
DIPLOMARBEIT

Frau BSc
Nina Mastaller

**Möglichkeiten zur Ressour-
censchonung im Zuge einer
Beleuchtungsadaptierung**

Mittweida, 2024

Fakultät Ingenieurwissenschaften

DIPLOMARBEIT

Möglichkeiten zur Ressourcenschonung im Zuge einer Beleuchtungsadaptierung

Autor:

Frau BSc

Nina Mastaller

Studiengang:

Maschinenbau

Seminargruppe:

KM19wGEA

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Ralf Hartig

Zweitprüfer:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Schmoll

Einreichung:

Mittweida, 31. Juli 2024

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2024

Faculty Engineering sciences

DIPLOMA THESIS

Possibilities for optimising resources in the context of lighting adaptation

author:

Ms. BSc

Nina Mastaller

course of studies:

Mechanical engineering

seminar group:

KM19wGEA

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Ralf Hartig

second examiner:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Schmoll

submission:

Mittweida, 31. July 2024

defence/ evaluation:

Mittweida, 2024

Bibliografische Beschreibung:

Mastaller, Nina:

Möglichkeiten zur Ressourcenschonung im Zuge einer Beleuchtungsadaptierung. - 2024. - VI, 72 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften, Diplomarbeit, 2024

Referat:

Im Zuge der vorliegenden Arbeit werden verschiedene Grundbegriffe, sowie Systeme für die Lichtsteuerung und die Gebäudeautomation erläutert. Das Kernthema ist die Betrachtung unterschiedlicher Aspekte, welche sich durch die Umstellung der Leuchtmittel ergeben. Hierbei werden sowohl technische Möglichkeiten zur Ressourcenschonung als auch soziale Rahmenbedingungen hinsichtlich des Energieeinsparungspotenzials erörtert. Weiters sind die Ziele, Anforderungen sowie die möglichen Risiken, welche sich bei einem Austausch ergeben, in der Arbeit enthalten.

Inhalt

Inhalt	.....	I
Abbildungsverzeichnis	.....	IV
Tabellenverzeichnis	.....	V
Abkürzungsverzeichnis	.....	VI
1	Übersicht	1
1.1	<i>Motivation</i>	1
1.2	<i>Zielsetzung</i>	1
1.3	<i>Kapitelübersicht</i>	2
2	Grundlagen	5
2.1	<i>Licht</i>	5
2.2	<i>Lichtstrom</i>	5
2.3	<i>Lichtstärke</i>	6
2.4	<i>Beleuchtungsstärke</i>	7
2.5	<i>Lichtausbeute</i>	8
2.6	<i>Leuchtdichte</i>	8
2.7	<i>Blendung</i>	8
2.8	<i>Reflexionsgrad</i>	9
2.9	<i>Lebensdauer</i>	9
2.10	<i>Lichtfarbe</i>	9
2.11	<i>Leuchten</i>	10
2.12	<i>Gasentladungslampen</i>	11
2.13	<i>LED</i>	13
2.14	<i>Vorschaltgeräte</i>	14
3	Rechtsgrundlagen	17
3.1	<i>Arbeitsstättenverordnung</i>	17

3.2	<i>ArbeitnehmerInnenschutzgesetz</i>	18
3.3	<i>DIN EN 12464-1:2021-11</i>	18
4	DALI	21
4.1	<i>ISO/OSI-Referenzmodell</i>	22
4.1.1	<i>Physikalische Schicht</i>	24
4.1.2	<i>Sicherungsschicht</i>	24
4.1.3	<i>Netzwerkschicht</i>	25
4.1.4	<i>Transportschicht</i>	26
4.1.5	<i>Sitzungsschicht</i>	27
4.1.6	<i>Darstellungsschicht</i>	28
4.1.7	<i>Anwendungsschicht</i>	28
5	KNX	31
5.1	<i>Netzwerktopologie</i>	31
5.2	<i>Übertragungsmedien</i>	32
5.3	<i>Kommunikationsprotokoll</i>	33
5.4	<i>Netzverwaltung</i>	34
5.5	<i>Gruppenadressierung</i>	35
5.6	<i>Datenformate und Schnittstellen</i>	36
5.7	<i>Verschlüsselung</i>	37
6	Ausgangslage	39
6.1	<i>Kurzvorstellung Gebäude</i>	39
6.2	<i>Aufstellung der Leuchtmittel</i>	40
6.3	<i>Lichtsteuerung</i>	43
6.4	<i>Energieverbrauch</i>	44
6.5	<i>Ticketauswertung</i>	47
7	Einsparungspotenzial	51
7.1	<i>Mengenreduktion</i>	51
7.2	<i>Lichtsteuerung</i>	51
7.3	<i>Dimmen</i>	53
7.4	<i>Aufmerksamkeit</i>	53
7.5	<i>Energieeffiziente Leuchtmittel</i>	54
8	Ziele und Anforderungen	57

8.1	<i>Mengenermittlung</i>	57
8.2	<i>Spezifikationen LED Leuchte</i>	59
8.3	<i>Lichtmessungen</i>	60
8.4	<i>Einsparungspotenzial</i>	60
9	Risiken	63
9.1	<i>Vorbereitung</i>	63
9.2	<i>Durchführung</i>	65
9.3	<i>Nachbereitung</i>	67
10	Conclusio	71
10.1	<i>Ergebnisse</i>	71
10.2	<i>Ausblick</i>	72
Literatur	.....	73
Selbstständigkeitserklärung	.....	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: LVK direkt strahlender Leuchten	6
Abbildung 2: LVK indirekt strahlender Leuchten.....	7
Abbildung 3: Verlauf des Stromverbrauchs der Beleuchtung in einer Woche.....	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erforderliche Lux für unterschiedliche Tätigkeitsbereiche	19
Tabelle 2: Daten zum Lichtsteuerungsbus DALI.....	21
Tabelle 3 OSI-Modell.....	23
Tabelle 4 Grundlegende KNX-Datenformate	36
Tabelle 5: Anzahl der vorhandenen Leuchten nach Bereich.....	41
Tabelle 6: Anzahl der vorhandenen Leuchten nach Geschoss	42
Tabelle 7: Stromverbrauch für die Beleuchtung pro Monat, 2023	45
Tabelle 8: Getauschte Leuchtmittel, 2023	48
Tabelle 9 Anzahl der benötigten LEDs nach Bereichen	57
Tabelle 10 Anzahl der benötigten LEDs nach Geschossen	58
Tabelle 11: Spezifikation der einzusetzenden LED.....	59

Abkürzungsverzeichnis

Cd	Candela
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
EVG	Elektronisches Vorschaltgerät
GMI	Gregor Mendel Institute
IMBA	Institut für molekulare Biotechnologie
IMP	Institut für molekulare Pathologie
ISO	International Standards Organization
KVG	Konventionelles Vorschaltgerät
LED	Lichtemittierende Diode
Lm	Lumen
LVK	Lichtverteilungskurve
Lx	Lux
ÖAW	Österreichische Akademie der Wissenschaften
OSI	Open Systems Interconnection
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
VBC1	Vienna-Biocenter-Campus 1, Standort IMP
VBC4	Vienna-Biocenter-Campus 4; Standort IMBA, GMI

1 Übersicht

Bei den Themen dieses einleitenden Kapitels handelt es sich sowohl um die Motivation als auch die Zielsetzung für die vorliegende Arbeit. Des Weiteren erfolgt ein kurzer Überblick über die einzelnen Kapitel.

1.1 Motivation

Ein verantwortungsbewusster Umgang mit vorhandenen Ressourcen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dies lässt sich einerseits durch die in jüngster Vergangenheit stark gestiegenen Energiekosten, andererseits mit einem stetig wachsenden Umweltbewusstsein erklären. Hinzu kommen rechtliche Rahmenbedingungen, wie beispielsweise EU-Richtlinien, und diverse Förderprogramme zur kontinuierlichen Steigerung der Energieeffizienz. Die Energie- und Umweltpolitik eines Unternehmens trägt wesentlich zu dessen Image bei und kann dieses sowohl positiv als auch negativ beeinflussen.

Die Beschränkung der Verwendung von Gefahrstoffen durch die von der EU erlassene Restriction of Hazardous Substances, kurz RoHS, Richtlinie 2011/65/EU führt unter anderem zu einem Verbot der Inverkehrbringung von Leuchtstofflampen. Bedingt durch diese Restriktion liegt, vor allem bei Bestandsgebäuden, der Fokus vermehrt auf alternativen Lichtquellen.

1.2 Zielsetzung

Der Ersatz von Leuchtstofflampen durch LED-Leuchtmittel ermöglicht sowohl die Einhaltung von rechtlichen Vorgaben als auch eine Steigerung hinsichtlich der Energieeffizienz. Im Zuge der vorliegenden Arbeit sollen verschiedene Grundbegriffe, sowie Systeme für die Lichtsteuerung und die Gebäudeautomation erläutert werden. Für eine praxisnahe Bearbeitung des Themas soll ein konkretes Forschungsgebäude herangezogen werden, welches in einem späteren Kapitel kurz vorgestellt wird. Des Weiteren sollen die Darstellung der Ausgangslage und eine Mengenermittlung Bestandteil dieser Arbeit sein.

Bei dem Kernthema handelt es sich um die Betrachtung unterschiedlicher Aspekte, welche sich in Zusammenhang mit der Umstellung der Leuchtmittel ergeben. Hierbei handelt es sich beispielsweise um technische Möglichkeiten zur Ressourcenschonung sowie soziale Komponenten hinsichtlich des Energieeinsparungspotenzials. Weiters sind die Ziele und Anforderungen bei einem Austausch der Leuchtmittel zu definieren. Um dies zu erreichen, ist eine Mengenermittlung der erforderlichen Leuchtmittel durchzuführen und eine Spezifikation, der am häufigsten benötigte Leuchte zu erstellen. Zusätzlich ist eine Erhe-

bung der möglichen Risiken im Zuge der Umstellung durchzuführen. Diese sollen in die Phasen der Vorbereitung, Durchführung sowie der Nachbereitung kategorisiert werden.

Bedingt durch die rechtliche Vorgabe der EU-Kommission ist eine Umstellung auf andere Leuchtmittel in dem gewählten Gebäude unumgänglich. LED gilt derzeit als State-of-the-art im Bereich der Beleuchtungstechnik und soll aus diesem Grund künftig eingesetzt werden.

Bedingt durch den begrenzten Umfang wird eine Berechnung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit bewusst ausgegrenzt und ist nicht Teil der vorliegenden Diplomarbeit. Eine Bewertung des Austausches der Leuchtmittel aus ökonomischer Sicht wird aufgrund des zwingenden Handlungsbedarfs nicht durchgeführt.

1.3 Kapitelübersicht

Die vorliegende Diplomarbeit besteht aus zehn Kapiteln, beginnend mit der allgemeinen Einleitung in **Kapitel 1**.

Mit dem **Kapitel 2** wird das Ziel verfolgt, eine einheitliche Wissensbasis zu schaffen, welche für die vorliegende Arbeit erforderlich ist. Hierfür werden unterschiedliche Begriffe näher erläutert.

Das darauffolgende **Kapitel 3** befasst sich mit einer Auswahl an gültigen Rechtsgrundlagen, welche Vorgaben oder Empfehlungen in Hinblick auf die Beleuchtung am Arbeitsplatz beinhalten. Hierfür werden je eine Norm, ein Gesetz sowie eine Verordnung herangezogen.

Kapitel 4 bietet einen Einblick in das Digital Addressable Lighting Interface, kurz DALI, welches die vollumfängliche Steuerung der Beleuchtung ermöglicht und in dem gewählten Gebäude zur Anwendung kommt. Hierfür wird unter anderem der Aufbau mit Hilfe des ISO/OSI-Referenzmodells beschrieben.

Das darauffolgende **Kapitel 5** widmet sich unterschiedlichen Aspekten des Bussystems KNX. Dieses wird für die Gebäudeautomation des betrachteten Gebäudes eingesetzt.

Eine kurze Vorstellung des Gebäudes, sowie eine Mengenaufstellung der aktuell verwendeten Leuchten findet sich in **Kapitel 6** wieder. Weiters sind Informationen hinsichtlich der Lichtsteuerung und eine Abschätzung des Energiebedarfs der Beleuchtung beinhaltet. Zusätzlich wird die aufgewendete Arbeitszeit für den Tausch defekter Leuchtmittel in einem Kalenderjahr berechnet.

Kapitel 7 dient der Identifizierung von unterschiedlichen Maßnahmen, welche durch ihre Umsetzung, zu einer Reduktion der erforderlichen Ressourcen führen. Hierfür werden sowohl technische als auch soziale Aspekte berücksichtigt.

Die Ziele und Anforderungen bei einem Austausch der Leuchtmittel sind das Thema von **Kapitel 8**. Hierfür wird eine Mengenermittlung durchgeführt und die Spezifikation für jene, am häufigsten benötigte, Leuchte wird definiert. Weiters werden Ziele hinsichtlich Lichtmessungen und Energieeinsparung thematisiert.

Aufgrund der Komplexität des betrachteten Gebäudes werden mögliche Risiken in **Kapitel 9** erörtert. Diese werden nach den Phasen Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung kategorisiert.

Den Abschluss dieser Diplomarbeit bildet **Kapitel 10** mit einer Zusammenfassung der zuvor gewonnenen Erkenntnisse und einem Ausblick.

2 Grundlagen

Mit diesem Kapitel wird das Ziel verfolgt, einen einheitlichen Wissensstand zu schaffen. Der Fokus liegt hierbei auf jenen Begriffen, welche in direktem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit stehen und somit für ihr Verständnis erforderlich sind. Zur Erreichung dieser Wissensbasis werden einerseits Definitionen und andererseits Formeln verwendet. Es werden grundlegende Begriffe wie beispielsweise Licht und damit zusammenhängende Bezeichnungen erläutert. Weiters werden jene Arten von Leuchtmitteln beschrieben, welche derzeit oder künftig in dem betrachteten Gebäude zur Anwendung kommen.

2.1 Licht

Licht wurde von Albert Einstein in der Relativitätstheorie als Welle beschrieben, welche kleine Stöße (=Quanten) aussendet. Somit ist es der sichtbare Teil einer elektromagnetischen Strahlung, welcher aus schwingenden Energiequanten besteht. Licht trägt nicht nur zur Erfüllung verschiedener Sehauflagen bei, sondern hat auch psychologische Auswirkungen auf Stimmung und Wohlbefinden. Natürliches Tageslicht und der unterschiedliche Tages- und Jahresverlauf haben Auswirkungen auf den Hormonhaushalt und beeinflussen den Tag-Nacht-Rhythmus. Sonnenlicht ist in Hinblick auf den Tages- und Jahresverlauf nicht konstant und die Beleuchtungsstärke variiert stark. In hellem Sonnenlicht können bis zu 100.000 Lux gemessen werden, in einer monderleuchteten Nacht lediglich 0,2 Lux. Eine geeignete Beleuchtung hat somit unmittelbaren Einfluss auf die Gesundheit des Menschen. Die Beleuchtung sollte ein störungsfreies und scharfes Sehen ermöglichen, blendfrei und angenehm sein. Weiters sollen positive Gefühle herbeigeführt und Räume angenehm gestaltet werden. Licht soll den biologischen Rhythmus unterstützen und die Personen entweder aktivieren oder entspannen.¹

2.2 Lichtstrom

Der Lichtstrom gibt die gesamte Lichtleistung an und hat die Maßeinheit Lumen (lm). Er definiert die Menge an Licht, welche von einer Lichtquelle in alle Richtungen emittiert wird. Die Ermittlung des Lichtstroms erfolgt durch spezielle Messgeräte oder durch Berechnungen und ist ein Maßstab für die vom menschlichen Auge vernommene Gesamthelligkeit

¹ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe: Energietechnische Optimierungskonzepte für Unternehmen*, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutschland: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020, S. 580f

der Leuchte. Diese Helligkeit wurde bei Glühlampen in aufgenommener elektrischer Leistung in Watt angegeben, bei effizienten Leuchtstofflampen oder LEDs wird sie als Lichtstrom in Lumen angeführt.²

2.3 Lichtstärke

Da das Licht in einer Leuchte meist gerichtet emittiert wird ist die Angabe des Lichtstroms allein meist nicht ausreichend und es ist zusätzlich die Verteilung des Lichtstroms pro Raumwinkel anzuführen. Die Lichtstärke beschreibt jenen Teil des Lichtstroms, welcher in die gewünschte Richtung strahlt. Die Einheit der Lichtstärke ist Candela (cd) und kann grafisch in einem Polardiagramm, auch Lichtstärkeverteilungskurven (kurz LVK) genannt, dargestellt werden.³ Diese Lichtstärkenverteilungskurven werden eingesetzt, um die Strahlungsrichtung der Leuchte darzustellen. Dies erfolgt über Diagramme mit Polarkoordinaten.⁴

Nachfolgende Abbildung zeigt unterschiedliche, direkt strahlende Leuchten. Diese können symmetrisch tief oder breit strahlend sowie asymmetrisch strahlend sein.

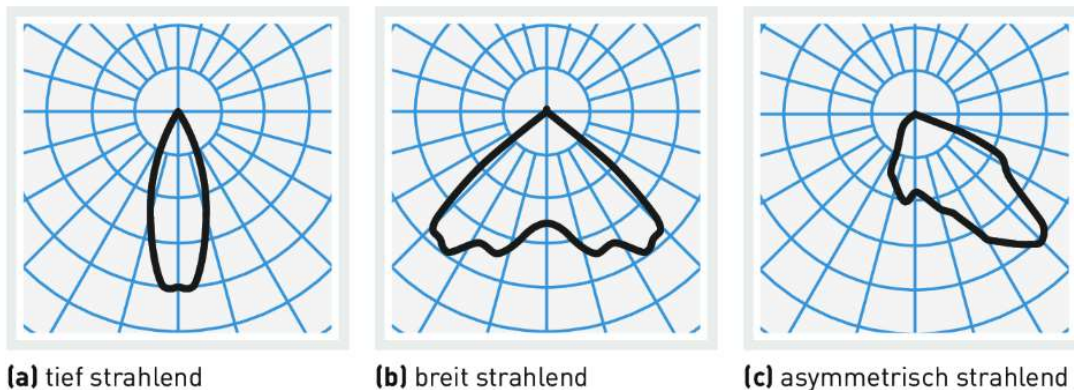


Abbildung 1: LVK direkt strahlender Leuchten ⁵

² Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 581

³ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 581f

⁴ Vgl. Willems, Wolfgang M. (Hrsg): *Lehrbuch der Bauphysik: Wärme – Feuchte – Klima – Schall – Licht – Brand*, 9. Auflage, Wiesbaden, Deutschland: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022, S. 871

⁵ o.V.: Lichtstärkeverteilungskurven. <https://www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/leuchten/lichttechnische-klassifizierung/lichtstaerkeverteilungskurven/> . [20.05.2024, 18:54]

Die nächste Abbildung zeigt die Leuchtstärkenverteilungskurve von Leuchten, welche zu dem direkten Teil zusätzlich einen indirekt strahlenden Anteil besitzen, beziehungsweise zur Gänze indirekt strahlen.

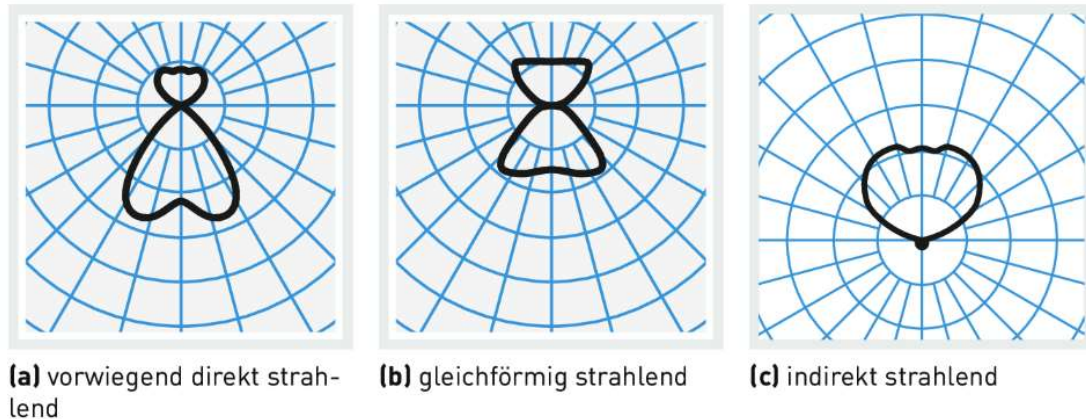


Abbildung 2: LVK indirekt strahlender Leuchten⁶

2.4 Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke ist jener Teil des Lichtstroms, welcher auf eine Fläche fällt. Sie wird in Lumen pro Quadratmeter (lm/m^2) angegeben, was der Einheit Lux (lx) entspricht. Die Ermittlung der Beleuchtungsstärke erfolgt durch die Messung mit einem Luxmeter oder durch Berechnung. Die Fläche kann horizontal, vertikal oder schräg von oben beleuchtet werden.⁷

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

Formel 1: Berechnung der Beleuchtungsstärke

⁶ o.V.: Lichtstärkeverteilungskurven. <https://www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/leuchten/lichttechnische-klassifizierung/lichtstaerkeverteilungskurven/> . [20.05.2024, 18:54]

⁷ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 582

2.5 Lichtausbeute

Die Lichtausbeute gibt Auskunft über die Energieeffizienz einer Lichtquelle. Sie gibt an wie viel elektrische Leistung für die Hervorbringung eines gewissen Lichtstroms benötigt wird. Sie besitzt die Einheit Lumen pro Watt (lm/W). Energieeffiziente Lampen weisen eine hohe Lichtausbeute auf. Neben der Energieeffizienz der Lampe muss die Energieeffizienz des kompletten lichttechnischen Systems betrachtet werden. Dieses besteht aus Lichtquelle, Leuchte, Optiken und Betriebsgeräten. Bei der Betrachtung der Lichtausbeute ist stets zwischen Laborwerten mit idealen Rahmenbedingungen und den geringeren Werten in der Praxis zu differenzieren.⁸

$$\eta = \frac{\phi}{P}$$

Formel 2: Berechnung der Lichtausbeute

2.6 Leuchtdichte

Die Leuchtdichte definiert, wie hell eine Fläche vom Auge wahrgenommen wird. Hierfür sind das Material und die Farbe der angestrahlten Oberfläche von Relevanz. Angegeben wird die Leuchtdichte in Candela je Quadratmeter (cd/m²).⁹

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi i}$$

Formel 3: Berechnung der Leuchtdichte

2.7 Blendung

Zu Blendung kann es direkt durch Lampen oder durch die Reflexion auf spiegelnden oder glänzenden Flächen kommen. Die Blendung ist abhängig von unterschiedlichen Faktoren wie der Leuchtdichte, der Größe der Lichtquelle, der Lage zum Menschen und der Hellig-

⁸ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 582f

⁹ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 582

keit von Umfeld und Hintergrund. Blendung kann nicht gänzlich vermieden werden, jedoch ist eine Begrenzung möglich. Diese kann durch die richtige Anordnung der Leuchten, einem abgeschirmten Lichtstrom, sowie helle Farben und matte Flächen erreicht werden. Um gute Ergonomie erzielen zu können, ist die Reflexblendung bei Büroarbeitsplätzen zu vermeiden.¹⁰

2.8 Reflexionsgrad

Bei dem Reflexionsgrad handelt es sich um jenen Teil des Lichtstroms, welcher von einer Fläche reflektiert wird. Um einen annähernd gleichen Eindruck an Helligkeit zu erzeugen, ist bei dunklen Oberflächen eine höhere Beleuchtungsstärke erforderlich als bei hellen Oberflächen. Dies ist abhängig von der Reflexionswirkung, welche bei dunklen Flächen geringer ist als bei hellen.¹¹

2.9 Lebensdauer

Die Lebensdauer einer Leuchte wird in der Regel in Stunden angegeben. Bei LEDs, Hochdruckentladungslampen und Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen mit Stecksockel wird diese als Bemessungslebensdauer angeführt. Die eben erwähnten Leuchtmittel verlieren im Laufe ihrer Betriebsdauer an Helligkeit, was als Degradation bezeichnet wird. Die Bemessungslebensdauer gibt an, nach welchem Zeitraum der Lichtstrom den angeführten Wert erreicht hat. Bei Allgemeinbeleuchtung wird häufig der Wert L80 oder L70 angegeben. Dieser bedeutet, dass bei einem Lichtstrom von 70% des Neuwertes die mittlere Bemessungslebensdauer der Leuchte erreicht ist. In Hinblick auf die Degradation beziehungsweise das vollständige Versagen des Leuchtmittels sind sowohl der Durchlassstrom als auch die Innentemperatur der Leuchte zu berücksichtigen. Bei Modulen zählen die elektrische Verschaltung, die Umgebung, die Betriebstemperatur und weitere Moduleigenschaften zu den Einflussfaktoren.¹²

2.10 Lichtfarbe

Bei der Lichtfarbe handelt es sich um die Eigenfarben der unterschiedlichen Lichtquellen. Diese wird über die Farbtemperatur bestimmt und in einer Kelvin-Skala angegeben. Bei niedrigen Temperaturen wirkt das Licht warmweiß, bei höheren Temperaturen erscheint

¹⁰ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 583

¹¹ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 583

¹² Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 585

das Licht kaltweiß. Für die Festlegung der Farbtemperatur wird ein schwarzer Strahler, welcher auch Planck'schen Strahler genannt wird, eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein ideal glühendes Material, welches mit dem Farbeindruck einer Leuchte im menschlichen Auge verglichen wird. Durch das Aufheizen des Strahlers verändert sich die Farbe von Rot zu Orange, Gelb, Weiß und schließlich bis hin zu Hellblau. Bei Temperaturen bis zu rund 3300K erhält man warme, also gelblich-rötliche Lichtfarben. Liegt die Farbtemperatur über 5300K wirkt das Licht kühler, sprich weißlich-bläulich. Hierbei handelt es sich um tageslichtähnliche Lichtfarben. Bedingt durch unterschiedliche spektrale Zusammensetzungen kann es bei Leuchten mit identischer Lichtfarbe zu einer ungleichen Farbwiedergabequalität kommen. Diese Abweichungen werden mittels Ra-Wert angegeben. Hierbei stehen Werte ≥ 90 für eine hervorragende Farbwiedergabequalität und Werte ≤ 20 stehen für bedingt gute Qualität, da Leuchten mit diesem Ra-Wert kein Farbsehen erlauben. Dies ist beispielsweise bei Natriumdampfniederdrucklampen der Fall.¹³

Die Lichtfarbe hat einen direkten Einfluss auf den menschlichen Tagesrhythmus. Für einen optimalen Einsatz ist es empfehlenswert den natürlichen Tageslichtverlauf zur Orientierung heranzuziehen. Während der Arbeit ist es empfehlenswert weißes Licht mit einem hohen Anteil von Blau mit zumindest 5300K einzusetzen. Dies kann durch den Einsatz von Leuchtstofflampen mit entsprechendem Blauanteil oder mittels LEDs mit 6000-8000 K erreicht werden. Im Gegensatz hierzu wirken warme Lichtfarben, unter 3300 K, kombiniert mit einer reduzierten Beleuchtungsstärke entspannend auf den menschlichen Organismus.¹⁴

2.11 Leuchten

Der Begriff Leuchten steht für den kompletten Beleuchtungskörper, welcher für die Befestigung, den Betrieb und den Schutz der Lampe verantwortlich ist. Die Leuchte ist zuständig für die Verteilung und Lenkung des Lichts und bietet außerdem Schutz vor Blendung. Durch spezielle Vorsätze an den Leuchten kann das Licht gefiltert oder eingefärbt werden, wodurch eine Änderung der Lichtfarbe und der Farbwiedergabe hervorgerufen werden kann. Generell wird zwischen Leuchten für den Innen- beziehungsweise Außenbereich differenziert.¹⁵

¹³ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 585f

¹⁴ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 585f

¹⁵ Vgl. Wosnitza, Franz; Hilgers, Hans Gerd: *Energieeffizienz und Energiemanagement: Ein Überblick heutiger Möglichkeiten und Notwendigkeiten*, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutschland: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2012, S. 357

Als Auswahlkriterien für die geeignete Leuchte können nachfolgende Punkte verwendet werden:¹⁶

- Art und Anzahl der Lampen
- Bauart
- Art der Montage
- Montage- oder Standort
- lichttechnische Eigenschaften
- elektrotechnische Eigenschaften
- zum Betrieb notwendige Bauteile: Vorschaltgeräte und Zündgeräte
- mechanische Eigenschaften, Schutzart und Brandschutzverhalten
- und schließlich Größe, Bauform und Design

Als lichttechnische Eigenschaften sind nachstehende vier Faktoren ausschlaggebend:¹⁷

- die Verteilung des Lichtstroms
- die Lichtstärke
- der Wirkungsgrad der Leuchte und
- die Blendungsbegrenzung bzw. Blendfreiheit

2.12 Gasentladungslampen

Gasentladungslampen gelten prinzipiell als energieeffizient. Durch einen Lichtbogen zwischen zwei Elektroden entsteht Strahlung. Diese Strahlung ist entweder direkt aus der Lampe als sichtbares Licht erkennbar, oder die entstandene UV-Strahlung wird mittels einer Leuchtstoffschicht auf der Kolbenwand in solches verarbeitet. Der Lichtstrom wird im Laufe der Nutzungsdauer geringer, sollte jedoch nicht unter einen Mindestwert, von beispielsweise 80% des Ausgangswertes, sinken. Bei Erreichen oder Unterschreiten dieses Werts ist die Leuchte bei ihrer Nutzlebensdauer angekommen. Für die Verwendung von Gasentladungslampen sind Vorschaltgeräte erforderlich, welche den Stromfluss begrenzen und einen Zündmechanismus besitzen. Elektronische Vorschaltgeräte werden bei Leuchtstofflampen und Hochdruckentladungslampen mit niedriger Leistung verwendet.¹⁸

Die Verwendung ist aufgrund nachfolgender Punkte als sinnvoll zu erachten:¹⁹

- Ruhiges, flimmerfreies Licht

¹⁶ Wosnitza, Franz; Hilgers, Hans Gerd: *Energieeffizienz und Energiemanagement*, S. 357

¹⁷ Wosnitza, Franz; Hilgers, Hans Gerd: *Energieeffizienz und Energiemanagement*, S. 357f

¹⁸ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 590

¹⁹ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 590

- Effizienter Lampenbetrieb
- Sofortiger Start
- Ausschalten defekter Leuchten
- Steuerbarkeit

Leuchtstofflampen zählen zu der Kategorie der Niederdruckgasentladungslampen. Für ihren Betrieb wird Quecksilberdampf mit niedrigem Druck eingesetzt, wodurch eine Entsorgung über den regulären Hausmüll nicht möglich ist. Für die Lichtfarbe sowie die Farbwiedergabe ist die chemische Zusammensetzung an der Kolbenwand verantwortlich. Leuchtstofflampen weisen eine lange Lebensdauer, sowie eine hohe Lichtausbeute auf. Der Lichtstrom ist abhängig von der Umgebungstemperatur und wird für jeden Lampentyp separat ausgewiesen. Diese können beispielsweise bei 5°C, 25°C oder 35°C liegen. Bei einer signifikanten Abweichung von diesen Werten nimmt der Lichtstrom deutlich ab. Stabförmige Leuchtstofflampen mit 16mm Rohrdurchmesser aus der Baureihe „hohe Lichtausbeute“ weisen hohe Effizienz und Wirtschaftlichkeit auf. Im Gegensatz hierzu stehen Leuchten aus der Baureihe „hoher Lichtstrom“. Diese kommen vorrangig in hohen Räumen zum Einsatz. Halogenmetaldampflampen und Natriumdampflampen zählen zu den Hochdruckentladungslampen mit weißem Licht, welches unterteilt werden kann in warmweiß, neutralweiß und tageslichtweiß. Bedingt durch zugesetzte chemische Verbindungen aus Metallen und Halogenen in der Lampenfüllung kommt es zu hoher Lichtausbeute und guter Farbwiedergabe. Aufgrund dessen, dass sich ihre Strahlung gut richten lässt, werden diese vorrangig in der Großflächenbeleuchtung, der Industriebeleuchtung sowie der Beleuchtung von Sportanlagen eingesetzt. Der Lichtstrom von Natriumlampen ist besonders hoch, weshalb sie als energieeffizient gelten. Sie erzeugen gelbliches Licht und kommen aufgrund der ungünstigen Farbwiedergabe vor allem in der Straßenbeleuchtung zur Anwendung.²⁰

Leuchtstofflampen verfügen über einen Bezeichnungsschlüssel, welcher unabhängig von dem Hersteller ist. Ein Beispiel hierfür lautet T8 58W840. Der Buchstabe T steht hierbei für die Bauweise Tube. Die nachfolgende Zahl konkretisiert den Durchmesser. Bei der Bezeichnung T5 handelt es sich um eine Leuchte mit einem Durchmesser von 16mm, T8 bedeutet einen Durchmesser von 26mm. Darauf folgt die Information zu der Leistungsaufnahme in der Einheit Watt. Bei dem herstellerunabhängigen Bezeichnungsschlüssel für Leuchtstofflampen geben die letzten drei Ziffern Informationen zu der Farbwiedergabequalität und der Lichtfarbe. Hierbei steht die erste Ziffer für die Farbwiedergabequalität und reicht von fünf bis neun. Fünf gibt eine schlechte Farbwiedergabe, mit einem Ra-Wert zwischen 50 und 60, an. Im Gegensatz hierzu deutet neun auf eine sehr gute Farbwiedergabe, mit einem Ra-Wert über 90, hin. Die Lichtfarbe wird durch die letzten zwei Zif-

²⁰ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 591

fern angegeben. Lauten diese beispielsweise 40 bedeutet dies 4000 K, 65 steht somit für 6500 K.²¹

2.13 LED

Der Abkürzung LED steht für lichtemittierende Diode. Diese Leuchten erzeugen Licht in minimalen elektronischen Bauteilen ohne umweltschädliche Stoffe. LEDs zeichnen sich durch ihre Steuerbarkeit, Langlebigkeit und Energieeffizienz aus. Bei dieser Art von Leuchte handelt es sich um ein elektronisches Halbleiterbauteil welches Licht erzeugt, als bald als Strom hindurchfließt. Um diese Lichterzeugung zu ermöglichen, ist es erforderlich Gleichspannung an einen Festkörperkristall anzulegen. Dadurch entsteht einen Ausgleich zwischen dem n-leitenden Raum mit dem Überschuss an Elektronen und dem p-leitenden Raum mit einem Mangel an Elektroden. Bedingt durch diesen Austausch wird das Licht emittiert. In Abhängigkeit von dem Material des Halbleiterkristalls entsteht monochromatisches Licht in einem expliziten, engen Wellenlängenbereich. Für die Erzeugung von weißem Licht bei einer LED können unterschiedliche Verfahren angewendet werden. Bei einem dieser Verfahren handelt es sich um die sogenannte Lumineszenzkonversion, welches ebenfalls bei Leuchtstofflampen angewendet wird. Hierbei wird eine Phosphorschicht oberhalb eines blauen LED-Chips aufgedampft. Dies führt dazu, dass das blaue Licht teilweise durch die Kombination mit dem gelbfarbigen Phosphor zu weißem Licht abgewandelt wird. Zusätzlich besteht die Möglichkeit einer additiven Mischung, wobei mit der Hilfe von rotem, grünem und blauem Licht, zusätzlich zu allen anderen Lichtfarben, ebenfalls weißes Licht erzeugt werden kann.²²

Generell kann zwischen drei LED-Bautypen unterschieden werden:²³

- Radiale LEDs
Hierbei handelt es sich um bedrahtete LEDs, welche als erstes LED-Modell entwickelt wurden. Sie weisen eine geringe Lichtausbeute auf, weshalb sie für simple Signalanzeigen eingesetzt werden, dadurch jedoch nicht für die Anwendung in der Beleuchtungstechnik geeignet sind.
- Surface Mounted Devices (SMD-LEDs)
Diese werden direkt auf einer Leiterplatte verklebt und mittels Lötbad kontaktiert. Bei diesem Bautyp kann sich der Chip entweder direkt auf dem Gehäuse befinden oder auf einem Plättchen mit Kontakten.

²¹ Vgl. Willems, Wolfgang M. (Hrsg): *Lehrbuch der Bauphysik*, S. 854

²² Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 591f

²³ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 592

- Chip on Board (COB-LEDs)
Hierbei wird der LED-Chip direkt auf der Platine verbaut und auf den Leiterplatten montiert. Zur Anwendung kommen diese bei lichtstarken, eng bebauten LED-Modulen. Nach Vervollständigung mit Betriebsgerät, Außenkolben und Sockel besteht die Möglichkeit eine herkömmliche Glühlampe durch eine LED auszutauschen.

LEDs können als Komplettsystem ohne austauschbaren LED-Modulen erworben werden. Es besteht die Möglichkeit LED-Lampen (LED-Retrofit, LED ni = nicht integriert) in bereits existierenden Leuchten zu verbauen. Diese stellen einen lichttechnisch einwandfreien, energieeffizienten und langlebigen Ersatz für konventionelle Lampen dar. Wird ein Tausch von Leuchtstofflampen auf LED durchgeführt kommt es zu einer Änderung der Lichtverteilung. Abhängig von der Montageart, Retrofit oder Konversion, kann ein Umbau der Leuchte erforderlich sein. LED-Module sowie LED-Module mit Vorschaltgerät (LED Light Engines) zeichnen sich durch hohe Energieeffizienz sowie eine lange Lebensdauer aus. Bei Modulen sind auf einem Träger LEDs angeordnet, des Weiteren sind Linsen und Reflektoren vorhanden. Diese Module können bereits betriebsfertig erworben werden. LED-Module (LED si = semi-integrated, LED i = integrated) gelten als wartungsfrei und erzeugen weißes sowie farbiges Licht mit guter Farbwiedergabe. Zusätzlich weisen sie eine unkomplizierte Steuerbarkeit und stufenlose Dimmbarkeit auf. In der Regel sind die LED-Module in der Leuchte integriert.²⁴

2.14 Vorschaltgeräte

Bei Leuchten ohne integrierten Betriebsgeräten ist ein externes Betriebsgerät erforderlich. Diese sind häufig in der Leuchte oder im dazugehörigen elektrischen Schaltkreis verbaut. Bei diesen Geräten kann zwischen elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) und konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) unterschieden werden. EVGs verfügen über eine gute Energieeffizienz und sorgen für flackerfreies Licht. Bei entsprechenden Voraussetzungen kann die Beleuchtung mit ihrer Hilfe gesteuert beziehungsweise gedimmt werden. Die Lebensdauer der EVGs hängt von der Qualität der verbauten Komponenten ab, wobei KVGs langlebiger gelten. LED-Module bieten die Möglichkeit der Steuerung mittels Spannung oder Strom, die Bauteile mit Betriebsgerätefunktion können direkt auf der Modulplatine verbaut sein. Bei Vorhandensein eines „intelligenten“ Steuerungs- oder Treibersystems mit relevanten Schnittstellen kann die Beleuchtung an den aktuellen Lichtbedarf angeglichen werden. Diese Funktion ist von großem Interesse, falls eine Energieeffizienzsteigerung mittels Tageslichtnutzung erzielt werden soll. LEDs werden mit Gleichstrom betrieben, wodurch ein Transformator mit Gleichrichterfunktion benötigt wird. Für stromgesteuerte LED-Module ist ein konstanter Ausgangsstrom, von beispielsweise 350mA,

²⁴ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 592f

700 mA oder 1050mA, erforderlich. Es ist ebenfalls nicht möglich Gasentladungslampen direkt an die Netzspannung anzuschließen. Hierfür wird ein Smartimpuls benötigt, welcher eine Zündung herbeiführt. Diese kann mittels externem Zündgerät oder eingebautem Innenzündler beziehungsweise Zündmechanismus erfolgen. Im Anschluss an die Zündung ist es notwendig den fließenden Strom zu begrenzen. Im EVG sind der sowohl der Zündmechanismus als auch der Strombegrenzer kombiniert. Der Einsatz von EVGs kann im Vergleich zu KVGs zu einer Energieeinsparung von 20-25% führen.²⁵

²⁵ Vgl. Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 596f

3 Rechtsgrundlagen

Ein unumgänglicher und wesentlicher Aspekt eines jeden Projekts ist stets die Wahrung der Rechtskonformität. Aus diesem Grund findet sich dieses Thema auch in der vorliegenden Arbeit wieder. Ziel dieses Kapitels ist die Analyse unterschiedlicher Rechtsgrundlagen, welche für das betrachtete Institut zur Anwendung kommen. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei stets auf der Thematik der Beleuchtung am Arbeitsplatz. Hierfür werden je ein Gesetz, eine Verordnung sowie eine Norm herangezogen. Konkret werden sowohl Vorgaben als auch Richtlinien aus der Arbeitsstättenverordnung, dem ArbeitnehmerInnen-schutzgesetz und der DIN EN 12464-1: 2021-11 zusammengefasst.

3.1 Arbeitsstättenverordnung

Gemäß der Arbeitsstättenverordnung sind Räume gemäß der Nutzungsart angemessen zu beleuchten. Des Weiteren sind die Lichtschalter bei den Ein- beziehungsweise Ausgängen eines jeden Raumes zu positionieren und müssen leicht zugänglich sein. Bei Bedarf ist dafür Sorge zu tragen, dass diese auch in der Dunkelheit erkennbar sind. Die Beschaffenheit und Montage der Leuchten sind so auszuführen, dass eine Gefährdung der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer auszuschließen ist.²⁶

Künstliche Beleuchtung hat die Anforderung so gleichmäßig und farbneutral als möglich zu sein. Bei entsprechender Nutzungsart hat die Beleuchtungsstärke im gesamten Raum, 0,85 m über dem Boden, zumindest 100 Lux aufzuweisen. Bei Bedarf sind Arbeitsplätze zusätzlich zu beleuchten. Hierfür ist der Stand der Technik, die Sehaufgabe sowie etwaige Gefährdungen am entsprechenden Arbeitsplatz zu beachten. Die Gestaltung des Arbeitsbereiches und die Auswahl und Positionierung der Leuchten hat so zu erfolgen, dass große Leuchtdichten, große Leuchtdichtenunterschiede, Flimmern, stroboskopische Effekte und direkte und indirekte Blendung der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer ausgeschlossen werden können.²⁷

²⁶ Vgl. §5, *Arbeitsstättenverordnung*

²⁷ Vgl. §29, *Arbeitsstättenverordnung*

3.2 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz

Gemäß dem ArbeitnehmerInnenschutzgesetz ist bei Arbeitsplätzen im Inneren von Gebäuden ausreichend Tageslicht zu gewährleisten. Weiters ist eine für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz entsprechende künstliche Beleuchtung zu verbauen.²⁸

Für sonstige Betriebsräume ist während der Zeit, in welcher Arbeiten in den entsprechenden Räumen durchgeführt werden, eine für die Arbeitsvorgänge angemessene, künstliche Beleuchtung zu Verfügung zu stellen.²⁹

Des Weiteren sind Bildschirmarbeitsplätze ebenfalls mit angemessener Beleuchtung auszustatten. Unter allen Umständen sind sowohl die Reflexion als auch die Blendung so weit als möglich zu vermeiden.³⁰

3.3 DIN EN 12464-1:2021-11

In der DIN EN 12464-1:2021-11 sind Anforderungen hinsichtlich der Quantität und Qualität der Beleuchtung für Arbeitsplätze in geschlossenen Räumen zu finden. Es wird von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern mit entweder normalem oder korrigiertem Sehvermögen ausgegangen. Des Weiteren sind in dieser Norm Empfehlungen hinsichtlich der Umsetzung enthalten. In Bezug auf die Sicherheit und die Gesundheit der arbeitenden Personen werden keine Anforderungen an die Beleuchtung gestellt, da diese in der Arbeitsstättenverordnung beinhaltet sind.³¹

In der nachfolgenden Auflistung finden sich die bedeutendsten Aspekte wieder, welche die Lichtumgebung definieren:³²

- Leuchtdichteverteilung;
- Beleuchtungsstärke;
- Blendung;
- Lichtrichtung, räumliche Beleuchtung;
- Farbwiedergabe und Lichtfarbe des Lichts;
- Flimmern;

²⁸ Vgl. §21 (2), *ArbeitnehmerInnenschutzgesetz*

²⁹ Vgl. §23 (4), *ArbeitnehmerInnenschutzgesetz*

³⁰ Vgl. §67 (3), *ArbeitnehmerInnenschutzgesetz*

³¹ Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 12464-1:2021, *Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2021, S. 7

³² DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 12464-1:2021, *Licht und Beleuchtung*, S. 9

- Variabilität des Lichts (Niveau und Farbe des Lichts).

Hinsichtlich der oben angeführten Kriterien sind in der betrachteten Norm sowohl Beschreibungen als auch Anforderungen beziehungsweise Empfehlungen vorhanden. Kapitel sieben widmet sich den Beleuchtungsanforderungen in Hinblick auf die Aufgaben- und Tätigkeitsbereiche. Jene, für die vorliegende Arbeit, relevanten Bereiche werden in den Tabellen 9, 10, 11, 12, 34 sowie 57 behandelt. In der nachfolgenden Tabelle sind Informationen enthalten wie, die Nummer der herangezogenen Tabelle, der betrachtete Tätigkeitsbereich, die dazugehörige Referenznummer sowie die erforderlichen Lux gemäß der Norm.³³

Tabelle 1: Erforderliche Lux für unterschiedliche Tätigkeitsbereiche

Tabellennummer	Tätigkeitsbereich	Referenznummer	Erforderliche Lux
9	Korridore und Verkehrsflächen	9.1	100
10	Pausenräume	10.2	100
10	Garderobe, Waschräume, Wasch- und Toilettenbereiche	10.4	200
11	Betriebsräume, Schalträume	11.1	200
12	Lagerräume	12.1	100
34	Büro, Schreiben, Tippen, Lesen, Datenverarbeitung	34.2	500
57	Laboratorien, Allgemeinbeleuchtung	57.1	500

³³ Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 12464-1:2021, *Licht und Beleuchtung*, S. 32ff

4 DALI

Die Abkürzung DALI steht für Digital Addressable Lighting Interface und es handelt sich dabei um eine standardisierte digitale Schnittstelle für EVGs. Bei dem Einsatzgebiet handelt es sich um die Lichtsteuerung mit Hilfe der involvierten DALI-Komponenten. Es besteht die Möglichkeit die einzelnen Geräte entweder individuell zu adressieren oder sie gleichwertig zuzuordnen. DALI zeichnet sich durch intelligentes, funktionales Lichtmanagement sowie eine unkomplizierte Anwendung und Effizienz aus. Bei DALI handelt es sich nicht um ein System, sondern um eine Schnittstellendefinition, welche als preiswertes Subsystem in ein übergeordnetes Gebäudemanagementsystem integriert werden kann. Eine Adaptierung der Verdrahtung ist bei DALI nicht erforderlich und die Lichtsteuerung eines Raumes kann zur Gänze über einen Gateway-Knoten erfolgen. DALI ermöglicht nicht nur die Schaltung und Dimmung des Lichts, sondern darüber hinaus auch die Steuerung von farbigen Lichtszenarien bei LEDs, Leuchtstofflampen und Halogenmetaldampflampen.³⁴

Es besteht die Möglichkeit über jeden Kanal bis zu 64 Teilnehmer anzusteuern, welche zu 16 Gruppen zugeordnet werden können. Weiters können 16 Lichtszenarien für jeden Kanal programmiert werden. Mit Hilfe von DALI besteht die Möglichkeit Fehler zu detektieren. Für den Einsatz werden ein KNX-Bus und DALI-Gateways benötigt.³⁵

In nachstehender Tabelle sind Informationen zum Lichtsteuerungsbus DALI zu finden.

Tabelle 2: Daten zum Lichtsteuerungsbus DALI³⁶

Definition in der Vorschaltgeräte-Norm IEC 60 929:	16 frei programmierbare Szenen
	16 frei programmierbare Gruppen
	Szenenspeicherung
	64 Betriebsgeräte (pro DALI-System)

³⁴ Vgl. Wosnitza, Franz; Hilgers, Hans Gerd: *Energieeffizienz und Energiemanagement*, S. 381ff

³⁵ Vgl. Wosnitza, Franz; Hilgers, Hans Gerd: *Energieeffizienz und Energiemanagement*, S. 439

³⁶ Wosnitza, Franz; Hilgers, Hans Gerd: *Energieeffizienz und Energiemanagement*, S. 382

Länge der gesamten Busleitung:	max. 300m
max. Systemstrom:	250mA
Spannungsabfall zwischen Sender und Empfänger:	max. 2V
Rückmeldung von Informationen:	Lampe defekt Dimmwert Information zum Lampentyp
Adressierbare Empfänger:	Gruppen-, Individual- und Broadcastadressen
Steuerleitung:	potenzialfrei, Zweidraht keine Abschlusswiderstände notwendig
Nutzdatenübertragungsrate:	1200 bit/s
Low-Pegel:	0V (-4,5V bis +4,5V)
High-Pegel:	16V (9,5V bis 22,5V)
Dimmbereich:	(1-100) %, programmierbar

4.1 ISO/OSI-Referenzmodell

Für den Austausch von Daten zwischen Rechnern bedarf es einer Richtlinie hinsichtlich der Art und Weise der Kommunikation. 1983 wurde hierfür die ISO-Norm 7498 von der International Standards Organization (ISO) entwickelt. Es handelt sich um ein Referenzmodell für Rechnerkommunikation und trägt den Titel „Basic Reference Model for Open Systems Interconnection (OSI)“. Aufgrund der Einteilung in sieben Schichten wird dieses Referenzmodell auch als OSI-Schichtenmodell bezeichnet. Den einzelnen Ebenen sind konkrete Aufgaben zugeordnet. Jeder Kommunikationspartner verfügt über alle der sieben Schichten. Die Kommunikation zwischen den Ebenen erfolgt über festgelegte Schnittstellen. An diesen Schnittstellen werden Dienste zu Verfügung gestellt, welche von den benachbarten Schichten abgegriffen werden können. Da dieses Modell keine Anga-

ben hinsichtlich der Implementierung von den einzelnen Ebenen macht, besteht die Möglichkeit Komponenten unterschiedlicher Hersteller zu kombinieren. Die Ebenen 1 bis 4 werden als Übertragungsschichten beziehungsweise Transportsystem bezeichnet, da diese für die Übermittlung von Daten zwischen den Endgeräten verantwortlich sind. Die Ebenen 5 bis 7 übernehmen bei der Datenübertragung das Zusammenspiel von Anwenderprogramm und Betriebssystem des eingesetzten Rechners, aus diesem Grund werden sie Anwendungsschichten genannt.³⁷

Nachfolgende Tabelle stellt die einzelnen Ebenen des von ISO entwickelten OSI-Modells dar, mit den dazugehörigen Bezeichnungen sowie Erläuterungen.

Tabelle 3 OSI-Modell³⁸

Nr.	Bezeichnung	Erläuterungen
7	Anwendungsschicht (Application Layer)	Stellt die auf dem Netzwerk basierenden Dienste für die Programme des Endanwenders bereit (Datenübertragung, elektronische Post usw.)
6	Darstellungsschicht (Presentation Layer)	Legt die Anwenderdaten-Strukturen fest und konvertiert die Daten, bevor sie zur Sitzungs- bzw. Anwendungsschicht gegeben werden (Formatierung, Verschlüsselung, Zeichensatz)
5	Sitzungsschicht (Session Layer)	Definiert eine Schnittstelle für den Auf- und Abbau von Sitzungen, d.h. zur Benutzung der logischen Kanäle des Transportsystems
4	Transportschicht (Transport Layer)	Stellt fehlerfreie logische Kanäle für den Datentransport zwischen den Teilnehmern bereit

³⁷ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, 9. Auflage, Wiesbaden, Deutschland: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019, S. 9f

³⁸ Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 10

3	Netzwerkschicht (Network Layer)	Transportiert die Daten von der Quelle zum Ziel und legt die Wege der Daten im Netz fest
2	Datenverbindungsschicht (Data Link Layer)	Legt die Datenformate für die Übertragung fest und definiert die Zugriffsart zum Netzwerk. Sie wird in die „Zugriffssteuerung für das Medium“ (MAC) und die „Logische Ankopplungs-Steuerung“ (LLC) unterteilt
1	Physikalische Schicht (Physical Layer)	Definiert die elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Leitung, Pegeldefinition

4.1.1 Physikalische Schicht

Bei Schicht 1, der physikalischen Schicht (Physical Layer), handelt es sich um jenen Teil, welcher die physikalische Strecke definiert. Sie dient der Definition auf welche Art die Datenübertragung der Bits aus physikalischer Sicht durchgeführt wird und umfasst sowohl elektrische als auch mechanische Informationen. Zu diesen Informationen zählen:

- Codierungsart
- Spannungspegel
- Festgelegte Zeitdauer für einzelne Bits
- Art der Übertragungsleitung
- Endsystemkopplung (Stecker)
- Zuweisung der Anschlüsse (Pinbelegung)

Ein Austausch dieser Schichten kann ohne die Beeinflussung der übrigen Ebenen erfolgen.³⁹

4.1.2 Sicherungsschicht

Ebene 2, die Sicherungsschicht (Data Link Layer), ist für den sicheren Datentransport verantwortlich. Es besteht die Möglichkeit für andere Stationen Übertragungsfehler zu detektieren. Um dies zu ermöglichen, werden jene zu transportierenden Informationen in

³⁹ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 11

Rahmen, sogenannten data frames eingeteilt. Jeder dieser Rahmen beinhaltet eine maximal zulässige Anzahl an Bytes, wobei hier eine Größe von einigen hundertern als gewöhnlich anzusehen ist. Ebene 2 ergänzt die Rohdaten mit weiteren Informationen, wie beispielsweise einer Prüfsumme oder Anfangs- und Endinformationen für den data frame. Des Weiteren besteht die Möglichkeit mit Hilfe der Zusatzinformationen eine Datenübertragung zu quittieren. Dies ist erforderlich, wenn die Übertragung des Telegramms bereits zu einem vorherigen Zeitpunkt stattgefunden hat. Diese Methoden werden eingesetzt, um fehlerhafte Übertragungen oder verlorengegangene Rahmen zu identifizieren. Bei einer erneuten Übertragung von verloren geglaubten data frames ist die Ebene 2 dafür verantwortlich, dass der Empfänger diese nicht dupliziert. Der Empfänger muss darüber Kenntnis erlangen, dass es sich nicht um eine Vielzahl von unterschiedlichen data frames, sondern um eine Vielzahl desselben Rahmens handelt. Ebene 2 enthält keinerlei inhaltlichen Informationen der übertragenen Daten. Sie dient lediglich der Kommunikation zu Schicht 3, wobei fehlerhafte Übertragungen eliminiert werden. Außerdem dient die Ebene 2 zur Überwachung des Datenflusses zwischen Sender und Empfänger. Bei einem Ungleichgewicht der Geschwindigkeiten bei der Datenverarbeitung, also Lesen beziehungsweise Schreiben, wird diese durch die Sicherungsschicht ausgeglichen. Für die Schicht kann eine Einteilung in zwei Bereiche getroffen werden. Hierbei handelt es sich einerseits um den sogenannten Logical Link Control (LLC) und andererseits um den Medium Access Control (MAC). Der LLC ist verantwortlich für die Kommunikation zu Ebene 3 und der MAC bildet die Schnittstelle zu Ebene 1.⁴⁰

4.1.3 Netzwerkschicht

Für die Netzwerkschicht (Network Layer) stellt das komplette Netzwerk eine logische Einheit dar, welche in ihrer Gesamtheit bearbeitet wird. Ebene 3 ist für die Datenübertragung von dem Sender bis zu dem Empfänger verantwortlich, gegebenenfalls einschließlich Zwischenstationen. Des Weiteren stellt sie Schnittstellen zwischen Endsystemen zur Verfügung. Des Weiteren zählt das sogenannte Routing zu den Aufgaben dieser Ebene. Hierfür wird einerseits den zu übermittelnden Daten ein Weg im Netz vorgegeben, andererseits findet entweder eine statische oder eine dynamische Wegsteuerung statt. Ebene 3 verpackt und entpackt Pakete in einer verarbeitbaren Form für Ebene 2. Diese Schicht besitzt die Kontrolle über alle Pakete, welche sich im Netz befinden und hat die Aufgabe Stauungen in dem unterliegenden Netzwerk zu verhindern. Es kann zwischen zwei Arten von Diensten unterschieden werden, die verbindungsorientierten sowie die verbindungslosen. Bei der verbindungsorientierten Variante wird dem Benutzer ein virtueller Kanal zur Verfügung gestellt, welcher auch als Virtual Circuit Service bezeichnet wird. Der Ablauf der Kommunikation bei dieser Form besteht aus drei Schritten, dem Aufbau der Verbin-

⁴⁰ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 11f

dung, dem Austausch der Daten sowie dem Abbau der Verbindung. Im Gegensatz hierzu stehen die verbindungslosen Dienste, welche auch Datagram Service genannt werden. Bei dieser Variante entfällt die Verbindung zwischen den beteiligten Partnern. Es werden lediglich die entsprechenden Pakete inklusive einer kompletten Zieladresse in das Netz eingespielt, wo der Weitertransport erfolgt. Hierbei nimmt der Benutzer keinerlei Einfluss auf den Transportweg.⁴¹

4.1.4 Transportschicht

Die vierte Schicht wird als Transportschicht (Transport Layer) bezeichnet. Die Hauptaufgabe dieser Ebene liegt in der Beschreibung der Kommunikation zwischen den einzelnen Prozessen. Sie lässt sich in nachfolgende acht Aufgaben unterteilen.⁴²

- Vergabe eines Namens für die Host-Rechner
- Teilnehmeradressierung
- Verbindungsaufbau sowie der -abbau
- Fehlerbearbeitung sowie Flusskontrolle
- Multiplexing von unterschiedlichen Datenflüssen auf einem Kanal
- Synchronisierung von den Hosts
- Wiederaufbau von Verbindungen bei einem Fehler in dem unteren Netzwerk
- Internetworking

Ebene 4 unterteilt die Daten der oberen Schicht in transportable Bestandteile. Bei verbindungsorientierten Netzwerken besteht ihre Aufgabe darin, einen Kanal zu dem Empfänger zu Verfügung zu stellen. In Abhängigkeit von den jeweiligen Attributen kann hinsichtlich der Transportverbindung zwischen drei Varianten gewählt werden. Zum einen besteht die Möglichkeit einer einzelnen Netzverbindung, des Weiteren können mehrere Netzverbindungen genutzt werden, dies ist von Relevanz bei einem erhöhten Datendurchsatz. Zusätzlich besteht die Möglichkeit einer sogenannten Sammelverbindung, hier besteht für mehrere Transportverbindungen lediglich eine einzelne Netzwerkverbindung. Die letzte Variante wird vor allem aufgrund des Kostenfaktors eingesetzt. Den oberen Schichten bietet die Transportschicht sogenannte Service Access Points inklusive Name und Adresse, welche mit SAP abgekürzt werden. In Abhängigkeit davon, welche Dienste von dieser Ebene in Anspruch genommen werden, existieren verschiedene Service-Klassen. Jede dieser Klassen deckt einen Bereich der oben angeführten Aufgaben ab. Bei dem sogenannten Internetworking in einem Gateway-Rechner ist die Transportschicht ebenjenes Rechners dafür zuständig, dass die unterschiedlichen Protokolle ausgeführt werden. Zum

⁴¹ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 12

⁴² Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 13

Zeitpunkt des Verbindungsaufbaus wird die Transportart festgelegt. Diese Arten umfassen die Punkt-zu-Punkt-Verbindung, bei welcher die Datenübertragung in der gleichen zeitlichen Abfolge wie das Eintreffen erfolgt, sowie die Paketvermittlung, wobei die Daten in das Netz geschickt werden, ohne eine bestimmte Reihenfolge des Eintreffens bei dem Empfänger zu definieren. Bei den Übertragungsarten Broadcast beziehungsweise Multicast ist das Ziel identische Informationen an alle oder eine gewisse Menge an verbundenen Stationen simultan zu übermitteln.⁴³

4.1.5 Sitzungsschicht

Ebene 5, welche als Sitzungsschicht (Session Layer) bezeichnet wird, stellt die erste Anwendungsschicht dar. Als Sitzung wird in diesem Kontext die Inanspruchnahme des Transportsystems bezeichnet. Es handelt sich um einen fehlerfreien, logischen Kanal, welcher durch die Transportschicht bereitgestellt wird. Damit das Transportsystem von entweder einem oder auch mehreren Prozessen in Anspruch genommen werden kann, sind Dienste für sowohl den Aufbau als auch für den Abbau von Sitzungen zur Verfügung zu stellen. In der Regel besteht eine Verbindung zwischen der Sitzungsschicht und dem Betriebssystem des Rechners. Ein fehlerfreier Datenfluss wird durch die Synchronisation der teilhabenden Prozesse erreicht. Die Aktivität in den oberen Ebenen ist ausschlaggebend dafür, welches Maß an Funktionen in der Sitzungsschicht zu implementieren ist. Es kann zwischen drei Funktionsmengen unterschieden werden. Hierbei handelt es sich um:⁴⁴

- Basic Combined Subset (BCS): für die Steuerung von Verbindungen und die Übertragung von Daten
- Basic Activity Subset (BAS): zur Verwaltung von Aktivitäten
- Basic Synchronized Subset (BSS): für die Synchronisation

Es besteht die Möglichkeit der Verwaltung von symmetrischen und auch unsymmetrischen Client-Server-Architekturen. Des Weiteren übernimmt diese Ebene die Steuerung bei einem Prozeduraufruf auf einem fernen Rechner, dem sogenannten Remote Procedure Call.⁴⁵

⁴³ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 13

⁴⁴ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 13f

⁴⁵ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 13f

4.1.6 Darstellungsschicht

Bei der sechsten Ebene handelt es sich um die sogenannte Darstellungsschicht, auch Presentation Layer genannt. Ihre Aufgabe liegt in der Darstellung von übermittelten Daten. In dieser Schicht sind drei grundlegende Funktionen enthalten.⁴⁶ Diese Funktionen sind:⁴⁷

- zum verwendeten Zeichensatz,
- zur Codierung zu übertragender Daten und
- zur Darstellung der Daten auf Bildschirm oder Drucker.

Bei der Kommunikation von Prozessen findet stets ein Datenaustausch statt. Hierfür ist eine Definition erforderlich, in welcher Weise die Darstellung der Informationen im Zuge dieser Informationsübermittlung zu erfolgen hat. Des Weiteren ist eine Festlegung erforderlich, welche Darstellungsweise bei den kommunizierenden Prozessen zur Anwendung kommt. Es besteht die Möglichkeit, dass die zu übermittelnden Daten in unterschiedlichen Kodierungen oder auch verschiedenen Dateiformaten vorhanden sind. Aus diesem Grund übernimmt die Darstellungsschicht auch die Datenverschlüsselung beziehungsweise die Datenentschlüsselung und die Aufrechterhaltung der Datensicherheit. Zusätzlich erfolgt durch diese Ebene die Datenkomprimierung zur Reduktion der Datenmenge und damit einhergehend einer Verringerung von Zeit und Kosten.⁴⁸

4.1.7 Anwendungsschicht

Die abschließende Ebene bildet Schicht 7. Diese wird als Anwendungsschicht beziehungsweise Application Layer bezeichnet. In dieser sind Funktionen enthalten, welche dem Nutzer den Zugriff auf das Kommunikationssystem ermöglichen. Bei diesem Nutzer handelt es sich üblicherweise jedoch nicht um eine Person, sondern um ein Computerprogramm. Dieses Programm ist unabhängig von den Rechengrenzen, für die Übertragung sowie den Zugriff von Dateien verantwortlich. Diese Ebene hat Ortstransparenz zu gewährleisten. Dies ist beispielsweise im Falle von verteilten Datenbanken erforderlich. Hierbei befinden sich kohärierende Daten physikalisch auf unterschiedlichen Rechnern an

⁴⁶ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 14

⁴⁷ Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 14

⁴⁸ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 14

geographisch verschiedenen Standorten. Für den Nutzer dürfen bei einer Anfrage über ein Netz die physikalischen Merkmale der Datenbank nicht wahrnehmbar sein.⁴⁹

⁴⁹ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 14f

5 KNX

Bei dem KNX-Standard handelt es sich um den, zum aktuellen Zeitpunkt, einzigen offenen Standard für Heim- sowie Gebäudeanwendungen. KNX ist sowohl als europäischer Standard, als auch als internationaler Standard etabliert. Genauer ist KNX ein offenes, umfassendes Bussystem, worin sämtliche Bereiche der Haus- beziehungsweise Gebäudeautomation beinhaltet sind. Verantwortlich für das System ist die KNX Association mit Sitz in Brüssel. Die Buszugriffsgeräte, welche auch als BAU-Bausteine bezeichnet werden und für die Anwendung erforderlich sind, können bei verschiedenen Herstellern erworben werden. Durch das offene Bussystem ist die Anwendung durch jeden Nutzer auf jeder Chip- oder Prozessorplattform möglich.⁵⁰

5.1 Netzwerktopologie

Bei KNX handelt es sich um ein sogenanntes „Peer-to-Peer“-Netzwerk, bei welchem die Kapazität bei maximal 65.536 Busgeräten liegt. Es besteht die Möglichkeit pro Buslinie maximal 256 Geräte anzubinden. Über eine sogenannte Hauptlinie können bis zu 15 dieser Linien zu einem Bereich kombiniert werden. Mit höchstens 15 jener Bereiche kann eine Bereichsline gebildet werden. Abzüglich jener, für Koppler reservierten Adressen, besteht die Möglichkeit 61.455 Endgeräte in einem KNX-Netz zu implementieren. Koppler werden eingesetzt, um Linien oder Segmente zusammenzuführen, beispielsweise über ein TP-Übertragungsmedium oder alternative Übertragungsmedien. Diese können fungieren als:⁵¹

- Verstärker
- Brücke
- Paketfilter (Verbesserung des Datenaustausch)
- Router
- Firewall
- Kombination dieser Aufgaben

Einschränkungen hinsichtlich der Anschlussmöglichkeiten können durch Peripheriegegebenheiten sowie Umgebungsbedingungen entstehen. Zu den Peripheriegegebenheiten

⁵⁰ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 168

⁵¹ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 168

zählen das Übertragungsmedium, Transceiver-Typen und die Kapazität der Spannungsversorgung. Unter Umgebungsbedingungen sind beispielsweise elektromagnetische Störungen zu verstehen.⁵²

5.2 Übertragungsmedien

Es stehen vier unterschiedliche Übertragungsmedien für die KNX-Zugriffssteuerung zu Verfügung. Diese lauten⁵³:

- Verdrillte Zweidrahtleitung (Twisted Pair, TP)
- Stromnetz (Power line, PL)
- Drahtlose Übertragung (Radio Frequency, RF)
- IP-Netzwerk

Verdrillte Zweidrahtleitung (Twisted Pair, TP)

Dieses Übertragungsmedium verfügt über eine Kollisionserkennung auf Bitebene. Mittels einem dominantem, logischen Nullimpuls wird gewährleistet, dass bei Auftreten einer Kollision zu jedem Zeitpunkt für einen der betroffenen Kommunikationspartner die Möglichkeit zum Senden aufrechterhalten wird. Dies hat eine Unterbindung von wiederkehrenden Übertragungsversuchen zu Folge, wodurch eine Steigerung der Leistung erreicht werden kann. Durch Gruppenadressierungen bietet die KNX-TP Kollisionsvermeidung einen beachtlichen Nutzungsgrad. Die Reaktionszeiten dieses Mediums liegen bei 100ms bei zwei zeitgleichen Übertragungen.⁵⁴

Stromnetz (Power line, PL)

Weiters besteht die Möglichkeit das 230V Starkstromnetz für die Übertragung zu verwenden. Hierfür sind keine separaten Busleitungen erforderlich, es ist lediglich der Anschluss des Außen- und Neutralleiters am Gerät notwendig. Diese Form des Übertragungsmediums wird sowohl im Bereich der Nachrüstung als auch bei Neuinstallationen eingesetzt. Die Abmessungen und die Bedienung dieser Geräte sind nahezu identisch mit den KNX-TP Bauteilen. Durch die Möglichkeit der Einbindung in ein bereits vorhandenes Starkstromnetz kommt KNX PL unter anderem in bestehenden Anlagen zur Anwendung, in

⁵² Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 168

⁵³ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 169

⁵⁴ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 169f

welchen zusätzliche Busleitungen nicht umsetzbar beziehungsweise nicht erwünscht sind.⁵⁵

Drahtlose Übertragung (Radio Frequency, RF)

Zur drahtlosen Übertragung bei KNX RF Kanälen im 868 MHz ISM-Band werden unterschiedliche Frequenzen in Anspruch genommen, um eine physikalische Trennung herbeizuführen. Die Reichweite dieser Übertragungsform liegt unter Freifeldbedingungen bei rund 300 Metern. Mit der Hilfe von Verstärkern besteht die Möglichkeit einer umfassenden Anordnung innerhalb eines Bauwerks. Es besteht die Möglichkeit KNX RF ausschließlich als Funknetz einzusetzen, oder mit einem der alternativen Medien zu paaren. Medienkoppler ermöglichen die Weitergabe von Informationen und Befehlen zwischen Geräten mit unterschiedlichen Übertragungsmedien.⁵⁶

IP-Netzwerk

Für die Übertragung mittels IP kann entweder KNXnet/IP Tunneling oder KNXnet/IP Routing verwendet werden. Der Unterschied zwischen den Varianten liegt darin, dass bei KNXnet/IP Tunneling für zwei Geräte mit jeweils bekannten IP-Adressen eine Punkt-zu-Punkt Verbindung hergestellt wird. Bei KNXnet/IP Routing wird die Kommunikation mit einer beliebigen Anzahl an KNX-Geräten ermöglicht. Hier werden beispielsweise anstelle von Linienkopplern IP Router eingesetzt, wodurch das IP-Netzwerk als Hauptlinie fungiert.⁵⁷

5.3 Kommunikationsprotokoll

Die Kommunikation von KNX basiert auf den sieben Ebenen des, im vorhergehenden Kapitel erläuterten, OSI-Referenzmodells. Hierbei stehen sowohl die physikalische Schicht als auch die Sicherungsschicht in direktem Zusammenhang mit den Attributen des physikalischen Übertragungsmediums. Für die Inanspruchnahme jenes Mediums wurde seitens KNX der Carrier Sense Multiple Access with Optimized Collision Avoidance, kurz CSMA/CA, definiert. Es besteht jedoch die Möglichkeit die Vorgangsweise für das angewendete Medium zu adaptieren. Der Adressenmerker (Destination Address Flag, DAF) differenziert zwischen gruppenorientierten sowie geräteorientierten Telegrammen. Die Vermittlungsschicht (network layer) übernimmt die Anzahl der Sprün-

⁵⁵ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 170

⁵⁶ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 170

⁵⁷ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 170f

ge, auch hops genannt, über die NPCI-Steuernachricht (Network Protocol Control Information). Diese Ebene ist allenfalls für Geräte von Relevanz, welche als entweder als Router oder Brücken fungieren. Für die Verwaltung der logischen Kommunikationsbeziehungen ist die Transportschicht (transport layer) verantwortlich.⁵⁸

Bei den Kommunikationsbeziehungen kann wird zwischen den nachfolgenden Varianten differenziert werden:⁵⁹

- Einer-an-viele, verbindungslos („Gruppe“ Multicast)
- Einer-an-alle, verbindungslos (Broadcast)
- Einer-an-einen, verbindungslos
- Einer-an-einen, verbindungsorientiert

Die Darstellung der Adressen in einer abstrakten, internen Form, welche als Communication_Reference_ID (cr_id) bezeichnet wird, übernimmt die Transportschicht. Die Datenweitergabe erfolgt auf transparente Art über die Verbindungsebene (session layer) sowie die Anpassungsebene (presentation layer). Die API-Anwendungsschnittstelle (Application Interface) zur Verwaltung von Client und Server in dem KNX-Netz wird von der Anwendungsebene (application layer) zur Verfügung gestellt. Die sogenannte Gruppenanwendungsschicht (group application layer) übernimmt die Zuteilung einer „cr_id“-Gruppenidentifikation für die lokale Instanz von einem Gruppen-Kommunikationsobjekt beziehungsweise einer verteilten Variablen. Dies geschieht für sowohl für das Empfangen (einer-an-n) als auch für das Senden (einer-an-einen). Zur leichteren Handhabung werden sowohl Gruppen-Kommunikationsobjekte als auch verteilte Objekte in der KNX-Anwenderschicht (KNX user layer) zusammengefasst. Diese Ebene hat in der Regel auch die Aufgabe des Managementservers über. KNX PDU-Rahmen (PDU = Protocol Data Unit) bieten die Möglichkeit Anwendungs-Datenformate mit einer Größe von bis zu 14 Byte oder mittels sogenanntem „extended frame mode“ höchstens 254 Byte zu übertragen.⁶⁰

5.4 Netzverwaltung

Die Organisation der Netzwerk-Ressourcen erfolgt sowohl über eine Broadcast-Kommunikation, sprich einem Rundsenden, als auch durch Punkt-zu-Punkt-Kommunikation. Durch die Broadcast-Kommunikation erhält jedes, in dem System vor-

⁵⁸ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 171

⁵⁹ Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 171

⁶⁰ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 171ff

handene, Gerät eine bestimmte physikalische Adresse. Hierfür ist es beispielsweise möglich die einmalige Seriennummer des entsprechenden Geräts zu verwenden. Diese physikalische Adresse ist anschließend für die Punkt-zu-Punkt-Kommunikation von signifikanter Relevanz. Der Aufbau einer Verbindung kann unter anderem genutzt werden, um ein ganzheitliches, binäres Abbild von einem Anwendungsprogramm herunterzuladen. Die Adressierung <Gerät>.<Objekt>.<Eigenschaft> erlaubt einen verbindungslosen Zugang zu dezentralen KNX-Objekten. Bei dieser Funktion handelt es sich um den fundamentalen Mechanismus der Verwaltungsschicht. Dieser dient sowohl für die Statusanzeige als auch für die Statussteuerung. Bei kritischen Untersystemen wird eine sogenannte „Lebendüberwachung“ und eine Statusüberprüfung mit Hilfe eines dedizierten, raschen Abfragemodus durchgeführt. Dieser Modus wird auch als polling bezeichnet, welchem das Master-Slave-Prinzip zugrunde liegt.⁶¹

Eine KNX-Anlage setzt sich aus einer Vielzahl an dezentralen Ressourcen zusammen. Die Verwaltung dieser erfolgt über das gesamte Netzwerk. Aus diesem Grund fungiert jedes der Geräte zusätzlich auch als Server, welcher die örtlichen Ressourcen steuert. Hinzu kommt der Host-Dienst für externe CPU oder Speichermedien, wobei der Zugriff hierauf durch das sogenannte serielle PEI (Physical External Interface) erfolgt. Der Zugang zu diesen Diensten für entfernte Clients wird durch APCIs (Application Protocol Control Information) ermöglicht. Aufgrund der verteilten Objekte handelt es sich bei den Netzressourcen um „objektorientiert“ (OO). Für eine interaktive, vereinfachte Selbstkonfiguration von Systemen besteht die Möglichkeit Netzwerk-Clients einzusetzen. Diese sind üblicherweise auf DIN-Schienen vorhanden.⁶²

5.5 Gruppenadressierung

KNX bietet die Möglichkeit einer Multicast-Adressierung, auch als Gruppen-Adressierung bezeichnet. Diese Gruppierung kann jedoch nicht nur für Geräte erfolgen, sondern für jedes einzelne Geräte besteht die Möglichkeit mehrere Variablen festzulegen. Die Gruppierung kann anschließend auf, voneinander unabhängigen und sich im gesamten Netz befindenden, Variablen angewandt werden. Des Weiteren ermöglichen verteilte Variablen den Zugriff auf Attribute von dezentralen Objekten. Die Gruppenadressierung ermöglicht die Erreichung eines hohen Netzwirkungsgrads. Der gezielte Einsatz von Adressierungs- oder auch Gerätemodellen führt einerseits zu einer Reduktion in Hinblick auf die Relevanz von redundanten Automatisierungs-Hierarchieebenen, andererseits zu einer Verringerung

⁶¹ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 173

⁶² Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 174

der Bandbreite. Die KNX-Gruppen-Adressierung ermöglicht hohe Systemzuverlässigkeit bei niedrigen Bitraten.⁶³

5.6 Datenformate und Schnittstellen

In nachfolgender Tabelle sind seitens KNX definierte Basisdatenformate angeführt.⁶⁴

Tabelle 4 Grundlegende KNX-Datenformate

Bezeichnung	Bits
Boolesches Format	1
(ohne) Vorzeichen kurz	16
(ohne) Vorzeichen lang	32
Gleitkomma kurz	16
IEEE Gleitkomma	32
Datum	24
Zeit	24
Steuerung	4

⁶³ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 173f

⁶⁴ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 174

Physikalische Größen wie beispielsweise die Temperatur, Länge, Geschwindigkeit, Feldstärke, Energie und Leistung werden in der Regel durch Kennzeichen definiert. Die Berücksichtigung der Informationen betreffend den Typ sind üblicherweise lediglich bei der Konfigurationserstellung erforderlich. Im Weiteren werden diese Informationen nicht übertragen, wodurch eine Leistungsreduktion verhindert werden soll. Mit Hilfe der KNX Interworking Standards werden unterschiedliche, spezialisierte Objekte im Bereich der Gebäudeautomation definiert. Hierzu zählen beispielsweise die Beleuchtung, HVAC-Anwendungen, Zeit- und Ereignisverwaltung sowie Funktionsblöcke mit standardisierten Datenpunkttypen und festgelegtem Verhalten. Das dezentrale KNX-Betriebssystem (BS) kann sowohl von entfernt liegenden Netzwerk-Clients als auch von lokalen Client-Applikationen als Server zur Kommunikation und Verwaltung in Anspruch genommen werden. In Hinblick auf interne Anwendungen bietet die KNX Bus Access Unit, abgekürzt durch BAU, unter anderem CPU- und Speicherressourcen sowie Zeitgeber. Neueren Generationen bieten bereits die Möglichkeit von bis zu drei asynchronen Applikationsabläufen (threads). Bei der Application Process Identifier/Instance, abgekürzt durch API, handelt es sich um eine standardisierte Dienst- oder Anwenderbibliothek. Diese ist der Anwender-Abstraktionsebene (user abstraction layer) zugeordnet und wird eingesetzt, um der Applikation zusätzliche Infrastruktur und Funktionalitäten zu bieten. Bei diesen handelt es sich beispielsweise um Zeitgeber, Entprellung, Arithmetik, Bitlogik und Meldeverarbeitung. Eine API-Schnittstelle ermöglicht der Applikation den Zugriff auf externe Applikationshardware. Des Weiteren wurde seitens KNX eine externe Meldeschnittstelle EMI (External Message Interface) für die serielle PEI (Physical External Interface) -Schnittstelle festgelegt. Durch den EMI-Server ist es sowohl für lokale als auch für entfernte Clients möglich auf externe CPUs beziehungsweise Speicherressourcen zuzugreifen.⁶⁵

5.7 Verschlüsselung

Es besteht die Möglichkeit zur Erweiterung des KNX IP-Protokolls, wodurch eine ganzheitliche Verschlüsselung der übermittelten Daten erreicht werden kann. Dies wird als KNX IP Secure bezeichnet, und das Ziel liegt in der Erlangung von zusätzlicher Sicherheit. Diese Sicherheitsmaßnahme kann durch einen Aufwand in überschaubarem Ausmaß ebenfalls in bereits existierende Anlagen implementiert werden. Falls Daten lediglich lokal mittels KNX übertragen werden, ist es ausreichend ebenjene Daten zu schützen, indem das Busprotokoll erweitert wird. Weiters besteht die Möglichkeit KNX Data Secure einzusetzen. Hierbei werden KNX-Telegramme authentifiziert und/oder verschlüsselt, wobei das gewählte Medium hierbei nicht von Bedeutung ist. Die Zuordnung der Schlüssel zu den Geräten beziehungsweise Objekten erfolgt über die Engineering Tool Software

⁶⁵ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, S. 174f

(ETS). KNX bietet die Möglichkeit von gesicherten und auch ungesicherten Anwendungen. Aus diesem Grund ist es nicht zwingend erforderlich alle Geräte zu sichern.⁶⁶

⁶⁶ Vgl. Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozess-technik*, S. 177

6 Ausgangslage

Dieses Kapitel dient der Bestandsaufnahme sowie der Darstellung der aktuellen Situation. Hierfür ist eine Kurzvorstellung des, für diese Arbeit herangezogenen, Gebäudes beinhaltet. Damit wird das Ziel verfolgt, einen Einblick hinsichtlich der Komplexität eines Beleuchtungsaustausches zu vermitteln. Das Hauptaugenmerk liegt in diesem Kapitel auf dem aktuellen Beleuchtungssystem. Hierzu sind die Typen der Leuchtmittel, die Mengen in den unterschiedlichen Bereichen beziehungsweise Stockwerken, die Lichtsteuerung, eine Abschätzung des Energieverbrauchs sowie die aufgewendete Arbeitszeit für den Austausch von defekten Leuchten in einem Betrachtungszeitraum von einem Kalenderjahr Thema dieses Kapitels.

6.1 Kurzvorstellung Gebäude

In der Dr. Bohr-Gasse 3, 1030 Wien sind die Institute IMBA – Institut für molekulare Biotechnologie GmbH und GMI – Gregor Mendel Institute GmbH situiert. Bei beiden handelt es sich um Institute der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW). Das Gebäude, welches intern und in weiterer Folge in dieser Arbeit als VBC4 bezeichnet wird, ist ein straßenseitig gelegenes Büro- und Laborgebäude, umfasst 9 Geschosse, wovon 3 Untergeschosse sind und wurde im Jahr 2005 errichtet.

Das 3. Untergeschoss umfasst in erster Linie diverse Tierräume sowie mehrere Labors, Material-, Entsorgungs- und Futterlagerräume, diverse Sanitär- und Sozialräume und einen größeren Versorgungsflur, in welchem eine automatische Flaschenreinigungs- und befüllanlage situiert ist. Dieses Geschoss ist über drei interne Stiegenhäuser sowie drei Aufzüge mit den darüberliegenden Geschossen verbunden. Die zuvor angeführten Bereiche sind über Gänge und teilweise über vorgesezte Schleusen zugänglich.

Im 2. Untergeschoss sind zwei große Lüftungszentralen, ein Neutralisationsraum, ein Raum mit Dampfkesseln sowie Umformeranlagen (Fernwärme), eine Sanitärzentrale, ein Raum für das Notstromdieselaggregat und einem dazugehörigen Tankraum mit Schleuse, diverse kleinere Technikräume situiert. Weiters befindet sich in diesem Geschoss ein Laborbereich mit einem S3-Labor, einem Tierraum, einem Isolationsraum und ein Technikraum für die Tierhaltung. Dieses Geschoss ist ebenfalls über drei interne Stiegenhäuser sowie drei Aufzüge mit den übrigen Geschossen verbunden. Die Zugänglichkeit dieser Bereiche ist über ein verzweigtes Gangsystem, und teilweise über vorgelagerte Schleusen, gegeben.

Das 1. Untergeschoss besteht aus mehreren Lagerräumen für allgemeine Abfälle, Lösungsmittel sowie radioaktive Abfälle, einem Lager für Kunststoffabfälle, einem Lager für

Laborabfälle sowie einem Aufstellungsraum für einen Stickstoffdruckbehälter. Weiters ist für die CO₂-Versorgung eine Gasflaschenzentrale vorhanden. Das Geschoss umfasst einen Isotopenabklingraum, allgemeine Versorgungslager, Kühlräume, zahlreiche Pflanzenwuchskammern, Sanitärbereiche, Büro- und Aufenthaltsräume, die Kältezentrale, Technikräume, eine Waschküche und einen Teilbereich des Hörsaales (135 Plätze), welcher sich von 1. Untergeschoss bis zum Erdgeschoss erstreckt. Das Geschoss ist über drei interne Stiegenhäuser und über drei Aufzüge mit den übrigen Stockwerken verbunden.

Das Erdgeschoss umfasst den oben angeführten Teilbereich des Hörsaales, welcher von diesem Geschoss aus zugänglich ist, das Hörsaalfoyer, einen Anlieferungs- und Rezeptionsbereich, diverse Lager- und Technikräume, die Brandmeldezentrale, eine Werkstätte, Sozial- und Sanitärräume sowie diverse Labors und Büroräume. Das Geschoss ist über vier interne Stiegenhäuser und über fünf Aufzüge mit den übrigen Stockwerken verbunden.

Im Plazageschoss sind in erster Linie Labors, teilweise Zellkulturräume, diverse Kühl- und Geräteräume, ein „Coffee Point“ mit kleinen kulinarischen Angeboten, ein klimatisierter Wintergarten, zwei Terrassen sowie Büro- und Sanitärräume situiert. Das Geschoss ist über drei interne Stiegenhäuser und vier Aufzüge mit den übrigen Geschossen verbunden. Weiters besteht eine Verbindung zu dem Nachbargebäude, dem sogenannten VBC1, durch eine Brücke.

Das 1., 2. sowie 3. Obergeschoss umfassen vorwiegend Labor- und Geräteräume sowie Büros. Des Weiteren befinden sich in diesem Stockwerk Besprechungs-, Sanitär- und Sozialräume. Die Geschosse sind über drei interne Stiegenhäuser und vier Aufzüge mit den übrigen Geschossen verbunden.

Das 1. Dachgeschoss umfasst Lüftungszentralen, Haustechnikräume, Glashäuser, Kühl- und Geräteräume, Labors, Büro-, Sanitär- und Sozialräume und zwei Terrassen. Das Geschoss ist über drei interne Stiegenhäuser und vier Aufzüge mit den übrigen Geschossen verbunden.

In dem sogenannten 2. Dachgeschoss befinden sich adiabate Rückkühler sowie eine der insgesamt vier Kältemaschinen. Zusätzlich wird in diesem Jahr eine Photovoltaik Anlage errichtet.

6.2 Aufstellung der Leuchtmittel

Zum aktuellen Zeitpunkt sind unterschiedliche Secura Leuchtstoffröhren verbaut. Zur Anwendung kommt die Produktlinie Secura, da diese mit einer durchsichtigen Hülle ummantelt sind, wodurch bei Beschädigungen keine Verletzungsgefahr durch herabfallende Glassplitter entsteht.

Die Bestandspläne des Gebäudes bieten die Möglichkeit, die Anzahl der aktuell vorhandenen Leuchtmittel zu ermitteln. Die Richtigkeit dieser Daten wurde im Zuge der vorliegenden Arbeit nicht überprüft.

Jeder Raum wird einer der nachfolgenden Kategorien zugeordnet:

- Bereiche welche in Zusammenhang mit Versuchsobjekten stehen
- Gänge
- Labor- und Büroflächen
- Stiegenhäuser
- Technikbereiche

Die Zuordnung zu oben angeführten Bereichen wird getroffen, um eine Vereinfachung während der Durchführungsphase des Beleuchtungsaustausches zu erzielen. Bei Technikbereichen, Gängen sowie in den Stiegenhäusern kann ein Austausch der Beleuchtung ohne vorhergehende Absprache mit anderen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Institute erfolgen. Aus diesem Grund sind Sanitärbereiche den Technikbereichen zugeordnet. Bei diesen Räumen ist lediglich eine Informationsweitergabe an alle angestellten Personen erforderlich. In den Labor- und Büroflächen ist eine Terminvereinbarung mit den zuständigen Personen der jeweiligen Bereiche unumgänglich. Hierbei handelt es sich in den meisten Fällen um die sogenannten Labor Technicians der betroffenen Forschungsgruppe. Bei Bereichen, welche in Zusammenhang mit den Versuchsobjekten stehen handelt es sich um besonders sensible Bereiche, welche zusätzlich zu der Terminvereinbarung weitere Maßnahmen erfordern. Hierzu zählt beispielsweise die Notwendigkeit, die für den Austausch benötigten Materialien, sowie Werkzeug bereits im Vorfeld an Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Abteilung Comparative Medicine zu übergeben, damit eine Einschleusung in den Reinraumbereich von diesen durchgeführt werden kann.

Tabelle 5: Anzahl der vorhandenen Leuchten nach Bereich

Bereich	Anzahl der Leuchten [Stück]
Bereiche welche in Zusammenhang mit Versuchsobjekten stehen	345
Gänge	341
Labor- und Büroflächen	1107

Stiegehäuser	44
Technikbereiche	420
Summe	2.257

Zusätzlich zu der Einteilung nach Kategorien erfolgt eine Zuordnung zu dem entsprechenden Stockwerk, welche in nachfolgender Tabelle zu finden ist.

Tabelle 6: Anzahl der vorhandenen Leuchten nach Geschoss

Geschoss	Anzahl [Stück]
3. Untergeschoss	351
2. Untergeschoss	128
1. Untergeschoss	186
Erdgeschoss	420
Plazageschoss	238
1. Obergeschoss	232
2. Obergeschoss	258
3. Obergeschoss	247
1. Dachgeschoss	182

2. Dachgeschoss	15
-----------------	----

Summe	2.257
--------------	--------------

Nachfolgende Auflistung enthält jene Leuchtmittel, welche zum aktuellen Zeitpunkt in dem betrachteten Gebäude verwendet, werden:

- T5 35W/840
- T8 36W/840
- T5 39W/840
- T5 49W/840
- T8 58W/840
- 59W/840
- T5 80W/840

6.3 Lichtsteuerung

Das Ein- und Ausschalten der Beleuchtung in dem betrachteten Gebäude erfolgt in der Regel über Schalter beziehungsweise Taster. Dies ist in den Labors sowie den Büros der Fall, wo sich die Lichtschalter stets im unmittelbaren Türbereich befinden. Bei außenliegenden Räumen, bei welchen durch Glasflächen und Fenster Tageslichteintrag entsteht, bietet sich zusätzlich die Möglichkeit der Jalousien Steuerung mittels Taster, um Blendung zu vermeiden. Dieser Taster befindet sich ebenfalls bei jenem für die Beleuchtung. Für die Lichtsteuerung werden sowohl DALI als auch KNX eingesetzt.

Zudem sind alle Besprechungsräume mit Lichtschaltern ausgestattet. Einer dieser Räume bietet, aufgrund eines Umbaus in dem vergangenen Jahr, zusätzlich die Variante die Beleuchtung über jenes Touchpanel zu steuern, welches die Bedienung der gesamten Medientechnik ermöglicht. Für die Beleuchtung in den Gangbereichen sind ebenfalls Lichtschalter vorhanden, welche das Ein- sowie Ausschalten ermöglichen. Ausgenommen hiervon ist stets die Notbeleuchtung über die Fluchtwegsleuchten, welche dauerhaft in Betrieb ist. Die Helligkeit der Beleuchtung in jenen eben angeführten Bereichen kann nicht durch den Nutzer verändert werden.

Im Gegensatz hierzu stehen die sogenannte Bridge sowie das Atrium. Hierbei handelt es sich um einen „Coffee Point“ mit kleinen kulinarischen Angeboten und einen klimatisierten Wintergarten. Diese Flächen zählen zu den Aufenthaltsbereichen, welche zusätzlich für Veranstaltungen genutzt werden. Hier wurden die Leuchten Sektionen zugewiesen, welche die Möglichkeiten der separaten Steuerung und darüber hinaus der Dimmung bieten.

Die Lichtsteuerung dieser Bereiche erfolgt entweder über ein Touchpanel vor Ort oder mittels dazugehöriger Software. Wobei der Zugriff auf weitere den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Facility Managements vorbehalten ist.

Eine weitere Ausnahme bilden jene Räume für die Haltung beziehungsweise die Zucht der Versuchsobjekte, welche von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung Comparative Medicine betreut werden. Für die Steuerung der Beleuchtung wurden hier unabhängige Lichtzyklen programmiert, um optimale Haltungsbedingungen zu schaffen. In diesem Bereich besteht nicht die Möglichkeit die Beleuchtung über Lichtschalter beziehungsweise auszuschalten. Erforderliche Adaptierungen des Tag-Nacht-Zyklus sind den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Facility Management bekanntzugeben, welche die Änderungen softwareseitig umsetzen.

Aufgrund diverser Vorkommnisse ist es in den WC-Anlagen nicht möglich die Beleuchtung auszuschalten. Die Räume bestehen aus einem Vorraum mit Waschtisch sowie Kabinen mit Toiletten. Im unmittelbaren Türbereich befindet sich wie in den restlichen Räumlichkeiten ein Taster, welcher jedoch keinerlei Funktion aufweist.

6.4 Energieverbrauch

Im VBC4 werden für die elektrische Versorgung der Beleuchtung der einzelnen Bereiche keine separaten Verteiler verwendet. Aus diesem Grund ist eine genaue Aufstellung des Energieverbrauchs, welcher lediglich auf das Licht entfällt, nicht möglich. Es besteht jedoch ein Kooperationsvertrag mit dem benachbarten Forschungsinstitut für molekulare Pathologie GmbH. In diesem Gebäude werden dieselben Leuchtmittel eingesetzt, wie in ebenjenem, welches für die Arbeit herangezogen wird. Die Stromversorgung der Beleuchtung erfolgt in dem benachbarten Gebäude jedoch mittels eigener Verteiler, welcher über einen separaten Energiezähler verfügt. Die Daten dieses Energiezählers werden automatisiert in die Software für das Energiemonitoring geladen und über standardisierte Berichte ist eine Auswertung der gelieferten Werten möglich. Zur Abschätzung des aktuellen Energieverbrauchs für die Beleuchtung des VBC4 werden die Daten von vergleichbaren Bereichen des benachbarten Gebäudes verwendet. Die damit gewonnenen Daten dienen lediglich als Richtwert um eine Aussage hinsichtlich des aktuellen Energieverbrauchs zu ermöglichen. Das benachbarte Gebäude des Forschungsinstituts für molekulare Pathologie wird nachfolgend mit der internen Bezeichnung VBC1 abgekürzt. Es werden die Zähler der Verteiler EZ363068NN sowie EZ323032 für die Auswertung herangezogen. Die angeführten Verteiler versorgen die Beleuchtung des 3. Obergeschosses, wobei jeder rund eine Hälfte des Stockwerks abdeckt. Mit den dazugehörigen Energiezählern wird der hierfür benötigte Strom protokolliert. Bei dem betrachteten Bereich handelt es sich um zwei sogenannte Forschungsquadranten sowie dazugehörige Dokumentationsarbeitsplätze für wissenschaftliche Angestellte mit denselben Leuchtmittel wie im VBC4. Die Nutzung und auch die Auslastung dieser Bereiche ist mit jenen Forschungsbereichen im

VBC4 annähernd vergleichbar. Für die nachfolgende Tabelle wurde der Stromverbrauch pro Monat in kWh des Kalenderjahres 2023 herangezogen.

Tabelle 7: Stromverbrauch für die Beleuchtung pro Monat, 2023

Monat	Verbrauch [kWh]
Jänner	3.239,63
Februar	3.127,84
März	3.502,51
April	3.041,76
Mai	3.221,33
Juni	3.094,27
Juli	3.298,69
August	3.183,02
September	3.001,52
Oktober	3.143,89
November	3.589,08
Dezember	3.204,35
Summe	38.647,92

Aus diesen Messwerten ergibt sich ein Jahresstromverbrauch, welcher lediglich auf die Beleuchtung des betrachteten Geschosses entfällt, von rund 38.648 kWh.

Für die weitere Abschätzung des Energieverbrauchs wird dieser Jahresverbrauch auf die entsprechenden Quadratmeter aufgeteilt. Dieser Verbrauch pro Quadratmeter wird in einem weiteren Schritt auf die Gesamtfläche des VBC4 hochgerechnet.

$$\frac{\text{Stromverbrauch}}{\text{Geschossfläche}} = \frac{38.648 \text{ kWh}}{1.738,13 \text{ m}^2} = 22,24 \text{ kWh/m}^2$$

Formel 4: Strombedarf für die Beleuchtung pro m²

Mithilfe dieser Berechnung ergibt sich ein Strombedarf von rund 22 kWh pro m² für die Beleuchtung.

$$\text{Strombedarf pro m}^2 \times \text{Fläche} = 22,24 \text{ kWh/m}^2 \times 22.998,57 \text{ m}^2 = 511.381,14 \text{ kWh}$$

Formel 5: Hochrechnung des Strombedarfs für die Beleuchtung des VBC4

Bei einer Gesamtfläche von rund 23.000 m² ergibt sich somit ein Verbrauch von rund 511.381 kWh für die Beleuchtung des VBC4, wobei es sich hierbei um über 8% des gesamten Strombedarfs des Gebäudes handelt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Stromverbrauch der beiden bereits oben angeführten Verteiler (EZ323032NN und EZ363068NN) im Verlauf einer Sieben-Tage-Woche im November 2023.

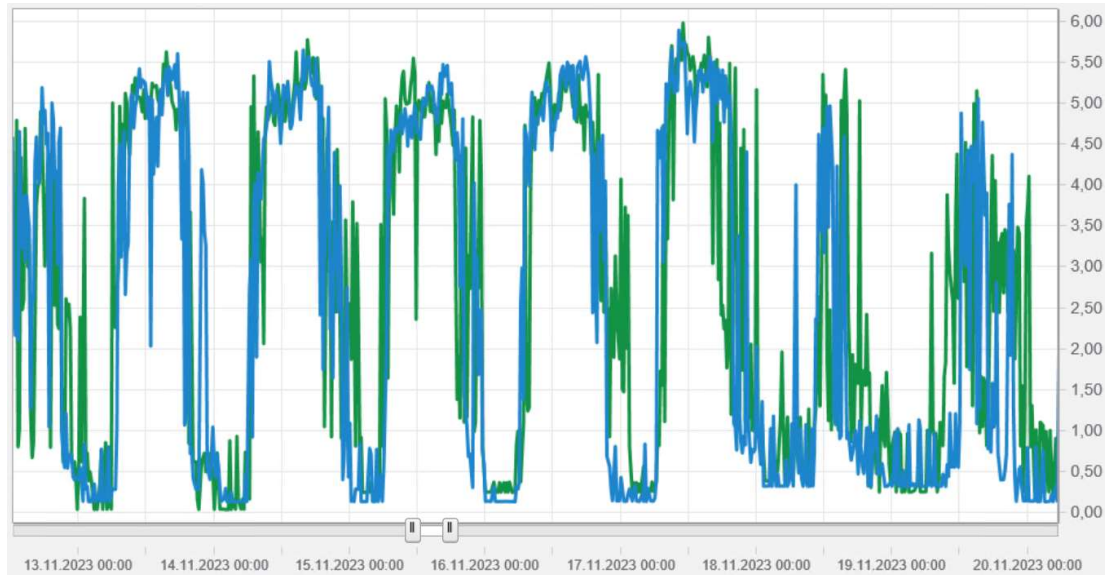


Abbildung 3: Verlauf des Stromverbrauchs der Beleuchtung in einer Woche

Die Lichtsteuerung in diesem Gebäude, dem VBC1, erfolgt bereits über Präsenzmelder. Das bedeutet, dass sich die Beleuchtung in jenem Bereich einschaltet, in welchem von einem Melder eine Bewegung detektiert wird. In der Abbildung ist deutlich der geringere Energiebedarf während der Nachtstunden ersichtlich. Weiters ist darauf zu erkennen, dass zumindest einer der Zähler durchgehend eine gewisse Grundlast aufweist. Es zeigt sich ebenfalls, dass sich die Anwesenheit von Personen in dem Gebäude nicht auf Montag bis Freitag reduzieren lässt. Wie im VBC1, sind auch im VBC4 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am Wochenende tätig. Da es sich bei beiden Gebäuden um Forschungsinstitute im Bereich der Grundlagenforschung handelt ist davon auszugehen, dass die Anwesenheit von Personen miteinander vergleichbar ist.

6.5 Ticketauswertung

In dem für die vorliegende Arbeit herangezogenen Gebäude wird seit einigen Jahren eine Service Desk Software verwendet. Zu Beginn wurde dieses Tool lediglich von der internen IT-Abteilung eingesetzt. Im Laufe der Jahre wurde sie aufgrund von steigendem Bedarf stetig auf andere Abteilungen ausgeweitet. Diese Software, konkret handelt es sich um JIRA von Atlassian, bietet Endnutzern die Möglichkeit mit den verschiedenen Infrastrukturabteilungen über das Ticketsystem zu interagieren. In Hinblick auf die Leistungen welche im Aufgabenbereich des Facility Managements liegen können nachfolgende Kategorien ausgewählt werden:

- Report an issue (Log an issue or incident that needs our attention)
- General Request (Send us questions or make a general request)

- Cleaning and Waste (Issues or order concerning office or lab cleaning or waste management)
- Request an event (Send a request to help you plan your upcoming event)

Die Kategorie „Report an issue“ soll bei technischen Belangen ausgewählt werden. Hierbei kann es sich beispielsweise um Funktionseinschränkungen, erforderliche Adaptierungen diverser Sollwerte oder eine Erweiterung der vorhandenen Medien handeln.

„General Request“ dient allgemeinen Anfragen, ohne dringenden Handlungsbedarf, an das Facility Management. Über „Cleaning and Waste“ können Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eine zusätzlich erforderliche Reinigung beauftragen oder auch die Entsorgung von gefährlichem Abfall anmelden. Bei „Request an event“ handelt es sich um ein sogenanntes Veranstaltungsticket. Über diese Kategorie können bevorstehende Events, sowie die entsprechenden Rahmenbedingungen, wie beispielsweise benötigtes Equipment oder gewünschte Stuhlanordnungen bekanntgegeben werden.

Mittels „Report an issue“ werden unter anderem die defekten Leuchtmittel eingemeldet. Um eine vereinfachte Auswertung hinsichtlich der Anzahl und des damit verbundenen Arbeitsaufwands zu ermöglichen, wurden zwei zusätzliche Auswahlkriterien namens „Leuchtmittel“ und „EVG“ in dem Ticketsystem implementiert. Über die Kommentarfunktion werden weiters sowohl Anzahl als auch Typ der getauschten Komponenten protokolliert. Die Dokumentation dieser Zusatzinformationen erfolgt durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Facility Managements und kann über eine entsprechende Auswahl gefiltert werden. Oben angeführte Zusatzfunktionen wurden für die Abschätzung der benötigten Arbeitszeit und der Anzahl an defekten Komponenten implementiert. Diese Faktoren werden durch den Austausch auf LED direkt beeinflusst.

Für das Jahr 2023 ergibt die Auswertung des Ticketsystems hinsichtlich defekter Leuchtmittel nachfolgende Daten:

Tabelle 8: Getauschte Leuchtmittel, 2023

Leuchtmittel Type	Anzahl der getauschten Leuchtmittel [Stück]
35W/840	4
36W/840	5
39W/840	9

49W/840	7
58W/840	45
59W/840	11
80W/840	27
Summe	108

Insgesamt war im betrachteten Jahr der Austausch von 108 Leuchtmitteln erforderlich. Des Weiteren wurde der Tausch von 12 EVGs dokumentiert. Für den Wechsel eines Leuchtmittels kann eine Arbeitszeit von 15 Minuten angenommen werden. Ist zusätzlich ein EVG defekt, erhöht sich diese auf 45 Minuten.

$$\frac{\text{Arbeitszeit} \times \text{Anzahl Leuchten}}{60 \text{ Minuten}} = \frac{15 \text{ Minuten} \times 108 \text{ Leuchten}}{60 \text{ Minuten}} = 27 \text{ Stunden}$$

Formel 6: Berechnung Arbeitszeit Tausch Leuchtmittel

$$\frac{\text{Arbeitszeit} \times \text{Anzahl EVGs}}{60 \text{ Minuten}} = \frac{45 \text{ Minuten} \times 12 \text{ EVGs}}{60 \text{ Minuten}} = 9 \text{ Stunden}$$

Formel 7: Berechnung Arbeitszeit Tausch EVGs

Unter Berücksichtigung dieser Annahmen ergibt sich für den Austausch der defekten Leuchtmittel eine Höhe von 27 Stunden und für den Austausch der EVGs weitere 9 Stunden.

$$\frac{\text{Arbeitszeit Austausch Leuchten}}{\text{Tägliche Arbeitszeit}} = \frac{27 \text{ Stunden}}{7,5 \text{ Stunden}} = 3,6 \text{ Arbeitstage}$$

Formel 8: Berechnung Arbeitstage Tausch Leuchtmittel

$$\frac{\text{Arbeitszeit Austausch EVGs}}{\text{Tägliche Arbeitszeit}} = \frac{9 \text{ Stunden}}{7,5 \text{ Stunden}} = 1,2 \text{ Arbeitstage}$$

Formel 9: Berechnung Arbeitstage Tauch EVGs

Bei einer täglichen Arbeitszeit von 7,5 Stunden waren gerundet vier Arbeitstage lediglich für den Austausch von Leuchtmitteln erforderlich, sowie rund ein Arbeitstag für den Tauch von EVGs. Zusammengefasst wurde somit eine Arbeitswoche für den Tausch von defekten Leuchten und EVGs in dem Zeitraum von einem Kalenderjahr aufgewendet.

Bei dieser Zeiteinschätzung wurde nicht berücksichtigt in welchem Bereich sich die getauschten Komponenten befinden und lediglich eine Abschätzung getroffen. Handelt es sich um einen defekten Bestandteil im Bereich der Comparative Medicine, welche im 3. Untergeschoss situiert ist, nimmt dies deutlich mehr Zeit in Anspruch. Hierbei handelt es sich um einen Reinraumbereich, wodurch das alleinige Betreten des betroffenen Raumes mit einem erhöhten Zeitaufwand verbunden ist. Aufgrund der Hygienestandards ist beispielsweise ein Kleidungswechsel sowie eine Einschleusung mittels Luftdusche erforderlich.

7 Einsparungspotenzial

Das Kapitel Einsparungspotenzial befasst sich mit der Identifizierung von Maßnahmen, welche bei Umsetzung zu einer Reduktion der erforderlichen Ressourcen führen. Es ist kein Ziel des Kapitels diese zu bewerten, sondern es besteht lediglich darin Möglichkeiten und Ansatzpunkte aufzuzeigen. Hierbei soll nicht ausschließlich die Senkung des Stromverbrauchs betrachtet werden, sondern auch die Möglichkeit zur Verringerung der Anzahl an erforderlichen Leuchtmitteln. Eine Reduktion der Helligkeit wird thematisiert und ein weiterer Bestandteil des Kapitels sind Möglichkeiten zur Bewusstseinsbildung bei Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Institute, für ressourcenschonendes Verhalten. Zusätzlich befasst sich dieser Abschnitt mit der Ausweitung der zum Teil bereits vorhandenen Regelungstechnik auf den Bereich der Beleuchtung.

7.1 Mengenreduktion

Ein wesentlicher Aspekt hinsichtlich der Ressourcenschonung liegt in der Reduktion der Leuchtmittel. Dieses Ziel kann beispielsweise durch eine adaptierte Positionierung erzielt werden. Hierfür ist eine Bestandsaufnahme und in einem weiteren Schritt eine Evaluierung für jeden einzelnen Raum erforderlich. Eine Reduktion birgt sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile. Diese ergeben sich durch die verringerte Anzahl an benötigten Leuchtmitteln und damit einhergehenden geringeren Anschaffungskosten. Des Weiteren führt eine Reduktion der Menge unweigerlich ebenfalls zu einer Senkung des Energiebedarfs. Aufgrund einer Vielzahl an vorangegangenen baulichen Änderungen bietet dieser Aspekt bedeutendes Einsparungspotenzial. Jedoch sollte hierbei nicht außer Acht gelassen werden, dass es durch wechselnde Forschungsgruppen oder Änderungen hinsichtlich der Raumnutzung, stets erneut zu Umbauarbeiten und damit einhergehenden Veränderungen der Wandpositionierungen kommen kann. Weiters wurde, durch neu angeschaffte Ausstattungsgegenstände oder durch veränderte Nutzungsbedingungen und damit einhergehende Adaptierungen der Ausstattung, Leuchten zum Teil verdeckt.

7.2 Lichtsteuerung

Wie bereits in einem der vorangegangenen Kapitel erläutert wurde, erfolgt die Lichtsteuerung in dem für diese Arbeit betrachteten Gebäude zum aktuellen Zeitpunkt größtenteils mit Hilfe von Lichtschaltern. Vor allem in jenen Bereichen, in welchen mehrere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig sind, birgt dies Risiken hinsichtlich des Energieverbrauchs. Durch mehrfache Beobachtungen konnte festgestellt werden, dass die Beleuchtung des Öfteren nicht ausgeschaltet wurde, obwohl der Raum nicht aktiv genutzt wurde. Um bei

dieser Problematik eine Verbesserung zu erzielen, bietet sich die Nutzung der bereits vorhandenen Präsenzmelder an. Dies ist in einem ersten Schritt jedoch nur in jenen Bereichen anzudenken, welche bereits über einen solchen Melder verfügen. Zu einem späteren Zeitpunkt ist eine Evaluierung hinsichtlich einer Erweiterung der Präsenzmelder durchzuführen. Die vorhandenen Sensoren werden bereits für die Regelung der Lüftung eingesetzt und es besteht ebenfalls die Möglichkeit die für die Lichtsteuerung einzusetzen. Vorwiegend sind diese Präsenzmelder bereits in den Laborflächen vorhanden. Büros werden größtenteils lediglich von einzelnen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern genutzt. Aus diesem Grund sind diese Flächen vorerst nicht von Bedeutung, da davon ausgegangen werden kann, dass in diesen Räumen die Beleuchtung nicht aktiv ist, wenn sie nicht belegt sind.

Eine weitere Möglichkeit hinsichtlich Energieeinsparung liegt in der Berücksichtigung des vorhandenen Tageslichts. Präsenzmelder verfügen zum Teil über Sensoren, mit welchen die Helligkeit in einem Raum festgestellt werden kann. Bei ausreichend Tageslichteintrag ist somit eine Reduktion des künstlichen Lichts möglich. Bei einer Umsetzung dieser Maßnahme ist jedoch stets darauf zu achten, dass ausreichend Licht für die ausgeübten Tätigkeiten vorhanden ist und rechtliche Vorgaben eingehalten werden.

Einsparungspotenzial liegt außerdem bei den Sanitärräumen, da die Beleuchtung in diesen Bereichen, wie im vorangegangenen Kapitel bereits erläutert, zum aktuellen Zeitpunkt dauerhaft aktiv ist. Diese Räume sind derzeit nicht, wie beispielsweise Labors, mit Präsenzmeldern ausgestattet. Da die Räume grundsätzlich aus einem Vorraum mit Waschtisch und zwei Toilettenkabinen bestehen, wären hier drei der aktuell eingesetzten Melder erforderlich, um die Erfassung der Personen sicherzustellen. Da dies weder aus ökonomischer noch aus ökologischer Sicht einen Vorteil bietet, ist eine Marktanalyse nach Alternativen während der Projektplanungsphase durchzuführen. Sollte dies zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis führen ist die Wiederinbetriebnahme der bereits vorhandenen Taster anzudenken.

In Zusammenarbeit mit der Abteilung Comparative Medicine ist das Gesamtkonzept der Beleuchtung in den Räumen für die Haltung beziehungsweise die Zucht der Versuchsubjekte neu zu bewerten. Hierfür ist eine Erhebung des aktuellen Wissensstands hinsichtlich der Ansprüche an die Beleuchtung seitens der Versuchsorganismen durchzuführen. Ein Ansatzpunkt wäre hier beispielsweise eine Verkürzung des Tagzyklus und eine entsprechende Verlängerung des Nachtzyklus. Zusätzlich ist zu prüfen, ob die Möglichkeit zur Reduktion der Helligkeit in den Räumen gegeben ist. Das Ziel liegt in der Schaffung von optimalen Lichtverhältnissen für den Zucht- sowie Forschungsbetrieb, wobei rechtskonforme Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, welche in diesen Bereichen tätig sind, stets im Vordergrund stehen.

7.3 Dimmen

Mit Hilfe der zukünftigen Leuchtmittel wird die Möglichkeit zum Dimmen des Lichts bestehen. Dies ist so weit als möglich auszuschöpfen, wobei die Unterschreitung von rechtlichen Vorgaben nicht zulässig ist, und diese zu berücksichtigen sind. Gangbereiche sind hierbei auf einen maximal erforderlichen Wert einzustellen und dieser ist nach Möglichkeit außerhalb der Normalarbeitszeit automatisiert zu reduzieren. Dies kann beispielsweise durch die Abschaltung jedes zweiten Leuchtmittels erreicht werden. In den Labors gilt es ebenfalls einen Maximalwert zu definieren. Für den Fall, dass die Berücksichtigung des Tageslichtes mit Hilfe der Präsenzmelder nicht möglich ist oder erst zu einem späteren Zeitpunkt umgesetzt wird, sind in Abstimmung mit den Nutzerinnen und Nutzern gegebenenfalls Adaptierungen vorzunehmen. Nach Möglichkeit ist die Helligkeit auf ein Minimum zu reduzieren. Hierbei steht die Sicherheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter stets im Vordergrund und es ist für eine ausreichende Beleuchtung für die jeweilige Tätigkeit Sorge zu tragen.

Ein weiteres Augenmerk liegt auf jenen Räumen, welche nicht zu den Allgemeinflächen zählen und welche weiterhin über Lichtschalter gesteuert werden. Hierunter sind künftig hauptsächlich Büros und Schreibplätze zu verstehen. Diese Bereiche verfügen in der Regel über keine Präsenzmelder und bieten daher nicht die Möglichkeit einer tageslichtabhängigen Anpassung der Helligkeit. Aus diesem Grund sind diese Räume mit Tastern auszustatten, welche es den Nutzerinnen und Nutzern erlauben die Helligkeit eigenständig anzupassen. Jedoch sind für diese Bereiche ebenfalls sowohl Minimal- als auch Maximalwerte festzulegen.

7.4 Aufmerksamkeit

Ein ebenso wichtiger Gesichtspunkt ist die Bewusstseinsbildung bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern hinsichtlich ihres Nutzungsverhaltens sowie die dauerhafte Sichtbarkeit der gesamten Thematik. Für die Zielerreichung besteht eine Vielzahl an Möglichkeiten, wobei nur eine Auswahl im Zuge der vorliegenden Arbeit thematisiert wird.

Eine dieser Möglichkeiten besteht darin, in regelmäßigen Abständen über den internen Newsblog ein Beitrag zu veröffentlichen, um auf Energieeinsparungspotenzial aufmerksam zu machen. Neben der regelmäßigen Veröffentlichung in dem Newsblog ist anzudenken, eine eigene Rubrik zu dem Thema ressourcenschonendes Verhalten im Intranet zu implementieren. Hiermit wäre eine zusätzliche Informationsquelle für alle interessierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter geschaffen.

Des Weiteren bietet sich über den genannten Kanal eine Ideenplattform an. Hierbei besteht für jede angestellte Person die Möglichkeit Vorschläge einzubringen, welche anschließend von den entsprechenden Abteilungen analysiert und bewertet werden.

Bei der Institutssprache handelt es sich um Englisch, jedoch verfügen nicht alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über die gleichen sprachlichen Fähigkeiten. Die im Intranet angebotenen Informationen zu diesen Themen sollen grundsätzlich jedoch für alle verständlich sein. Aus diesem Grund ist hier Zweisprachigkeit anzustreben. Bei den Sprachen sind hier Deutsch und Englisch zu wählen.

Die gesamten Informationen zu dem Thema Energieeinsparungspotenzial sollen in Rubriken unterteilt werden. Eine Kategorie sollte sich hierbei ausschließlich der Beleuchtung widmen.

Es ist ebenfalls anzudenken allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des betroffenen Gebäudes einen Einblick in den Stromverbrauch und den damit verbundenen Kosten zu ermöglichen, um die Relevanz der Thematik zu verdeutlichen und einen zusätzlichen Anreiz zur Energieeinsparung zu schaffen.

Abgesehen von vermehrter Onlinepräsenz besteht die Möglichkeit Aufkleber auszugeben, welche an das Ausschalten von nicht benötigten Geräten beziehungsweise der Beleuchtung erinnern sollen.

Zusätzlich bietet sich die Möglichkeit der Aufnahme in die jährlich wiederkehrende Online-schulung, welche für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Institute verpflichtend ist. Hierfür bietet sich die Informationsweitergabe mit anschließender Wissensüberprüfung, beispielsweise über Multiple Choice Fragen, zum Thema energieeffizientes Verhalten an. Durch die hohe Fluktuation, vorwiegend bei den wissenschaftlichen, Angestellten ist eine dauerhafte Implementierung und Präsenz dieser Themen zwingend erforderlich.

Ein weiterer Bestandteil dieser Informationsverbreitung liegt darin, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Institute auf die Möglichkeit zur Helligkeitsanpassung der Beleuchtung in den Büros hinzuweisen. Aufgrund des häufigen Personalwechsels verfügen nicht alle angestellten Personen über denselben Wissensstand. Des Weiteren ist das technische Verständnis nicht bei allen Personen dasselbe.

Mit den oben angeführten Möglichkeiten wird das Ziel verfolgt, alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter darüber in Kenntnis zu setzen, dass ihr Verhalten direkten Einfluss auf die Ausschöpfung des Energieeinsparungspotenzials hat. Jene Bereiche, welche nicht über Automatisierungstechnik geregelt werden können, erfordern die Mitarbeit aller in dem Gebäude tätigen Personen.

7.5 Energieeffiziente Leuchtmittel

Nicht zu vernachlässigen ist der Energieverbrauch der Leuchtmittel selbst. Besonderes Augenmerk liegt dadurch bei der Neuanschaffung der Leuchten auf dem benötigten Energiebedarf. Es ist darauf zu achten, dass diese bei der Produktauswahl stets Berücksichtigung finden. Da es sich bei LEDs bereits um energieeffizientere Leuchten handelt, sollte

sich dies jedoch nicht als Problem darstellen und sollte lediglich nicht außer Acht gelassen werden. Im Zuge der Projektplanung und Produktauswahl sind die Verbräuche der aktuellen und der künftigen Leuchtmittel gegenüberzustellen.

8 Ziele und Anforderungen

In diesem Kapitel werden Ziele definiert, welche mit der Umsetzung des Beleuchtungsaustausches erreicht werden sollen. Ein weiterer Bestandteil ist die Ermittlung der benötigten Anzahl an Leuchtmitteln. Wie bereits in einem der vorangegangenen Kapitel wird diese Menge sowohl den unterschiedlichen Bereichen als auch dem jeweiligen Stockwerk zugewiesen. Weiters ist die Spezifikation an die einzusetzende Leuchte Inhalt dieses Abschnittes. Diese wird jedoch lediglich für jenes Leuchtmittel erstellt, welches am häufigsten zur Anwendung kommt. Auf Lampen mit speziellen Anforderungen, wie beispielsweise die Feuchtraumeignung, wird aufgrund der vergleichsweise geringen Anzahl im Zuge dieser Arbeit nicht eingegangen. Jedoch wird hiermit festgehalten, dass der Bedarf vorhanden ist und dieser bei der Projektplanung sowie der Umsetzung nicht außer Acht gelassen wird, sondern lediglich aus der vorliegenden Arbeit ausgegrenzt wird.

8.1 Mengenermittlung

Die für den Austausch erforderlichen Leuchten werden, wie bereits in einem vorangegangenen Kapitel dem jeweiligen Bereich sowie dem entsprechenden Stockwerk zugeordnet.

In der nachfolgenden Tabelle ist die Anzahl der benötigten LEDs pro Bereich zu finden.

Tabelle 9 Anzahl der benötigten LEDs nach Bereichen

Bereich	Anzahl LEDs [Stück]
Bereiche welche in Zusammenhang mit Versuchsobjekten stehen	330
Gänge	228
Labor- und Büroflächen	944
Stiegenhäuser	42

Technikbereiche	339
Summe	1.883

Erfolgt die Aufteilung nach Geschossen ergibt dies nachstehende Tabelle.

Tabelle 10 Anzahl der benötigten LEDs nach Geschossen

Geschoss	Anzahl [Stück]
3. Untergeschoss	335
2. Untergeschoss	98
1. Untergeschoss	144
Erdgeschoss	382
Plazageschoss	189
1. Obergeschoss	174
2. Obergeschoss	211
3. Obergeschoss	194
1. Dachgeschoss	145
2. Dachgeschoss	11
Summe	1.883

Aufgrund der mangelhaften Dokumentation hat die genaue Mengenermittlung bei der Durchführung zu erfolgen und oben angegebene Mengen sind lediglich als Richtwerte zu verstehen. Bei der Beschaffung sollen zumindest je zwei Stück als Reserve mitbeauftragt werden. Zusätzlich zu den LEDs werden weitere Komponenten wie beispielsweise Tragschienen und Blinddeckel benötigt. Die Mengenermittlung dieser Materialien würde den Umfang dieser Arbeit übersteigen und wird daher ausgegrenzt.

8.2 Spezifikationen LED Leuchte

Einige Bereiche sind mit feuchtraumgeeigneten Leuchten auszustatten, hierzu zählen beispielsweise gewisse Räume, welche in Zusammenhang mit Versuchsobjekten stehen. Für den Großteil der auszutauschenden Leuchtmittel ist dies jedoch nicht erforderlich. Die Farbtemperatur wurde im Allgemeinen mit 4000 K festgelegt, ausgenommen hiervon sind lediglich Verteilerräume, wo Leuchten mit einer Temperatur von 6500 K eingesetzt werden sollen. Hinsichtlich der Farbwiedergabequalität ist ein Ra-Wert von zumindest 80 definiert. Die Bauteillänge reicht von 622 mm bis zu 2130 mm, der Lichtstrom von 3500 bis 11270 lm. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Spezifikationen jener Leuchte, welche am häufigsten erforderlich ist.

Tabelle 11: Spezifikation der einzusetzenden LED

Aspekt	Vorgabe
Leuchtmittel	LED
Farbtemperatur	4000 K
Lichtfarbe	840
Lichtstrom	11270 lm
Lichtstrom einstellbar	Stufenlos
Lichtaustritt	Direkt
Lichtverteilung	Symmetrisch

Lichtausstrahlung	Tief strahlend
Ra-Wert	≥ 80
Feuchtraum geeignet	Nein

8.3 Lichtmessungen

Bedingt durch das fortgeschrittene Alter des Gebäudes sind keine computerunterstützten Auswertungen beziehungsweise Darstellungen hinsichtlich der Lichtverteilung in den einzelnen Bereichen und Räumen vorhanden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass alle rechtlichen Vorgaben erfüllt werden. Einen Bestandteil des gesamten Austausches bildet dennoch die Erstellung einer solchen Auswertung mit der Hilfe einer externen Fachfirma, da die hierfür benötigte Kompetenz im Facility Management zum aktuellen Zeitpunkt nicht vorhanden ist. Dies soll jedoch nicht für jeden Räume durchgeführt werden, sondern lediglich als Stichprobe in den unterschiedlichen Bereichen. Die Auswertung hat für zumindest einen Raum jeder der nachfolgenden Kategorien zu erfolgen.

- Bereiche welche in Zusammenhang mit Versuchsobjekten stehen
- Gänge
- Labor- und Büroflächen
- Stiegenhäuser
- Technikbereiche

Da das Beleuchtungskonzept für Räume innerhalb einer dieser Kategorien grundsätzlich ähnlich ist, ist davon auszugehen, dass Stichproben von jeweils einem der Räume als Referenz ausreichen und auf dieser Basis eine qualifizierte Aussage hinsichtlich der Lichtverteilung getroffen werden kann.

8.4 Einsparungspotenzial

Eines der Ziele, welches im Zuge des Beleuchtungsaustausches erreicht werden soll, liegt in der Bewertung und gegebenenfalls in der Umsetzung der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Einsparungspotenziale. Die erarbeiteten Möglichkeiten sind hinsichtlich nachfolgender Kriterien zu bewerten:

- Anzahl der beteiligten Personen
- Geschätzter Arbeitsaufwand

- Geschätzter Mehrwert
- Kosten
- Plausibilität

Durch eine Bewertung der Möglichkeiten ist in einem weiteren Schritt eine Einstufung nach Prioritäten sowie Umsetzungszeitpunkt möglich. Die Beurteilung ist bereits in der Planungsphase erforderlich, da die Umsetzung zum Teil bereits im Zuge des Austausches erfolgen kann beziehungsweise dies sogar erforderlich ist. Die Unterbrechungszeiten für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind als kurz als möglich zu halten.

9 Risiken

Im Zuge des Austausches der Leuchtmittel auf LED können sich zu unterschiedlichen Zeitpunkten Risiken ergeben. Ebenjene werden in diesem Kapitel behandelt. Das Ziel ist eine möglichst umfängliche Analyse der potenziellen Risiken. Durch die frühzeitige Berücksichtigung dieser, soll eine Verzögerung des Projekts weitestgehend vermieden werden. Es erfolgt eine Zuteilung zu den wahrscheinlichsten Entstehungszeitpunkten des Risikos. Hierbei wird zwischen den Phasen der Vorbereitung, Durchführung sowie Nachbereitung unterschieden.

9.1 Vorbereitung

Budget

Aufgrund der Vielzahl der erforderlichen Materialien und der damit einhergehenden Kosten wird die Umsetzung des Austausches nicht innerhalb eines Jahres erfolgen. Daher wird die Durchlaufzeit des Projekts derzeit mit drei Jahren veranschlagt. Dies ist jedoch davon abhängig, ob innerhalb dieses Zeitrahmens die Umsetzung von anderen Großprojekten erforderlich wird, welche im Vorfeld nicht vorhersehbar sind und das begrenzte Budget somit für diese eingesetzt wird. Für die Beschaffung der notwendigen Bauteile für den Austausch der Leuchtmittel wurde eigens ein sogenannter „Innenauftrag“ angelegt. Damit wird das Ziel verfolgt, ein jahresübergreifendes Monitoring der Gesamtkosten des Projekts zu ermöglichen. Aufgrund der anzunehmenden Preissteigerungen im Laufe der Projektdauer ist anzudenken das gesamte Material bei ausgewählten Lieferanten anzufragen und anschließend eine möglichst lange Preisbindung mit dem Bestbieter auszuhandeln.

Lieferzeit

Eine Terminplanung mit den betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu erarbeiten und eine Beauftragung für die Lieferung nach Bedarf kann aufgrund der ungewissen Lieferdauer nicht umgesetzt werden. Aufgrund dessen, dass der Austausch während des laufenden Betriebs erfolgt und die Umsetzung in den meisten Bereichen nicht zu flexiblen Zeitpunkten durchgeführt werden kann, ist eine Zwischenlagerung vor Ort erforderlich. Alternativ hierzu ist bei dem zuvor ausgewählten Bestbieter anzufragen, ob die Möglichkeit einer Lagerung des beauftragten Materials mit einem Abrufauftrag besteht.

Lagerkapazität

Die Lagerkapazität in dem betrachteten Gebäude ist stark begrenzt. Aus diesem Grund besteht nicht die Möglichkeit einer einmaligen Anlieferung aller, für den Beleuchtungsaustausch erforderlichen, Materialien. Für die Zwischenlagerung kann zum aktuellen Zeitpunkt lediglich ein Ort herangezogen werden. Hierbei handelt es sich um einen definierten Lagerbereich auf einem der Gänge in dem 2. Untergeschoss. Bei den Verpackungsmaterialien handelt es sich zum größten Teil um Karton sowie Plastik. Dies führt zu einer zusätzlichen Brandlast, weshalb aus brandschutztechnischen Gründen eine Lagerung so kurz wie möglich gehalten werden sollte. Des Weiteren dürfen lediglich dafür vorgesehene Bereiche für die Verwahrung genutzt werden, womit das Ziel verfolgt wird eine Einschränkung der Fluchtwege zu verhindern. Der Transportweg zu diesem Lagerbereich ist jedoch nicht optimal und aufgrund der Länge mancher Komponenten ist der Transport mit dem Lastenaufzug zum Teil nicht möglich. Dies führt zu einer zusätzlich erschwerten Verbringung. Jenes, für den Beleuchtungsaustausch, benötigte Material kann erst im Anschluss an eine vorangegangene Absprache mit den betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern kurzfristig in den umzubauenden Bereich verbracht werden. Aufgrund der, wie bereits oben angeführten, unvorhersehbaren Lieferzeiten ist eine termingerechte Beauftragung im Vorfeld nicht möglich und eine Zwischenlagerung in dem 2. Untergeschoss ist unumgänglich.

Stromkreise

Bei LEDs handelt es sich im Allgemeinen um energieeffizientere Geräte im Vergleich zu den aktuell verwendeten Leuchtstoffröhren. Jedoch führt der erforderliche Einschaltstrom zu einer höheren Stromspitze als zum jetzigen Zeitpunkt. Aus diesem Grund ist eine vorhergehende Prüfung erforderlich. Hierbei liegt das Ziel in der Feststellung, ob die bereits verwendeten Stromkreise ausreichen und somit weiterhin verwendet werden können. Falls diese Prüfung negativ ausfällt, sind Adaptierungen in diesem Bereich erforderlich. Um eine qualifizierte Aussage treffen zu können, ist es notwendig die Daten des Leuchtenherstellers für die unterschiedlichen Modelle einzuholen und die Werte des benötigten Einschaltstroms zu ermitteln. Hierbei ist ebenfalls die Anzahl der LEDs zu berücksichtigen. Die so errechneten Daten werden anschließend mit dem Bestand verglichen und die Ergebnisse dieser Analyse in einer geeigneten Form dokumentiert. Sollten Anpassungen hinsichtlich der Verkabelung erforderlich sein, werden diese den ausführenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Facility Managements bekanntgegeben. Diese Evaluierung ist für jeden Bereich separat durchzuführen, eine Verallgemeinerung ist hier nicht zulässig.

Lichtmessungen

Bedingt durch das fortgeschrittene Alter des Gebäudes sind keine computerunterstützten Auswertungen beziehungsweise Darstellungen hinsichtlich der Lichtverteilung für die einzelnen Bereiche und Räumen vorhanden. Im Facility Management sind die Kompetenzen zur Durchführung einer solchen Evaluierung zum aktuellen Zeitpunkt nicht vorhanden und eine externe Beauftragung wäre erforderlich. Aus diesem Grund werden, unter der Annahme, dass prinzipiell alle Lichtquellen erforderlich sind und deshalb eine Reduktion grundsätzlich nicht möglich ist, die vorhandenen Leuchtstoffröhren zum größten Teil durch LEDs ersetzt. Eine Verringerung der Anzahl entsteht beispielsweise durch veränderte Abmessungen, da zukünftig längere Leuchten eingesetzt werden können.

Ein weiterer Grund für die prinzipielle Beibehaltung der Positionierung der Leuchtmittel liegt in den sich häufig ändernden Anforderungen. Durch wechselnde Forschungsgruppen oder Änderungen hinsichtlich der Raumnutzung, können stets Umbauarbeiten und damit einhergehend Veränderungen der Wandpositionierungen erforderlich sein. Aus diesem Grund wird eine generelle Neupositionierung der Leuchten als nicht praktikabel erachtet. In Ausnahmefällen sind Adaptierungen hinsichtlich der Position des Leuchtmittels jedoch nach einer vorangegangenen Evaluierung durchzuführen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn durch neu angeschaffte Ausstattungsgegenstände oder durch veränderte Nutzungsbedingungen und damit einhergehenden Adaptierungen der Ausstattung, Leuchten zum Teil verdeckt wurden. Aufgrund der Annahme, dass rechtliche Vorgaben eingehalten werden und die Beleuchtungsstärke in allen Räumen ausreicht, sind im Zuge des Austausches verdeckte Leuchtmittel neu zu positionieren beziehungsweise zu entfernen.

9.2 Durchführung

Zutritt

Die Umsetzung in Allgemeinflächen wie beispielsweise Gängen, Stiegenhäusern und Sanitärbereichen kann grundsätzlich jederzeit erfolgen. Über den Austausch in den Büros sind die Kolleginnen und Kollegen im Vorfeld zu informieren, es besteht jedoch keine Einschränkung hinsichtlich des Zutritts. Im Gegensatz hierzu stehen die Laborflächen. Durch diverse Sicherheitsvorschriften ist für jedes Labor eine vorhergehende Absprache mit den verantwortlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des jeweiligen Bereichs erforderlich. Der Zutritt zu sensiblen Bereichen ist ausschließlich nach Genehmigung dieser Personen gestattet. Dies ist zwingend erforderlich, um einerseits den Schutz der Gesundheit von Angestellten des Facility Managements zu gewährleisten und andererseits zum Schutz von laufenden Experimenten der wissenschaftlichen Angestellten. Es ist sicherzustellen, dass alle Oberflächen desinfiziert und der gesamte Raum als unbedenklich deklariert wurde, bevor der Austausch durchgeführt werden kann. Gewisse Bereiche dürfen erst nach erfolgter Freigabe durch die Abteilung „Biosafety“ betreten werden. Hierzu zählen beispielsweise jene Räume, in welchen mit radioaktiven Substanzen gearbeitet wird.

Eine weitere Einschränkung hinsichtlich des Zutritts besteht bei der Reihenfolge des Betretens gewisser Bereiche. In dem gewählten Gebäude sind sowohl Bereiche vorhanden, welche für die Quarantäne verwendet werden, als auch Räume welche als keimfrei gelten. In Ersterem befinden sich Versuchsobjekte nach ihrem Eintreffen in den Instituten. Hiermit wird das Ziel verfolgt eine mögliche Krankheitsübertragung auf andere Organismen zu vermeiden. Der sogenannte keimfreie Bereich darf von keinen Personen betreten werden, welche sich am gleichen Tag bereits in jenem Raum für die Quarantäne aufgehalten haben. Eine umgekehrte Reihenfolge bei dem Zutritt stellt jedoch keine Gefahr dar. Diese Vorgehensweise ist auch in anderen Bereichen erforderlich, um etwaige Kreuzkontaminationen zu verhindern.

Betriebseinschränkungen

Am Standort VBC4 wird durchgehend geforscht, weshalb der Austausch auf LED-Beleuchtung während des laufenden Betriebs erforderlich ist. Wie bereits oben erwähnt ist es möglich gewisse Bereiche umzusetzen, ohne dass massive Einschränkungen für wissenschaftlichen Angestellten damit einhergehen. Die Büros werden zumeist nur von Einzelpersonen genutzt und damit einhergehend ist die Größe und somit auch die Anzahl der zu tauschende Elemente begrenzt. Aus diesem Grund ist die Durchführung in diesen Bereichen entweder vor Beginn der Regelarbeitszeit möglich, oder die betroffenen Personen arbeiten an diesen Tagen im Homeoffice. Durch diese Möglichkeiten kommt es für administrative Angestellte zu keinen Einschränkungen. Für Allgemeinbereiche wie Gänge und Sanitärräume bestehen stets Alternativen, wodurch auch hier keine massiven Behinderungen entstehen. Die Stiegenhäuser sind während des Austausches grundsätzlich begehbar, jedoch verfügen diese über keinerlei natürlichen Lichtquellen. Aufgrund der damit einstehenden eingeschränkten Sichtverhältnisse und der Gefahr durch herabfallende Teile wird von einer Benützung jedoch abgeraten. Alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Institute sind im Vorfeld per E-Mail über die bevorstehenden Arbeiten in Kenntnis zu setzen.

Im Gegensatz zu den oben angeführten Bereichen stehen die Labors. Hierbei handelt es sich um größere Räume und somit eine höhere Anzahl an Leuchtmitteln, welche getauscht werden müssen. Durch die damit verbundene längere Umsetzungsdauer sind hier Einschränkungen des Betriebs kaum zu vermeiden. Aufgrund des Abgangs wissenschaftlicher Gruppen und daraus resultierenden freien Laborflächen ist ein Austausch in diesen Bereichen ohne Unterbrechungen für die wissenschaftlichen Angestellten möglich. Für die übrigen Räume ist die Erstellung eines Konzepts, in Zusammenarbeit mit den jeweils betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, erforderlich. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dürfen während der Durchführung nicht an ihren Laborarbeitsplätzen tätig sein, da stets die Gefahr von herabfallenden Teilen und somit Verletzungsgefahr besteht. Seitens des Facility Managements wird versucht die Arbeiten so schnell als möglich durchzuführen, um die entstehenden Betriebsunterbrechungen möglichst kurz zu halten.

Personalressourcen

Eine detaillierte Einsatzplanung ist ebenfalls aufgrund der, durch den Tausch der Leuchtmittel, gebundenen Personalressourcen erforderlich. Es sollte darauf geachtet werden, dass keine externen Dienstleister vor Ort sind, welche durch jene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Facility Managements betreut werden, welche für die Durchführung des Austausches verantwortlich sind. Des Weiteren gilt es zu berücksichtigen, dass nicht alle vorhandenen Ressourcen für den Austausch eingeplant werden können, da auch in diesem Zeitrahmen die Behebung von Störungen notwendig ist und eine zeitnahe Bearbeitung erforderlich sein kann. Aufgrund mangelhafter Dokumentation sind sowohl die Planung als auch die Nachbereitung mit erhöhtem Arbeitsaufwand verbunden, wodurch weitere Arbeitszeit für Routinetätigkeiten entfällt.

9.3 Nachbereitung

Nutzeranforderungen

Da die neu eingesetzten LEDs die Möglichkeit zum Dimmen bieten, soll dieses Potenzial auch in Anspruch genommen werden. Das Ziel ist die Vermeidung von Blendung sowie die Schaffung einer angenehmen und anregenden Arbeitsatmosphäre in dem gesamten Gebäude. Allgemeinbereiche wie Gänge, Stiegenhäuser und Sanitärbereiche werden von Seite des Facility Managements getestet und anschließend wird ein Wert definiert, welcher in all diesen Bereichen zur Anwendung kommt.

Im Gegensatz dazu stehen Büros, wo diese Entscheidung den Einzelpersonen überlassen wird. Sollten hier keine Taster verbaut werden, welche eine eigenständige Adaptierung der Helligkeit ermöglichen, ist eine Terminvereinbarung zwischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Facility Managements sowie den einzelnen Nutzern erforderlich. Durch Testen wird eine als angenehm empfundene Helligkeit ermittelt und anschließend softwareseitig für die einzelnen Räume fixiert. Die Abstimmung mit einzelnen Nutzern kann in der Regel rasch umgesetzt werden.

Ein weiterer Unterschied besteht bei den Laborflächen, da in diesen Räumen mehrere Personen tätig sind. Hier besteht die Herausforderung darin möglichst viele Personen zufriedenzustellen, da eine angenehme Beleuchtungsstärke als subjektiv empfunden wird und in Abhängigkeit zu der jeweiligen Arbeit steht. Die Festlegung der Helligkeit in diesen Bereichen erfolgt durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Facility Managements in Hinblick auf gesetzliche Vorgaben sowie die auszuübenden Tätigkeiten. Hierfür wird die Expertise eines im entsprechenden Bereich angestellten Labor Technician eingeholt.

In gewissen Bereichen ist zusätzlich eine Berücksichtigung von Tag-Nacht-Zyklen erforderlich. Diese Räume verfügen über keinerlei natürliche Lichtquelle und die Einstellung

der Leuchtmittel hat nach genauen Vorgaben der zuständigen Personen aus der Abteilung Comparative Medicine zu erfolgen, da sowohl die Experimente als auch die Haltung und Zucht direkt von der Beleuchtung beeinflusst werden.

Entsorgung

Die Entsorgung der Leuchtstoffröhren sowie elektronischer Bauteile erfolgt nicht über den regulären Restmüll, sondern es ist eine separate Sammlung und Entsorgung erforderlich. Aus diesem Grund ist eine Zwischenlagerung dieser Komponenten bis zur Abholung durch die zuständige Entsorgungsfirma erforderlich. Wie bereits unter dem Punkt Vorbereitung angeführt sind die Lagerkapazitäten stark begrenzt. Für die Lagerung bis zum Zeitpunkt des Abtransports steht der sogenannte „Müllgang“ zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um einen Gangbereich neben dem eigentlichen Abfallsammelraum. Die Nutzung des Gangbereichs für Sonderabfälle ist erforderlich, da in dem eigentlichen Raum mit Behältern zur Sammlung von Fraktionen wie Restmüll, Kunststoffe, Glas und medizinischen Abfall keine freie Fläche für sonstige Abfälle vorhanden ist. Da es sich bei dem Gang jedoch ebenfalls um einen Fluchtweg handelt ist eine definierte Gangbreite freizuhalten, wodurch die Lagermöglichkeiten deutlich eingeschränkt werden. Weiters ist eine Meldung an den Entsorger am Montag erforderlich, worin er informiert wird welche Abfallart und Menge am Mittwoch abzuholen ist. Aufgrund dessen, dass die Abholung von Sonderabfällen ausschließlich mittwochs erfolgt ist dies auch in der Planung der Durchführungstermine zu berücksichtigen. Erfolgt ein Austausch beispielsweise an einem Donnerstag ist eine Zwischenlagerung von fast einer Woche erforderlich.

Dokumentationsanpassung

Durch den Austausch der Leuchtstoffröhren auf LED ist die Anpassung diverser Pläne und Informationssysteme vorzunehmen. Hierzu zählen:

- CAFM
- AutoCAD
- e-Plan (falls erforderlich)

Bei CAFM (Computer Aided Facility Management) handelt es sich um eine am Standort verwendete Software welche Informationen für den Tätigkeitsbereich des Facility Managements enthält. Hierzu zählen beispielsweise Wartungspläne, die Störungsdokumentation, das Dokumentenmanagement und die Flächenverwaltung. In Hinblick auf die Flächenverwaltung sind Stockwerkspläne aus den Bereichen Architektur, HKLS und Elektrotechnik implementiert. Jedes verbaute Bauteil besitzt eine einmalige sogenannte AKS-Nummer und enthält diverse Attribute und damit Informationen wie zum Beispiel Bezeichnung, Hersteller, Abmessungen und Datum der Inbetriebnahme. Eine Aktualisierung von

ausgewählten Informationen ist für die korrekte Abbildung des Ist-Zustandes zwingend erforderlich. Kenntnisse in Hinblick auf den Datenimport in das genannte System sind im Facility Management nicht durchgehend vorhanden. Aus diesem Grund ist diese Adaptierung zum aktuellen Zeitpunkt lediglich durch zwei Personen möglich. Eine Schulung weiterer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ist aufgrund der derzeitigen Arbeitsauslastung nicht umsetzbar.

Weiters ist durch die mögliche Neupositionierung und den Austausch der Leuchtmittel eine Adaptierung der CAD-Pläne erforderlich. Für diese wird in den Instituten das Programm AutoCAD verwendet. Es ist einerseits die Position der Leuchte zu korrigieren, andererseits ist eine Aktualisierung des Blocks erforderlich. Dieser enthält ebenfalls Attribute welche anschließend in die CAFM-Software eingespielt werden. Diese Änderungen können derzeit lediglich von einem Mitarbeiter durchgeführt werden. Auch in diesem Fall ist die Schulung weiterer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aufgrund der Arbeitsauslastung derzeit nicht möglich.

Im Zuge des Projekts ist ebenfalls die Kontrolle der bestehenden e-Plan Pläne durchzuführen. Wie bereits unter dem Kapitel Vorbereitung erwähnt, ist eine Prüfung hinsichtlich der verwendeten Stromkreise erforderlich. Kommt es hierbei zu Änderungen ist diese in die Pläne einzuarbeiten, bei der Weiterverwendung der gleichen Stromkreise ist keine Änderung vorzunehmen. Derzeit wird als Bezeichnung in den Plänen „Beleuchtung“ verwendet, welche nicht verändert werden soll.

10 Conclusio

In diesem abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse der vorangegangenen Arbeit zusammengefasst. Des Weiteren wird ein Ausblick für mögliche weitere Forschungen gegeben.

10.1 Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit bietet die Erläuterungen von grundlegenden Begriffen, welche in direktem Zusammenhang mit Licht sowie Beleuchtung stehen. Eine Auswahl an gültigen Rechtsgrundlagen wurde in Bezug auf Vorgaben zur Helligkeit analysiert. Des Weiteren wurde der Aufbau von Techniken zur Lichtsteuerung sowie der Gebäudeautomation thematisiert. Eine Mengenermittlung der bestehenden Leuchten und die Darstellung der allgemeinen Ausgangslage sind Teil dieser Diplomarbeit.

Durch die Restriction of Hazardous Substances, kurz RoHS, Richtlinie 2011/65/EU, besteht Handlungsbedarf hinsichtlich einer Umstellung von Leuchtstofflampen. Für diese Arbeit wurde als Alternative zu den bestehenden Leuchten energieeffizientere LEDs ausgewählt. Durch die vorangegangenen Kapitel konnte ein Überblick über weitere Möglichkeiten zur Ressourcenschonung, welche in Zusammenhand mit der Beleuchtungstechnik stehen, gewonnen werden. Hierfür wurden sowohl technische als auch soziale Aspekte berücksichtigt. Durch die Reduktion von Leuchten und der Helligkeit kann eine Senkung des Energiebedarfs erzielt werden. Zusätzlich sind die Motivation und Einbindung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein wesentlicher Bestandteil. Dies kann durch die Setzung von unterschiedlichen Maßnahmen, vorwiegend der Informationsweitergabe, erzielt werden. Die Anforderungen an jene Leuchte, welche am häufigsten verwendet wird, wurden definiert und eine Anzahl an benötigten Leuchtmitteln wurde ermittelt.

Zusätzlich wurden Risiken in den Phasen der Vorbereitung, Durchführung sowie Nachbereitung betrachtet. Diese sind bei einer Umsetzung des Austausches zu beachten und gegebenenfalls sind entsprechende Maßnahmen zu setzen.

Die vorliegende Arbeit bietet einen Einblick in die Adaptierung der Beleuchtung in einem bestehenden Forschungsgebäude aus unterschiedlichen Blickwinkeln und beinhaltet verschiedene Ansatzpunkte zur Ressourcenschonung in Zusammenhang mit Lichttechnik.

10.2 Ausblick

Wie bereits zu Beginn erwähnt, war eine Bewertung der Adaptierung aus ökonomischer Sicht kein Bestandteil der vorliegenden Arbeit.

In einem nächsten Schritt könnte eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für eine solche Umstellung durchgeführt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, bei einer Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen, ein Monitoring des Energieverbrauchs durchzuführen. Im Zuge dessen können mögliche Einsparung auch monetär beurteilt werden.

Eine Einschätzung der gesammelten Ideen hinsichtlich ihres Einsparungspotenzials unter Berücksichtigung von Faktoren wie beispielsweise der aufzuwendenden Arbeitszeit sowie der Materialkosten würde für Unternehmen die Chance bieten, Maßnahmen im Rahmen ihrer Möglichkeiten umzusetzen. Um eine Aussage zu treffen könnte zum Beispiel der Return on Investment herangezogen werden.

Literatur

- Dehli2020 Dehli, Martin: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe: Energietechnische Optimierungskonzepte für Unternehmen*, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutschland, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020
- Schn2019 Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hsg.): *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*, 9. Auflage, Wiesbaden, Deutschland, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019,
- DIN2021 DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN 12464-1:2021, *Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen*, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2021
- Wille2022 Willems, Wolfgang M. (Hrsg): *Lehrbuch der Bauphysik: Wärme – Feuchte – Klima – Schall – Licht - Brand*, 9. Auflage, Wiesbaden, Deutschland, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022
- LVK2024 <https://www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/leuchten/lichttechnische-klassifizierung/lichtstaerkeverteilungskurven/>, verfügbar am 20.05.2024, 18:54
- ASchG2024 <https://ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008910>, verfügbar am 12.06.2024, 19:32
- AStV2024 <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10009098>, verfügbar am 12.06.2024, 18:12

- Wos2012 Wosnitza, Franz; Hilgers, Hans Gerd: *Energieeffizienz und Energiemanagement: Ein Überblick heutiger Möglichkeiten und Notwendigkeiten*, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutschland, Springer

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Wien, den 24.07.2024

Nina MASTALLER