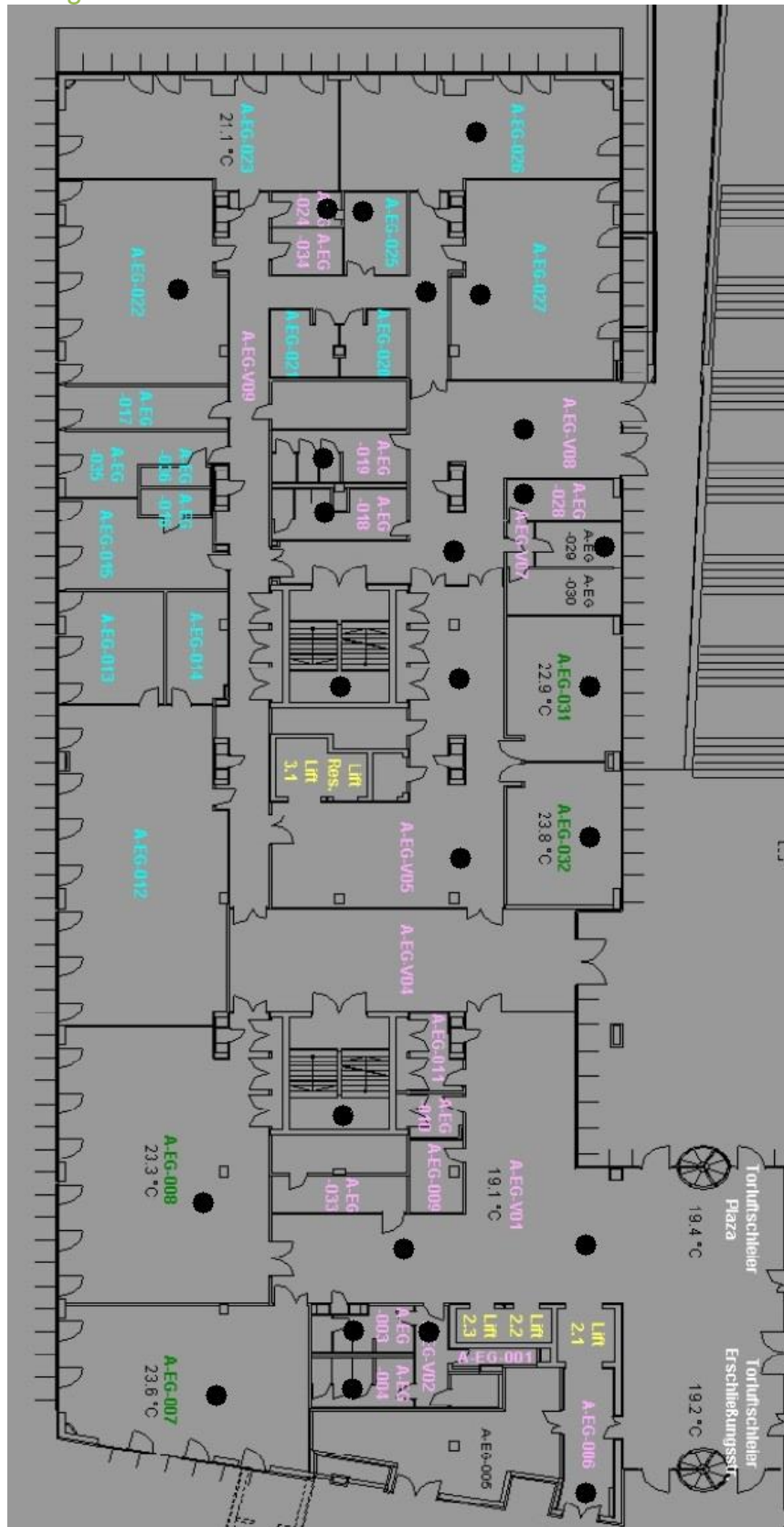


Abbildung 23: Messpunkte des EG

#### 4.3.3.4. 1.Obergeschoß

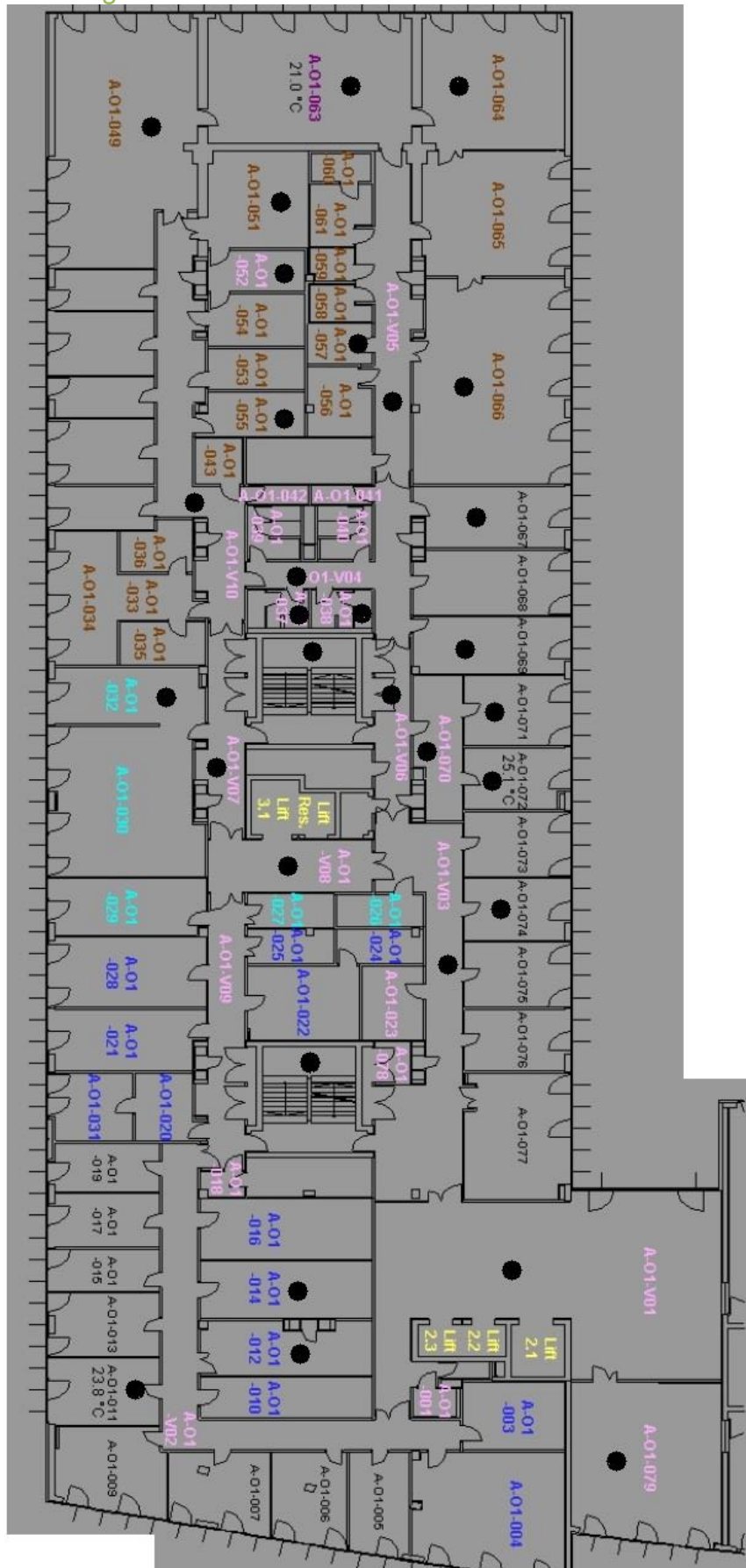


Abbildung 24: Messpunkte des 1. OG

#### 4.3.3.5. 2.Obergeschoß

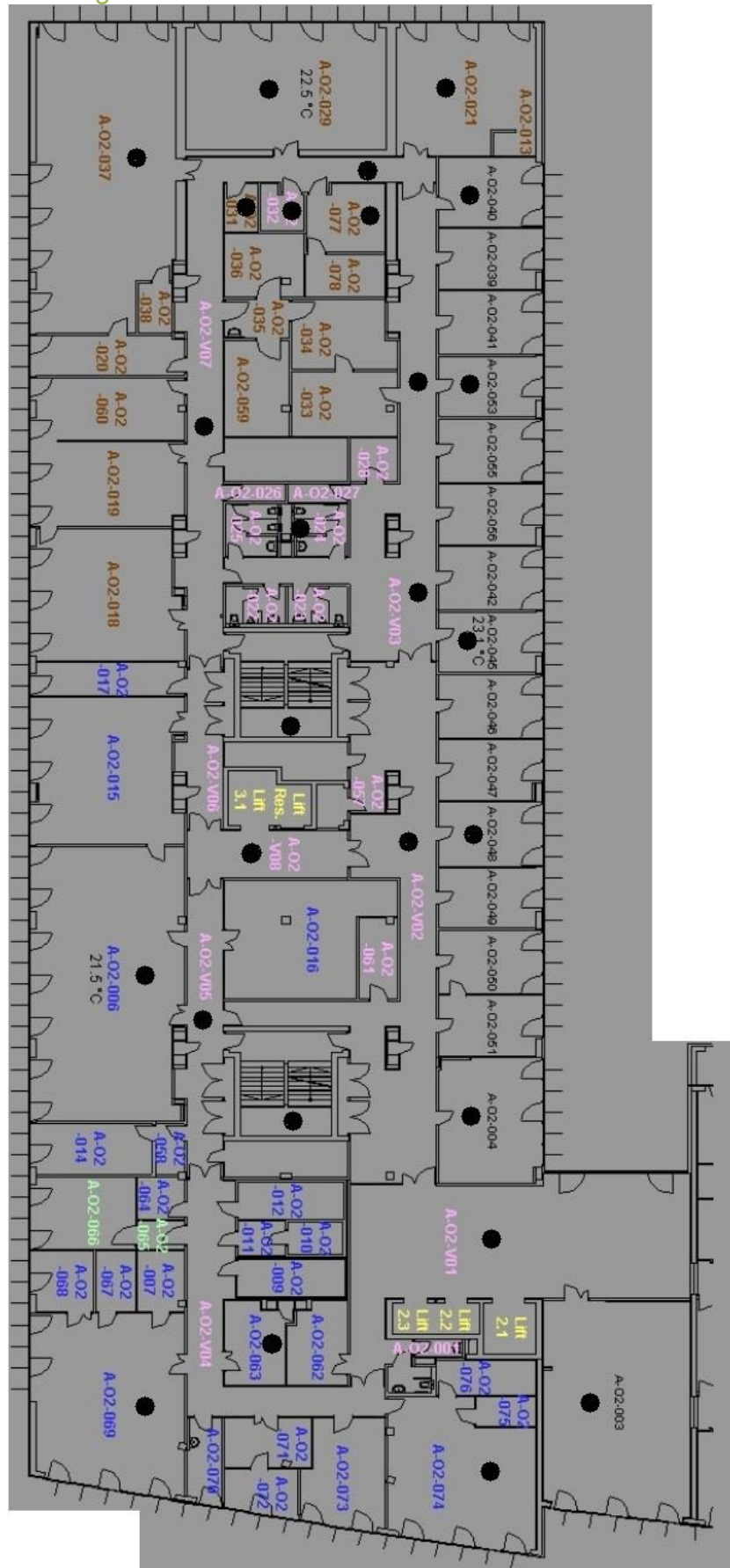


Abbildung 25: Messpunkte des 2.OG

#### 4.3.3.5. 3.Obergeschoß

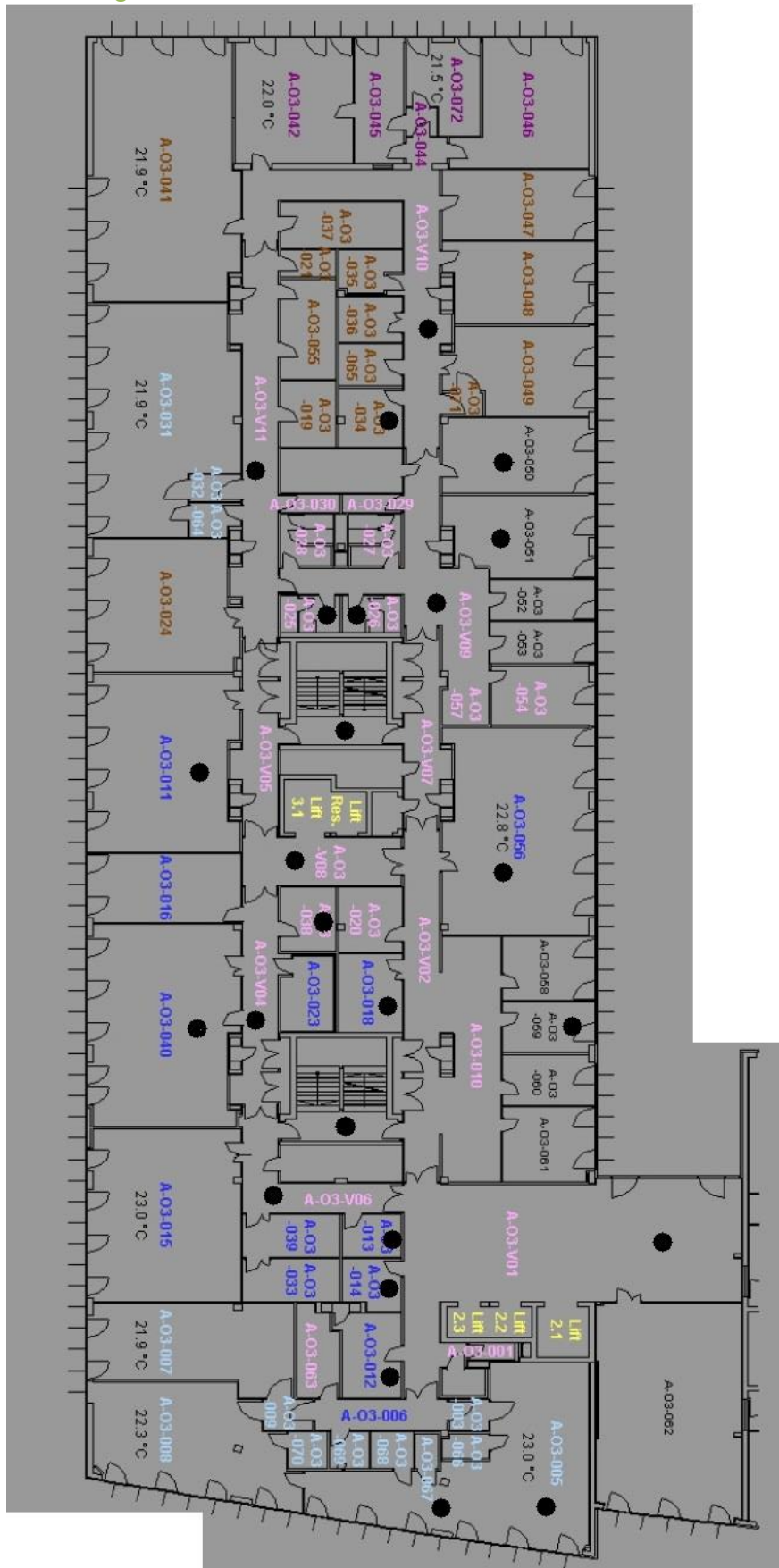


Abbildung 26: Messpunkte des 3.OG

#### 4.3.3.6. Dachgeschoß

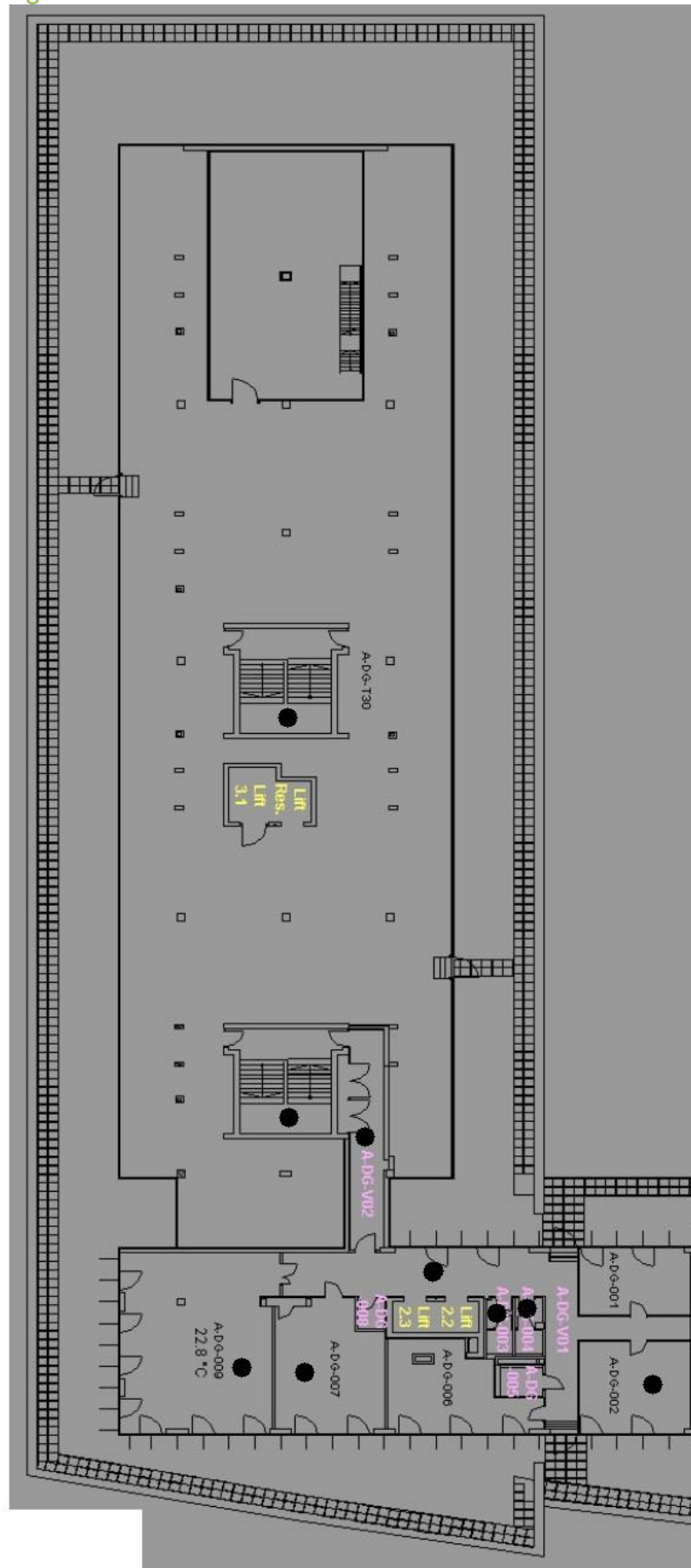


Abbildung 27: Messpunkte des DG

#### 4.3.4. Aufbereitung der Messdaten

Die Messungen wurden als Textdatei auf die MicroSD-Karte abgespeichert und des Weiteren mit dem Programm Excel bearbeitet. Hier wurden mit der jeweiligen installierten Leistung und der gemessenen Betriebsdauer die Stromkosten hochgerechnet. Als Veranschaulichung wird ein Auszug der Messung des Stiegenhauses im 1.OG abgebildet.

|                  |          |                |            |              |               |                                 |
|------------------|----------|----------------|------------|--------------|---------------|---------------------------------|
| A-U1-S01         |          |                |            |              |               |                                 |
| Stiege           |          |                |            |              |               |                                 |
|                  | 30,69    | m² Raumfläche  |            |              |               |                                 |
|                  | 2        | Leuchtenanzahl |            |              |               |                                 |
| Leistung         | 170      | W inkl. EVG    |            |              |               |                                 |
| Grenzwert        | 500      |                |            |              |               |                                 |
| €/kWh            | 0,07     |                |            |              |               |                                 |
|                  |          |                |            |              |               | Betriebsstunden<br>pro<br>Woche |
| Datum            | Messwert | on/off         | energy(Ws) | energy(Wh)   | price(€)      |                                 |
| 03.06.2016 13:22 | 245      | 1              | 10200      | <b>28560</b> | <b>1,9992</b> | <b>168</b>                      |
| 03.06.2016 13:23 | 288      | 1              | 10200      |              |               |                                 |
| 03.06.2016 13:24 | 17       | 1              | 10200      |              |               |                                 |
| 03.06.2016 13:25 | 17       | 1              | 10200      |              |               |                                 |

Abbildung 28: Messdaten auf MicroSD-Karte der linken Stiege im 1.OG

Wie in Abbildung 28 zu sehen ist, wurde die installierte Leistung inklusive der Vorschaltgeräte notiert. Dieses ermöglicht eine Hochrechnung der tatsächlich verbrauchten Leistung, da die auftretenden Verluste am EVG miteinbezogen werden.

An der Kopfzeile der Auswertungsdateien wurden zuerst die Raumnummer und die installierten Leuchtkörper abgebildet. Der Wert energy[Ws] ergibt sich aus der installierten Leistung \* den on/off Wert \* 60. Da angenommen wurde, dass innerhalb der Minute niemand aus- und gleich wieder einschaltet.

$$K = on/off * 60s * 170W \quad (3)$$

K= energy(Ws)

Der on/off Wert bezieht sich auf den aktuellen Zustand des Leuchtmittels. Ist dieser 1 so wurde messtechnisch erfasst, dass das Leuchtmittel in Betrieb ist. Je höher die Beleuchtungsstärke die auf den LDR auftrifft, desto geringer ist der eigene Widerstand. Dadurch ergibt sich eine geringere Spannung die vom ArduLog am LDR gemessen wird. Der ArduLog hat einen eingebauten 10Bit Analog-Digital-Wandler. Dieser erzeugt aus der angelegten Spannung am LDR einen Zahlenwert. 0V = 0, 3,3V = 1023. Da der Bereich des ArduLog zwischen 0 und 1023 liegt, wurde der Grenzwert in der Mitte angenommen. Dieser Wert hätte durchaus auch höher angenommen werden können, da sich bei einem Probeversuch zeigte, dass bei ausgeschaltetem Licht in der Dose ein Wert von etwa 900 herrscht. Der Probeversuch fand 2-mal über einen Zeitraum von 24Stunden statt.

Die Spalte energy[Wh] berechnet sich wie folgt:

$$N = [\sum_{k=0}^n K]/3600 \text{Formel} \quad (4)$$

N= Gesamtenergieverbrauchs einer Woche

Die Betriebsstunden pro Woche wurden mit der Zähl-Funktion von Excel ermittelt. Gezählt wurden die Werte 1 in der on/off Spalte und danach, da es sich um Minutenwerte handelt, durch 60 dividiert, um die Einheit von Stunden zu erhalten.

Da es pro Stockwerk an die 35 Messungen gab, wurden ca. 200 dieser Excel-Dateien erstellt und ausgewertet. Diese sind auf einem USB abgespeichert der am Ende dieser Arbeit beiliegt.

## 5. Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse dargestellt.

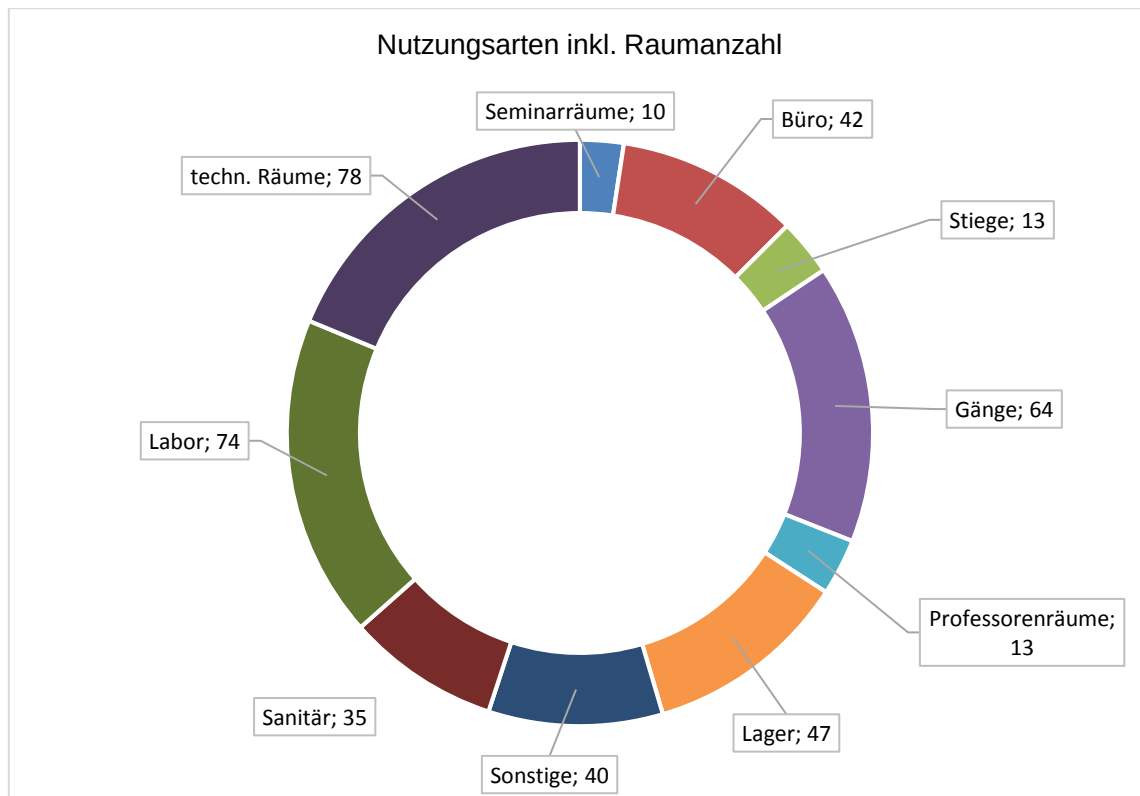
### 5.1. Beleuchtungstechnische Datengrundlage

Grundsätzlich konnten alle Daten für die Optimierungsmaßnahmen erhoben werden. Die im weiteren Grundlage für die Unterteilungen in Nutzungsarten und das Auflisten aller installierten Leuchtmittel notwendig sind.

#### 5.1.1. Einteilung nach Nutzungsarten

Im Simon Ziesel Haus konnten die vorhandenen Räumlichkeiten in zehn verschiedene Nutzungsarten unterteilt werden. Durch das Zusammenfassen zu gemeinsamen Gruppen kann ein Durchschnittswert errechnet werden, der in weiterer Folge für die Empfehlungen herangezogen wird.

Unter Nutzungsart wird verstanden, dass die Räumlichkeiten einer Nutzungsart ähnlich benutzt werden und auch vom Aufbau und der Anordnung (Fenster vorhanden) sehr ident sind. In Abbildung 29 ist eine Übersicht über allen vorhandenen Räumen zu sehen, welche bereits zu einer Raumnutzungsart hinzugefügt wurden.



*Abbildung 29: Auflistung der Nutzungsarten inkl. ihrer Raumanzahl*

#### Lagerräume:

Sind jene Räumlichkeiten, in welchen große Regale und keine Fenster vorhanden sind. In diesen Räumen steht das Aufbewahren von Materialien im Vordergrund.

#### Technische Räume:

In diesen Bereich fallen alle vorhandenen Räume, in denen sich hauptsächlich technische Anlagen befinden. Diese Räumlichkeiten haben keine andere Verwendung. Beispiele sind die Traföräume der Wien Energie, die Abwasserbehandlungsanlage und vieles mehr.

#### Stiegen:

Jene Bereiche, in denen die Möglichkeit besteht, in andere Etagen zu Fuß auf- oder abzustiegen.

#### Büroräume:

Alle Räume in denen Fenster, Schreibtische und PCs in Verwendung sind und die somit das Bild eines klassischen Büros von sich gaben sind in dieser Nutzungsart untergebracht.

#### Professorenräume:

Hierbei handelt es sich vom Aufbau im Grunde um einen Büroraum, jedoch wird dieser nur von einer Person genutzt. Aus diesem Grunde wurde eine eigene Nutzungsart erstellt um etwaige Unterschiede zu erkennen.

#### Sonstige Räume:

In dieser Gruppe befinden sich jene Räume, die keiner anderen Nutzungsart zugeordnet werden konnten. Dies sind vorrangig Schleusen, Müllräume und Anlieferungsräume.

Gänge:

In dieser Nutzungsart sind Flure und Fluchtwege enthalten. Charakteristisch für diese sind schmale und lange Anordnungen mit vielen installierten Leuchtmittel und das Fehlen an Fenstern.

Sanitärräume:

Hierin sind alle Räumlichkeiten enthalten, die installierte Sanitäranlagen besitzen. Es fallen die Toiletten wie aber auch eigene vorhandene Duschräumlichkeiten darunter. Es sind keine Fenster vorhanden.

Seminarräume:

Hierbei handelt es sich um große Räume, die einen hohen Anteil an Fenstern besitzen und für Vorträge konzipiert sind.

Laborräume:

Diese Nutzungsart kennzeichnet große Räumlichkeiten in denen experimentelle Forschung und Entwicklung betrieben wird. Zumeist sind Fenster vorhanden. Schleusen wurden nicht in diese Nutzungsart gegeben.

#### 5.1.2. Installierte Leuchtmittel

Dieses Kapitel soll die vorhandenen Leuchtmittel des Simon Ziesel Hauses näher beleuchten. Es gibt drei verschiedene installierte Leuchtmittel. In allen anderen Räumlichkeiten, mit Ausnahme der Sanitärräume, kommen mindestens zwei davon vor.

Eine Übersicht der installierten Leuchtmittel ist aus der Tabelle 4 zu entnehmen.

*Tabelle 4: Vorhandene Leuchtmittel unterschiedlicher Nutzungsarten*

| Nutzungsart         | Leuchtmittelart                              |                                           |                                           |                                           |
|---------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                     | Energiesparlampe<br>Kompaktbauweise<br>[39W] | Leuchtstoffröhre<br>1500mm Länge<br>[38W] | Leuchtstoffröhre<br>1500mm Länge<br>[52W] | Leuchtstoffröhre<br>1150mm Länge<br>[36W] |
| Sanitärräume        | x                                            |                                           |                                           |                                           |
| Technische<br>Räume |                                              | x                                         | x                                         |                                           |
| Lager               |                                              | x                                         |                                           |                                           |
| Sonstiges           | x                                            | x                                         | x                                         |                                           |
| Bürräume            |                                              | x                                         | x                                         |                                           |
| Stiegen             |                                              | x                                         |                                           |                                           |
| Gänge               | x                                            | x                                         | x                                         |                                           |
| Professorenräume    |                                              | x                                         | x                                         |                                           |
| Seminarräume        |                                              | x                                         | x                                         | x                                         |
| Laborräume          | x                                            | x                                         | x                                         |                                           |

Es ist hier nur die Leuchtmittelart angeführt, die genauen Typenbezeichnungen sind aus dem Kapitel 6 zu entnehmen.

#### 5.1.3. Beleuchtungsschaltung Simon Ziesel Haus

Für alle Räumlichkeiten gibt es momentan zwei unterschiedliche Arten der Beleuchtungsschaltung.

Örtlich schaltbar sind alle Räumlichkeiten, mit Ausnahme der Stiegenhäuser. Bei den Stiegenhäusern ist die Möglichkeit, diese manuell mittels Lichttaster zu steuern, nicht gegeben. Es sind Bewegungsmelder installiert, die diese Funktion automatisieren. Jedoch sind diese nicht richtig eingestellt, da die Leuchtmittel rund um die Uhr in Betrieb sind.

## 5.2. Messtechnische Ergebnisse

Dieses Kapitel beinhaltet die Ergebnisse sowie Hochrechnungen. Bei den Hochrechnungen wurden die Verlustleistungen der Vorschaltgeräte mitberücksichtigt. Es handelt sich in diesem Falle um den tatsächlichen Strombedarf der Leuchtmittel. Nachdem die Betriebsstunden und der Gesamtstromverbrauch jeder Messung berechnet wurden, wurde in Raumnutzungsarten der Durchschnittswert errechnet, um anschließend eine Hochrechnung auf den Jahresverbrauch durchzuführen.

Im Anhang befinden sich alle Messungen inkl. der Durchschnittsberechnungen und den Hochrechnungen. Da diese sehr viele Seiten in Anspruch nehmen, befinden sie sich am Ende dieser Arbeit auf dem USB-Stick in elektronischer Form.

### 5.2.1. Grafische Aufbereitung der Messergebnisse

Die Messungen gaben Auskunft über die tatsächliche Betriebsdauer der gemessenen Räume innerhalb der Messperiode. In den folgenden Abbildungen 30-39 sind die Messergebnisse grafisch dargestellt.

#### 5.2.1.1. Gemessene Betriebsstunden – Laborräume

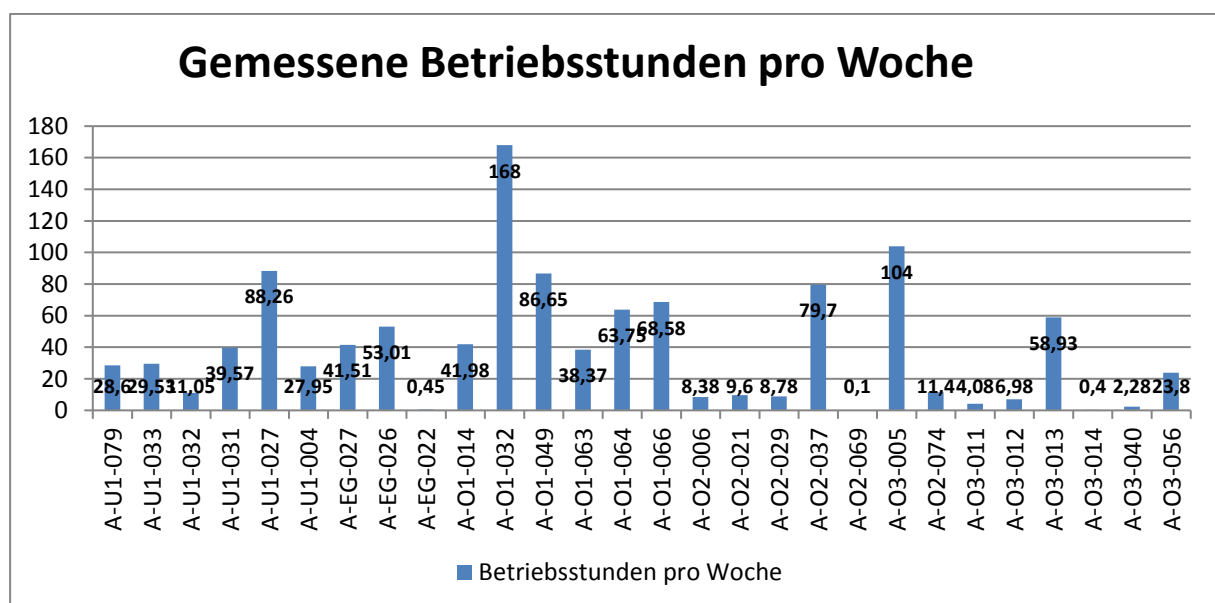


Abbildung 30: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Laborräume

### 5.2.1.2. Gemessene Betriebsstunden – Professorenräume

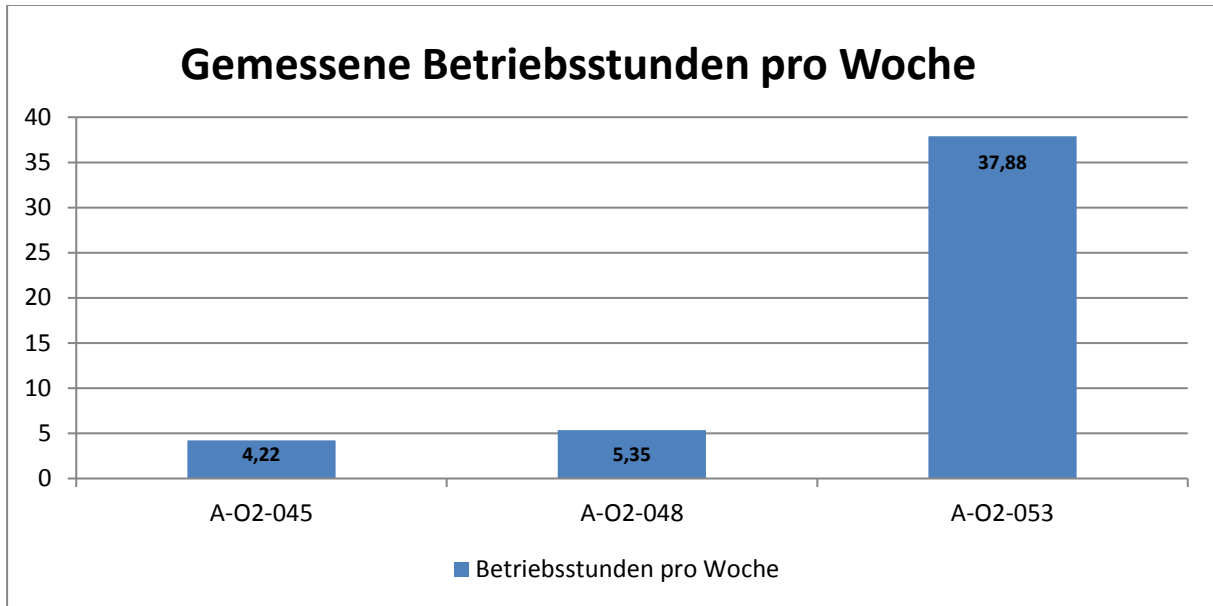


Abbildung 31: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Professorenräume

### 5.2.1.3. Gemessene Betriebsstunden - Büroräume

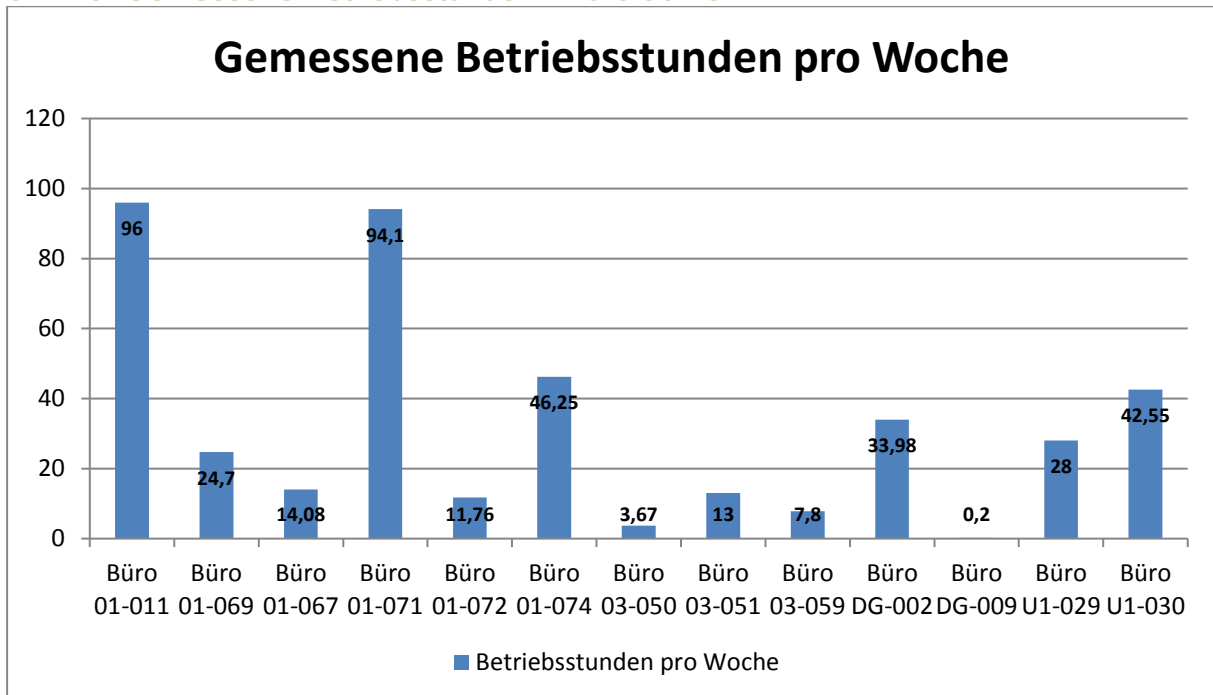


Abbildung 32: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Büroräume

#### 5.2.1.4. Gemessene Betriebsstunden - Sonstige Räume

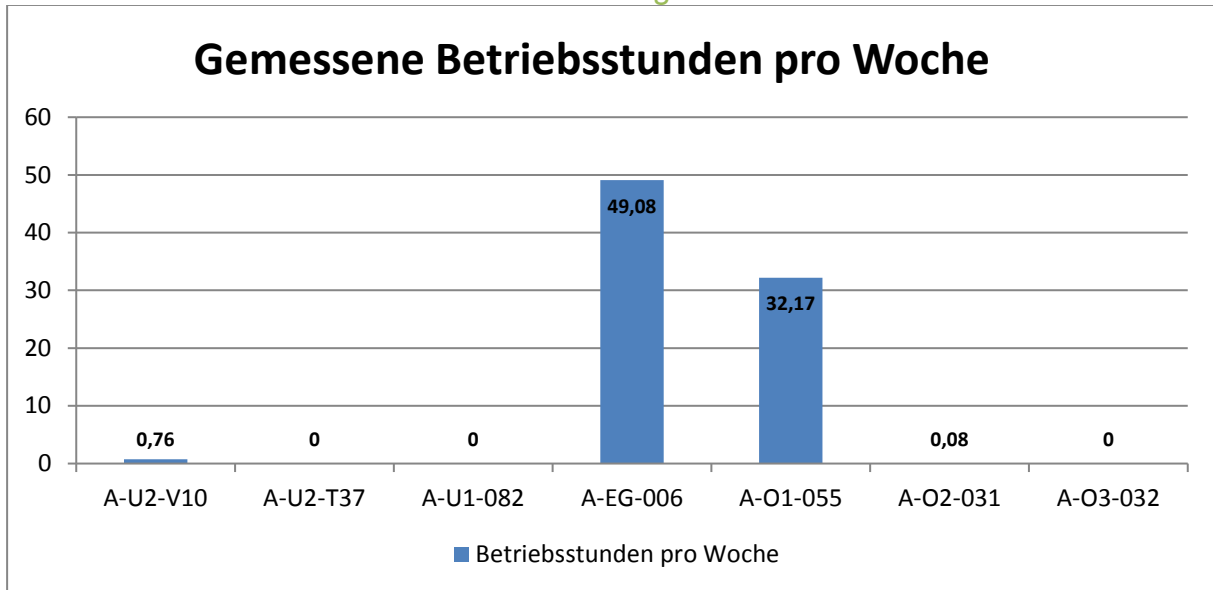


Abbildung 33: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der sonstigen Räume

#### 5.2.1.5. Gemessene Betriebsstunden - Lagerräume

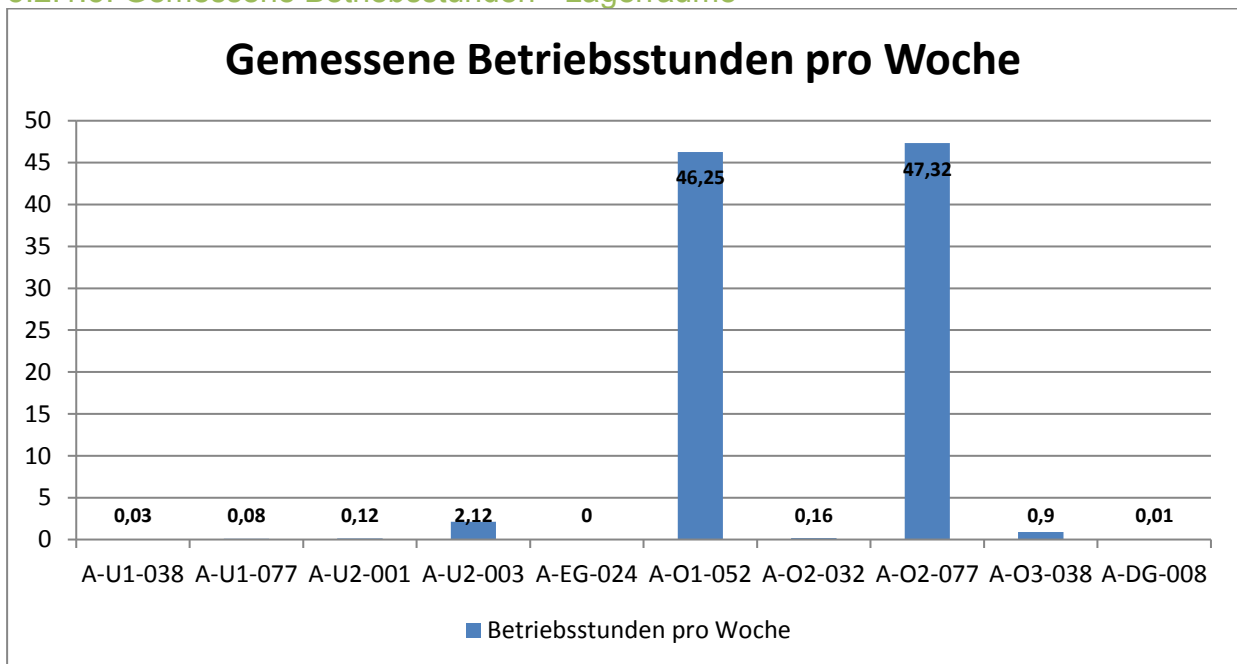


Abbildung 34: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Lagerräume

#### 5.2.1.6. Gemessene Betriebsstunden - Technische Räume

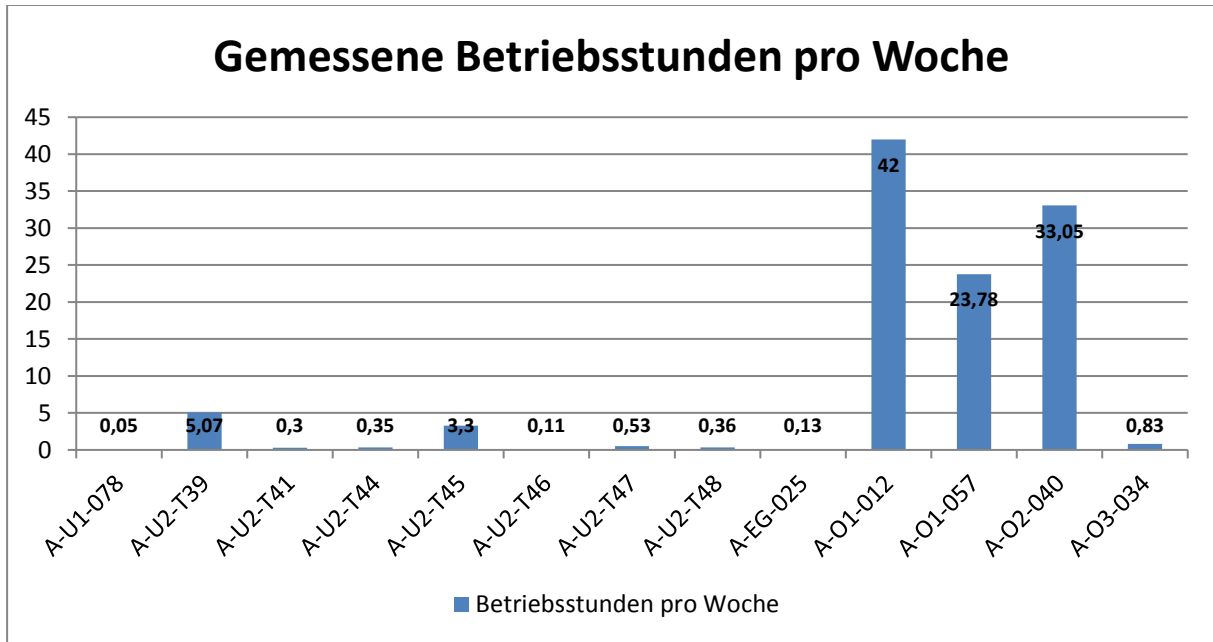


Abbildung 35: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der technischen Räume

#### 5.2.1.7 Gemessene Betriebsstunden - Seminarräume

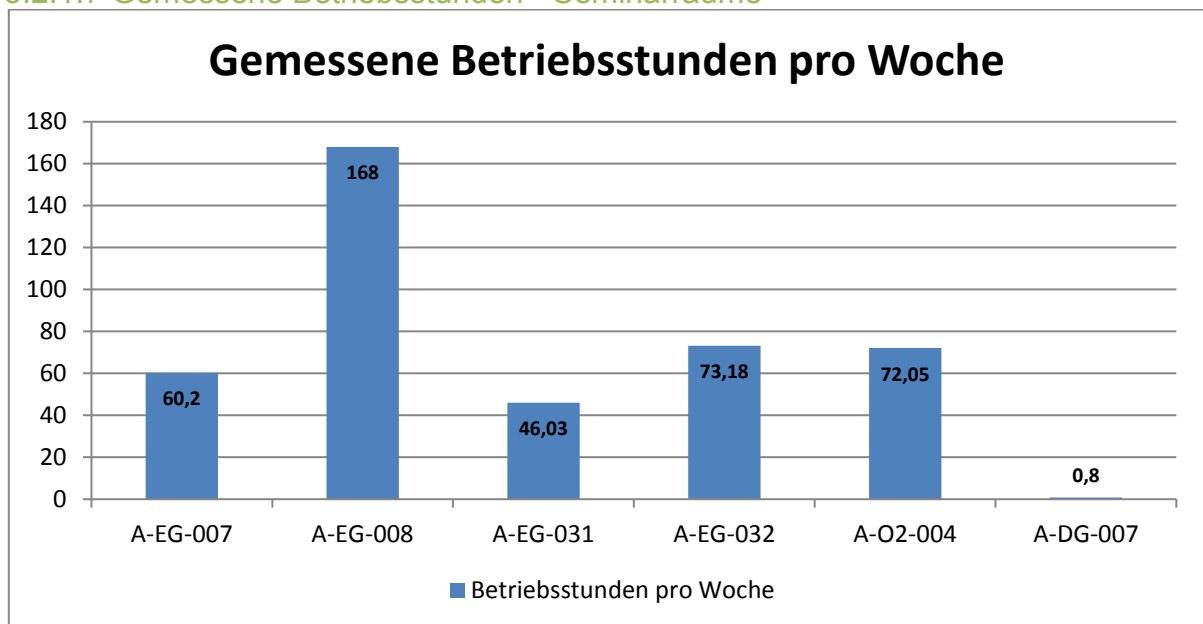


Abbildung 36: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Seminarräume

### 5.2.1.8 Gemessene Betriebsstunden - Gänge

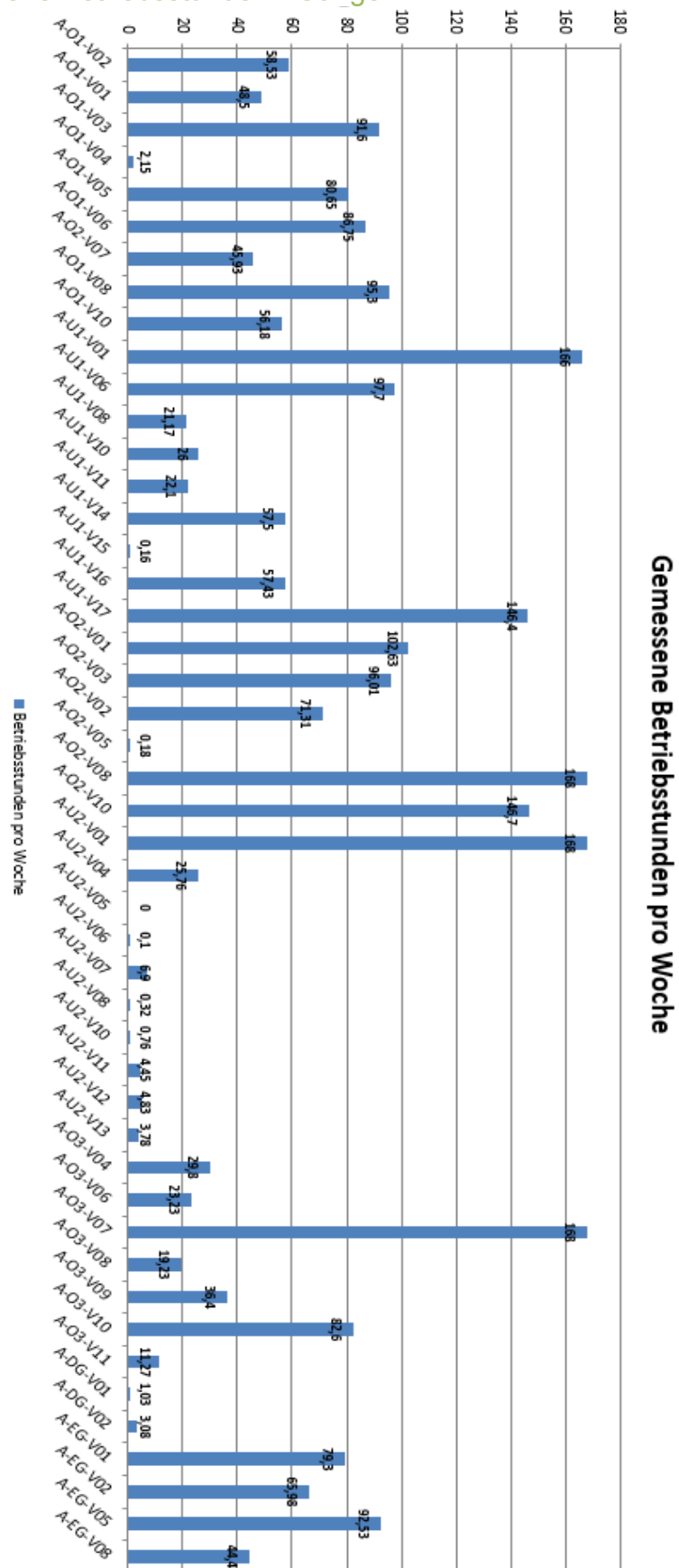


Abbildung 37: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Gänge

### 5.2.1.9. Gemessene Betriebsstunden - Stiegen

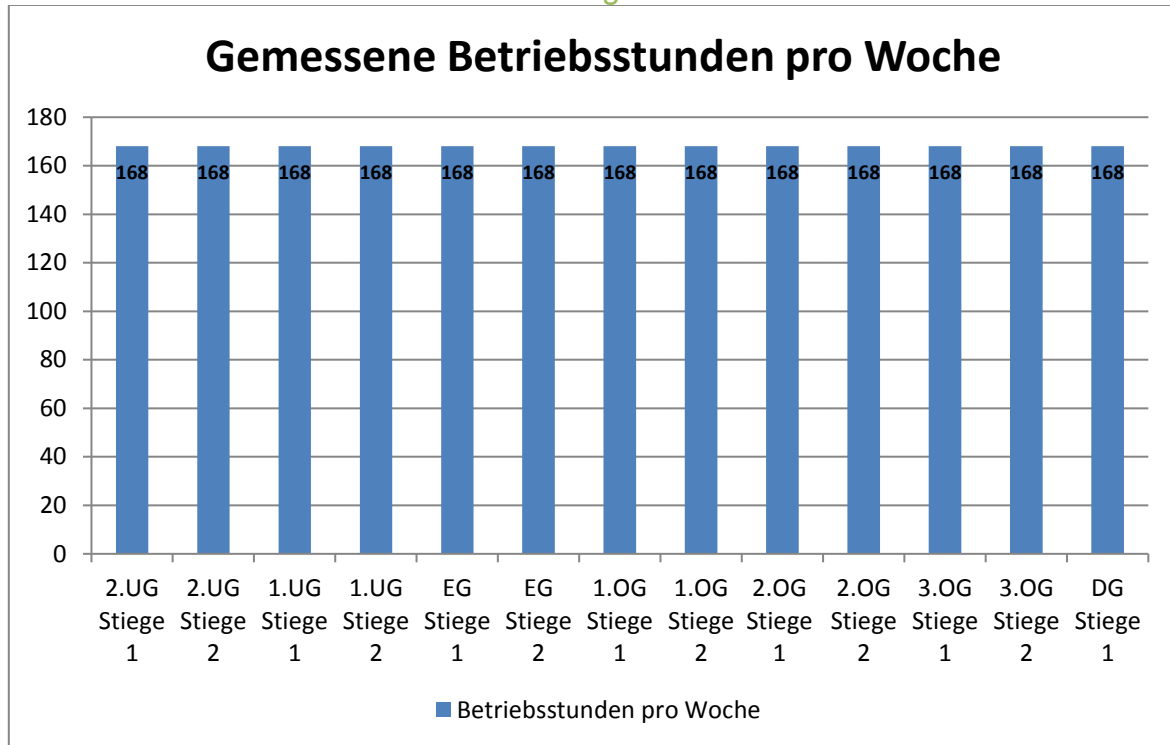


Abbildung 38: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Stiegen

### 5.2.1.10 Gemessene Betriebsstunden - Sanitärräume

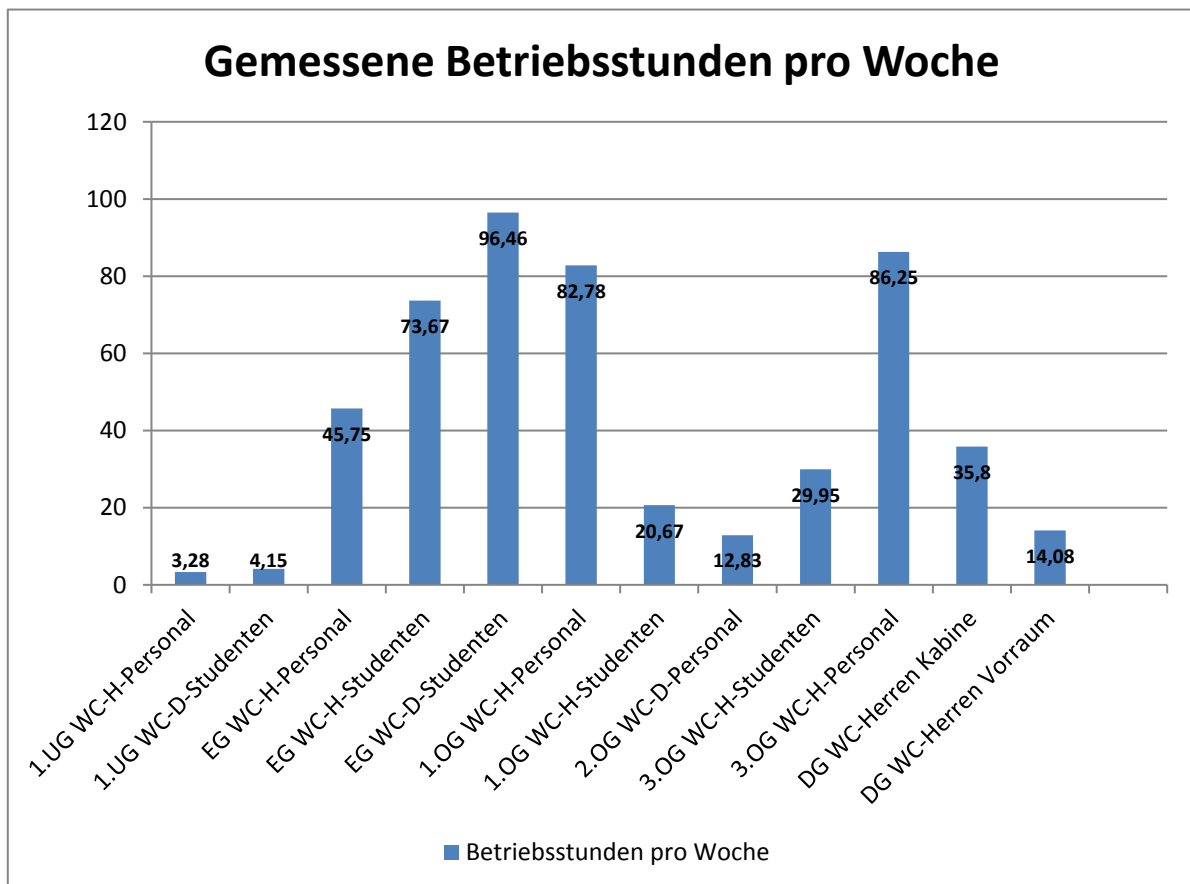


Abbildung 39: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Sanitärräume

### 5.2.2. Gemittelte Betriebsstunden nach Raumnutzungsart

In Abbildung 40 sind die berechneten Mittelwerte aller Raumnutzungsarten abgebildet. Zu sehen ist, dass die Stiegen mit 168 Stunden pro Woche im Dauerbetrieb sind.

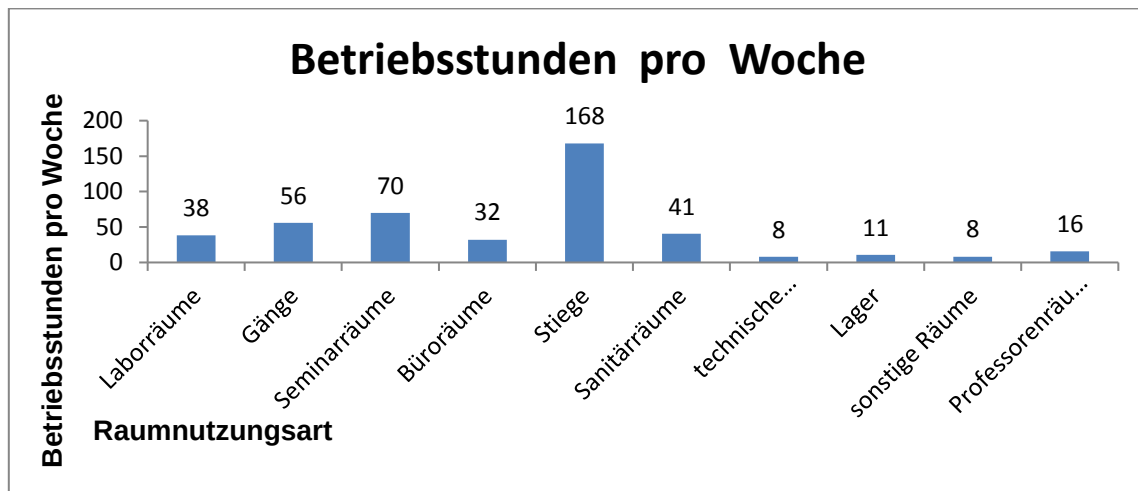


Abbildung 40: Betriebsstunden der Nutzungsarten pro Woche

Gänge und Seminarräume sind zwischen 55 und 70 Stunden im Betrieb. Labor-, Büro- und Sanitärräume bewegen zwischen 30 und 40 Stunden. Des Weiteren ist die Beleuchtung in den restlichen Raumnutzungsarten selten in Verwendung (zwischen 8 und 16 Stunden).

### 5.2.3. Hochrechnungen für den Jahresverbrauch

Für jene Räume, die nicht messtechnisch erfasst wurden, wurde der Mittelwert aus Abbildung 40, für die Jahreshochrechnung verwendet. Einen kurzen Ausschnitt, der Berechnung des Jahresstromverbrauchs der Leuchtmittel in Büroräumen, zeigt Tabelle 5.

Dieser Vorgang wurde für alle anderen Nutzungsarten wiederholt. Deren Berechnungen befinden sich auf dem USB-Stick.

Tabelle 5: Ermittlung des Jahresstromverbrauchs der Beleuchtung Nutzungsart Büro

| Raumnummer | Nutzungsart | Watt  | gemessene                                 | errechnete                                        | Energiebedarf<br>pro<br>Jahr<br>[kWh/a] | Fläche [m²] | spezifischer                         | Energiebedarf<br>pro m² und<br>Jahr<br>[kWh/m²a] |
|------------|-------------|-------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|
|            |             |       | Betriebsstunden<br>pro Woche<br>[h/Woche] | durchschnittliche<br>Betriebsstunden<br>[h/Woche] |                                         |             | Anschlusswert<br>inkl. EVG<br>[W/m²] |                                                  |
| A-O1-017   | Büro        | 212,0 | 46,3                                      |                                                   | 509,9                                   | 16,6        | 12,7                                 | 30,6                                             |
| A-O1-045   | Büro        | 212,0 |                                           | 32,2                                              | 354,4                                   | 19,3        | 11,0                                 | 18,4                                             |
| A-O1-047   | Büro        | 212,0 | 11,8                                      |                                                   | 129,6                                   | 18,8        | 11,3                                 | 6,9                                              |
| A-O1-074   | Büro        | 212,0 | 94,1                                      |                                                   | 1037,4                                  | 18,3        | 11,6                                 | 56,7                                             |
| A-O1-073   | Büro        | 212,0 |                                           | 32,2                                              | 354,4                                   | 19,3        | 11,0                                 | 18,4                                             |
| A-O1-072   | Büro        | 212,0 |                                           | 32,2                                              | 354,4                                   | 18,0        | 11,8                                 | 19,7                                             |

Der Energiebedarf der Leuchtmittel pro Jahr ergab sich mit folgender Berechnung:

$$L = [P * M * 52]/1000 \quad (5)$$

L= Energiebedarf der Beleuchtung pro Jahr

P= Leistung der installierten Leuchtmittel

M= Betriebsstunden pro Woche

Der Energiebedarf der Beleuchtung pro Jahr und m<sup>2</sup> ergab sich auf die Aufteilung der Raumfläche:

$$Q = L/A \quad (6)$$

Q= Energiebedarf der Beleuchtung pro Jahr und Fläche

A= Leistung der installierten Leuchtmittel

Die Einheiten sind aus der Tabelle zu entnehmen.

Die Einheiten sind aus der Tabelle zu entnehmen.

Für die Nutzungsart Büroräume kamen folgende Ergebnisse für deren Leuchtmittel heraus:

|                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| Gesamtstromverbrauch:  | 19719 kWh/a               |
| Nutzungsenergiebedarf: | 20,6 kWh/m <sup>2</sup> a |
| Gesamtstromkosten:     | 1380 €/a                  |

Der aktuelle Strompreis des Simon Zeisel Hauses beträgt 0,07€/kWh.

#### 5.2.4. Gesamtübersicht der Messergebnisse

Aus den gemessenen und berechneten Daten konnte der Energiebedarf der Leuchtmittel jeder Nutzungsarten ermittelt werden.

*Tabelle 6: Errechnete Ergebnisse bezogen auf den Stromverbrauch der Beleuchtung und Betriebsstunden pro Woche aller Raumnutzungsarten*

|                  | Raumanzahl | Gesamtstromverbrauch<br>[kWh/Jahr] | Energiebedarf<br>pro m <sup>2</sup> und Jahr<br>[kWh/m <sup>2</sup> a] | Betriebsstunden<br>pro<br>Woche [Durchschnitt] | durchschnittliche<br>Anschlussleistung<br>pro m <sup>2</sup> [W/m <sup>2</sup> ] |
|------------------|------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Laborräume       | 74         | 92568                              | 24,2                                                                   | 38,1                                           | 12,2                                                                             |
| Gänge            | 64         | 76788                              | 23,6                                                                   | 55,7                                           | 8                                                                                |
| Seminarräume     | 10         | 36047                              | 37,1                                                                   | 70                                             | 10                                                                               |
| Bürräume         | 42         | 19719                              | 20,6                                                                   | 32,2                                           | 12,1                                                                             |
| Stiege           | 13         | 19307                              | 48,4                                                                   | 168                                            | 5,8                                                                              |
| Sanitärräume     | 35         | 12206                              | 36,4                                                                   | 40,5                                           | 17,2                                                                             |
| technische Räume | 78         | 6422                               | 3,5                                                                    | 7,9                                            | 8,2                                                                              |
| Lager            | 47         | 3764                               | 4,2                                                                    | 10,7                                           | 7,8                                                                              |
| sonstige Räume   | 40         | 2597                               | 5,1                                                                    | 8,2                                            | 11,9                                                                             |
| Professorenräume | 13         | 1714                               | 7                                                                      | 15,8                                           | 8,2                                                                              |

Die Tabelle 6 enthält den Gesamtstromverbrauch und die durchschnittlichen Betriebsstunden aller Räume je Nutzungsart. Aus der Tabelle sind außerdem die Anzahl der Räume, die durchschnittlichen gemessenen Betriebsstunden und der Endenergiebedarf pro Nutzungsfläche und Jahr ersichtlich.

ad Laborräume:

Es gibt 74 Laborräume die einen Jahresstromverbrauch von 92568 kWh verursachen. Das sind somit 34,1% des Gesamtstromverbrauchs des Gebäudes. Die durchschnittlichen Betriebsstunden betragen 38,13 Stunden. Der Energiebedarf beträgt 24,21 kWh/m<sup>2</sup>a.

ad Gänge:

Die Gänge sind mit 28,3% die zweitgrößten Stromverbraucher, der Jahresenergieverbrauch beträgt 76,8 MWh. Es gibt 64 Gänge, die durchschnittlichen Betriebsstunden pro Woche betragen 56 Stunden. Mit 23,56 kWh/m<sup>2</sup>a Endenergiebedarf befinden sich die Gänge im mittleren Bereich.

ad Seminarräume:

In diesem Gebäude gibt es 10 Seminarräume, die mit einem Jahresverbrauch von 36 MWh zu 13,3% am Gesamtenergieverbrauch der Beleuchtung beteiligt sind. Sie weisen nach den Stiegen die höchsten Betriebsstunden auf. Der Endenergiebedarf ist deutlich höher und beträgt 37,15 kWh/m<sup>2</sup>a.

ad Büroräume:

Mit dem Verbrauch von 19,7 MWh im Jahr stellen die Büroräume einen Anteil von 7,2% Gesamtenergieverbrauch dar. Mit 32,15 Betriebsstunden pro Woche im Durchschnitt sind sie vergleichbar mit den Laborräumen. Insgesamt gibt es 42 Büroräume. Mit 20,56 kWh/m<sup>2</sup>a sind diese vergleichbar mit den Gängen und Laborräumen.

ad Stiegen:

Insgesamt gibt es 13 Stiegenaufgänge, welche mit 168 Stunden die Woche im Dauerbetrieb sind. Die Stiegen verursachen mit einem Jahresenergieverbrauch von 19,3 MWh, 7,1% des Gesamtenergieverbrauchs der allgemeinen Gesamtbeleuchtung. Mit 48,4 kWh/m<sup>2</sup>a ist der Endenergiebedarf am höchsten. Dies ist aufgrund des Dauerbetriebes der Fall.

ad Sanitärräume:

Etwa 12,2 MWh (4,5% des Gesamtenergieverbrauchs) werden für die Beleuchtung der Sanitäranlagen verbraucht. Diese sind im Durchschnitt 40,52 Stunden im Betrieb. Es befinden sich 35 solcher Räume im Gebäude. Mit 36,39 kWh/m<sup>2</sup>a haben die Sanitärräume einen relativ hohen Endenergiebedarf, dies ist aufgrund der hohen spezifischen Anschlussleistung der Fall.

ad Technische Räume:

Diese Räume nehmen einen geringen Anteil von 2,3% (6,4 MWh) am Gesamtenergieverbrauch eines Jahres ein, zugleich sind sie mit einer Anzahl von 78 Räumen häufig vertreten. Die durchschnittlichen Betriebsstunden betragen 7,85 Stunden pro Woche. Dies ist darauf zurückzuführen, da in diesen Räumen Maschinen, Server oder die Notstromversorgung untergebracht sind und wenig bis kaum benutzt werden. Der Endenergiebedarf beträgt 3,5 kWh/m<sup>2</sup>a und ist der niedrigste der vorhandenen Nutzungsarten.

ad Lager:

Selbiges gilt auch für die Lagerräume. Mit einem Verbrauch von 3,8 MWh im Jahr (1,3%) und einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 10,71 Stunden befinden sie sich, verglichen mit den anderen Räumlichkeiten, im untersten Drittel. Insgesamt sind 47 Räume dieser Nutzungsart vertreten. Sowohl Endenergiebedarf als auch die spezifische Anschlussleistung pro m<sup>2</sup> sind sehr gering.

ad Sonstige Räume:

Die Beleuchtung der sonstigen Räume ist in etwa 8,25 Stunden wöchentlich in Betrieb. Sie stellen mit ihrer Anzahl von 40 Räumen den zweitgeringsten Anteil (0,95%; 2,6 MWh/Jahr) des Gesamtenergieverbrauchs des Gebäudes für Beleuchtung dar. Auch der Endenergiebedarf von 5,05 kWh/m²a ist gering.

ad Professorenräume:

Mit 13 Räumen im Gebäude befinden sich diese ausschließlich im 2.OG. Sie werden durchschnittlich 15,82 Stunden die Woche beleuchtet und haben einen Gesamtenergieverbrauch von 2,6 MWh im Jahr (0,6%). einen Anteil von 0,6% am Gesamtenergieverbrauch dar. Bei dieser Nutzungsart beträgt der Endenergiebedarf 7,03kWh/m²a.

## 6. Diskussion und Analyse des Optimierungspotentials

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse in Unterkapiteln aufbereitet und bezogen auf die Raumnutzungsarten Optimierungsmaßnahmen analysiert.

### 6.1. Gesamtenergiebedarf der allgemeinen Beleuchtung

Aus der Abbildung 0909? können die größten Stromverbraucher je Nutzungsart abgelesen werden. Den größten Verbraucher stellen die Laborräume dar. Die Gänge befinden sich knapp hinter den Laborräumen. Mit den Seminarräumen zusammen machen die drei größten Verbraucher 75% des Gesamtenergiebedarfs der Beleuchtung aus. Den Abschluss bilden sonstige Räume, Professorenräume, Lager und technische Räume. Diese zusammen sind vergleichbar mit der Nutzungsart Stiege oder Büroräume. Diese Abbildung lässt einen direkten Vergleich der Gesamtverbraucher zu. Da die Raumanzahl und die Flächengrößen und die unterschiedlich installierte Leistung pro Räume nicht erfasst werden. Dieser allgemeine Vergleich findet im nächsten Kapitel statt.

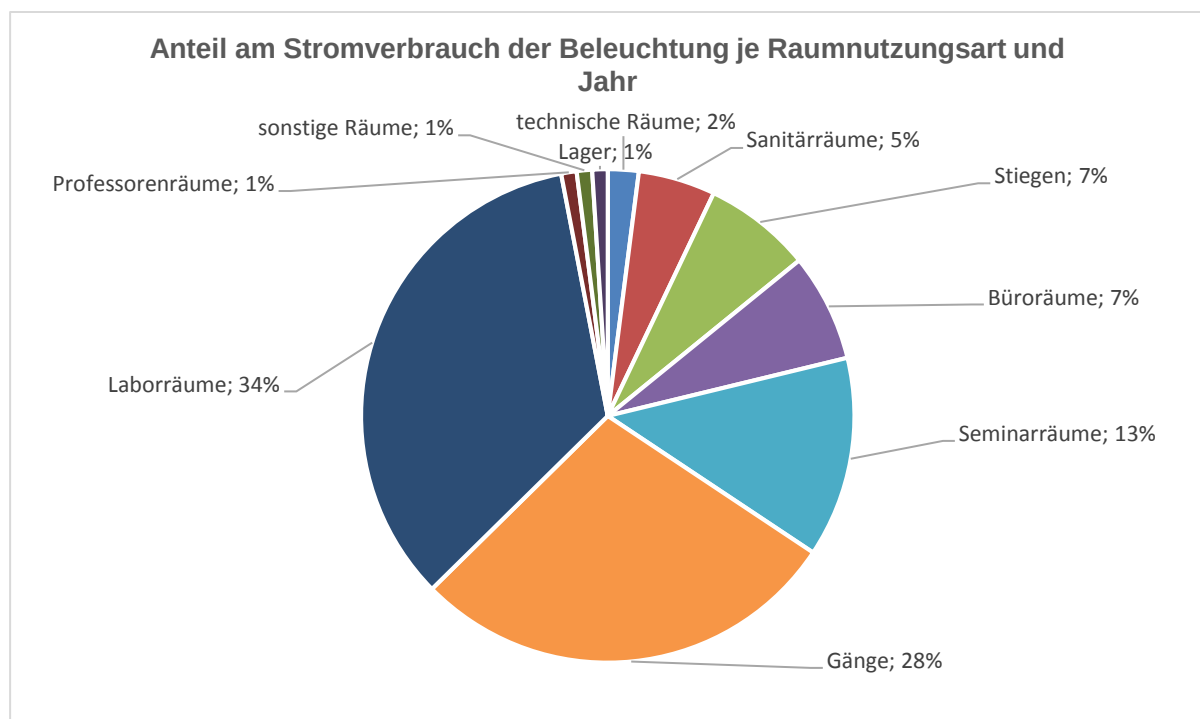


Abbildung 41: Stromverbrauch der Beleuchtung aller Raumnutzungsarten

In der Abbildung 42 sind von links nach rechts absteigend die Raumnutzungsarten mit dem größten Stromverbrauch für deren Beleuchtung abgebildet.

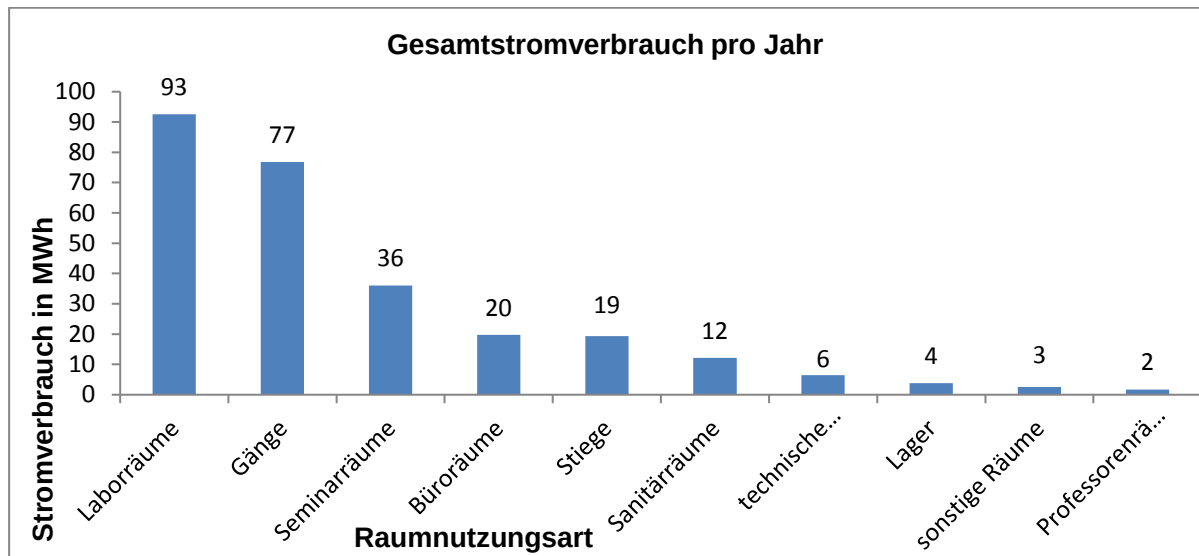


Abbildung 42: Gesamtstromverbrauch der Nutzungsarten in MWh pro Jahr

Abbildung 42 gibt eine Einsicht an welchen Räumlichkeiten vorrangig Energie eingespart werden soll, da diese Raumnutzungsarten einen hohen Anteil am Gesamtstromverbrauch der Beleuchtung einnehmen.

## 6.2. Spezifischer Anschlusswert (inkl. EVG)

Der spezifische Anschlusswert ist eine Kenngröße, die einen direkten Vergleich der Nutzungsarten ermöglicht. Dadurch können etwaige Ineffizienzen einer Nutzungsart ersichtlich werden.

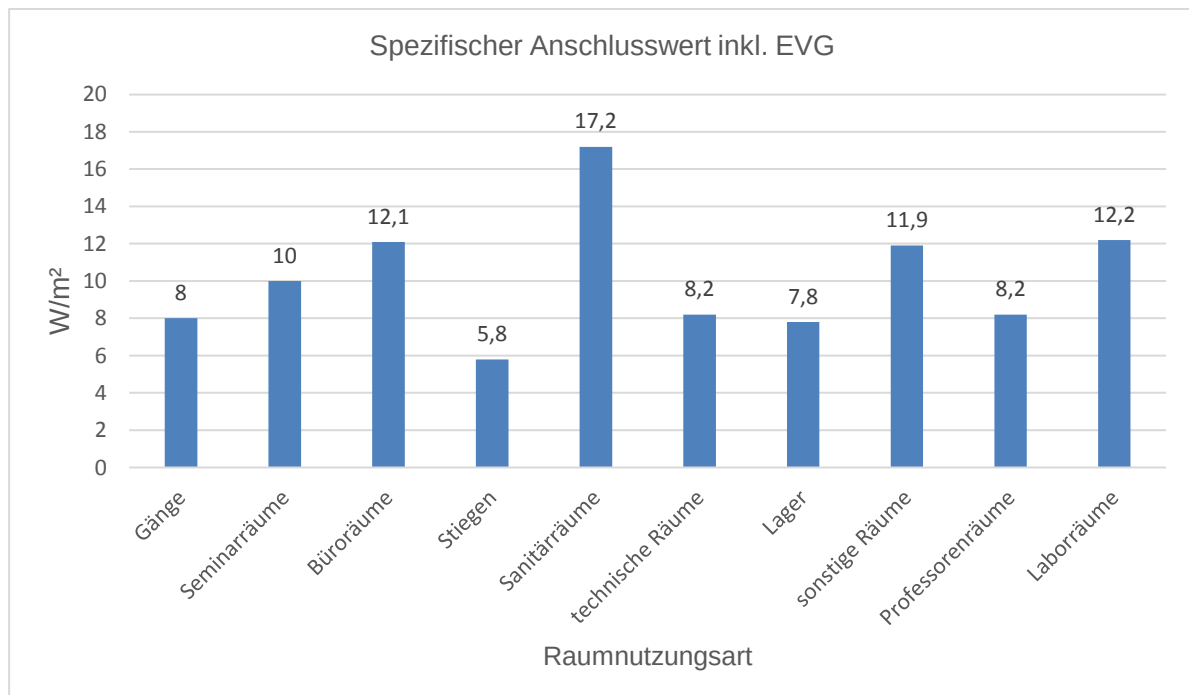


Abbildung 43: Spezifischer Anschlusswert der Raumnutzungsarten

Erkennbar aus Abbildung 44 ist, dass die Sanitärräume den höchsten Anschlusswert im Vergleich aufweisen. Dies hat den Grund, dass jede Toilettenkabine zumeist mit einem eigenen Leuchtmittel beleuchtet wird. Somit zeigt uns diese Betrachtung, dass trotz des geringen Anteils der Sanitärräume am Gesamtstromverbrauch der Beleuchtung, es durchaus sinnvoll ist, eine Optimierung dieser Räumlichkeiten in Betracht zu ziehen.

### 6.3. Endenergiebedarf der Beleuchtung pro Fläche und Jahr [kWh/m²a]

Ein weiterer Vergleich der Raumnutzungsarten miteinander ist der tatsächliche Strombedarf der Beleuchtung der Nutzungsarten pro m² und Jahr ersichtlich. Mit dieser Kenngröße ist ein guter direkter Vergleich möglich. Diese Kenngröße beinhaltet die tatsächliche Anschlussleistung inkl. der EVG, die tatsächlichen Betriebsstunden und die Raumgröße.

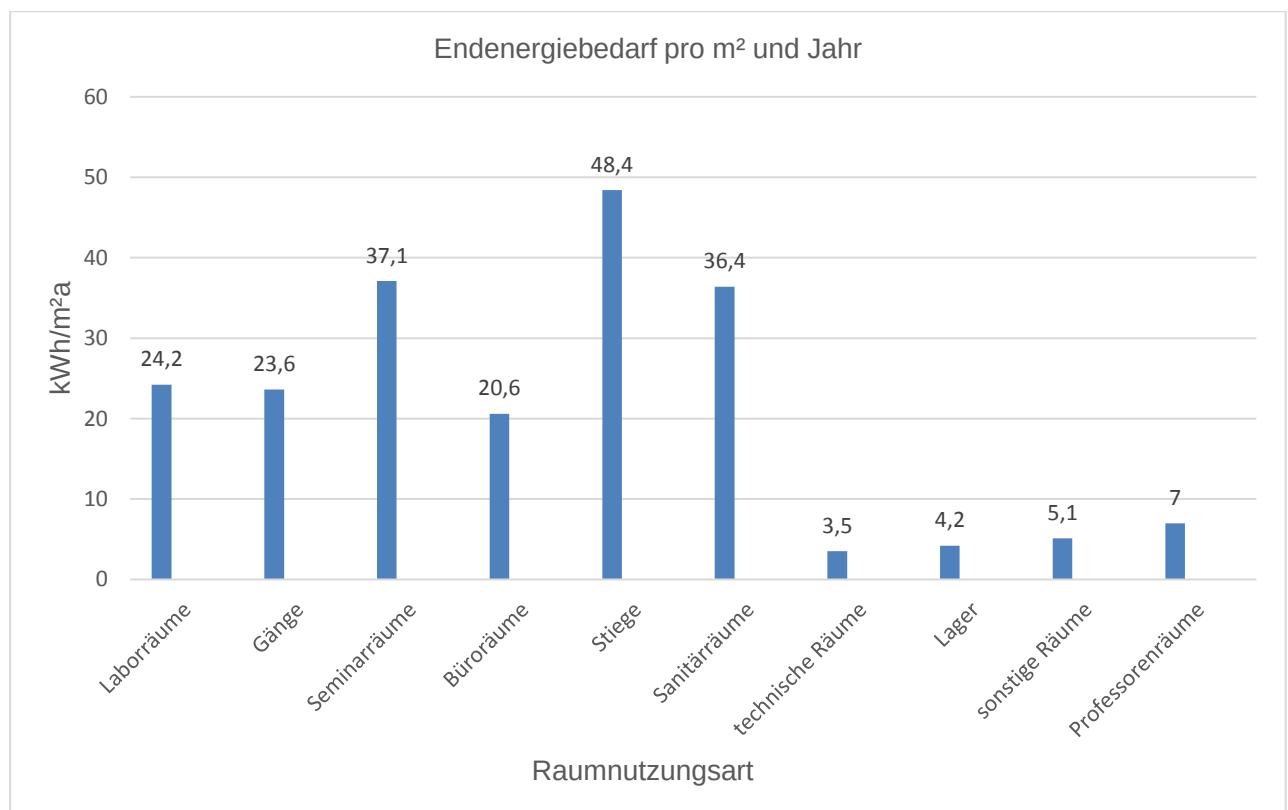


Abbildung 44: Energiebedarf pro m² und Jahr je Raumnutzungsart

Abbildung 45 zeigt, dass die Stiegen, Sanitärräume und Seminarräume, bezogen auf ihre Fläche, den höchsten Strombedarf für die Beleuchtung aufweisen.

### 6.4. Optimierungsmaßnahmen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse sachlich bewertet und es werden mögliche Lösungsansätze und Optimierungsmaßnahmen beschrieben, um eine Senkung des Energiebedarfs für die künstliche Beleuchtung des Gebäudes zu ermöglichen. Da der Energiebedarf einer Leuchte sich aus den Faktoren Betriebszeit (t) und der Leistungsaufnahme (P) zusammensetzt, gilt es diese bei Absicht einer Effizienzsteigerung zu minimieren.

Eine Möglichkeit zur Energiebedarfssenkung ist es, die Lampen für eine kürzere Betriebsdauer einzuschalten. Diese Maßnahme hätte den Effekt, dass die installierte

Leistung nur während einer geringeren Einschaltdauer beansprucht wird. Dies ist allerdings nur dann möglich, wenn sie zu diesem Zeitpunkt nicht benötigt wird. Bei den Messungen der Sanitärräume ergaben sich solche Fälle. Hier wurde eindeutig auf das Abschalten der Leuchten vergessen. So kam es vor, dass über mehrere Stunden und auch teilweise die ganze Nacht die Beleuchtung durchbrannte.

Die zweite Möglichkeit wäre es, die Leistung der installierten Beleuchtungsanlagen zu reduzieren, und sie mit energieeffizienteren Technologien zu ersetzen. Dadurch würde sich der Energieverbrauch bei gleichbleibender Einschaltdauer ebenso reduzieren.

Da bei der Planung schon auf energiesparende T5-Kompaktleuchtstofflampen mit EVG zurückgegriffen wurde, müsste man auf neuartige LED-Technologien zurückgreifen. Vor einem Tausch der Beleuchtungsanlage wäre es wichtig sich die Kenngrößen wie Farbwiedergabeindex, Beleuchtungsstärke, Lebensdauer und Wartungskosten anzusehen.

#### 6.4.1. Tageslichtnutzung

Tageslicht kann unter Umständen die künstliche Beleuchtung ersetzen. Es muss sich aber nicht unbedingt um einen vollständigen Ersatz handeln. Vielmehr ist jene Betrachtung sinnvoller, in der Tageslicht als Ergänzung der vorhandenen Beleuchtungsanlage genutzt wird. Dies generiert nicht nur energiesparende Aspekte, sondern leistet ebenso einen wertvollen Beitrag zur Gesundheit der im Raum befindlichen Menschen, da Tageslicht in Räumen einen wertvollen Beitrag zum Wohlbefinden und der Gesundheit leistet. Ideal wären Dachoberlichter als Lichtkuppen, da die Sonneinstrahlung höher und über einen längeren Zeitraum vorhanden wäre (vgl. Bogner und Schäppi, 2013, S. 55).

Bei seitlichen Fenstern ergibt sich das Problem, dass das Tageslicht nur gewisse Stunden am Tag nutzbar ist. Da es bereits vorhandene manuelle Jalousien gibt, würde sich ein Austausch dieser bzw. den Zubau von Spiegellamellen, um eine gutes Reflektieren in das Rauminnere zu generieren, nicht auszahlen.

„In dem Spannungsfeld zwischen Sonnenschutz und Blendungsbegrenzung einerseits und Tageslichtbeleuchtung sowie Ausblickfunktion andererseits, können konventionelle Tageslichtsysteme nur unzureichende Lösungen anbieten“ (Jakobiak, s.a., S. 6).

Zusätzliche müssten Tageslichtsensoren installiert werden, welche die momentane Helligkeit an Bezugspunkten im Raum ermitteln und des Weiteren die Beleuchtungsanlage eines Raumes so dimmen, dass durchgehend eine gleichbleibende Beleuchtungsstärke im Raum vorhanden ist. Die Installation eines solchen Systems erfordert die Möglichkeit zur Dimmbarkeit der Leuchtmittel mit ihren Vorschaltgeräten.

Solch ein Regelungssystem könnte dann Jalousien und Beleuchtung zentral steuern. Voraussetzung ist jedoch meist ein direkter Einbau beim Gebäudebau, da nachträglich installierte Systeme teurer und aufwendiger in der Installation sind.

Dieser Aspekt wird jedoch bei den Optimierungsmaßnahmen nicht weiterverfolgt.

#### 6.4.2. Einsatz von energieeffizienteren Leuchten

Eine Möglichkeit zur Senkung des Gesamtstrombedarfs ist der Austausch der Leuchtkörper gegen effizientere und modernere Leuchten. Da wie bereits erwähnt im Gebäude hauptsächlich T5 Leuchtstofflampen mit einem EVG zum Einsatz kommen und

Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät, ist die vorhandene Beleuchtung schon sehr effizient. Um nicht einen einheitlichen Austausch aller Beleuchtungskörper vorzuschlagen, wird versucht ein maßgeschneidertes Konzept zu entwickeln, um einen möglichst hohen Nutzen davon zu tragen.

Hierbei wurden zuerst die 3 größten Verbraucher genauer betrachtet. Wie in Abbildung 18 zu sehen ist, haben Gänge, Labor- und Seminarräume insgesamt einen Anteil von 75% am Gesamtstromverbrauch. Bei Betrachtung der unterschiedlichen Raumanzahlen ist es empfehlenswert, die Seminarräume als erstes zu optimieren. Mit gerade einer Anzahl von 10 Räumen halten sie einen Anteil von 13% am Gesamtstromverbrauch. Dies hat mehrere Gründe. Einerseits sind sie mit einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 70 Stunden pro Woche mit Abstand die am häufigsten genutzte Raumnutzungsart.

#### 6.4.2.1. Optimierung Seminarraumbeleuchtung

Da es nur 10 Räume gibt, die die höchste durchschnittliche Leistung pro Raum aufweisen und trotzdem einen Anteil am Gesamtstromverbrauch von 13% ausmachen, betrachten wir diese Raumnutzungsart als erstes.

Betrachtet man die installierten Leuchtmittel der Seminarräume genauer so ist zu erkennen, dass 3 unterschiedliche Arten von Leuchtstoffröhren zum Einsatz kommen.

*Tabelle 7: Vorhandene Leuchtmittel in den Seminarräumen*

| Leuchtmittel          | Länge [mm] | Lichtstrom [lm] | Leistung inkl. EVG [W] | Stückanzahl [Stk.] | Verbaut in Seminarräumen [Raumanzahl] |
|-----------------------|------------|-----------------|------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| T5 - Leuchtstoffröhre | 1500       | 3320            | 39                     | 44                 | 5                                     |
| T5 - Leuchtstoffröhre | 1500       | 4450            | 54,5                   | 3                  | 1                                     |
| T5 - Leuchtstoffröhre | 1150       | 2600            | 36                     | 135                | 4                                     |

Vier Seminarräume sind mit T5-28 W Leuchtstoffröhren ausgestattet. Gesamt sind das 135 Leuchtstoffröhren. Diese haben einen Lichtstrom von 2600lm und eine Länge von 1150mm. Betrachtet man die Verlustleistung des EVG von 8W, so ergibt dies einen gesamten Anschlusswert der vier Räume von 4,86 kW. Die Lichtfarbe ist neutralweiß. Der Farbwiedergabeindex Ra ist zwischen 80 und 89.

Für die Auswahl der passenden LED-Beleuchtung sind einige Daten zu beachten. Die Lichtfarbe sollte dieselbe sein und der Farbwiedergabeindex sollte über 80 liegen. Dieser ist laut ÖVE/ÖNORM E 8002 erforderlich.

Ebenso ist es wichtig auf dieselbe Sockelgröße (16mm) und dieselbe Länge zu achten. Nur diese garantiert einen optimalen und problemlosen Austausch.

Um eine gleichbleibende Lichtqualität beizubehalten, ist es wichtig bei der Auswahl der Leuchten nicht nur auf den Lichtstrom zu achten. Da LEDs punktförmige Strahler sind, ist es wichtig auf eine matte Beschichtung der Röhrenoberfläche zu achten, da es sonst zu Blendung kommen kann. Unter Einhaltung dieser Kriterien konnte eine passende LED-Röhre für die vier Seminarräume gefunden werden.

Diese LED-Röhre T5 1148/ PRO- X von der Firma LED Power Technik hat ein integriertes Vorschaltgerät und eine Leistung von 16W inkl. EVG. Dadurch kann sie problemlos und ohne Zwischenschritte statt der Leuchtstoffröhre eingesetzt werden. Die Lichtfarbe ist neutralweiß und der Lichtstrom beträgt 2100lm.

Im Folgenden ist eine Berechnung der Anschaffungskosten über die Kostenersparnis pro Jahr abgebildet.

*Tabelle 8: Amortisationsrechnung Seminarräume T5-1148mm*

|                                        | T5 Leuchtstoffröhre            | LED TUBE                  | Einheit         |
|----------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Typenbezeichnung                       | Osram FH HE 28W<br>840 Lumilux | T5 Pro X<br>1148mm, 3000K |                 |
| Leistung inkl. EVG                     | 36                             | 16                        | W               |
| Anschaffungskosten                     | 2,8                            | 26,5                      | €               |
| Lebensdauer                            | 24.000                         | 50.000                    | Betriebsstunden |
| Strompreis                             | 0,07                           |                           | €/kWh           |
| Brenndauer                             | 70                             |                           | h/Woche         |
| Anzahl                                 | 135                            |                           | Stk.            |
| Wöchentlicher Stromverbrauch           | 340,2                          | 151,2                     | kWh             |
| Wöchentliche Energiekosten             | 23,8                           | 10,6                      | €               |
| Jährliche Betriebskosten               | 1238,3                         | 550,4                     | €               |
| Kostenersparnis                        | 688,0                          |                           | €/Jahr          |
| Stromverbrauchersparnisse              |                                | 9828                      | kWh/Jahr        |
| Lebensdauer laut Herstellerangabe      | 8,3                            | 16,7                      | Jahre           |
| Lampentausch nach Lebensdauer          | 378,0                          |                           | €               |
| Entsorgungskosten je Leuchtstofflampe  | 0,6                            |                           | €               |
| Investition der gesamten Anlage        | 756,6                          | 3658,5                    | €               |
| Amortisation der Anschaffungskosten in | 4,22                           |                           | Jahre           |

Die Amortisationsdauer beträgt 4,2 Jahre. Diese Rechnung enthält die Entsorgungskosten der Leuchtstofflampen und berücksichtigt auch den Tausch der gesamten Beleuchtungsanlage mit T5- Leuchtstoffröhren, da die Lebensdauer laut Herstellerangaben nach 8,33 Jahren erreicht wäre. Die Installation ist ein einfacher Austausch ohne technische Eingriffe, weswegen keine Installationskosten in diese Amortisationsrechnung hinzukommen. Durch diesen Leuchtmitteltausch der Seminarräume würde sich der Stromverbrauch pro Jahr um 9,8 MW verringern.

Eine weitere Teilgruppe der Seminarräume ist mit T5- Leuchtstoffröhren mit einer Länge von 1500mm ausgestattet. Diese haben einen Lichtstrom von 3320lm und eine Anschlussleistung von 39W inkl. EVG. In fünf Seminarräumen wurden 44 dieser Leuchtstofflampen mit einer gesamten Anschlussleistung von 2,15kW installiert. Die Lichtfarbe ist neutralweiß und der Ra-Wert liegt zwischen 80 und 89.

Aufgrund des höheren Lichtstroms werden in dieser Optimierungsmaßnahme LED-Röhren mit einer Leistung von 18W und einen Lichtstrom von 2880lm mit einem Abstrahlungswinkel

von 140° empfohlen. Diese benötigen kein Vorschaltgerät und können direkt mit 230V-Wechselspannung betrieben werden. Für die Installation ist auch hier kein Elektriker erforderlich. Die Umrüstung erfolgt lediglich durch die Abnahme der Leuchtstofflampe, das Entfernen des Starters und des EVG sowie durch das Einsetzen der neuen LED-Röhre.

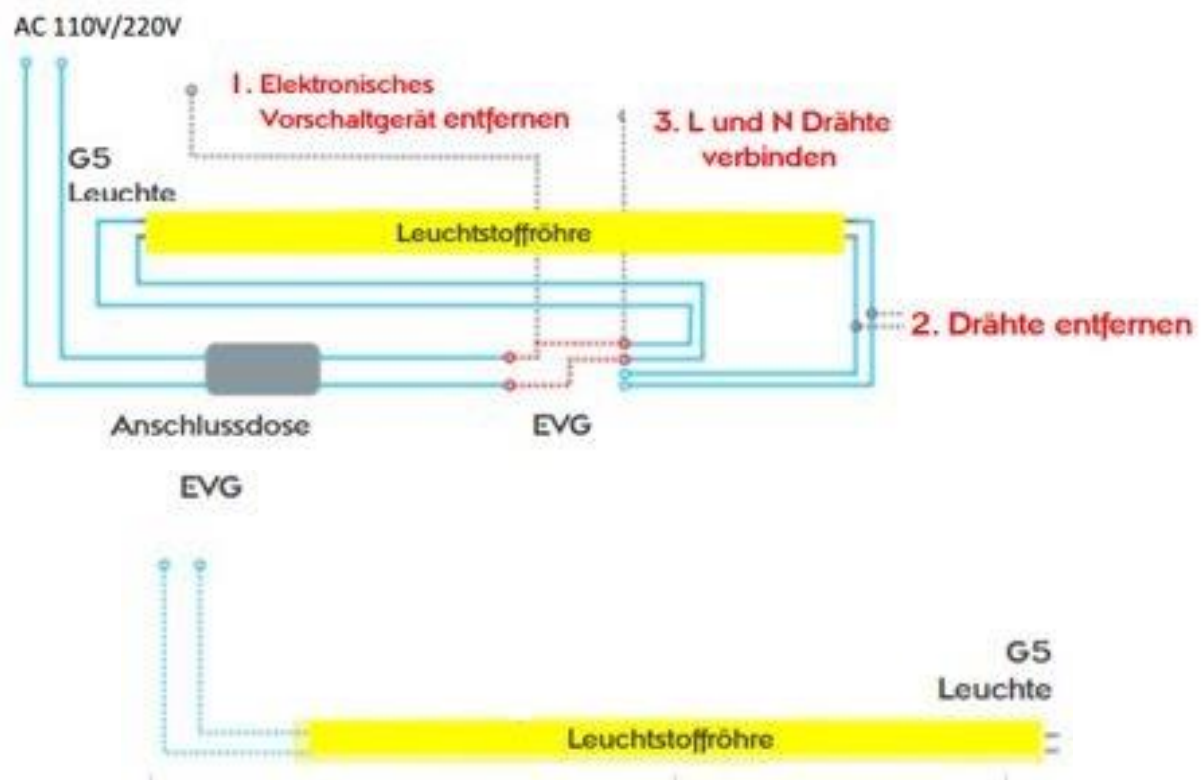


Abbildung 45: Umrüstung von Leuchtstoffröhren zu LED-Tubes  
(Quelle: Bedienungsanleitung LED-Lichtsysteme GbR)

Wie oben abgebildet ist der Austausch in wenigen Schritten vollbracht. Zu Beginn wird der Strom abgeschaltet und die zu ersetzende Leuchtstoffröhre abgenommen. Dann wird das EVG wie in Abbildung 20 entfernt und der Phasen- und Neutralleiter über Klemmen verbunden. Danach wird in die Fassung die neue LED-Röhre montiert und auf ihre Funktion überprüft.

In der Tabelle 9 ist eine weitere Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu sehen.

Tabelle 9: Amortisationsrechnung Seminarräume T5-150cm

|                                        | T5 Leuchtstoffröhre            | LED TUBE                  | Einheit         |
|----------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Typenbezeichnung                       | Osram FH HE 35W<br>840 Lumilux | T5 Pro X<br>1449mm, 3000K |                 |
| Leistung inkl. EVG                     | 39                             | 18                        | W               |
| Anschaffungskosten                     | 2,8                            | 45,2                      | €               |
| Lebensdauer                            | 24.000                         | 50.000                    | Betriebsstunden |
| Strompreis                             | 0,07                           |                           | €/kWh           |
| Brenndauer                             | 70                             |                           | h/Woche         |
| Anzahl                                 | 44                             |                           | Stk.            |
| Wöchentlicher Stromverbrauch           | 120,1                          | 55,4                      | kWh             |
| Wöchentliche Energiekosten             | 8,4                            | 3,9                       | €               |
| Jährliche Betriebskosten               | 437,2                          | 201,8                     | €               |
| Kostenersparnis                        | 235,4                          |                           | €/Jahr          |
| Stromverbrauchersparnisse              |                                | 3363                      | kWh/Jahr        |
| Lebensdauer laut Herstellerangabe      | 8,3                            | 16,7                      | Jahre           |
| Lampentausch nach Lebensdauer          | 123,2                          |                           | €               |
| Entsorgungskosten je Leuchtstofflampe  | 0,6                            |                           | €               |
| Investition der gesamten Anlage        | 247,0                          | 2015,2                    | €               |
| Amortisation der Anschaffungskosten in | 7,51                           |                           | Jahre           |

Die Amortisationsdauer beträgt hierbei 7,51 Jahre. Wie bei voriger Rechnung sind Entsorgungskosten und der Austausch von Leuchtstoffröhren, die bereits ihre Lebensdauer erreicht haben, der aktuellen Anlage berücksichtigt. Für die Installation sind zwar der Starter und das EVG zu entfernen, dies kann jedoch von der Gebäudebetreuung durchgeführt werden, ohne extra einen Techniker zukommen zu lassen. Durch diesen Leuchtmitteltausch der weiteren fünf Seminarräume würde sich der Stromverbrauch pro Jahr um 3,4 MW verringern.

Im Dachgeschoß befindet sich ein weiterer Seminarraum, der mit T5-Leuchtstoffröhren mit einer Länge von 1500mm ausgestattet sind. Jedoch sind diese mit 54,5 W inkl. EVG ausgestattet und haben einen Lichtstrom von 4450lm.

Für diesen Raum wird kein Lampentausch vorgeschlagen, da es sich lediglich um einen Raum mit nur 3 installierten Leuchtmittel handelt.

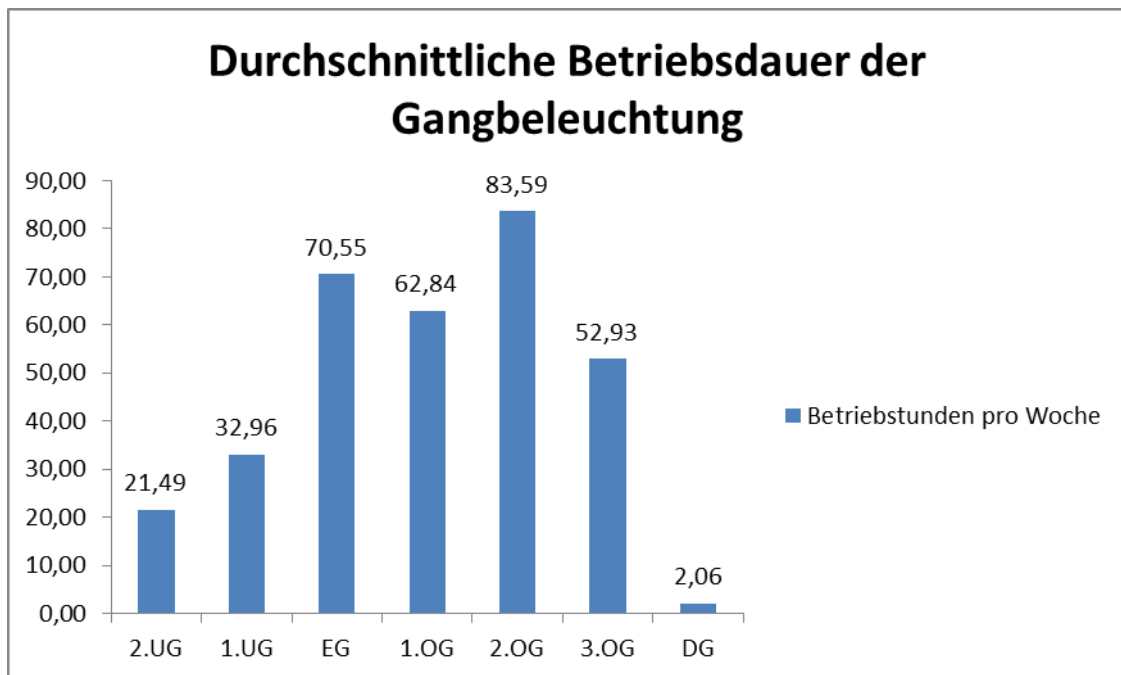
Insgesamt kann in der Nutzungsart Seminarräume mittels des vorgeschlagenen Leuchtmitteltauschs ca. 13,2 MW pro Jahr eingespart werden. Die würde bei den Seminarräumen eine Einsparung des Stromverbrauchs für die Beleuchtung von über 33% bedeuten. Hierbei wurde mit gleichbleibenden Betriebsstunden gerechnet.

#### 6.4.2.2. Optimierung Gangbeleuchtung

Für die Optimierung der Gangbeleuchtung gilt als erster Schritt die Betriebszeiten den tatsächlichen Ansprüchen der Mitarbeiter anzupassen. Es ist bei sechs Messungen der Gänge vorgekommen, dass vergessen worden wurde abzuschalten. Bei diesen sechs Messungen an Gängen (fast 10% der gesamten Ganganzahl) hat die Beleuchtung

annähernd durchgebrannt (146 bis 168 Stunden). Viele Mitarbeiter sind gewohnt, dass die Gangbeleuchtung eingeschaltet ist und empfinden es auch nicht als Ihre Aufgabe diese beim Verlassen des Gebäudes abzuschalten. Daher wäre an dieser Stelle eine Änderung der Steuerung mittels PIR- Bewegungsmelder der Firma Steinel durchaus sinnvoll.

In Abbildung 47 sieht man, dass sich die Betriebsstunden pro Woche, etagenweise betrachtet, durchaus unterschiedlich gestalten. Im DG war die Gangbeleuchtung durchschnittlich nur zwei Stunden in Betrieb. Dies hat den Grund, dass die Messungen in den Sommermonaten durchgeführt wurden und am Dachgeschoß die Gänge größtenteils mit Fenster ausgestattet sind, was in den anderen Stockwerken nicht der Fall ist.



*Abbildung 46: Durchschnittliche Betriebsdauer der Gangbeleuchtung*

Durch die unterschiedlichen Betriebsdauern der Stockwerke ist gut zu erkennen, dass die Gänge vom EG bis zum 3.OG am meisten frequentiert sind.

Für den Einbau von Bewegungsmeldern kann momentan keine genaue Einschätzung über die Ersparnisse durch Verringerung der Betriebsdauer gegeben werden. Aufgrund der Möglichkeit, dass nach der Steuerung mittels PIR-Bewegungsmeldern und den vorhandenen Betriebsstunden, ein Leuchtmitteltausch sinnvoll wäre, wird empfohlen einen LED-tauglichen PIR-Bewegungsmelder einzubauen. Der Unterschied zu herkömmlichen Bewegungsmeldern ist, dass hier schon geringe Leistungen geschaltet werden können.

Es wurde angenommen, dass sich die Betriebsstunden um 30% durch die obige beschriebene Änderung der Steuerung reduzieren. Grund dieser Annahme waren, die vielen Gänge, die fast durchgehend beleuchtet waren. Somit reduzieren sich die Betriebsstunden auf 39h pro Woche. Als weitere Annahme gilt, dass bei insgesamt 64 Gängen, im Durchschnitt vier PIR-Bewegungsmelder pro Gang verbaut werden müssen. Diese Annahme basiert auf der Erfassungsweite des Bewegungsmelders von 12m.

Tabelle 10: Amortisationsrechnung Gangbeleuchtung PIR-Installation

|                                    | ohne PIR-Sensor | mit PIR-Sensor   | Einheit  |
|------------------------------------|-----------------|------------------|----------|
| Typenbezeichnung                   |                 | Steinel IS 180-2 |          |
| Leistung inkl. EVG                 | 25,3            | 25,3             | kW       |
| Anschaffungskosten                 |                 | 35 €             | €        |
|                                    |                 |                  |          |
| Strompreis                         |                 | 0,07             | €/kWh    |
| Brenndauer                         | 55,7            | 39               | h/Woche  |
| Anzahl an PIR-Sensoren             | 0               | 256              | Stk.     |
|                                    |                 |                  |          |
| Wöchentlicher Stromverbrauch       | 1409            | 987              | kWh      |
| Wöchentliche Energiekosten         | 98,6            | 69,1             | €        |
| Jährliche Betriebskosten           | 5129,5          | 3591,6           | €        |
| Kostenersparnis pro Jahr           |                 | 1537,9           | €        |
| Stromverbrauchersparnisse          |                 | 21971            | kWh/Jahr |
|                                    |                 |                  |          |
|                                    |                 |                  |          |
|                                    |                 |                  |          |
| Kosten für die Installation        |                 | 4.000            | €        |
| Investitionskosten                 |                 | 8.960            | €        |
|                                    |                 |                  |          |
| Entwicklung der Amortisationsdauer |                 | 8,43             | Jahre    |

Wie aus Tabelle 10 erkennbar ist, würde sich der Einbau von PIR-Sensoren unter Berücksichtigung der Installationskosten innerhalb von 8,4 Jahren amortisieren. Durch eine selbstangenommene Reduktion der Betriebsstunden von 30% könnte so der Gesamtenergiebedarf der Gangbeleuchtung um 21,9kWh im Jahr reduziert werden.

Nach der Installation der Bewegungsmelder, würde sich im zweiten Schritt als Optimierungsmaßnahme eine weitere Messung der tatsächlichen Betriebsstunden empfehlen um die tatsächliche Reduktion der Betriebsstunden zu erfassen und eventuell eine weitere Optimierungsmaßnahme anzudenken.

#### 6.4.2.3. Optimierung Laborräume

Die Laborräume stellen mit 34% am Gesamtenergieverbrauch den größten Verbraucher des Beleuchtungssektors dar. Es gibt 74 Laborräume mit einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 38,13 Stunden in der Woche. Da jedoch eine hohe Anschlussleistung von 602 Watt pro Raum vorhanden ist, ist die Betrachtung eines Lampentausches durchaus erwägenswert.

Auch bei den Laborräumen kamen vier unterschiedliche Leuchtstoffröhren zum Einsatz.

1) In 13 Räumen dieser Nutzungsart werden Kompaktleuchtstofflampen betrieben, die unter einer Feuchtraum-Deckenleuchte eingebaut sind. Insgesamt sind in diesen 12 Räumen 104 solcher Deckenleuchten vorhanden, die mit jeweils 3 Kompaktleuchtstofflampen á 36 W ausgestattet sind. Die bereits integrierten EVG haben eine Leistung von 3W. In diesen 13

Räumen sind 312 Kompaktleuchtstofflampen mit einer Anschlussleistung von 12kW installiert.

Die Lichtfarbe ist neutralweiß und ein G11-4Pin Anschlusssockel ist vorhanden. Der Lichtstrom beträgt 2900lm und der Abstrahlwinkel 360°. Die Lichtstärke beträgt in etwa 8,05cd. Um für einen gleichwertigen Leuchtmitteltausch zu garantieren, wird dieselbe Lichtfarbe, Sockelanschluss und eine ähnliche Lichtstärke ausgewählt. Als passendes Leuchtmittel wurden der LED Stab der Firma LED Powertechnik mit einem Abstrahlwinkel von 140° ausgewählt. Daraus ergibt sich eine Lichtstärke von 10 cd. Dies garantiert eine ausreichende Beleuchtungsstärke. Der Farbwiedergabewert und die Lichtfarbe sind dieselbe.

In der nachstehenden Tabelle ist ersichtlich ab wann der Tausch der Leuchtmittel sich amortisiert und ob es sinnvoll ist diese Maßnahme in die Praxis umzusetzen.

*Tabelle 11: Amortisationsrechnung Laborräume Kompaktleuchtstofflampen*

|                                       | TCL Energiesparlampe                 | LED Stab                                 | Einheit         |
|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|-----------------|
| Typenbezeichnung                      | Osram TC-L 36W<br>4000K, 4-Pin, 2G11 | LED Powertechnik<br>2G11-LED Stiftsockel |                 |
| Leistung inkl. EVG                    | 39                                   | 16                                       | W               |
| Anschaffungskosten                    | 8,9                                  | 31                                       | €               |
| Lebensdauer                           | 15.000                               | 35.000                                   | Betriebsstunden |
| Strompreis                            | 0,07                                 |                                          | €/kWh           |
| Brenndauer                            | 38,13                                |                                          | h/Woche         |
| Anzahl                                | 312                                  |                                          | Stk.            |
| Wöchentlicher Stromverbrauch          | 464,0                                | 190,3                                    | kWh             |
| Wöchentliche Energiekosten            | 32,5                                 | 13,3                                     | €               |
| Jährliche Betriebskosten              | 1688,8                               | 692,9                                    | €               |
| Kostenersparnis                       | 996,0                                |                                          | €/Jahr          |
| Stromverbrauchersparnisse             |                                      | 14228                                    | kWh/Jahr        |
| Lebensdauer laut Herstellerangabe     | 7,6                                  | 17,7                                     | Jahre           |
| Lampentausch nach Lebensdauer         | 2776,8                               |                                          | €               |
| Entsorgungskosten je Leuchtstofflampe | 0,6                                  |                                          | €               |
| Investition der gesamten Anlage       | 5554,2                               | 9859,2                                   | €               |
| Amortisation der Anschaffungskosten   | 4,32                                 |                                          | Jahre           |

Nach mehr wie 4 Jahren hätte sich die Investition beglichen. Insgesamt können durch den Leuchtmitteltausch jährlich 14,2 MWh eingespart werden. Da die empfohlenen Leuchtmittel, den gleichen Anschlusssockel haben ist ein einfacher Leuchtmitteltausch gegeben. Aus diesem Grund wurden keine Installationskosten in dieser Rechnung berücksichtigt. Da die angegebene Lebensdauer der Hersteller um ein vielfaches höher ist, als wie die der momentanen verwendeten Energiesparlampen, wurden die Entsorgungskosten und die Anschaffungskosten bei gleichbleibenden Leuchtmittel mitberücksichtigt.

**2)** In weiteren 54 Räumen wurden T5-Leuchtstoffröhren 49W verwendet. In 54 Räume sind 495 Leuchtstoffröhren eingebaut. In nachstehender Abbildung sind die Amortisationsrechnung und die jährlichen Einsparungen ersichtlich.

Tabelle 12: Amortisationsrechnung Laborräume T5 49W

|                                       | T5 Leuchtstoffröhre                     | LED Tube                  | Einheit         |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Typenbezeichnung                      | Osram HO XT Longlife 54W<br>840 Lumilux | T5 Pro X<br>1449mm, 3000K |                 |
| Leistung inkl. EVG                    | 52                                      | 25                        | W               |
| Anschaffungskosten                    | 2,79                                    | 45,2                      | €               |
| Lebensdauer                           | 15.000                                  | 50.000                    | Betriebsstunden |
| Strompreis                            | 0,07                                    |                           | €/kWh           |
| Brenndauer                            | 38,13                                   |                           | h/Woche         |
| Anzahl                                | 495                                     |                           | Stk.            |
| Wöchentlicher Stromverbrauch          | 981,5                                   | 471,9                     | kWh             |
| Wöchentliche Energiekosten            | 68,7                                    | 33,0                      | €               |
| Jährliche Betriebskosten              | 3572,5                                  | 1717,6                    | €               |
| Kostenersparnis                       | 1855,0                                  |                           | €/Jahr          |
| Stromverbrauchersparnisse             |                                         | 26500                     | kWh/Jahr        |
| Lebensdauer laut Herstellerangabe     | 7,6                                     | 25,2                      | Jahre           |
| Lampentausch nach Lebensdauer         | 1381,1                                  |                           | €               |
| Entsorgungskosten je Leuchtstofflampe | 0,6                                     |                           | €               |
| Investition der gesamten Anlage       | 5034,0                                  | 22671,0                   | €               |
| Amortisation der Anschaffungskosten   | 9,51                                    |                           | Jahre           |

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Lebensdauer und der Entsorgungskosten würde sich trotz Halbierung des Leuchtmitteltausches eine Amortisation erst nach 9,5 Jahren ergeben. Mit diesem Austausch könnten 26,5 MWh pro Jahr eingespart werden.

3) In weiteren 18 Laborräumen sind T5-35W Leuchtstoffröhren im Einsatz. Gesamt sind 204 in Betrieb.

Tabelle 13: Amortisationsrechnung Laborräume T5 35W

|                                       | T5 Leuchtstoffröhre            | LED TUBE                  | Einheit         |
|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Typenbezeichnung                      | Osram FH HE 35W<br>840 Lumilux | T5 Pro X<br>1449mm, 3000K |                 |
| Leistung inkl. EVG                    | 39                             | 18                        | kW              |
| Anschaffungskosten                    | 2,8                            | 45,2                      | €               |
| Lebensdauer                           | 24.000                         | 50.000                    | Betriebsstunden |
| Strompreis                            | 0,07                           |                           | €/kWh           |
| Brenndauer                            | 38,14                          |                           | h/Woche         |
| Anzahl                                | 204                            |                           | Stk.            |
| Wöchentlicher Stromverbrauch          | 296                            | 156                       | kWh             |
| Wöchentliche Energiekosten            | 21,0                           | 11,0                      | €               |
| Jährliche Betriebskosten              | 1076,0                         | 566,0                     | €               |
| Kostenersparnis pro Jahr              | 510,0                          |                           | €               |
| Stromverbrauchersparnisse             |                                | 7281                      | kWh/Jahr        |
| Lebensdauer laut Herstellerangabe     | 7,6                            | 25,2                      | Jahre           |
| Lampentausch nach Lebensdauer         | 570                            |                           | €               |
| Entsorgungskosten je Leuchtstofflampe | 0,6                            |                           | €               |
| Investition der gesamten Anlage       | 2.075,0                        | 9.343                     | €               |
| Entwicklung der Amortisationsdauer    | 14,3                           |                           | Jahre           |

Wie hier zu erkennen ist, wäre eine Amortisation erst in 14,3 Jahren erfolgt. Es könnten zwar immer noch 7,2 MWh im Jahr eingespart werden. Aus dem Grund der hohen Amortisationsdauer wird in weiteren Schritten kein Leuchtmitteltausch mehr empfohlen bei einer momentanen Anschlussleistung pro Leuchtstoffröhre von 35W. Diese würde sich erst bei Betriebsstunden von über 40h pro Woche in einem Zeitrahmen unter 10Jahren befinden. In solchen Räumen gilt es zu überlegen, ob die Anzahl der Leuchtmittel verringert werden kann. Hierbei sollte die tatsächliche Beleuchtungsstärke gemessen werden um dann eine Verringerung der Anzahl der Leuchtmittel im nächsten Schritt zu ermöglichen.

#### 6.4.2.4. Optimierung Stiegen

Die insgesamt 13 Stiegen mit ihrer geringen installierten Leistung von 170 W je Stiegenhausetage, sind vom Gesamtenergieverbrauch gleichzusetzen mit den 42 Büroräumen. Obwohl diese im durchschnittlich mit einer Beleuchtung von 268W ausgestattet sind. Diese Ähnlichkeit im Strombedarf der Beleuchtung ist auf einen technischen Defekt der bereits verbauten Bewegungsmelder zurückzuführen. Alle Messungen innerhalb der 9 Wochen ergaben einen Dauerbetrieb der Leuchtmittel. Da diese schon über einen Bewegungsmelder gesteuert werden ist es unbedingt notwendig einen Techniker zu kontaktieren, um den Fehler zu beheben. Für die nächststehende Einsparungsrechnung wurde angenommen, dass ein Wiederherstellen der Funktionalität der Bewegungsmelder erfolgte. Dadurch kam es zu einer Verringerung der Betriebsstunden pro Woche um 67,7%. Diese Reduktionsannahme hat zu bedeuten, dass die Stiegen acht Stunden pro Tag beleuchtet werden. In nachstehender Abbildung sind die energetischen und ökonomischen Einsparungen ersichtlich.

*Tabelle 14: Reparatur Bewegungsmelder Stiegenhaus*

|                            | vorhandener Bewegungsmelder |                  | Einheit  |
|----------------------------|-----------------------------|------------------|----------|
|                            | Defekt                      | Funktionstüchtig |          |
| Leistung inkl. EVG         | 2,2                         | 2,2              | kW       |
| Strompreis                 | 0,07                        |                  | €/kWh    |
| Brenndauer                 | 168                         | 56               | h/Woche  |
| Wöchentlicher Strombedarf  | 369,6                       | 123,2            | kWh      |
| Wöchentliche Energiekosten | 26                          | 9                | €        |
| Jährliche Betriebskosten   | 1345                        | 448              | €        |
| Kostenersparnis            | 896,9                       |                  | €/Jahr   |
| Stromverbrauchersparnis    |                             | 12813            | kWh/Jahr |

Wie oben ersichtlich spart man sich durch die Reparatur der Bewegungsmelder 12,8 MWh jährlich, welches eine finanzielle Einsparung von 869€ mit sich bringt. Auch hier würde es sich ähnlich wie bei der Gangbeleuchtung anbieten, nach Reparatur der Bewegungsmelder die genauen Betriebszeiten nochmals messtechnisch zu erfassen, um einen eventuellen Leuchtmitteltausch zu rechtfertigen.

#### 6.4.2.5. Optimierung Sanitärräume

Trotz des geringen Verbrauchs der Beleuchtung mit 4,5% am Gesamtenergieverbrauch würde sich auch hier eine schrittweise Optimierung anbieten. Die durchschnittlichen Betriebsstunden pro Woche betragen 40,52 und die einzelnen Messungen haben gezeigt, dass es oft zu einem durchgehenden Betrieb von drei bis vier Stunden gekommen ist. Ebenso kam es ein paar Mal vor, dass über die Nacht die Beleuchtung eingeschalten blieb.

Schaut man sich den Energiebedarf an so ist dieser von allen Raumnutzungsarten mit dem Wert von 48,4 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr am höchsten. Aus diesen Gründen ist einerseits ein Einbau von Bewegungsmeldern zu raten, und einer Installation einer effizienteren Beleuchtung. Leider kann nur eine ungenaue Abschätzung über die Verringerung der Betriebsdauer vorgenommen werden. Als Annahme werden hierfür eine verkürzte Betriebsdauer von 25% angenommen (Zumtobel, 2016, S. 223). Pro Sanitärraum wird ein Bewegungsmelder angenommen, der mit einer Nachlaufzeit von 5 bis 10 Minuten eingestellt wird. Diese Dauer soll garantieren, dass sich niemand auf den Toiletten befindet.

*Tabelle 15: Einbau von Bewegungsmeldern in Sanitärräumen*

|                                    | ohne PIR-Sensor | mit PIR-Sensor   | Einheit  |
|------------------------------------|-----------------|------------------|----------|
| Typenbezeichnung                   |                 | Steinel IS 180-2 |          |
| Leistung inkl. EVG                 | 5,61            | 5,61             | kW       |
| Anschaffungskosten                 |                 | 35 €             | €        |
|                                    |                 |                  |          |
| Strompreis                         |                 | 0,07             | €/kWh    |
| Brenndauer                         | 40,5            | 30,4             | h/Woche  |
| Anzahl an PIR-Sensoren             | 0               | 35               | Stk.     |
|                                    |                 |                  |          |
| Wöchentlicher Stromverbrauch       | 227             | 171              | kWh      |
| Wöchentliche Energiekosten         | 15,9            | 12,0             | €        |
| Jährliche Betriebskosten           | 827,0           | 620,0            | €        |
| Kostenersparnis pro Jahr           |                 | 207,0            | €        |
| Stromverbrauchersparnisse          |                 | 2954             | kWh/Jahr |
|                                    |                 |                  |          |
|                                    |                 |                  |          |
|                                    |                 |                  |          |
| Kosten für die Installation        |                 | 2.000            | €        |
| Investitionskosten                 |                 | 1.225            | €        |
|                                    |                 |                  |          |
| Entwicklung der Amortisationsdauer |                 | 15,58            | Jahre    |

Mit dem Einbau und der Verwendung von Bewegungsmeldern können fast 3MWh jährlich eingespart werden. Betrachtet man jedoch die Amortisationszeit, so beträgt diese 15,6 Jahre. Hierbei empfiehlt es sich zusätzlich die gesamte Anschlussleistung zu minimieren. Da es 4 Sanitärräume im zweiten Stock gibt, die ohne die zusätzlichen Spiegelwandleuchten installiert sind, wäre ein weiterer Schritt, die Abnahme dieser in allen anderen Räumen. Die Spiegelwandleuchten sind T5 Leuchtmittel mit einer Länge von 560mm und einer Anschlussleistung inkl. EVG von 18W.

Insgesamt sind in den 35 Sanitärräume 40 solcher Leuchtmittel installiert. Durch die Abnahme dieser würde sich die gesamte Anschlussleistung der Sanitärräume um 720W auf 4,9kW verringern.

Tabelle 16: Einbau von Bewegungsmeldern und Verringerung der Leuchtmittelanzahl

|                                          | ohne PIR-Sensor | mit PIR-Sensor   | Einheit  |
|------------------------------------------|-----------------|------------------|----------|
| Typenbezeichnung                         |                 | Steinel IS 180-2 |          |
| Leistung inkl. EVG                       | 5,61            | 4,89             | kW       |
| Anschaffungskosten                       |                 | 35 €             | €        |
|                                          |                 |                  |          |
| Strompreis                               |                 | 0,07             | €/kWh    |
| Brenndauer                               | 40,5            | 30,4             | h/Woche  |
| Anzahl an PIR-Sensoren                   | 0               | 35               | Stk.     |
|                                          |                 |                  |          |
| Wöchentlicher Stromverbrauch             | 227             | 149              | kWh      |
| Wöchentliche Energiekosten               | 15,9            | 10,0             | €        |
| Jährliche Betriebskosten                 | 827,0           | 541,0            | €        |
| Kostenersparnis pro Jahr                 |                 | 286,0            | €        |
| Stromverbrauchersparnisse                |                 | 4091             | kWh/Jahr |
|                                          |                 |                  |          |
| Entsorgungskosten pro Spiegelwandleuchte |                 | 0,7              | €        |
| Entsorgung Spiegelwandleuchte            |                 | 40               | Stk.     |
| Kosten für die Installation              |                 | 2.000            | €        |
| Investitionskosten                       |                 | 1.225            | €        |
|                                          |                 |                  |          |
| Entwicklung der Amortisationsdauer       |                 | 11,28            | Jahre    |

Insgesamt kann so eine weitere MWh jährlich eingespart werden. Die Amortisation würde sich auf 11,3 Jahre verringern. Bevor diese Maßnahme jedoch für alle Räume umgesetzt wird, empfiehlt es sich die Spiegelwandleuchten im Raum EG-004 zu entfernen und eine Messung der Beleuchtungsstärke durchzuführen. Dieser Raum eignet sich sehr gut als Musterraum, da hier 3 Spiegelwandleuchten zusätzlich zum Einsatz kommen.

#### 6.4.2.6. Optimierung Büroraumbeleuchtung

Mit 20 kWh/m²a Energiebedarf für die Beleuchtung, stellt diese Raumnutzungsart den niedrigsten Wert der bisher betrachteten Räume dar. Da die Betriebsstunden hier im Mittel 32 Stunden betragen wird nur ein teilweiser Austausch der Leuchtmittel sinnvoll erscheinen. Für diese Betrachtung werden jene Räume herangezogen, bei denen T5 49W Leuchtmittel verwendet werden. Die vorgeschlagenen LED-Tubes der Firma LED Powertechnik erbringen mit einer halben Anschlussleistung gleichbleibende Lichtqualität. In 29 Räumen wurden 150 T5 49W Leuchtstoffröhren eingesetzt.

In weiteren 26 Räumen kamen die T5 Leuchtmittel mit einer Anschlussleistung von 49W zum Einsatz. Insgesamt wurden 132 Leuchtstoffröhren verbaut.

Tabelle 17: Leuchtmitteltausch Büroräume T45 49W

|                                       | T5 Leuchtstoffröhre                  | LED TUBE                  | Einheit         |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Typenbezeichnung                      | Lamp HO XT Longlife 5<br>840 Lumilux | T5 Pro X<br>1449mm, 3000K |                 |
| Leistung inkl. EVG                    | 52                                   | 25                        | kW              |
| Anschaffungskosten                    | 2,8                                  | 45,2                      | €               |
| Lebensdauer                           | 15.000                               | 50.000                    | Betriebsstunden |
| Strompreis                            | 0,07                                 |                           | €/kWh           |
| Brenndauer                            | 32,15                                |                           | h/Woche         |
| Anzahl                                | 150                                  |                           | Stk.            |
| Wöchentlicher Stromverbrauch          | 251                                  | 121                       | kWh             |
| Wöchentliche Energiekosten            | 18,0                                 | 8,0                       | €               |
| Jährliche Betriebskosten              | 913,0                                | 439,0                     | €               |
| Kostenersparnis pro Jahr              | 474,0                                |                           | €               |
| Stromverbrauchersparnisse             |                                      | 6771                      | kWh/Jahr        |
| Lebensdauer laut Herstellerangabe     | 9                                    | 29,9                      |                 |
| Lampentausch nach Lebensdauer         | 418,5                                |                           | €               |
| Entsorgungskosten je Leuchtstofflampe | 0,6                                  |                           | €               |
| Investition der gesamten Anlage       | 1.526,0                              | 6.870                     | €               |
| Entwicklung der Amortisationsdauer    | 11,3                                 |                           | Jahre           |

Mit diesem Tausch würden jährlich an die 6,7 MWh eingespart werden können. Eine Amortisation der Investitionskosten und Entsorgungskosten wäre nach 11,3 Jahren gegeben. Die Lebensdauer laut Herstellerangaben würde bei gleichbleibender Betriebsdauer theoretisch bei 29 Jahren liegen. Gewährleistet wird jedoch nur eine Garantie von 5 Jahren.

#### 6.4.2.7. Übrige Raumnutzungsarten

Für die übrigen Raumnutzungsarten technische-, sonstige-, Professoren- und Lagerräume wird als Sofortmaßnahme kein Leuchtmitteltausch vorgeschlagen. Der Energiebedarf, der für die Beleuchtung aufgewendet wird, beträgt in allen vier Räumlichkeiten unter 7 kWh/m<sup>2</sup>a. Dies ist aufgrund der geringen Betriebsstunden der Fall. Die spezifische Anschlussleistung ist ebenso eine sehr geringe mit ca. 8W/m<sup>2</sup>. Einzig bei den sonstigen Räumen, beträgt die Anschlussleistung 12 W/m<sup>2</sup>. In diesem Fall ist zu überlegen ob eine Verringerung der Leuchtmittelanzahl möglich ist. Hierbei könnten zuerst in den sonstigen Räumen Leuchtmittel abmontiert werden, um im weiteren Schritt die Beleuchtungsstärke zu messen. Dieser Vorgang kann für die anderen Raumnutzungsarten wiederholt werden.

#### 6.5. Sofortmaßnahmen

Als Sofortmaßnahme ist die Reparatur der Bewegungsmelder im Stiegenhaus zu empfehlen, da sich diese momentan im Dauerbetrieb befinden. Diese Maßnahme könnte schnell und ohne große Kosten realisiert werden. Die Reduzierung der Lampenanzahl in den Sanitärräumen ist ohne finanziellen Aufwand möglich und auch unbedingt als Sofortmaßnahme anzusehen. Für die Umsetzung ist es messtechnisch zu prüfen, ob die vorgegebenen Leuchtmittel reduziert werden können. Ebenso wäre eine einfache

Sofortmaßnahme die Beleuchtungsschaltung in den Aufzugskabinen zu verändern. Hier ergaben nämlich die Messungen, dass diese im Dauerbetrieb sind.

In weiterer Folge sollte dann mit den vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen der Seminarräume, welche mit den T5 120cm Leuchtstoffröhren ausgestattet sind begonnen werden.

## 7. Ausblick

Trotz des jungen Baujahres (2009) des Simon Ziesel Hauses, können durchaus Optimierungsmaßnahmen gegeben werden die, unter den betrachteten Bedingungen, als sinnvoll erscheinen. Trägt man die erarbeiteten Optimierungsmaßnahmen zusammen, so wird ersichtlich, dass für dieses Projekt drei unterschiedliche Maßnahmen gewählt wurden. Die Tabelle 1545 zeigt zusätzlich, welche Investitionskosten für die Optimierung anfallen und wie hoch deren Einsparungen in kWh/a wären. Zusätzlich ist in der rechten Spalte die daraus ergebende Amortisationszeit ersichtlich.

*Tabelle 18: Vorgeschlagene Optimierungsmaßnahmen und deren Einsparungen*

| Raumnutzungsart       | Optimierungsmaßnahme                         | Einsparung<br>[kWh/a] | Investitionskosten<br>[€] | Amortisation<br>[Jahre] |
|-----------------------|----------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|
| Büro                  | Leuchtmitteltausch                           | 6771                  | 6870                      | 11,28                   |
| Sanitärräume          | PIR & Verringerung der<br>Leuchtmittelanzahl | 4091                  | 3255                      | 11,26                   |
| Stiegen               | PIR                                          | 12813                 | 1000                      | 1,11                    |
| Laborräume T5 150cm   | Leuchtmitteltausch                           | 26500                 | 22671                     | 9,51                    |
| Laborräume 3TCL       | Leuchtmitteltausch                           | 14228                 | 9589                      | 3,95                    |
| Gang                  | PIR                                          | 21971                 | 8960                      | 8,43                    |
| Seminarräume T5 150cm | Leuchtmitteltausch                           | 3363                  | 2016                      | 7,51                    |
| Seminarräume T5 120cm | Leuchtmitteltausch                           | 9828                  | 3658                      | 4,22                    |

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass als Optimierungsmaßnahme ein Leuchtmitteltausch, der Einbau von Bewegungsmeldern (PIR) und die Verringerung der Leuchtmittelanzahl in Betracht gezogen wurden. Aufgrund der unterschiedlichen installierten Leuchtmittel konnten innerhalb einer Raumnutzungsart Gruppen gebildet werden.

Es wäre ebenso sehr interessant sich mit einem kompletten Austausch der Beleuchtungsanlage zu beschäftigen und eventuell ein ganzheitliches Lichtmanagementsystem nachträglich einzuführen. Hierbei würde je nach aktueller Lichtstärke eine Dimmbarkeit der Beleuchtung in Erwägung gezogen. Zum Beispiel durch gerade eintreffendes Sonnenlicht. Dieser Vorgang wäre jedoch sinnvoller bei einer Neuinstallation vorzuziehen, da sich die Kosten bei einem nachträglichen Bau um einiges erhöhen. Hierbei ist es wichtig bei der Planung eines Lichtmanagementsystems des gesamten Dienstleistungsgebäudes auf die Dimmbarkeit der Leuchtmittel zu achten. Ob dies bei aufrechterhaltenem Betrieb möglich ist, bleibt fraglich.

Die vorgeschlagenen Möglichkeiten, welche hier erarbeitet wurden, würden einen aufrechten Betrieb trotz veränderten Maßnahmen möglich machen.

Eine weitere Maßnahme, die durchaus auch bei laufendem Betrieb durchgeführt werden könnte, wäre die Optimierung der Notbeleuchtung. Hierbei befinden sich viele Leuchten in Dauerbetrieb und für weitere Vorgehensweisen zur Optimierung gilt der Vorschlag, sich auch mit der Notbeleuchtung auseinanderzusetzen. Eine einfache Maßnahme wäre es ebenso die Beleuchtungsschaltung der Aufzüge zu verändern, da die Messungen einen Dauerbetrieb gezeigt haben.

Um eine schrittweise Optimierung zu ermöglichen, werden anschließend Amortisations-, Investitionskosten und deren verbundenen Einsparungspotentiale abgebildet.

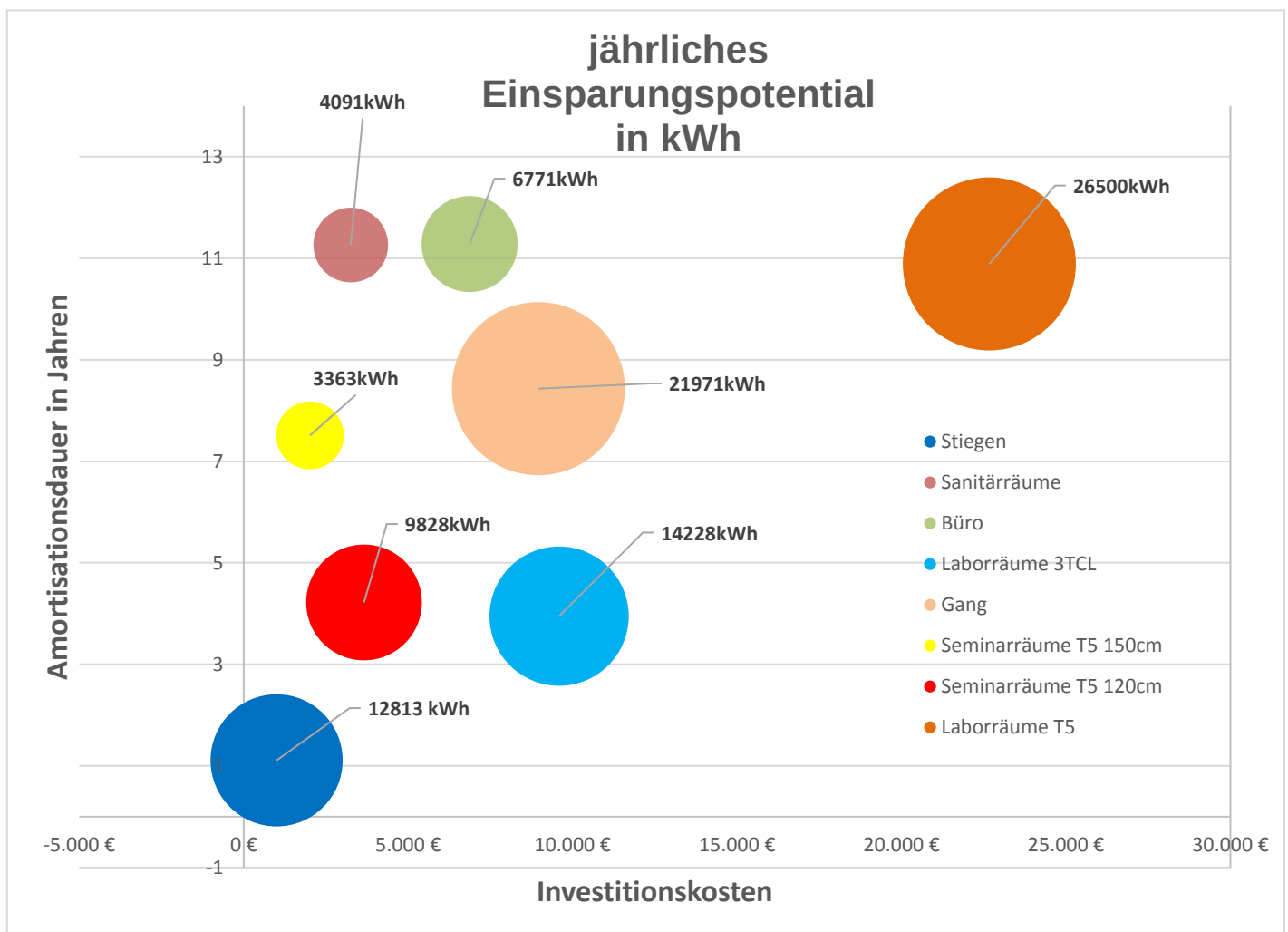
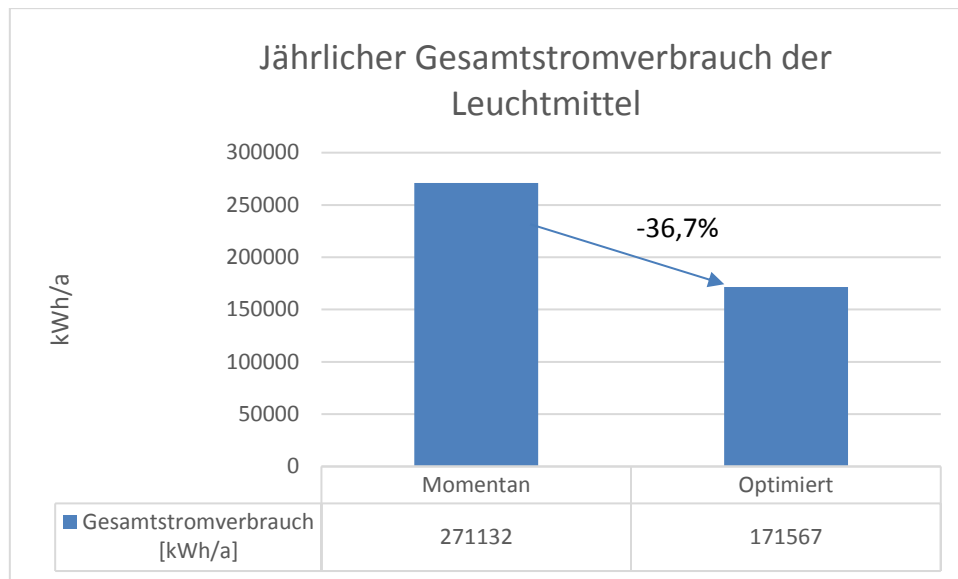


Abbildung 47: jährliches Einsparpotential unter Amortisationsdauer und Investitionskosten

Die Größe der unterschiedlichen Vollkreise gibt verhältnismäßig das Einsparungspotential in kWh pro Jahr wieder. So ist zu sehen, dass jene Laborräume, welche mit dem Leuchtmittel T5 49W bestückt sind, das größte Einsparungspotential aufweisen, jedoch auch mit den höchsten Investitionskosten und einer hohen Amortisationszeit verbunden sind.

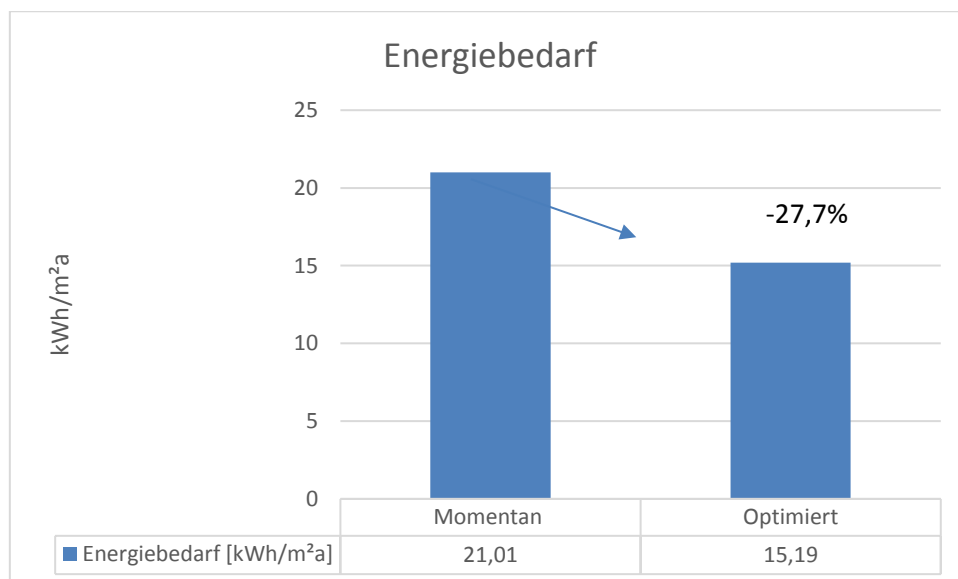
So ist sinnvoll die Raumnutzungsarten Stiegen, Seminarräume T5 120cm und Laborräume 3TCL als ersten Schritt zu optimieren. Hier sind sowohl die Amortisationszeiten und die Investitionskosten am geringsten, im Vergleich zu den anderen Raumnutzungsarten. Hierbei würden die Kosten der Optimierungsmaßnahmen insgesamt 13.511€ (3658,5€ Investitionskosten Seminarräume; 9859,2€ Investitionskosten Laborräume) betragen und nach 5,2 Jahren wären diese, über den verminderten Stromverbrauch der Beleuchtung amortisiert. Die jährlichen Einsparungen betragen 36,9 MWh welche eine Reduktion des Stromverbrauchs der Beleuchtung von 13,6% bedeuten würde. Je nach vorgegebenen Budget oder Projektdauer können so die Optimierungen individuell gestaltet werden können.

Würden alle vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt werden, so kommt man zu folgenden Ergebnis.



*Abbildung 48: Reduktion des Gesamtstromverbrauchs*

In Abbildung 48 ist die mögliche Reduktion des Gesamtstromverbrauchs bei Umsetzung der vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen ersichtlich. In Abbildung 49 wurden die Einsparungen auf den Energiebedarf des Gebäudes pro m<sup>2</sup> und Jahr umgerechnet.



*Abbildung 49: Reduktion des Energiebedarfs*

Insgesamt erschließen die in dieser Arbeit beschriebenen Maßnahmen ein Optimierungspotential von über 30% des gesamten Stromverbrauchs für die Beleuchtung des Dienstleistungsgebäudes. Dies entspricht einer Ersparung der Betriebskosten von jährlich 6000€. Es ist anzumerken, dass die in dieser Arbeit betrachteten energetischen Optimierungsmaßnahmen nur einen Teil des gesamten möglichen Potentials darstellen. Prioritäten bezüglich der Umsetzung werden durch verschiedene gewichtete Faktoren bestimmt. Das Investitionsvolumen, die technische Machbarkeit und der erforderliche Zeitaufwand sind zu berücksichtigen.

Würden alle vorgeschlagenen Optimierungen umgesetzt werden so betragen die Gesamtkosten des Projektes 58019€. Durch die Maßnahmen könnten so 36,7% vom

Strombedarfs des Beleuchtungssektors reduziert werden, welches einer jährlichen Einsparung von 6970€, bei gleichbleibenden momentanen Strompreis, bedeuten würde. Der Energiebedarf des Dienstleistungsgebäudes würde um 27,7% auf 15,19 kWh/m²a sinken.

Mit den eingesetzten Projektkosten von 58019 € beträgt die Amortisationsdauer 8,23 Jahre.

Abschließend kann noch die Empfehlung gegeben werden, die Raumnutzungsarten in mehrere Gruppen aufzuteilen. Einerseits, da es oftmals zu unterschiedlichsten Betriebsstunden kam, andererseits, weil sich im Laufe der Arbeit herausstellte, dass unterschiedliche Leuchtmittel innerhalb einer Raumnutzungsart verbaut wurden. Vielleicht ist es so durchaus möglich, noch gezieltere und effizientere Optimierungsmaßnahmen zu erkennen.

## 8. Literaturverzeichnis

### Bücher

BARTENBACH, C. und WITTING, W. (2009): Handbuch für Lichtgestaltung -Lichttechnische und wahrnehmungsphysiologische Grundlagen. 1., Aufl., Wien: Springer Verlag.

BOHNE, D. (2014): Technischer Ausbau von Gebäuden – Und nachhaltige Gebäudetechnik. 10., akt. Aufl., Wiesbaden: Springer Fachmedien.

GÖRNER, B. (2008): Beleuchtung von Arbeitsstätten – Stand der Regelsetzung. Dortmund, Berlin, Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

GENERALSEKRETARIAT DES VDE. (1926): Regeln für die Bewertung von Licht, Lampen und Beleuchtung. 13., bearb., erw. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

HAFERKORN, H. (2003): Optik- Physikalisch-technische Grundlagen und Anwendungen. 4., bearb., erw. Aufl., Weinheim: WILEY-VCH Verlag.

HALONEN, L.; TETRI, E. und BHUSAL, P. (2010): Guidebook on energy efficient electric lighting for buildings. Aalto University: School of Science and Technology

NAUMANN, H.; SCHRÖDER, G. und LÖFFLER-MANG, M. (2014): Handbuch Bauelemente der Optik – Grundlagen, Werkstoffe, Geräte, Messtechnik. 7., vollst. überarb. erw. Aufl., München, Wien: Carl Hanser Verlag.

NEUGEBAUER, R. (2014): Handbuch Ressourcenorientierte Produktion. 1., Aufl., München, Wien: Carl Hanser Verlag.

OLENIK, H. und MALZAHN, K. (1998): Sicherheitsbeleuchtungsanlagen - Optische Grundlagen – Energiebereitstellung – technische Regeln – rechtliche Festlegungen. Bd. 532, Renningen-Malmsheim: expert Verlag.

PISTOHL, W. (2009): Handbuch der Gebäudetechnik. Bd. 1 - Allgemeines/Sanitär/Elektro/Gas. 7., vollst. überarb. akt. Aufl., Düsseldorf: Werner-Verlag.

PLAßMANN, W. und SCHULZ, D. (2013): Handbuch Elektrotechnik – Grundlagen und Anwendungen für Elektrotechniker. 6., Aufl., Wiesbaden: Springer Fachmedien.

THEIß, E. (2000): Beleuchtungstechnik – Neue Technologien der Innen- und Außenbeleuchtung. 1., Aufl., München: Oldenbourg Industrieverlag.

WILLEMS, W. (2013): Lehrbuch der Bauphysik – Schall-Wärme-Feuchte-Licht-Brand-Klima. 7., vollst. überarb. akt. Aufl., Wiesbaden: Springer Fachmedien.

WITTING, W. (2014): Licht.Sehen.Gestalten. - Lichttechnische und wahrnehmungsphysiologische Grundlagen für Architekten und Lichtdesigner. 1., Aufl., Basel: Birkhäuser.

WOSNITZA, F. und HILGERS, H. (2012): Energieeffizienz und Energiemanagement – Ein Überblick über heutige Möglichkeiten und Notwendigkeiten. 1., Aufl., Wiesbaden: Springer Fachmedien.

### Online Skripten

Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (2014): Energiestatus Österreich 2015., Wien

GLAMAS Beteiligungsverwaltungs GmbH & Co. (Hrsg.). (2009): Technische Beschreibung Technik (TGA). unveröffentl. Skript.  
SCHÄPPI, B. und BOGNER, T. (2013): Licht!Voraus – Energieeffiziente Innenbeleuchtung im Dienstleistungssektor., Wien: Gugler Cross Media.

International Energy Agency (2006): World Energy Outlook., Paris

International Energy Agency (2016): Key electricity Trends Excerpt from: Electricity information., Paris

JAKOBIAK, R. (2005): Tageslichtnutzung in Gebäuden., Eggentstein-Leopoldshafen: Fachinformationszentrum Karlsruhe

Zumtobel Lighting GmbH (Hrsg.). (2016): Licht - Handbuch für den Praktiker. 10., überarb. erw. Aufl., Dornbirn.

Schrack Technik GmbH (Hrsg.). (s.a.): Notbeleuchtung – Vorschriften und Normen – Praxisorientierte Interpretationen. unveröffentl. Skript.

Zumtobel Lighting GmbH (Hrsg.). (2016): Normen und Planungshilfen für Sicherheitsbeleuchtung. 10., überarb., erw. Aufl., Dornbirn.

#### Amtliche Quellen

Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor der Einwirkung durch optische Strahlung (VOPST), Fassung vom 9.1.2017, BGBl. II Nr. 368/1998

Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales, mit der Anforderungen an Arbeitsstätten und an Gebäuden auf Baustellen festgelegt und die Bauarbeiterschutzverordnung geändert wird (AStV), Fassung vom 9.1.2017, BGBl. II Nr. 368/1998

#### Studien

## 9. Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Beleuchtungsanteil bezogen auf den globalen Primärenergiebedarf.....                 | 8  |
| Abbildung 2: Beleuchtungsanteil bezogen auf den energetischen Endverbrauch Österreichs .....      | 9  |
| Abbildung 3: Stromkonsum OECD- und Nicht OECD-Länder auf Sektoren aufgeteilt .....                | 9  |
| Abbildung 4: Globaler Konsum an Strom für Beleuchtung am Sektor Verkauf.....                      | 10 |
| Abbildung 5: Sichtbares Licht im elektromagnetischen Spektrum .....                               | 12 |
| Abbildung 6: Lichtstrom $\phi$ .....                                                              | 13 |
| Abbildung 7: Lichtstärke I .....                                                                  | 13 |
| Abbildung 8: Beleuchtungsstärke E .....                                                           | 14 |
| Abbildung 9: Lichtfarbe und Farbtemperatur in Bezug auf Planck'schen Strahler .....               | 15 |
| Abbildung 10: Funktionsprinzip einer Leuchtstofflampe .....                                       | 17 |
| Abbildung 11: Aufbau einer Leuchtdiode .....                                                      | 19 |
| Abbildung 12: Strahlende Rekombination einer LED .....                                            | 19 |
| Abbildung 13: Übersicht der Not und Sicherheitsbeleuchtung .....                                  | 22 |
| Abbildung 14: Darstellung der Sicherheitsbeleuchtung eines Fluchtweges .....                      | 25 |
| Abbildung 15: Beleuchtungsberechnung eines Raumes Simon Ziesel Haus .....                         | 26 |
| Abbildung 16: Schematische Darstellung der Schaltung der Messplatine .....                        | 28 |
| Abbildung 17: Kennlinie des LDR .....                                                             | 28 |
| Abbildung 18: Vorderseite des ArduLog's .....                                                     | 29 |
| Abbildung 19: Rückseite des ArduLog's .....                                                       | 29 |
| Abbildung 20: ArduLog mit drei wiederaufladbaren AA-Batterien mit einer Kapazität von 2600mAh ... | 30 |
| Abbildung 21: Messpunkte des 2.UG .....                                                           | 32 |
| Abbildung 22: Messpunkte des 1.UG .....                                                           | 33 |
| Abbildung 23: Messpunkte des EG .....                                                             | 34 |
| Abbildung 24: Messpunkte des 1. OG .....                                                          | 35 |
| Abbildung 25: Messpunkte des 2.OG.....                                                            | 36 |
| Abbildung 26: Messpunkte des 3.OG.....                                                            | 37 |
| Abbildung 27: Messpunkte des DG .....                                                             | 38 |
| Abbildung 28: Messdaten auf MicroSD-Karte der linken Stiege im 1.OG .....                         | 39 |
| Abbildung 29: Auflistung der Nutzungsarten inkl. ihrer Raumanzahl .....                           | 41 |
| Abbildung 30: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Laborräume .....                            | 43 |
| Abbildung 31: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Professorenräume .....                      | 44 |
| Abbildung 32: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Büroräume .....                             | 44 |
| Abbildung 33: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der sonstigen Räume .....                       | 45 |
| Abbildung 34: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Lagerräume .....                            | 45 |
| Abbildung 35: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der technischen Räume .....                     | 46 |
| Abbildung 36: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Seminarräume .....                          | 46 |
| Abbildung 37: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Gänge .....                                 | 47 |
| Abbildung 38: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Stiegen .....                               | 48 |
| Abbildung 39: Gemessene Betriebsstunden pro Woche der Sanitärräume .....                          | 48 |
| Abbildung 40: Betriebsstunden der Nutzungsarten pro Woche .....                                   | 49 |
| Abbildung 41: Stromverbrauch der Beleuchtung aller Raumnutzungsarten .....                        | 52 |
| Abbildung 42: Gesamtstromverbrauch der Nutzungsarten in MWh pro Jahr .....                        | 53 |
| Abbildung 43: Spezifischer Anschlusswert der Raumnutzungsarten .....                              | 53 |
| Abbildung 44: Energiebedarf pro m <sup>2</sup> und Jahr je Raumnutzungsart .....                  | 54 |
| Abbildung 45: Umrüstung von Leuchtstoffröhren zu LED-Tubes .....                                  | 58 |
| Abbildung 46: Durchschnittliche Betriebsdauer der Gangbeleuchtung .....                           | 60 |
| Abbildung 47: jährliches Einsparpotential unter Amortisationsdauer und Investitionskosten .....   | 69 |
| Abbildung 48: Reduktion des Gesamtstromverbrauchs .....                                           | 70 |
| Abbildung 49: Reduktion des Energiebedarfs .....                                                  | 70 |

## 10. Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Grundlegende Größen der Lichttechnik.....                                                                                        | 12 |
| Tabelle 2: Unterschiede der Weißfarben.....                                                                                                 | 16 |
| Tabelle 3: Auszug der Bestandsliste.....                                                                                                    | 26 |
| Tabelle 4: Vorhandene Leuchtmittel unterschiedlicher Nutzungsarten .....                                                                    | 42 |
| Tabelle 5: Ermittlung des Jahresstromverbrauchs der Beleuchtung Nutzungsart Büro .....                                                      | 49 |
| Tabelle 6: Errechnete Ergebnisse bezogen auf den Stromverbrauch der Beleuchtung und Betriebsstunden pro Woche aller Raumnutzungsarten ..... | 50 |
| Tabelle 7: Vorhandene Leuchtmittel in den Seminarräumen .....                                                                               | 56 |
| Tabelle 8: Amortisationsrechnung Seminarräume T5-1148mm.....                                                                                | 57 |
| Tabelle 9: Amortisationsrechnung Seminarräume T5-150cm.....                                                                                 | 59 |
| Tabelle 10: Amortisationsrechnung Gangbeleuchtung PIR-Installation .....                                                                    | 61 |
| Tabelle 11: Amortisationsrechnung Laborräume Kompaktleuchtstofflampen.....                                                                  | 62 |
| Tabelle 12: Amortisationsrechnung Laborräume T5 49W .....                                                                                   | 63 |
| Tabelle 13: Amortisationsrechnung Laborräume T5 35W .....                                                                                   | 63 |
| Tabelle 14: Reparatur Bewegungsmelder Stiegenhaus .....                                                                                     | 64 |
| Tabelle 15: Einbau von Bewegungsmeldern in Sanitärräumen.....                                                                               | 65 |
| Tabelle 16: Einbau von Bewegungsmeldern und Verringerung der Leuchtmittellanzahl .....                                                      | 66 |
| Tabelle 17: Leuchtmitteltausch Büroräume T45 49W .....                                                                                      | 67 |
| Tabelle 18: Vorgeschlagene Optimierungsmaßnahmen und deren Einsparungen .....                                                               | 68 |

## 11. Formelverzeichnis

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Formel 1: Zusammenhang von Frequenz und Wellenlänge (1).....                                                     | 11 |
| Formel 2: Zusammenhang Lux und Lumen (2).....                                                                    | 14 |
| Formel 3: Berechnung der geleisteten Arbeit in einer Minute (3).....                                             | 39 |
| Formel 4: Berechnung des Gesamtenergieverbrauchs einer Messperiode (4) <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b> |    |
| Formel 5: Errechnung des Jahresenergiebedarfs (5) .....                                                          | 50 |
| Formel 6: Berechnung des Energiebedarfs pro m <sup>2</sup> und Jahr (6).....                                     | 50 |

## 12. Anhang

### 12.1 Bestandsliste Simon Ziesel Haus

#### 12.1.1. 2.Untergeschoß

| Raumnummer | Funktion               | Fläche<br>[m²] | Leuchtkörper<br>(Trilux Oleveon) | Anzahl | ges. Leistung<br>[W] | Lichtstärke<br>[lm] |
|------------|------------------------|----------------|----------------------------------|--------|----------------------|---------------------|
| A-U2-T45   | Kältezentrale          | 127,48         | 135/49/80 PC E                   | 6      | 510                  | 36900               |
| A-U2-003   | Lager                  | 173,9          | 135/49/80 PC E                   | 12     | 1020                 | 73800               |
| A-U2-T44   | Lüftungszentrale       | 444,88         | 135/49/80 PC E                   | 20     | 1700                 | 123000              |
| A-U2-V13   | Gang                   | 64,67          | 135/49/80 PC E                   | 6      | 510                  | 36900               |
| A-U2-T42   | Gaszähler              | 10,68          | 128/54 PC E                      | 2      | 122                  | 8900                |
| A-U2-T43   | Wasserzähler           | 10,68          | 128/54 PC E                      | 2      | 122                  | 8900                |
| A-U2-T41   | Netzprovider           | 13,83          | 135/49/80 PC E                   | 2      | 170                  | 12300               |
| A-U2-001   | Lager                  | 131,61         | 135/49/80 PC E                   | 8      | 680                  | 49200               |
| A-U2-T46   | Druckluftzentrum       | 99,15          | 135/49/80 PC E                   | 6      | 510                  | 36900               |
| A-U2-V10   | Schleuse               | 5,98           | 135/49/80 PC E                   | 1      | 85                   | 6150                |
| A-U2-V11   | Gang                   | 48,52          | 135/49/80 PC E                   | 5      | 425                  | 30750               |
| A-U2-V08   | Gang                   | 34,83          | 128/54 PC E                      | 5      | 305                  | 22250               |
| A-U2-S03   | Stiege                 | 30,69          | 5041RWX-<br>L/35/49/80           | 2      | 170                  | 12300               |
| A-U2-S04   | Stiege                 | 30,69          | 5041RWX-<br>L/35/49/80           | 2      | 170                  | 12300               |
| A-U2-V07   | Liftvorplatz           | 17,78          | 128/54 PC E                      | 2      | 122                  | 8900                |
| A-U2-T47   | Wasseraufbereitung     | 66,59          | 128/54 PC E                      | 6      | 366                  | 26700               |
| A-U2-T48   | Abwasserneutralisation | 167,42         | 128/54 PC E                      | 13     | 793                  | 57850               |
| A-U2-T40   | NSHV/Kompensation      | 34,17          | 128/54 PC E                      | 4      | 244                  | 17800               |
| A-U2-T39   | FWW-UFO Station        | 56,87          | 128/54 PC E                      | 7      | 427                  | 31150               |
| A-U2-T35   | Traforaum              | 55,37          | 128/54 PC E                      | 4      | 244                  | 17800               |
| A-U2-V12   | Gang                   | 64,54          | 135/49/80 PC E                   | 5      | 425                  | 30750               |
| A-U2-V05   | Gang                   | 6,60           | E-LINE T5 RW<br>1x35W E          | 55     | 280                  |                     |
| A-U2-T38   | Objektfunkzentrale     | 12,84          | 128/54 PC E                      | 2      | 122                  | 8900                |
| A-U2-V04   | Gang                   | 21,01          | 128/54 PC E                      | 3      | 183                  | 13350               |
| A-U2-T37   | Vorraum                | 5,15           | 128/54 PC E                      | 1      | 61                   | 4450                |
| A-U2-T36   | USV-Anlage             | 8,64           | 254 PC E                         | 1      | 118                  | 8900                |
| A-U2-T49   | Notleuchtzentrale      | 8,48           | 128/54 PC E                      | 1      | 61                   | 4450                |
| A-U2-V01   | Liftvorplatze          | 20,54          | 128/54 PC E                      | 2      | 122                  | 8900                |
| A-U2-T30   | Tankraum               | 5,74           | 254 PC E                         | 1      | 118                  | 8900                |
| A-U2-T31   | Vorraum                | 6,61           | 128/54 PC E                      | 1      | 61                   | 4450                |
| A-U2-V02   | Schleuse               | 16,46          | 135/49/80 PC E                   | 2      | 170                  | 12300               |
| A-U2-T32   | Netzersatzaggregat     | 79,8           | 135/49/80 PC E                   | 6      | 510                  | 36900               |
| A-U2-002   | Lager                  | 102,2          | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E   | 10     | 560                  | Keine<br>Angaben    |

### 12.1.2. 1.Untergeschoß

| Raumnummer | Funktion               | Fläche<br>[m²] | Leuchtkörper<br>(Trilux)   | Anzahl | ges. Leistung<br>[W] | Lichtstärke<br>[lm] |
|------------|------------------------|----------------|----------------------------|--------|----------------------|---------------------|
| A-U1-002   | Materialkontrolle      | 31,15          | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 | 5      | 585                  | 43500               |
| A-U1-003   | Schleuse               | 4,25           | Fidesca-BS 625 T<br>318    | 1      | 57                   | 3900                |
| A-U1-011   | Schleuse               | 4,91           | Fidesca-BS 625 T<br>318    | 1      | 57                   | 3900                |
| A-U1-067   | Schleuse               | 3,52           | Fidesca-BS 625 T<br>318    | 1      | 57                   | 3900                |
| A-U1-083   | Schleuse               | 3,52           | Fidesca-BS 625 T<br>318    | 1      | 57                   | 3900                |
| A-U1-082   | Schleuse               | 5,67           | Fidesca-BS 625 T<br>318    | 1      | 57                   | 3900                |
| A-U1-081   | Schleuse               | 4,67           | Fidesca-BS 625 T<br>318    | 1      | 57                   | 3900                |
| A-U1-080   | Schleuse               | 4,25           | Fidesca-BS 625 T<br>318    | 1      | 57                   | 3900                |
| A-U1-004   | Speziallabor           | 20,9           | 3TCL                       | 4      | 468                  | 34800               |
| A-U1-086   | Fermentation           | 64,61          | 3TCL                       | 9      | 1053                 | 78300               |
| A-U1-077   | Freigabelager          | 27,76          | E-LINE T5 RW<br>1x35W E    | 3      | 114                  | 9900                |
| A-U1-V04   | Gang                   | 16,26          | T318                       | 4      | 228                  | 15600               |
| A-U1-V02   | Gang                   | 11,55          | Oleveon 128/54<br>PC       | 2      | 122                  | 8900                |
| A-U1-V01   | Gang                   | 46,61          | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32 | 5      | 280                  | 18000               |
| A-U1-076   | Stammsammlung          | 27,85          | ENTERIO M39<br>RPV 135 E   | 6      | 228                  | 25800               |
| A-U1-054   | Garderobe-Damen        | 19,94          | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32 | 3      | 168                  | 10800               |
| A-U1-057   | Garderobe-Herren       | 19,94          | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32 | 3      | 168                  | 10800               |
| A-U1-021   | Lösungsmittellager     | 12,38          | Oleveon<br>135/49/80 PC    | 2      | 76                   | 6600                |
| A-U1-019   | Laugenlager            | 12,38          | Oleveon<br>135/49/80 PC    | 2      | 76                   | 6600                |
| A-U1-020   | Säurelager             | 12,38          | Oleveon<br>135/49/80 PC    | 2      | 76                   | 6600                |
| A-U1-022   | Lösungsmittellager     | 12,53          | Oleveon<br>135/49/80 PC    | 2      | 76                   | 6600                |
| A-U1-023   | Gasflaschenlager       | 12,39          | Oleveon<br>135/49/80 PC    | 2      | 76                   | 6600                |
| A-U1-018   | Gift. Chemisches Lager | 12,38          | Oleveon<br>135/49/80 PC    | 2      | 76                   | 6600                |
| A-U1-033   | Labor-Chromatographie  | 51,43          | ENTERIO M39<br>RPV 135 E   | 12     | 624                  | 51600               |
| A-U1-031   | Analytisches Labor     | 50,10          | ENTERIO M39<br>RPV 135 E   | 12     | 624                  | 51600               |
| A-U1-034   | Auswerteraum           | 20,77          | ENTERIO M59<br>RPV 249 E   | 3      | 312                  | 25800               |
| A-U1-V16   | Gang                   | 148,82         | E-LINE T5 RW<br>1x35W      | 4      | 152                  | 13200               |
| A-U1-V07   | Gang                   | 29,48          | E-LINE T5 RW<br>1x35W      | 4      | 152                  | 13200               |
| A-U1-V08   | Gang                   | 38,12          | E-LINE T5 RW               | 4      | 152                  | 13200               |

|          |                              |       |                                                                            |            |     |       |
|----------|------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------|------------|-----|-------|
|          |                              |       | 1x35W                                                                      |            |     |       |
| A-U1-005 | Kühlager                     | 10,96 | NORKA 360 6.0 -<br>20 KIRUNA                                               | 2          | 132 | 10400 |
| A-U1-007 | Geräteraum                   | 22,4  | E-Line T5 RW<br>2x35W                                                      | 4          | 312 | 26400 |
| A-U1-028 | Chemisches Lager             | 17,58 | E-LINE T5 RW<br>1x35W                                                      | 2          | 76  | 6600  |
| A-U1-048 | Chemisches Lager             | 10,76 | E-LINE T5 RW<br>1x35W                                                      | 2          | 76  | 6600  |
| A-U1-036 | Kälteraum                    | 5,98  | NORKA 360 6.0 -<br>20 KIRUNA                                               | 1          | 66  | 5200  |
| A-U1-037 | Trockenraum                  | 5,98  | NORKA 360 6.0 -<br>20 KIRUNA                                               | 1          | 66  | 5200  |
| A-U1-039 | Stickstofflager              | 3,44  | E-LINE T5 RW<br>1x35W E                                                    | 1          | 38  | 3300  |
| A-U1-038 | Lager                        | 5,06  | E-LINE T5 RW<br>1x35W E                                                    | 1          | 38  | 3300  |
| A-U1-040 | Lager- Erde                  | 6,81  | E-LINE T5 RW<br>1x35W E                                                    | 1          | 38  | 3300  |
| A-U1-085 | Medienküche                  | 10,48 | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36                                                 | 2          | 234 | 17400 |
| A-U1-047 | Brutraum                     | 4,79  | ENTERIO M39<br>RPV 135 E                                                   | 1          | 38  | 6150  |
| A-U1-042 | Brutraum                     | 4,79  | ENTERIO M39<br>RPV 135 E                                                   | 1          | 38  | 6150  |
| A-U1-017 | Schleuse                     | 21,36 | E-LINE T5 RW<br>1x35W E                                                    | 4          | 152 | 13200 |
| A-U1-V17 | Gang                         | 36,96 | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                                             | 2          | 76  | 6600  |
| A-U1-V14 | Gang                         | 20,27 | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                                             | 2          | 76  | 6600  |
| A-U1-V06 | Gang                         | 20,27 | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                                             | 2          | 76  | 6600  |
| A-U1-V15 | Gang                         | 20,27 | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                                             | 2          | 76  | 6600  |
| A-U1-078 | Werkstatt                    | 14,04 | E-Line T5 RW<br>2x49W E                                                    | 2          | 212 | 17200 |
| A-U1-079 | Dampferzeugung               | 15,02 | E-Line T5 RW<br>2x49W E                                                    | 2          | 212 | 17200 |
| A-U1-032 | Labor-Membranverfahren       | 67,26 | ENTERIO M39<br>RPV 135 E                                                   | 12         | 456 | 51600 |
| A-U1-006 | Trockenlager                 | 17,99 | E-Line T5 RW<br>1x49W E                                                    | 2          | 108 | 8600  |
| A-U1-013 | Dusche & Garderobe<br>Damen  | 43,99 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                                                 | 8          | 448 | 28800 |
| A-U1-014 | Dusche & Garderobe<br>Herren | 43,99 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                                                 | 8          | 448 | 28800 |
| A-U1-015 | WC-Herren                    | 2,49  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6641C/18 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66 | 1<br><br>1 | 75  | 4900  |
| A-U1-016 | WC-Damen                     | 2,49  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6641C/18 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66 | 1<br><br>1 | 75  | 4900  |
| A-U1-V09 | Schleuse                     | 1,78  | INPERLA C2 BR                                                              | 1          | 56  | 3600  |

|              |                     |       |                                                                            |            |     |       |
|--------------|---------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------|------------|-----|-------|
|              |                     |       | 2TCT26/32                                                                  |            |     |       |
| A-U1-V03     | Schleuse            | 13,76 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                                                 | 1          | 56  | 3600  |
| A-U1-025/026 | Garderobe + Dusche  | 10,31 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6641C/18 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66 | 3<br><br>1 | 187 | 12100 |
| A-U1-027     | Labor- Fermentation | 87,66 | ENTERIO M39<br>RPV 149 E                                                   | 17         | 884 | 73100 |
| A-U1-041     | Vorbereitungsraum   | 14,52 | ENTERIO M59<br>RPV 235 E                                                   | 2          | 156 | 13200 |
| A-U1-043     | Lichtbrutraum       | 7,2   | ENTERIO M59<br>RPV 235 E                                                   | 1          | 78  | 6600  |
| A-U1-046     | Lichtbrutraum       | 8,29  | ENTERIO M59<br>RPV 235 E                                                   | 1          | 78  | 6600  |
| A-U1-044     | Lichtbrutraum       | 10,42 | ENTERIO M59<br>RPV 235 E                                                   | 2          | 156 | 13200 |
| A-U1-045     | Lichtbrutraum       | 10,42 | ENTERIO M59<br>RPV 235 E                                                   | 2          | 156 | 13200 |
| A-U1-052     | Werkstätte          | 43,18 | Enterio M39 PA<br>180 E                                                    | 9          | 756 | 55350 |
| A-U1-055     | Waschraum           | 5,61  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6641C/18 E<br>Spiegelwandleucht<br>en    | 2<br><br>2 | 150 | 9800  |
| A-U1-058     | Waschraum           | 5,61  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6641C/18 E<br>Spiegelwandleucht<br>en    | 2<br><br>2 | 150 | 9800  |
| A-U1-056     | Waschraum           | 5,61  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6641C/18 E<br>Spiegelwandleucht<br>en    | 2<br><br>2 | 150 | 9800  |
| A-U1-059     | Waschraum           | 5,61  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6641C/18 E<br>Spiegelwandleucht<br>en    | 2<br><br>2 | 150 | 9800  |
| A-U1-061     | WC-H-Personal       | 6,73  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6641C/18 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66 | 2<br><br>1 | 131 | 8500  |
| A-U1-062     | WC-D-Personal       | 6,73  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6641C/18 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66 | 2<br><br>1 | 131 | 8500  |
| A-U1-063     | WC-D-Studenten      | 5,72  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                                                 | 2          |     |       |

|              |                  |       |                                      |    |     |                  |
|--------------|------------------|-------|--------------------------------------|----|-----|------------------|
|              |                  |       | 6641C/18 E<br>Spiegelwandleuchten 66 | 1  | 131 | 8500             |
| A-U1-064     | WC-H-Studenten   | 5,72  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32           | 2  | 131 | 8500             |
|              |                  |       | 6641C/18 E<br>Spiegelwandleuchten 66 | 1  |     |                  |
| A-U1-072     | Glaslager        | 5,68  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32           | 2  | 112 | 7200             |
| A-U1-073     | WC-Behindert     | 3,99  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32           | 1  | 75  | 4900             |
|              |                  |       | 6641C/18 E<br>Spiegelwandleuchten 66 | 1  |     |                  |
| A-U1-V10     | Gang             | 12,09 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32           | 4  | 224 | 14400            |
| A-U1-V11     | Lift-Vorplatz    | 37,31 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32           | 5  | 280 | 18000            |
| A-U1-V13/V12 | Gang + Schleuse  | 34,05 | Oleveon 128/54<br>PC                 | 5  | 305 | 22250            |
| A-U1-084     | MS               | 3,59  | Fidesca-BS 625 T<br>318              | 1  | 57  | 3900             |
| A-U1-029     | Auswerteraum     | 20,55 | ENTERIO M59<br>RPV 249 E             | 3  | 312 | 25800            |
| A-U1-030     | Auswerteraum     | 22,40 | ENTERIO M59<br>RPV 249 E             | 3  | 312 | 25800            |
| A-U1-035     | Labor-Geräteraum | 24,48 | ENTERIO M59<br>RPV 249 E             | 3  | 312 | 25800            |
| A-U1-049     | Lager-ZNB        | 51,66 | E-Line T5 RW<br>1x35W E              | 4  | 224 | Keine<br>Angaben |
| A-U1-051     | Archiv ZNB       | 28,23 | E-Line T5 RW<br>1x49W E              | 2  | 108 | Keine<br>Angaben |
| A-U1-065     | GLSM_Raum        | 6,71  | Enterio M59 RPV<br>249 E             | 1  | 78  | Keine<br>Angaben |
| A-U1-090     | Abstellraum      | 3,06  | E-Line T5 RW<br>1x35W E              | 1  | 38  | Keine<br>Angaben |
| A-U1-009     | Trockenlager     | 30,91 | E-Line T5 RW<br>1x49W E              | 2  | 108 | Keine<br>Angaben |
| A-U1-087     | Labor            | 51,83 | ENTERIO M39<br>RPV 135 E             | 12 | 624 | Keine<br>Angaben |

### 12.1.3. Erdgeschoß

| Raumnummer | Funktion                | Fläche<br>[m²] | Leuchtkörper<br>(Trilux)        | Anzahl | ges. Leistung<br>[W] | Lichtstärke<br>[lm] |
|------------|-------------------------|----------------|---------------------------------|--------|----------------------|---------------------|
| A-EG-V01   | Vorraum - Eingangshalle | 224,96         | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32      | 25     | 1400                 | 90000               |
| A-EG-007   | Seminarraum             | 92,42          | ENTERIO M37 PA<br>128 E ENTERIO | 38     | 1368                 | 98800               |
| A-EG-V08   | Gang                    | 89,63          | INPERLA C2 BR                   | 14     | 784                  | 50400               |

|          |                      |        |                                                                                                           |                     |      |        |
|----------|----------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------|--------|
|          |                      |        | 2TCT26/32                                                                                                 |                     |      |        |
| A-EG-V05 | Gang                 | 116,28 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                                                                                | 14                  | 784  | 50400  |
| A-EG-V04 | Gang                 | 92,14  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                                                                                | 14                  | 784  | 50400  |
| A-EG-012 | Übungslabor          | 129,72 | ENTERIO M39<br>RPV 149 E<br>ENTERIO                                                                       | 18                  | 936  | 77400  |
| A-EG-022 | Übungslabor          | 82,06  | ENTERIO M39<br>RPV 149 E<br>ENTERIO                                                                       | 18                  | 936  | 77400  |
| A-EG-023 | Übungslabor          | 72,44  | ENTERIO M39<br>RPV 149 E<br>ENTERIO                                                                       | 18                  | 936  | 77400  |
| A-EG-026 | Übungslabor          | 72,44  | ENTERIO M39<br>RPV 149 E<br>ENTERIO                                                                       | 18                  | 936  | 77400  |
| A-EG-027 | Übungslabor          | 80,08  | ENTERIO M39<br>RPV 149 E<br>ENTERIO                                                                       | 18                  | 936  | 77400  |
| A-EG-V09 | Gang                 | 112,12 | E-LINE T5 RW<br>1x35W E                                                                                   | 10                  | 380  | 33000  |
| A-EG-031 | Seminarraum          | 38,48  | ENTERIO M37 PA<br>136 E                                                                                   | 14                  | 504  | 36400  |
| A-EG-032 | Seminarraum          | 37,76  | ENTERIO M37 PA<br>136 E                                                                                   | 14                  | 504  | 36400  |
| A-EG-008 | Seminarraum          | 144,88 | ENTERIO M37 PA<br>128 E ENTERIO                                                                           | 59                  | 2124 | 153400 |
| A-EG-030 | Büro                 | 12,61  | ENTERIO M59<br>RPV 249 E<br>ENTERIO                                                                       | 2                   | 208  | 17200  |
|          |                      |        |                                                                                                           |                     |      |        |
| A-EG-006 | Anlieferung          | 18,35  | Aragon 254 E<br>Aragon                                                                                    | 2                   | 236  | 17800  |
| A-EG-033 | Automatisierungsraum | 13,12  | Aragon 254 E<br>Aragon                                                                                    | 2                   | 236  | 17800  |
| A-EG-005 | Müllraum             | 46,05  | Oleveon<br>135/49/80                                                                                      | 3                   | 255  | 18450  |
| A-EG-019 | WC-Damen             | 17,99  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6651/14 E<br>Spiegelwandleuch-<br>ten<br><br>Inperla C2 BR<br>1TCT26/32 | 2<br><br>3<br><br>3 | 244  | 16200  |
| A-EG-018 | WC-Herren            | 16,65  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6651/14 E<br>Spiegelwandleuch-<br>ten<br><br>Inperla C2 BR<br>1TCT26/32 | 2<br><br>3<br><br>3 | 244  | 16200  |
| A-EG-003 | WC-Herren            | 18,12  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6651/14 E                                                               | 2<br><br>3          |      |        |

|          |                    |                    |                                                                                                      |                     |     |                  |
|----------|--------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----|------------------|
|          |                    |                    | Spiegelwandleuchten<br>Inperla C2 BR<br>1TCT26/32                                                    | 3                   | 244 | 16200            |
| A-EG-004 | WC-Damen           | 18,30              | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6651/14 E<br>Spiegelwandleuchten<br><br>Inperla C2 BR<br>1TCT26/32 | 2<br><br>3<br><br>3 | 244 | 16200            |
| A-EG-009 | Portier            | 9,76               | ENTERIO M59<br>RPV 249 E                                                                             | 1                   | 104 | 8600             |
| A-EG-011 | Kopierraum         | 9,11               | ENTERIO M59<br>RPV 249 E                                                                             | 1                   | 104 | 8600             |
| A-EG-035 | Vorbereitungslabor | 19,8               | ENTERIO M39<br>RPV 149 E                                                                             | 6                   | 312 | 25800            |
| A-EG-015 | Vorbereitungslabor | 32,91              | ENTERIO M39<br>RPV 149 E                                                                             | 6                   | 312 | 25800            |
| A-EG-016 | Kühlzelle          | 4,76               | ENTERIO M39<br>RPV 135 E                                                                             | 1                   | 85  | 6150             |
| A-EG-036 | Kühlzelle          | 3,84               | ENTERIO M39<br>RPV 135 E                                                                             | 1                   | 85  | 6150             |
| A-EG-034 | Glaslager          | 8,60               | E-Line T5 RW<br>1x49W E                                                                              | 1                   | 54  | 4300             |
| A-EG-024 | Lager              | 5,92               | E-Line T5 RW<br>1x49W E                                                                              | 1                   | 54  | 4300             |
| A-EG-025 | Geräteraum         | 13,38              | E-LINE T5 RPX<br>2x49W ED                                                                            | 2                   | 212 | 17200            |
| A-EG-V02 | Gang               | 8,25               | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                                                                           | 2                   | 112 | 7200             |
| A-EG-020 | Labor              | 10,72              | Enterio M39 RPV<br>180 E                                                                             | 2                   | 76  | Keine<br>Angaben |
| A-EG-021 | Labor              | 10,71              | Enterio M39 RPV<br>180 E                                                                             | 2                   | 76  | Keine<br>Angaben |
| A-EG-026 | Labor              | 72,44 <sup>2</sup> | ENTERIO M39<br>RPV 149 E<br>ENTERIO (1.000)                                                          | 18                  | 936 | 77400            |
| A-EG-028 | Teeküche           | 11,28              | TRILUX Enterio<br>M59 RPV 249 E                                                                      | 2                   | 212 | Keine<br>Angaben |
| A-EG-029 | Büro               | 8,81               | Enterio M59 RPV<br>249 E                                                                             | 2                   | 208 | 17200            |
| A-EG-V07 | Minigang           | 3                  | 128/54 PC E                                                                                          | 1                   | 61  | Keine<br>Angaben |
| A-EG-014 | Labor (NF3)        | 17,92              | TRILUX ENTERIO<br>M39 RPV 180                                                                        | 3                   | 255 | 18450            |
| A-EG-013 | Labor (NF3)        | 28,8               | TRILUX ENTERIO<br>M39 RPV 149                                                                        | 6                   | 312 | 25800            |
| A-EG-010 | Gang               | 10                 | 128/54 PC E                                                                                          | 1                   | 61  | Keine<br>Angaben |

### 12.1.4. 1.Obergeschoß

| Raumnummer | Funktion                       | Fläche<br>[m²] | Leuchtkörper<br>(Trilux)        | Anzahl | ges. Leistung<br>[W] | Lichtstärke<br>[lm] |
|------------|--------------------------------|----------------|---------------------------------|--------|----------------------|---------------------|
| A-O1-V01   | Gang                           | 128,56         | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32      | 17     | 952                  | 61200               |
| A-O1-015   | Büro                           | 13             | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 2      | 208                  | 17200               |
| A-O1-019   | Büro                           | 15,24          | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 2      | 208                  | 17200               |
| A-O1-044   | Büro                           | 12,87          | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 2      | 208                  | 17200               |
| A-O1-046   | Büro                           | 11,88          | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 2      | 208                  | 17200               |
| A-O1-048   | Büro                           | 11,76          | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 2      | 208                  | 17200               |
| A-O1-016   | Kalorimeter                    | 30,51          | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 4      | 416                  | 34400               |
| A-O1-014   | CNS-Analyse                    | 29,24          | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 4      | 416                  | 34400               |
| A-O1-V08   | Gang                           | 25,23          | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32      | 3      | 168                  | 10800               |
| A-O1-049   | HPLC-Labor                     | 96,70          | Enterio M39 RPV<br>149 E        | 22     | 836                  | 94600               |
| A-O1-066   | Analytisches Labor             | 89,51          | Enterio M39 RPV<br>149 E        | 22     | 836                  | 94600               |
| A-O1-058   | Brutraum                       | 5,87           | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 1      | 78                   | 8600                |
| A-O1-057   | Zentrifugenraum                | 7,82           | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 1      | 78                   | 8600                |
| A-O1-061   | Kühlraum 4°C                   | 10,24          | NORKA 360 6.0 -<br>20 KIRUNA    | 2      | 132                  | 10400               |
| A-O1-060   | Tiefkühlraum                   | 4,94           | NORKA 360 6.0 -<br>20 KIRUNA    | 2      | 132                  | 10400               |
| A-O1-059   | Kühlraum 8°C                   | 4,24           | NORKA 360 6.0 -<br>20 KIRUNA    | 2      | 132                  | 10400               |
| A-O1-043   | Kühlraum 4°C                   | 6,31           | NORKA 360 6.0 -<br>20 KIRUNA    | 2      | 132                  | 10400               |
| A-O1-063   | Molekularbiologisches<br>Labor | 75,24          | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E    | 12     | 1404                 | 104400              |
| A-O1-069   | Büro                           | 25,27          | TRILUX Enterio<br>M59 RPV 249 E | 3      | 312                  | 25800               |
| A-O1-067   | Büro                           | 26,46          | TRILUX Enterio<br>M59 RPV 249 E | 3      | 312                  | 25800               |
| A-O1-068   | Büro                           | 25,80          | TRILUX Enterio<br>M59 RPV 249 E | 3      | 312                  | 25800               |
| A-O1-077   | Besprechungsraum               | 35,90          | Enterio M59 RPV<br>235 E        | 6      | 468                  | 39600               |
| A-O1-009   | Büro                           | 25,08          | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 4      | 424                  | 34400               |
| A-O1-007   | Büro                           | 21,13          | Enterio M59 RPV<br>249 E        | 4      | 424                  | 34400               |
| A-O1-011   | Büro                           | 20,8           | TRILUX Enterio<br>M59 RPV 249 E | 2      | 212                  | 17200               |
| A-O1-013   | Büro                           | 19,76          | TRILUX Enterio<br>M59 RPV 249 E | 2      | 212                  | 17200               |
| A-O1-017   | Büro                           | 16,64          | TRILUX Enterio<br>M59 RPV 249 E | 2      | 212                  | 17200               |
| A-O1-045   | Büro                           | 19,31          | TRILUX Enterio<br>M59 RPV 249 E | 2      | 212                  | 17200               |

|            |                            |       |                                                                 |            |     |       |
|------------|----------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------|------------|-----|-------|
| A-O1-047   | Büro                       | 18,81 | TRILUX Enterio M59 RPV 249 E                                    | 2          | 212 | 17200 |
| A-O1-076   | Sekretariat                | 18,31 | TRILUX Enterio M59 RPV 249 E                                    | 2          | 212 | 17200 |
| A-O1-055   | Waschküche                 | 13,49 | TRILUX Enterio M59 RPV 249 E                                    | 2          | 212 | 17200 |
| A-O1-074   | Büro                       | 18,31 | TRILUX Enterio M59 RPV 249 E                                    | 2          | 212 | 17200 |
| A-O1-073   | Büro                       | 19,31 | TRILUX Enterio M59 RPV 249 E                                    | 2          | 212 | 17200 |
| A-O1-072   | Büro                       | 17,95 | TRILUX Enterio M59 RPV 249 E                                    | 2          | 212 | 17200 |
| A-O1-071   | Büro                       | 20,67 | TRILUX Enterio M59 RPV 249 E                                    | 2          | 212 | 17200 |
| A-O1-03334 | DNA-Labor                  | 35,34 | Enterio M39 RPV 149 E                                           | 6          | 318 | 25800 |
| A-O1-035   | Färberaum                  | 11,10 | Enterio M59 RPV 280 E                                           | 1          | 166 | 12300 |
| A-O1-036   | PCR-Kammer                 | 10,10 | Enterio M59 RPV 280 E                                           | 1          | 166 | 12300 |
| A-O1-037   | WC-H-Studenten             | 6,79  | 6651/14 E Spiegelwandleuchten 66<br><br>Inperla C2 BR 2TCT26/32 | 1<br><br>3 | 184 | 12000 |
| A-O1-038   | WC-H-Personal              | 6,98  | 6651/14 E Spiegelwandleuchten 66<br><br>Inperla C2 BR 2TCT26/32 | 1<br><br>3 | 184 | 12000 |
| A-O1-039   | WC-D-Studenten             | 8,14  | 6651/14 E Spiegelwandleuchten 66<br><br>Inperla C2 BR 2TCT26/32 | 1<br><br>3 | 184 | 12000 |
| A-O1-040   | WC-D-Personal              | 8,18  | 6651/14 E Spiegelwandleuchten 66<br><br>Inperla C2 BR 2TCT26/32 | 1<br><br>3 | 184 | 12000 |
| A-O1-029   | Labor-Lösungsmittel        | 25,30 | Enterio M39 RPV 149 E                                           | 6          | 312 | 25800 |
| A-O1-032   | HPLC-UPLC                  | 24,86 | Enterio M39 RPV 149 E                                           | 6          | 312 | 25800 |
| A-O1-021   | Nasslabor                  | 26,55 | Enterio M39 RPV 149 E                                           | 6          | 312 | 25800 |
| A-O1-028   | Nasslabor                  | 31,50 | Enterio M39 RPV 149 E                                           | 6          | 312 | 25800 |
| A-O1-030   | Labor HCI                  | 63,73 | Enterio M39 RPV 149 E                                           | 15         | 780 | 64500 |
| A-O1-064   | Mikrobiologisches Labor    | 54,74 | Enterio M39 RPV 149 E                                           | 15         | 780 | 64500 |
| A-O1-065   | Proteinreinigungslabor     | 51,99 | Enterio M39 RPV 149 E                                           | 15         | 780 | 64500 |
| A-O1-004   | Labor-Futtermittelsensorik | 50,66 | Enterio M39 RPV 149 E                                           | 15         | 780 | 64500 |

|          |                                |       |                                           |    |     |                  |
|----------|--------------------------------|-------|-------------------------------------------|----|-----|------------------|
| A-O1-012 | Kühlschrankraum                | 26,06 | E-Line T5 RW<br>1x80W E                   | 4  | 340 | 24600            |
| A-O1-010 | Kühlschrankraum                | 20,76 | E-Line T5 RW<br>1x80W E                   | 4  | 340 | 24600            |
| A-O1-006 | Büro                           | 19,26 | Enterio M59 RPV<br>249 E                  | 2  | 208 | 17200            |
| A-O1-005 | Büro                           | 17,23 | Enterio M59 RPV<br>249 E                  | 2  | 208 | 17200            |
| A-O1-054 | Wäger                          | 14,84 | Enterio M59 RPV<br>249 E                  | 2  | 208 | 17200            |
| A-O1-056 | Waagenraum                     | 12,40 | Enterio M59 RPV<br>249 E                  | 2  | 208 | 17200            |
| A-O1-052 | KS-Lageraum                    | 11,88 | E-Line T5 RW<br>2x49W E                   | 2  | 212 | 17200            |
| A-O1-051 | Nasschemie                     | 28,66 | Enterio M39 RPV<br>149 E                  | 6  | 312 | 25800            |
| A-O1-003 | Lager                          | 20,36 | E-Line T5 RW<br>1x49W E                   | 4  | 216 | 17200            |
| A-O1-018 | Gasflaschenlager               | 3,14  | E-Line T5 RW<br>2x49W E                   | 1  | 106 | 8600             |
| A-O1-031 | Mitarbeiter-<br>Schleuse=LABOR | 12,39 | Enterio M39 RPV<br>149 E                  | 4  | 208 | 17200            |
| A-O1-020 | Mitarbeiter-Labor              | 15,66 | Enterio M39 RPV<br>149 E                  | 4  | 208 | 17200            |
| A-O1-024 | Thermische Behandlung          | 8,73  | E-Line T5 RPX<br>2x49W E E-Line           | 2  | 212 | 17200            |
| A-O1-025 | Gefriertrocknung               | 8,84  | E-Line T5 RPX<br>2x49W E E-Line           | 2  | 212 | 17200            |
| A-O1-026 | Mühle                          | 8,36  | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E              | 2  | 234 | 17400            |
| A-O1-027 | RA                             | 8,68  | Enterio M59 RPV<br>235 E                  | 2  | 156 | 13200            |
| A-O1-V03 | Gang                           | 69,51 | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32 ...<br>(26W) E | 13 | 728 | 46800            |
| A-O1-V02 | Gang                           | 56,32 | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32 ...<br>(26W) E | 13 | 728 | 46800            |
| A-O1-V06 | Gang                           | 19,80 | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32 ...<br>(26W) E | 13 | 728 | 46800            |
| A-O1-V04 | Gang                           | 39,40 | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32 ...<br>(26W) E | 13 | 728 | 46800            |
| A-O1-070 | Gang                           | 19,47 | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32 ...<br>(26W) E | 13 | 728 | 46800            |
| A-O1-042 | Abstellraum                    | 3,47  | Aragon 135/49/80<br>(35W) E               | 1  | 38  | 3300             |
| A-O1-041 | Abstellraum                    | 3,47  | Aragon 135/49/80<br>(35W) E               | 1  | 38  | 3300             |
| A-O1-079 | Sozialraum                     | 68,08 | Enterio M39 RWV<br>135 E                  | 8  | 304 | 26400            |
| A-O1-001 | Sanitärraum                    | 3,59  | ENTERIO M59<br>RPV 249 E                  | 1  | 104 | Keine<br>Angaben |
| A-O1-V09 | Gang                           | 31,48 | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32                | 3  | 244 | Keine<br>Angaben |
| A-O1-V07 | Gang                           | 24,39 | Inperla C2 BR                             | 3  | 244 | Keine            |

|          |           |       |                                                              |    |     |                  |
|----------|-----------|-------|--------------------------------------------------------------|----|-----|------------------|
|          |           |       | 2TCT26/32                                                    |    |     | Angaben          |
| A-O1-V10 | Gang      | 53,71 | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32 ...<br>(26W) E Inperla<br>(1.000) | 13 | 728 | 46800            |
| A-O1-022 | Labor     | 24,58 | ENTERIO M39<br>RPV 135 E                                     | 6  | 228 | Keine<br>Angaben |
| A-O1-023 | Küche     | 13,61 | TRILUX Enterio<br>M59 RPV 249 E                              | 2  | 212 | Keine<br>Angaben |
| A-O1-V05 | Gang      | 40,18 | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                               | 5  | 280 | Keine<br>Angaben |
| A-O1-075 | Büro      | 19,31 | TRILUX Enterio<br>M59 RPV 249 E                              | 2  | 212 | 17200            |
| A-O1-034 | DNA-Labor | 24,8  | Enterio M39 RPV<br>149 E                                     | 6  | 318 | Keine<br>Angaben |

### 12.1.5. 2.Obergeschoß

| Raumnummer | Funktion                | Fläche [m²] | Leuchtkörper<br>(Trilux)         | Anzahl | ges. Leistung<br>[W] | Lichtstärke<br>[lm] |
|------------|-------------------------|-------------|----------------------------------|--------|----------------------|---------------------|
| A-O2-074   | Biophysikalisches Labor | 58,97       | Enterio M39 RPV<br>149 E         | 11     | 418                  | 47300               |
| A-O2-071   | Gefrierätzung           | 13,23       | Enterio M39 RPV<br>180 E         | 2      | 164                  | 12300               |
| A-O2-063   | Elektronenmikroskop     | 15,29       | Enterio M59 RPV<br>235 E         | 2      | 156                  | 17200               |
| A-O2-062   | Elektronenmikroskop     | 14,45       | Enterio M59 RPV<br>235 E         | 2      | 156                  | 17200               |
| A-O2-069   | Präperatives Labor      | 77,64       | Enterio M39 RPV<br>149 E         | 15     | 570                  | 64500               |
| A-O2-066   | Mikrofabrikation        | 22,19       | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E     | 4      | 468                  | 34800               |
| A-O2-014   | Isotopenlabor           | 18,06       | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E     | 3      | 351                  | 26100               |
| A-O2-004   | Besprechungsraum        | 37,48       | Enterio M59 RPV<br>235 E         | 6      | 468                  | 39600               |
| A-O2-V02   | Gang                    | 119,49      | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32       | 22     | 1232                 | 79200               |
| A-O2-034   | Mikroskopie             | 21,55       | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E     | 4      | 468                  | 34800               |
| A-O2-033   | Zellkultur              | 21,10       | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E     | 4      | 468                  | 34800               |
| A-O2-037   | Genetik Labor           | 124,59      | Enterio M39 RPV<br>149 E         | 31     | 1178                 | 133300              |
| A-O2-006   | Biologisches Labor      | 122,35      | Enterio M39 RPV<br>149 E         | 31     | 1178                 | 133300              |
| A-O2-029   | Mikrobiologie Labor     | 75,24       | Enterio M39 RPV<br>149 E         | 18     | 684                  | 77400               |
| A-O2-015   | Analytikraum            | 64,08       | Enterio M39 RPV<br>149 E         | 18     | 684                  | 77400               |
| A-O2-040   | Technischer Assistent   | 20,81       | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio | 2      | 156                  | 24600               |
| A-O2-039   | Technischer Assistent   | 18,31       | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio | 2      | 156                  | 24600               |
| A-O2-041   | Vertragsassistent       | 19,31       | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio | 2      | 156                  | 24600               |

|          |                    |       |                                   |   |     |       |
|----------|--------------------|-------|-----------------------------------|---|-----|-------|
| A-O2-053 | Diplomandenzimmer  | 18,31 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-055 | Dissertantenzimmer | 19,31 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-056 | Dissertantenzimmer | 18,31 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-042 | Gastprofessor      | 19,31 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-045 | Professorenzimmer  | 18,10 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-046 | Professorenzimmer  | 19,31 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-047 | Professorenzimmer  | 18,51 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-048 | Professorenzimmer  | 19,31 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-049 | Professorenzimmer  | 18,31 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-050 | Sekretariat        | 19,31 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-051 | Professorenzimmer  | 18,31 | Enterio M59 RPV<br>280 E Enterio  | 2 | 156 | 24600 |
| A-O2-017 | Fermentation       | 15,07 | Enterio M39 RPV<br>180 E          | 3 | 246 | 18450 |
| A-O2-020 | Stammsammlung      | 18,36 | Enterio M39 RPV<br>180 E          | 3 | 246 | 18450 |
| A-O2-025 | WC-D-Studenten     | 8,14  | TRILUX Inperla<br>C2 BR 2TCT26/32 | 2 | 112 | 7200  |
| A-O2-024 | WC-D-Personal      | 8,18  | TRILUX Inperla<br>C2 BR 2TCT26/32 | 2 | 112 | 7200  |
| A-O2-023 | WC-H-Personal      | 6,79  | TRILUX Inperla<br>C2 BR 2TCT26/32 | 2 | 112 | 7200  |
| A-O2-022 | WC-H-Studenten     | 6,79  | TRILUX Inperla<br>C2 BR 2TCT26/32 | 2 | 112 | 7200  |
| A-O2-035 | Schleuse           | 7,70  | Fidesca-BS 625 T<br>318 E         | 1 | 57  | 3900  |
| A-O2-058 | Schleuse           | 4,88  | Fidesca-BS 625 T<br>318 E         | 1 | 57  | 3900  |
| A-O2-065 | Schleuse           | 4,20  | Fidesca-BS 625 T<br>318 E         | 1 | 57  | 3900  |
| A-O2-077 | Lager              | 15,77 | E-Line T5 RW<br>1x80W E           | 4 | 328 | 24600 |
| A-O2-032 | Chemielager        | 5,41  | E-Line T5 RW<br>2x80W E           | 1 | 170 | 12300 |
| A-O2-076 | LB-Labor           | 10,83 | Enterio M39 RPV<br>180 E          | 2 | 76  | 12300 |
| A-O2-070 | Dünns.             | 8,70  | Enterio M39 RPV<br>180 E Enterio  | 2 | 76  | 12300 |
| A-O2-073 | AFN 1-4            | 25,33 | Enterio M39 RPV<br>180 E          | 6 | 228 | 36900 |
| A-O2-072 | EM-PRÄP-ALLG.      | 8,93  | Enterio M59 RPV<br>249 E          | 1 | 78  | 8600  |
| A-O2-007 | Wägeraum           | 8,74  | Enterio M59 RPV<br>249 E          | 1 | 78  | 8600  |
| A-O2-068 | Raster-EL-MK.      | 10,73 | Enterio M59 RPV<br>249 E          | 1 | 78  | 8600  |
| A-O2-067 | Kristallis.        | 7,40  | Enterio M59 RPV<br>249 E          | 1 | 78  | 8600  |
| A-O2-016 | Geräuschraum       | 52,60 | TRILUX Enterio<br>M39 RPV 135 E   | 9 | 342 | 29700 |

|          |                     |       |                                           |                             |      |                  |
|----------|---------------------|-------|-------------------------------------------|-----------------------------|------|------------------|
| A-O2-018 | Fermentation        | 57,55 | Enterio M39 RPV<br>149 E                  | 12                          | 456  | 51600            |
| A-O2-019 | Nährbodenküche      | 38,54 | Enterio M39 RPV<br>149 E                  | 12                          | 456  | 51600            |
| A-O2-021 | Mikrobiologie Labor | 51,40 | Enterio M39 RPV<br>149 E                  | 12                          | 456  | 51600            |
| A-O2-013 | Mikroskopie         | 3,13  | Enterio M39 RPV<br>135 E                  | 1                           | 38   | 3300             |
| A-O2-028 | Archiv              | 6,40  | E-Line T5 RW<br>1x35W E                   | 1                           | 38   | 3300             |
| A-O2-027 | Abstellraum         | 3,47  | E-Line T5 RW<br>1x35W E                   | 1                           | 38   | 3300             |
| A-O2-026 | Abstellraum         | 3,43  | E-Line T5 RW<br>1x35W E                   | 1                           | 38   | 3300             |
| A-O2-031 | Wäger               | 5,02  | E-Line T5 RPX<br>2x49W E                  | 1                           | 106  | 8600             |
| A-O2-061 | Archiv              | 9,70  | Enterio M39 RWV<br>135 E                  | 2                           | 76   | 6600             |
| A-O2-060 | Waschküche          | 28,27 | Enterio M39 PA<br>149 E                   | 6                           | 228  | 25800            |
| A-O2-075 | Patch-Clamp         | 5,44  | Enterio M39 RPV<br>180 E                  | 1                           | 38   | 6150             |
| A-O2-078 | Positiv-Duka        | 10,67 | E-Line T5 RW<br>1x35W E                   | 2                           | 76   | 6600             |
| A-O2-036 | Labor               | 15,15 | Enterio M39 RPV<br>180 E                  | 2                           | 76   | Keine<br>Angaben |
| A-O2-059 | Labor               | 18,89 | Enterio M39 RPV<br>180 E                  | 2                           | 76   | Keine<br>Angaben |
| A-O2-038 | Schleuse            | 5,21  | Fidesca-BS 625 T<br>318                   | 1                           | 57   | Keine<br>Angaben |
| A-O2-V07 | Gang                | 76,15 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                | 17                          | 1037 | Keine<br>Angaben |
| A-O2-V06 | Gang                | 18,65 | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E            | 4                           | 144  | Keine<br>Angaben |
| A-O2-V03 | Gang                | 91,78 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                | 17                          | 1037 | Keine<br>Angaben |
| A-O2-057 | Kopierraum          | 4,59  | Enterio M39 RPV<br>180 E                  | 1                           | 38   | 6150             |
| A-O2-V08 | Gang                | 23,82 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                | 3                           | 183  | Keine<br>Angaben |
| A-O2-V05 | Gang                | 33,88 | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E            | 4                           | 144  | Keine<br>Angaben |
| A-O2-V04 | Gang                | 45,46 | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32 ...<br>(26W) E | 13                          | 728  | Keine<br>Angaben |
| A-O2-064 | Lager               | 6,16  | E-Line T5 RW<br>1x35W E                   | 1                           | 36   | Keine<br>Angaben |
| A-O2-003 | Sozialraum          | 94,10 | Enterio<br>M39 RWV<br>135 E               | 12<br>Enterio M39 RWV 135 E | 456  | Keine<br>Angaben |

|          |              |       |                            |    |      |                  |
|----------|--------------|-------|----------------------------|----|------|------------------|
|          |              |       |                            |    |      |                  |
| A-O2-001 | Abstellraum  | 2,43  | E-Line T5 RW<br>1x35W E    | 1  | 38   | Keine<br>Angaben |
| A-O2-V01 | Liftvorplatz | 82,26 | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32 | 17 | 1037 | Keine<br>Angaben |
| A-O2-009 | Labor        | 12,67 | Enterio M39 RPV<br>180 E   | 2  | 76   | Keine<br>Angaben |

### 12.1.6. 3.Obergeschoß

| Raumnummer | Funktion             | Fläche [m²] | Leuchtkörper<br>(Trilux)                | Anzahl | ges. Leistung<br>[W] | Lichtstärke<br>[lm] |
|------------|----------------------|-------------|-----------------------------------------|--------|----------------------|---------------------|
| A-O3-005   | Eukarionten-Labor    | 87,42       | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E            | 14     | 1638                 | 121800              |
| A-O3-066   | Brutraum             | 3,68        | Enterio M39 RPV<br>135 E                | 1      | 82                   | 6150                |
| A-O3-068   | N2-Lager             | 5,02        | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E            | 1      | 117                  | 8700                |
| A-O3-070   | N2-Lager             | 4,65        | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E            | 1      | 117                  | 8700                |
| A-O3-012   | Rezeptur             | 16,20       | E-Line T5 RPX<br>2x49W E                | 2      | 328                  | 24600               |
| A-O3-018   | Geräteraum           | 15,64       | E-Line T5 RPX<br>2x49W E                | 2      | 328                  | 24600               |
| A-O3-034   | Geräteraum           | 11,74       | E-Line T5 RPX<br>2x49W E                | 2      | 328                  | 24600               |
| A-O3-037   | Waschküche           | 11,67       | E-Line T5 RPX<br>2x49W E                | 2      | 328                  | 24600               |
| A-O3-015   | Mobi-Labor           | 79,64       | Enterio M39 RPV<br>135 E                | 18     | 936                  | 77400               |
| A-O3-024   | Mobi-Labor           | 58,71       | Enterio M39 RPV<br>135 E                | 18     | 936                  | 77400               |
| A-O3-011   | Mikrotiter           | 78,31       | Enterio M39 RPV<br>135 E                | 18     | 936                  | 77400               |
| A-O3-016   | Drug Delivery        | 31,88       | Enterio M39 RPV<br>135 E                | 6      | 312                  | 25800               |
| A-O3-047   | Forschungslabor Poly | 32,25       | Enterio M39 RPV<br>135 E                | 6      | 312                  | 25800               |
| A-O3-031   | ACBR-labor           | 95,27       | TRILUX Fidesca-<br>BS 625 T 3TCL36<br>E | 16     | 1872                 | 139200              |
| A-O3-049   | Messraum Poly        | 36,17       | Enterio M39 RPV<br>135 E                | 9      | 342                  | 38700               |

|          |                        |        |                              |    |      |       |
|----------|------------------------|--------|------------------------------|----|------|-------|
| A-O3-048 | Massenspektroskopie    | 37,17  | Enterio M39 RPV<br>135 E     | 9  | 342  | 38700 |
| A-O3-050 | Büro                   | 34,47  | Enterio M59 RPV<br>235 E     | 6  | 468  | 39600 |
| A-O3-051 | Büro                   | 34,88  | Enterio M59 RPV<br>235 E     | 6  | 468  | 39600 |
| A-O3-V09 | Gang                   | 47,32  | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32   | 9  | 504  | 32400 |
| A-O3-059 | Büro                   | 13,78  | Enterio M59 RPV<br>235 E     | 2  | 156  | 17200 |
| A-O3-058 | Büro                   | 17,07  | Enterio M59 RPV<br>235 E     | 2  | 156  | 17200 |
| A-O3-060 | Büro                   | 13,78  | Enterio M59 RPV<br>235 E     | 2  | 156  | 17200 |
| A-O3-061 | Büro                   | 20,07  | Enterio M59 RPV<br>235 E     | 2  | 156  | 17200 |
| A-O3-052 | Büro                   | 12,50  | Enterio M59 RPV<br>235 E     | 2  | 156  | 17200 |
| A-O3-053 | Büro                   | 13,00  | Enterio M59 RPV<br>235 E     | 2  | 156  | 17200 |
| A-O3-046 | Molekularbiologielabor | 44,99  | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E | 7  | 819  | 60900 |
| A-O3-009 | Schleuse               | 4,62   | Fidesca-BS 625 T<br>318 E    | 1  | 57   | 3900  |
| A-O3-003 | Schleuse               | 4,70   | Fidesca-BS 625 T<br>318 E    | 1  | 57   | 3900  |
| A-O3-032 | Schleuse               | 4,30   | Fidesca-BS 625 T<br>318 E    | 1  | 57   | 3900  |
| A-O3-044 | Schleuse               | 2,64   | Fidesca-BS 625 T<br>318 E    | 1  | 57   | 3900  |
| A-O3-041 | Allgemeines Labor      | 115,21 | Enterio M39 RPV<br>135 E     | 21 | 1092 | 90300 |
| A-O3-056 | Analytik Labor         | 92,00  | Enterio M39 RPV<br>135 E     | 21 | 1092 | 90300 |
| A-O3-040 | Gen. Prot. EOM         | 89,79  | Enterio M39 RPV<br>135 E     | 21 | 1092 | 90300 |
| A-O3-029 | Kopierraum             | 3,47   | E-Line T5 RW<br>2x49W E      | 1  | 106  | 8600  |
| A-O3-030 | Abstellraum            | 3,43   | E-Line T5 RW<br>2x49W E      | 1  | 106  | 8600  |
| A-O3-007 | Biometrie              | 51,22  | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E | 8  | 936  | 69600 |

|          |                     |       |                                                                                                             |                     |      |       |
|----------|---------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------|-------|
| A-O3-008 | Primäre Zellkultur  | 61,22 | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E                                                                                | 9                   | 1053 | 78300 |
| A-O3-036 | Mikroskopieraum     | 9,10  | TRILUX E-Line T5<br>RPX 2x49W E                                                                             | 1                   | 106  | 8600  |
| A-O3-065 | Wägeraum            | 8,45  | TRILUX E-Line T5<br>RPX 2x49W E                                                                             | 1                   | 106  | 8600  |
| A-O3-013 | DNA Elekt.          | 8,02  | TRILUX E-Line T5<br>RPX 2x49W E                                                                             | 1                   | 106  | 8600  |
| A-O3-014 | Nasslabor           | 9,02  | TRILUX E-Line T5<br>RPX 2x49W E                                                                             | 1                   | 106  | 8600  |
| A-O3-020 | Entsorgung          | 12,68 | E-Line T5 RPX<br>2x80W E                                                                                    | 1                   | 170  | 12300 |
| A-O3-038 | Lager               | 11,16 | E-Line T5 RPX<br>2x80W E                                                                                    | 1                   | 170  | 12300 |
| A-O3-021 | Lager               | 7,77  | E-Line T5 RPX<br>2x49W E                                                                                    | 2                   | 212  | 17200 |
| A-O3-055 | Mikroskopieraum     | 14,32 | E-Line T5 RPX<br>2x49W E                                                                                    | 2                   | 212  | 17200 |
| A-O3-019 | FACS                | 11,56 | E-Line T5 RPX<br>2x49W E                                                                                    | 2                   | 212  | 17200 |
| A-O3-054 | Büro                | 18,22 | Enterio M39 RWV<br>135 E                                                                                    | 2                   | 76   | 6600  |
| A-O3-033 | Ozonfreier Messraum | 12,87 | Enterio M59 RPV<br>235 E                                                                                    | 2                   | 156  | 13200 |
| A-O3-039 | Messraum            | 13,12 | Enterio M59 RPV<br>235 E                                                                                    | 2                   | 156  | 13200 |
| A-O3-069 | N2-Vorrat           | 4,49  | Enterio M59 RPV<br>235 E                                                                                    | 1                   | 170  | 12300 |
| A-O3-027 | WC-D-Personal       | 8,18  | 6651/14 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66<br><br>Inperla C2 BR<br>1TCT26/32<br><br>Inperla C2 BR<br>2TCT26/32 | 1<br><br>2<br><br>1 | 128  | 8400  |
| A-O3-028 | WC-D-Studenten      | 8,14  | 6651/14 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66<br><br>Inperla C2 BR<br>1TCT26/32<br><br>Inperla C2 BR<br>2TCT26/32 | 1<br><br>2<br><br>1 | 128  | 8400  |
| A-O3-025 | WC-H-Studenten      | 6,83  | 6651/14 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66                                                                     | 1                   | 100  | 6600  |

|          |               |        |                                                                       |            |      |                  |
|----------|---------------|--------|-----------------------------------------------------------------------|------------|------|------------------|
|          |               |        | Inperla C2 BR<br>1TCT26/32                                            | 3          |      |                  |
| A-O3-026 | WC-H-Personal | 6,79   | 6651/14 E<br>Spiegelwandleuchten 66<br><br>Inperla C2 BR<br>1TCT26/32 | 1<br><br>3 | 100  | 6600             |
| A-O3-072 | Labor         | 18,88  | Enterio M39 RPV<br>149 E                                              | 6          | 312  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-045 | Labor         | 18,62  | Enterio M39 RPV<br>149 E                                              | 6          | 312  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-042 | Labor         | 44,70  | Fidesca-BS 625 T<br>3TCL36 E                                          | 7          | 819  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V10 | Gang          | 56,56  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/33                                            | 6          | 366  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V11 | Gang          | 46,24  | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                                        | 5          | 180  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V05 | Gang          | 23,04  | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                                        | 3          | 108  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V04 | Gang          | 26,14  | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                                        | 3          | 108  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V07 | Gang          | 23,50  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                                            | 4          | 244  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-057 | Kopierraum    | 5,32   | ENTERIO M59<br>RPV 249 E                                              | 1          | 104  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V08 | Gang          | 23,82  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32                                            | 3          | 183  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V06 | Gang          | 23,17  | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                                        | 3          | 108  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V04 | Gang          | 26,14  | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                                        | 3          | 108  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V10 | Gang          | 43,85  | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/33                                            | 6          | 366  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V02 | Gang          | 38,97  | TRILUX E-LINE<br>T5 RW 1x35W E                                        | 5          | 180  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-V01 | Gang          | 139,18 | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32                                            | 22         | 1232 | Keine<br>Angaben |
| A-O3-062 | Sozialraum    | 94,83  | Enterio M39 RWV<br>135 E                                              | 12         | 456  | Keine<br>Angaben |
| A-O3-063 | Lager         | 11,60  | Enterio M39 RWV<br>135 E                                              | 2          | 76   | Keine<br>Angaben |

|          |             |      |                         |   |    |                  |
|----------|-------------|------|-------------------------|---|----|------------------|
| A-O3-001 | Abstellraum | 2,38 | E-Line T5 RW<br>1x35W E | 1 | 38 | Keine<br>Angaben |
|----------|-------------|------|-------------------------|---|----|------------------|

### 12.1.7. Dachgeschoß

| Raumnummer | Funktion         | Fläche [m²] | Leuchtkörper<br>(Trilux)                                                   | Anzahl     | ges. Leistung<br>[W] | Lichtstärke<br>[lm] |
|------------|------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------|---------------------|
| A-DG-002   | Büro             | 29,96       | Enterio M59 RPV<br>249 E                                                   | 4          | 312                  | 34400               |
| A-DG-006   | Büro             | 31,93       | Enterio M59 RPV<br>249 E                                                   | 3          | 327                  | 25800               |
| A-DG-007   | Besprechungsraum | 40,43       | Enterio M59 RPV<br>249 E                                                   | 3          | 327                  | 25800               |
| A-DG-009   | Großraumbüro     | 80,04       | Enterio M59 RPV<br>249 E                                                   | 8          | 827                  | 68800               |
| A-DG-V01   | Gang             | 60,66       | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32                                                 | 10         | 560                  | 36600               |
| A-DG-V02   | Gang             | 22,80       | Inperla C2 BR<br>2TCT26/32                                                 | 5          | 280                  | 18000               |
| A-DG-001   | Büro             | 21,42       | Enterio M59 RPV<br>235 E                                                   | 4          | 312                  | 26400               |
| A-DG-003   | WC-Damen         | 4,31        | 6651/14 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66<br><br>Inperla C2 BR<br>2TCT26/32  | 1<br><br>2 | 128                  | 8400                |
| A-DG-004   | WC-Herren        | 4,35        | 6651/14 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66<br><br>Inperla C2 BR<br>2TCT26/32  | 1<br><br>2 | 128                  | 8400                |
| A-DG-005   | Sanitärraum      | 3,67        | INPERLA C2 BR<br>2TCT26/32<br><br>6641C/18 E<br>Spiegelwandleucht<br>en 66 | 1<br><br>1 | 75                   | Keine<br>Angaben    |
| A-DG-008   | Abstellraum      | 2,67        | E-Line T5 RW<br>1x35W E                                                    | 1          | 38                   | Keine<br>Angaben    |