

Licht und Kommunikation in der Pflege: Planung und Betrieb dynamischer Lichtdecken

Hochschule Luzern, Technik & Architektur
Erfahrungsbericht, 2017-2019



Zusammenfassung

Der Neubau des Alters- und Pflegezentrum Alpsteeblick in Appenzell umfasst eine Wohngruppe für Menschen mit Demenz und Wohnräume für schwer pflegebedürftige Menschen. Da einige Bewohner in ihrer Mobilität stark eingeschränkt sind und nur erschwert nach draussen ans Tageslicht kommen, wurden Lichtdecken mit dynamischen Lichtverläufen installiert, um die Innenräume mit ausreichend Licht zu versorgen. Vorbild ist dabei das Tageslicht mit seiner dynamischen Farbtemperatur über den Tag. Ziel dabei war eine Aktivierung der Bewohner am Morgen, eine Stabilisierung des Schlaf-Wach-Rhythmus und eine Verbesserung der Schlafqualität. Positive Effekte konnten nach der Inbetriebnahme der neuen Lichtanlage jedoch nicht festgestellt werden. Vielmehr wurden verschiedene Unzulänglichkeiten im Zusammenhang mit den dynamischen Lichtdecken an die Leitung des Pflegezentrums herangetragen.

Durch Befragungen des Pflegepersonals, qualitative Interviews und lichttechnische Messungen wurden die Ursachen für die mangelnde Akzeptanz der Beleuchtung untersucht. Der vorliegende Bericht liefert Praxis-Empfehlungen für die Planung, die Implementierung, den Betrieb und die Wartung von dynamischen Lichtdecken. Er zeigt auf, welche Fragestellungen für einen erfolgreichen Betrieb frühzeitig zu klären sind und welche Rolle die Kommunikation und die Regelung der Verantwortlichkeiten dabei spielen.

Impressum

Auftraggeber	Kantonales Spital und Pflegezentrum Appenzell, Appenzell
Begleitgruppe	Pflegefachpersonen des Pflegezentrums Appenzell
Projektverantwortung	Hochschule Luzern – Technik & Architektur Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE Themenplattform Licht@hslu Technikumstrasse 21, 6048 Horw
Autoren	Reto Häfliger ¹ , Prof. Björn Schrader ¹ , Janine Stampfli ¹
Beratung quantitative Befragung	Prof. Dr. Jürg Schwarz ²
Qualitative Interviews	Franziska Kohler ²
Lektorat	Dr. Othmar Baeriswyl ¹
Fotos	Reto Häfliger ¹
Dank	Herzlichen Dank an die Mitarbeitenden des Pflegezentrums Appenzell für die gute Zusammenarbeit und die wertvollen Einblicke in den Pflegealltag.
Projektförderung	Dieser Bericht dokumentiert ein Förderprojekt der AGE-Stiftung. Der Bericht ist integraler Bestandteil der Förderung. Weitere Informationen dazu finden Sie unter www.age-stiftung.ch .
Datum	Oktober 2019

¹ Hochschule Luzern, Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE, Horw

² Hochschule Luzern, Wirtschaft, Luzern

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Ausgangslage, Neubau des Pflegezentrums Appenzell	2
1.2. Entstehung des Begleitprojekts	4
1.3. Ziele des Projekts	5
1.4. Vorgehen und Methode	6
2. Grundlagen Licht	7
2.1. Lichttechnische Kenngrößen	8
2.2. Kunstlicht	11
2.3. Tageslicht	12
3. Stand der Forschung – dynamische Beleuchtungen	13
3.1. Wirkung von Licht auf den Menschen	13
3.2. Die Technologie hinter dynamischen Beleuchtungsanlagen – Tunable White	16
4. Befragung des Pflegepersonals	17
5. Messungen und Beobachtungen im Gebäude	20
5.1. Bestandsaufnahme und lichttechnische Messungen	20
5.2. Standort des Gebäudes	21
5.3. Wohngruppe für Menschen mit Demenz	21
5.4. Pflegeoase	24
5.5. Aufenthaltsräume mit Lichtdecken	30
6. Information und Verantwortlichkeiten	38
6.1. Bereitstellung und Dokumentation von Informationen	38
6.2. Verantwortlichkeiten für die dynamische Beleuchtung	39
7. Ausblick, weiteres Vorgehen und Fazit	41
8. Literaturverzeichnis	43

1. Einleitung

Das neue Alters- und Pflegezentrum Alpsteeblick in Appenzell konnte am 7. Juni 2016 bezogen werden. Das Angebot des Pflegezentrums umfasst eine Wohngruppe für Menschen mit Demenz, eine Pflegeoase für schwer pflegebedürftige Menschen und ein Wohnangebot mit Einzelzimmern.

Um die Bewohner am Tag zu aktivieren, ihren Wach-Schlaf-Rhythmus zu stärken und die Schlafqualität in der Nacht zu verbessern, wurden in der Gruppe für Menschen mit Demenz, der Pflegeoase und den Aufenthaltsräumen Lichtdecken mit einem dynamischen Lichtverlauf installiert. Bewohner, die in ihrer Mobilität eingeschränkt sind und daher nur erschwert nach draussen ans Tageslicht können, sollen durch die Lichtdecken ausreichend mit Licht versorgt werden.

zu verbessern. Dabei geht es um Anpassungen einer bereits fertig installierten Anlage in der Betriebsphase.

Im ersten Kapitel dieses Berichts werden die Ausgangslage, die Ziele und die Methodik näher beschrieben. Das zweite Kapitel beinhaltet Grundlagen zu Tages- und Kunstlicht sowie zum aktuellen Stand der Forschung im Bereich dynamischer Beleuchtungen. Kapitel drei gibt Auskunft über die quantitativen Befragungen der Mitarbeitenden. Über die lichttechnischen Messungen und Beobachtungen in die untersuchten Bereiche und Abteilungen des Pflegezentrums gibt das Kapitel vier einen umfassenden Einblick. Kapitel fünf beschreibt die hohe Komplexität dynamischer Beleuchtungen und die Wichtigkeit der Kom-



Abbildung 1: Altes Pflegezentrum im Vordergrund, dahinter der Neubau [Quelle: Licht@hslu]

Die Beleuchtungsanlage wurde innerhalb des regulären Planungsprozesses in Betrieb genommen. Eine positive Beeinflussung durch die dynamische Beleuchtung konnte in der Folge weder bei den Bewohnern noch beim Pflegepersonal beobachtet werden. Vielmehr wurden Unzulänglichkeiten im Zusammenhang mit der Beleuchtungsanlage an die Leitung des Pflegezentrums herangetragen. Im August 2017 erhielt die Hochschule Luzern den Auftrag für eine wissenschaftliche Begleitung. Auf Wunsch des Pflegezentrums sollte untersucht werden, wie die dynamischen Lichtdecken und ihre Bedienung verändert werden können, um deren Akzeptanz bei Bewohnern und Mitarbeitenden

Information und der Klärung von Verantwortlichkeiten in Bezug auf dynamische Beleuchtungen. Diese Dokumentation schliesst mit Empfehlungen für die Praxis und den Umgang mit dynamischen Beleuchtungsanlagen vor, während und nach der Installation. Die Erkenntnisse aus dem Projekt sollen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, um aus den Erfahrungen für zukünftige Projekte mit dynamischen Beleuchtungsanlagen zu lernen. Der Bericht kann als **Hilfestellung für Bauherren und Planende** herangezogen werden, sodass die Kommunikation frühzeitig mit den richtigen Fragestellungen gestartet wird.

1.1. Ausgangslage, Neubau des Pflegezentrums Appenzell

Da das ehemalige Pflegezentrum mit seiner veralteten baulichen Struktur die Umsetzung moderner Pflege- und Betreuungsformen nicht mehr ermöglichte, wurde ab 2002 die Realisierung eines Neubaus in die Wege geleitet und von der Appenzeller Bevölkerung gutgeheissen. Der alte Bau aus

in der sich die leitenden Pflegefachpersonen und die Leitung des technischen Dienstes direkt einbringen und sich an der weiteren Planung beteiligen konnten. Themen wie Raumaufteilung, Mobiliar, funktionelle Materialien und Farbgebung wurden dort besprochen und evaluiert. Die Finanzierung lief über den Kanton Appenzell, der als Bauherr auftritt. Das Pflegezentrum ist in das Gebäude eingemietet. Dementsprechend werden



Abbildung 2: Neubau, Pflegezentrum Appenzell [Quelle: Licht@hslu]



Abbildung 3: Schwarzplan Appenzell [Licht@hslu, Grundlage von Geportal Appenzell]

den 70er Jahren verfügte über drei Stockwerke mit jeweils nur einem Einzelbettzimmer pro Stock. Die Überzahl von Zwei- und Vierbettzimmern entsprach nicht mehr den zeitgemässen Anforderungen. So gründete man eine Arbeitsgruppe mit Vertretern aus der Direktion, Pflegeexperten und Pflegeleitern und schrieb einen Wettbewerb aus. Im Jahre 2011 wurde das Siegerprojekt aus den Wettbewerbseingaben gekürt. Ab 2012 fanden regelmässige Planungssitzungen statt. Die ausführenden Architekten gründeten eine Nutzergruppe,

auch allfällige Kosten durch Anpassungen am Gebäude oder der Haustechnik durch den Kanton als Bauherrn getragen und müssen durch diesen freigegeben werden. Der Umzug verlief ruhig und die Bewohner haben sich schnell im Neubau eingelebt. Unzufriedenheit stand unter anderem in Verbindung mit der Haustechnik und den Zugängen zwischen Innen- und Aussenräumen. Unstimmigkeiten mit der Zentrallüftung, der Storen-Steuerung, dem Licht und seiner Steuerung führten zu Fragen und Diskussionen.

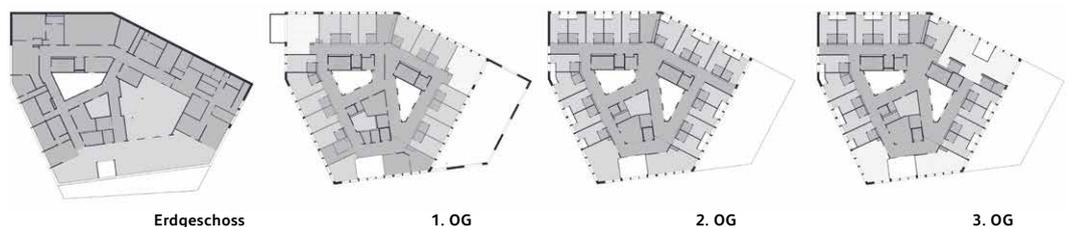


Abbildung 4: Grundrisse [Licht@hslu, Grundlage Bob Gysin & Partner]

Solche Komplikationen sind jedoch bei Bauprojekten dieser Art keine Seltenheit. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diesen vorzubeugen oder konstruktiv darauf zu reagieren.

Das Alters- und Pflegezentrum Alpsteeblick konnte am 7. Juni 2016 bezogen werden. Es bietet Raum für mehr als 60 pflegebedürftige Menschen. Das Gebäude als solches stösst bei den Mitarbeitenden, Bewohnern und Besuchern mehrheitlich auf positive Resonanz. Der Neubau (Abbildung 2) gestattet eine zeitgemässe Betreuung der Bewohner. Speziell an der Architektur ist unter anderem, dass die Korridore rund um einen zentralen Lichthof situiert sind. So entsteht eine permanente Nähe zwischen den Bewohnern und den Pflegepersonen.



Abbildung 5: Ausblick Demenzgarten [Quelle: Licht@hslu]

Für die Pflegepersonen führte dies anfänglich zu einer Umstellung, da sie längere Wege zurücklegen mussten. Das Angebot des Pflegezentrums Appenzell umfasst eine Wohngruppe für Menschen mit Demenz, eine Pflegeoase für schwer pflegebedürftige Menschen und ein Wohnangebot mit Einzelzimmern für Bewohner, die nur in beschränkter Form auf Hilfe angewiesen sind.

Im alten Gebäude (Abbildung 1) betreute man Bewohner mit Demenz integrativ, d. h. zusammen mit den anderen Bewohnern. Dies nahmen die Pflegefachpersonen als grosse Herausforderung wahr. Im Neubau wurde im ersten Stock eine Wohngruppe speziell für demente Menschen

eingerrichtet. Die Mitarbeitenden konnten zudem mitentscheiden, in welcher Abteilung sie arbeiten möchten. So arbeitet in dieser Wohngruppe ausschliesslich Pflegepersonal, das sich aktiv für diese Aufgabe entschieden hat.

Teil dieser Abteilung im ersten Stock ist ein Demenzgarten (Abbildung 6 und 48), eine geschützte und bepflanzte Terrasse, die direkt an die Aufenthaltsräume angrenzt und von den Bewohnern bei schönem Wetter benutzt werden kann. Kleinere überdachte Terrassen sind auch in den anderen Stockwerken zu finden (Abbildung 8). Im dritten Stock befindet sich die Pflegeoase mit einem eigenen Pflegekonzept für eine Wohngruppe mit sechs stark pflegebedürftigen Männern und



Abbildung 6: Demenzgarten [Quelle: Licht@hslu]

Frauen. Diese sind bettlägerig, können sich nur sehr schwer verbal äussern und benötigen eine intensive Betreuung und Aktivierung. Einen Hilferufknopf können sie nicht bedienen. Entsprechend ist das Pflegepersonal rund um die Uhr präsent. So lässt sich schnell feststellen, wenn ein Bewohner unruhig ist oder Schmerzen hat. In den Räumen der Pflegeoase befinden sich zudem zwei Lichtdecken, die sich neben oder direkt über den Betten der Bewohner befinden.

Das Pflegepersonal des Pflegezentrums muss innerhalb der verschiedenen Wohngruppen auf ganz unterschiedliche Bedürfnisse bezüglich der Betreuung eingehen können. Einige Bewohner benötigen nur leichte Unterstützung beim Duschen und sind ansonsten selbstständig; andere wiederum sind schwer pflegebedürftig und können sich nicht zu Wort melden. Dieser Wechsel, zusammen mit der Anforderung, situationskonform auf den jeweiligen Bewohner einzugehen, empfindet das Pflegepersonal als Herausforderung.

Das Pflegezentrum Appenzell liegt an sonniger Lage und bietet einen herrlichen Blick auf die umliegenden Berge. Dank der grossen gedeckten Terrassen auf jedem Geschoss und den zugänglichen Aussenräumen können sich die Bewohner direkt mit Tageslicht versorgen. Bewohner, die sich im alten Gebäude meist im eigenen Zimmer aufhielten, gesellen sich nun in die Aufenthaltsräume zur Gruppe, da ihnen der Ausblick gefällt. Dies unterstützt das Anliegen, dass man im eigenen Zimmer schläft und den Tag draussen aktiv in der Gruppe verbringt. Diese im Vergleich zum alten Gebäude besseren Bedingungen sollten bestmöglich genutzt werden.

1.2. Entstehung des Begleitprojekts

In der von den Architekten gegründeten Nutzergruppe konnten zentrale Themen direkt mit den zukünftigen Nutzern diskutiert werden. Innerhalb dieser Gruppe entstand der Wunsch nach einer dynamischen Beleuchtung, um die Bewohner tagsüber zu aktivieren und den Wach-Schlaf-Rhythmus zu stärken. So können die Bewohner in der Nacht besser schlafen. Dabei berief man sich auf Untersuchungen zum Schlafverhalten, bei denen dynamische Beleuchtungen zur Anwendung kamen [1–5].

Geplant wurden zwei Lichtdecken in der Gruppe für Menschen mit Demenz im ersten Stock, zwei Lichtdecken in den Aufenthaltsräumen im dritten Stock und zwei Lichtdecken in der Pflegeoase im dritten Stock. Im zweiten Stock wurden die beiden Aufenthaltsräume mit konventionellen Leuchten ohne Dynamik ausgestattet. Damit schuf man die Voraussetzungen zur Durchführung weiterer Vergleichsstudien.

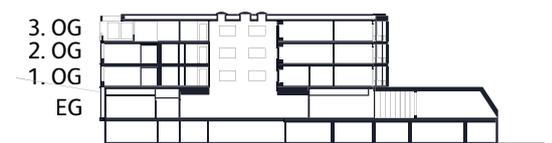


Abbildung 7: Schnitt Gebäude [Quelle: Bob Gysin & Partner]



Abbildung 8: Terrasse mit Rampe [Quelle: Licht@hslu]

Die dynamische Beleuchtungsanlage wurde innerhalb des regulären Planungsprozesses in Betrieb genommen. Dabei wurde ein nicht weiter beschriebener Farbtemperaturverlauf hinterlegt. Die Erwartungen waren aufgrund der positiven Studienergebnisse und Vorträge der Hersteller hoch. Diese weisen darauf hin, dass eine dynamische Farbveränderung über den Tag, analog zu jener des natürlichen Sonnenlichts, das Wohlbefinden von Bewohnern und Pflegepersonals positiv beeinflusst. Demnach sollen Bewohner, die in ihrer Mobilität eingeschränkt sind, und daher nicht nach draussen ans Tageslicht können, durch die Lichtdecke tagsüber ausreichend mit Licht versorgt werden, um ihren Schlaf-Wach-Rhythmus zu stabilisieren.

Mehrere Monate nach Einzug in das neue Gebäude konnte sowohl bei den Bewohnern als auch beim Pflegepersonal keine positive Beeinflussung beobachtet werden. Vielmehr wurden Unzulänglichkeiten im Zusammenhang mit der Beleuchtungsanlage an die Leitung Technik des Pflegezentrums herangetragen. Das Ausbleiben der positiven Reaktionen führte zu weiteren Verunsicherungen. So stellte man sich beispielsweise die Frage, ob die Anlage korrekt eingestellt wurde und ob der richtige dynamische Verlauf der Farbtemperatur hinterlegt sei.



Abbildung 9: Dynamische Lichtdecke, Aufenthaltsraum im 3. OG
[Quelle: Licht@hslu]



Abbildung 10: Grundriss 3. OG [Quelle: Licht@hslu, Grundlage Bob Gysin & Partner]

Im August 2017, also rund ein Jahr nach der Inbetriebnahme des Pflegezentrums, erhielt die Hochschule Luzern den Auftrag für eine wissenschaftliche Begleitung. Auf Wunsch des Pflegezentrums sollte die Wirkung der Beleuchtungsanlage auf das Pflegepersonal untersucht und der Prozess von einer unabhängigen Institution begleitet werden. Ziel war es, die dynamischen Lichtverläufe, die Bedienung und die Programmierung zu prüfen und soweit zu verändern, dass die Akzeptanz für die Beleuchtungsanlage steigt. Dabei sollten Möglichkeiten erarbeitet werden, wie die Beleuchtungsanlage den Anforderungen und Wünschen von Bewohnern und Pflegepersonal angepasst werden kann.

1.3. Ziele des Projekts

Seit August 2017 begleitete die Hochschule Luzern das Pflegezentrum Appenzell als unabhängige Institution. Ziel war es zu verstehen, worauf die fehlende Akzeptanz und die Unzufriedenheit, bezogen auf dynamische Beleuchtung, zurückzuführen ist. Im Austausch mit den Mitarbeitenden wurden alltagstaugliche Anpassungen für die Beleuchtung und deren Steuerung entwickelt. Durch eine Beleuchtung, die sich bestens in den Pflegealltag integriert und eine gute Lichtqualität bietet, soll die Akzeptanz bei Bewohnern und Mitarbeitenden verbessert werden. Die Untersuchung beinhaltet die folgenden Punkte:

- Lichttechnische Untersuchungen und Bewertung
- Kommunikation und Information zur dynamischen Beleuchtung
- Bedienbarkeit, Steuerung und Programmierung
- Anforderungen im Pflegealltag

Untersuchungen zu nicht-visuellen Effekten der dynamischen Beleuchtung auf die Mitarbeitenden und die Bewohner wie etwa Schlafqualität oder Medikamentierung waren nicht Teil des Auftrags und wurden folglich ausgeklammert.

1.4. Vorgehen und Methode

Für die Entwicklung von Interventionen zur Verbesserung der Lichtsituation wurden unterschiedliche Methoden eingesetzt.

Eine Bestandsaufnahme mit lichttechnischen Messungen und fotografischer Dokumentation wurde in der Wohngruppe für Menschen mit Demenz, der Pflegeoase, den verschiedenen Aufenthaltsräumen und in den Aussenbereichen gemacht.

Mit einer quantitativen Befragung des Pflegepersonals wurden Daten zur Akzeptanz der Beleuchtung und ihrer Bedienung erhoben. Die Mitarbeitenden wurden zuvor mit einem Informationsblatt über die Hintergründe der Befragung und die anonyme Behandlung der schriftlichen Befragung informiert. Die aufgelegten Fragebögen konnten innerhalb von zehn Tagen ausgefüllt und in einem Couvert in den speziell gekennzeichneten Briefkästen der Hochschule Luzern eingeworfen werden.

Zudem wurden Einzelinterviews mit Schlüsselpersonen und Interviews in einer ausgewählten Fokusgruppe durchgeführt. Strukturiert wurden diese anhand eines Leitfadens, der für unterschiedliche Situationen entworfen wurde. Der Leitfaden stellte dabei sicher, dass in den Interviews alle relevanten Themen behandelt wurden. Die halboffene Struktur erlaubte es, auf individuelle Bedürfnisse und Anliegen einzugehen.

Der Leitfaden thematisierte die folgenden Punkte:

- Zufriedenheit mit dem Gebäude allgemein
- Typischer Tagesablauf im Pflegeheim
- Verteilung der Pflegefachkräfte auf die Stockwerke und Tag-/Nachtschicht
- Beleuchtungsanlage
- Konkrete Probleme und Wünsche mit der Beleuchtungsanlage
- Verantwortlichkeiten
- Kommunikation und Informationsfluss

Dabei wurde besonderer Wert daraufgelegt, dass sich die Untersuchungen nicht rein auf technische Parameter fokussierten, sondern dass Themen wie die Kommunikation in der Planung, die Schulung des Personals sowie die Regelung von Verantwortlichkeiten im Betrieb als wichtige Faktoren mitberücksichtigt wurden. Anhand der erarbeiteten Grundlagen aus dem Messbericht sowie den quantitativen und qualitativen Befragungen wurden Interventionen abgeleitet.

2. Grundlagen Licht

Dieses Kapitel behandelt die Grundlagen des Lichts. Es verschafft einen Überblick über das Themenfeld und klärt die wichtigsten Begrifflichkeiten. Inhaltlich geht es um die wichtigsten lichttechnischen Kenngrößen und die Grundlagen zu Tages- und Kunstlicht.

Licht ist der für das menschliche Auge sichtbare Teil der elektromagnetischen Strahlung (Abbildung 11). Elektromagnetische Strahlung schwingt in Wellenform. Die Länge einer einzelnen Welle bezeichnet man als Wellenlänge. Diese wird in Nanometer (nm) angegeben. Ein Nanometer ist ein

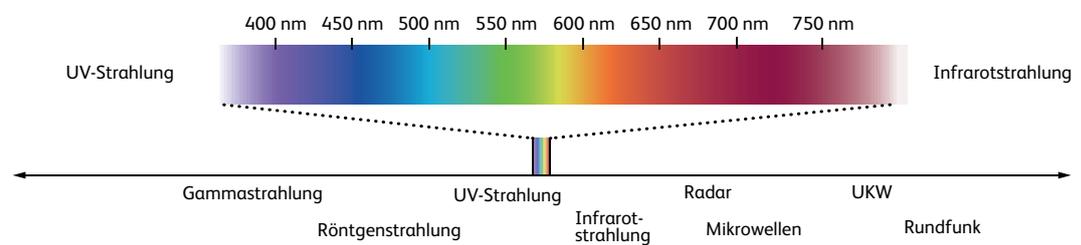


Abbildung 11: Elektromagnetische Strahlung [Quelle: Licht@hslu]

Der Mensch hat sich unter dem natürlichen Licht der Sonne entwickelt und sein Körper hat sich während der Evolution entsprechend angepasst. Licht ist für den Menschen lebensnotwendig und beeinflusst uns in vielfältiger Weise. Es hat eine emotionale, eine visuelle und eine biologische nicht-visuelle Wirkung auf den Menschen. Licht hat einen Einfluss auf unser Wohlbefinden im Raum. Es bestimmt, wie gut wir eine Sehaufgabe wie beispielsweise das Lesen eines Textes erledigen können. Licht kann unsere Aufmerksamkeit

millionstel Millimeter. Je kleiner die Welle ist, desto mehr Energie wird transportiert. Dessen Wellenlängenbereich reicht von 380 nm (blau) bis 780 nm (rot). Das Licht der Sonne enthält alle Farben beziehungsweise alle mit dem menschlichen Auge wahrnehmbaren Wellenlängen. Fällt das weisse Licht der Sonne schräg auf ein Prisma, wird es gebrochen. Die Farben werden dadurch sichtbar wie bei in einem Regenbogen (Abbildung 12). Blaues,

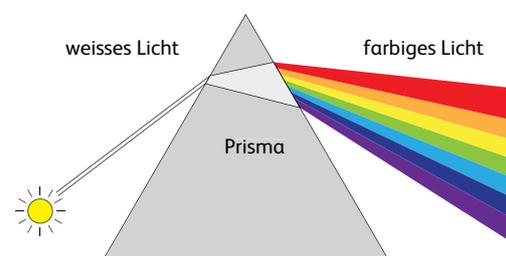


Abbildung 12: Brechung von weissem Licht [Quelle: Licht@hslu]

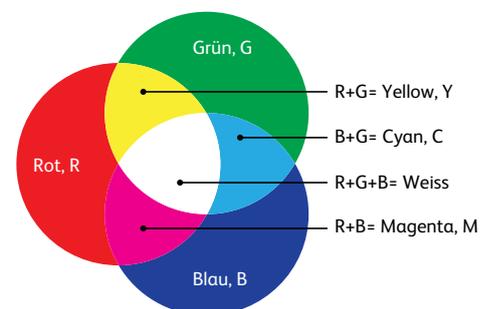


Abbildung 13: Additive Farbmischung [Quelle: Licht@hslu]

steigern, unseren Schlaf-Wach-Rhythmus stabilisieren oder verschieben wie auch unsere Gesundheit fördern oder beeinträchtigen.

kurzwelliges Licht wird dabei stärker gebrochen als rotes, langwelliges Licht. Umgekehrt lässt sich farbiges Licht additiv zu weissem Licht zusammensetzen. Eine Überlagerung von Licht mit den Farben rot, grün und blau wird als weiss wahrgenommen (Abbildung 13). Dasselbe Prinzip nutzen Bildschirme, um Farben darzustellen. Die Abkürzung dafür ist RGB für rot, grün und blau.

Das Spektrum der Sonne verfügt über ein kontinuierliches Spektrum, das alle sichtbaren Wellenlängen beinhaltet, wobei das Tageslicht einen hohen Blauanteil aufweist. Dazu kommen Infrarot und Ultraviolett (UV). Draussen reicht das Spektrum von 290 bis 2600 nm und in Innenräumen von 320 bis 2600 nm [6]. Dieses verändert sich dynamisch, bedingt durch die Tages-, Jahreszeit und die Witterung. Andere weisse Lichtquellen können sich mehr oder weniger stark voneinander unterscheiden.

Das Spektrum von Leuchtstofflampen zeigt einzelne Spitzen. Das weisse Licht entsteht hier durch eine additive Mischung von angeregten Gasen. Das Licht von weissen LEDs ist ursprünglich blau und wird mit gelbem Phosphor in weisses Licht umgewandelt. Dies ist im Spektrum aufgrund einer Erhöhung im blauen Wellenlängenbereich gut sichtbar (Abbildung 14). Die verschiedenen Spektren haben unterschiedliche Wirkungen auf den Menschen.

2.1. Lichttechnische Kenngrössen

Nachfolgend werden die wichtigsten lichttechnischen Kenngrössen kurz beschrieben und erklärt.

- ① Lichtstrom
- ② Beleuchtungsstärke
- ③ Leuchtdichte

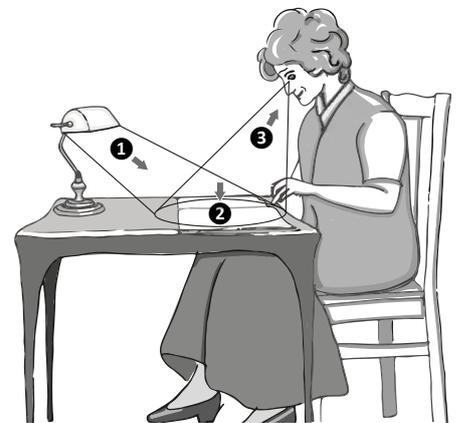


Abbildung 15: Lichttechnische Kenngrössen [Quelle: Licht@hslu, S. Spichtig]

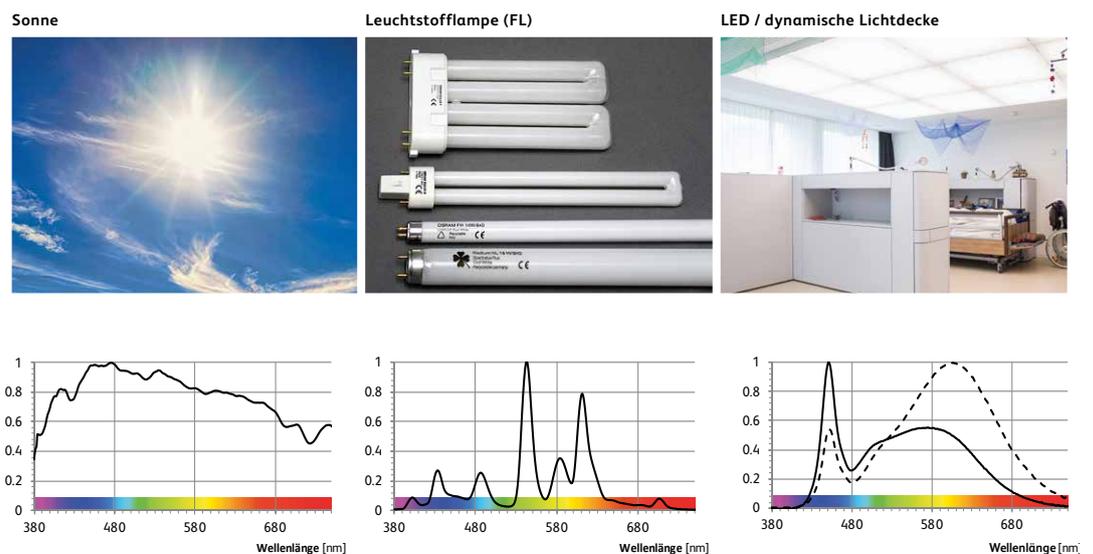


Abbildung 14: Spektrum Sonne, Sparlampe FL, LED-Lichtdecke [Quelle: pixabay.com (Sonne), wikipedia.com (FL), Licht@hslu]

2.1.1. Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke E hat die Einheit Lux und beschreibt die Intensität, mit der eine Lichtquelle eine Fläche beleuchtet. Die Beleuchtungsstärke gibt dabei an, welcher Lichtstrom (Lumen, lm) auf eine bestimmte Fläche (m^2) fällt. Beleuchtungsstärken sind bezogen auf eine spezielle Sehaufgabe wie zum Beispiel das Lesen eines Textes und sind in der Norm SN EN 12464-1 festgehalten. Die Werte der Norm sind innerhalb der Planung einzuhalten [7]. Die Beleuchtungsstärke ist eine Messgrösse und kann vom Menschen nicht direkt wahrgenommen werden; – wahrgenommen werden Leuchtdichten. Im Pflegezentrum Appenzell wurden die Beleuchtungsstärken in verschiedenen Zonen des ersten, zweiten und dritten Obergeschosses gemessen.

2.1.3. Farbtemperatur

Weisses Licht kann als warm oder kalt wahrgenommen werden. Der Farbeindruck, den das Licht einer Lichtquelle auslöst, ist auf dessen spektralen Zusammensetzung zurückzuführen. Diese wird als Farbtemperatur erfasst und in Kelvin [K] angegeben. Glühlampen haben eine Farbtemperatur von 2'500 bis 3'000 K. Bei Halogenglühlampen reicht die Farbtemperatur bis zu 3'500 K. Jene von Tageslicht variiert zwischen 5'000 und 20'000 K. Dynamische LED-Beleuchtungen bewegen sich üblicherweise im Bereich von 2'700 bis 6'500 K.



Abbildung 16: Tunable White Anlage, Post AG, 6'500 – 3'000 K [Quelle: Licht@hslu]

2.1.2. Leuchtdichte

Die Leuchtdichte L wird in Candela/ m^2 angegeben. Sie ist die einzige lichttechnische Grundgrösse, die das menschliche Auge direkt wahrnehmen kann, und wird umgangssprachlich als Helligkeit bezeichnet. Die Leuchtdichten hängen davon ab, welcher Lichtstrom auf eine Fläche fällt und welcher Reflexionsgrad diese Fläche aufweist. So bleibt eine schwarze Oberfläche auch bei hoher Beleuchtung dunkel. Leuchtdichten wurden in verschiedenen Zonen der erwähnten drei Obergeschosse gemessen.

2.1.4. Flicker

Leuchtmittel können Schwankungen in der Leuchtdichte aufweisen, die wir nicht bewusst wahrnehmen. Diese bezeichnet man als Flicker. Leuchtstofflampen die mit alten konventionelle Vorschaltgeräten (KVG) betrieben werden, weisen ein typisches 50 Hz Flimmern der Netzspannung aus. Temperaturstrahler wie Glühlampen sind dafür weniger anfällig, da sie nachglühen und so die Schwankungen abschwächen. Bei LEDs tritt das Phänomen wiederum verstärkt auf, da die elektronischen Bauteile sehr schnell auf Leistungsänderungen reagieren. Dabei kann es in einigen Fällen zu stroboskopartigen Effekten kommen. Auch wenn Flicker nicht direkt wahrnehmbar ist, kann dieses Phänomen störend wirken und Menschen beeinträchtigen. Besonders bei gedimmten Leuchten tritt diese Problematik häufig auf.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, LEDs zu dimmen und so in ihrer Helligkeit zu reduzieren. Nachfolgend sind die zwei häufigsten erwähnt.

Dimmen mit Pulsweitenmodulation (PWM)

Bei dieser Dimm-Methode wird die LED extrem schnell ein- und ausgeschaltet (Abbildung 17). Je stärker die Dimmung ist, desto grösser sind das Risiko und das Ausmass von allfälligem Flicker.

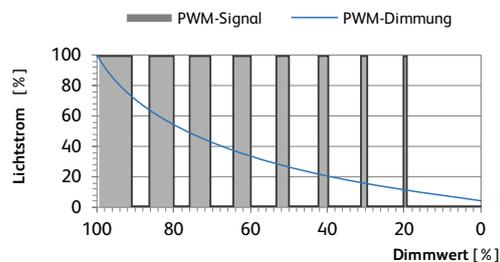


Abbildung 17: Dimmen mit PWM, Rechtecksignal [Quelle: Licht@hslu]

Dimmen mit Konstantstromregelung (CCR)

Eine konstante Stromreduktion reduziert die Helligkeit der LED (Abbildung 18). Unter den Herstellern elektronischer LED-Treiber wird diese Art des Dimmens auch als Amplitudendimmung bezeichnet, da hier die Stromamplitude, d. h. der durch die LED fließende Strom, geregelt wird. Dimmen mit Konstantstromregelung ist zu bevorzugen, da hier im Gegensatz zur Pulsweitenmodulation keine Flicker-Problematik entstehen kann. Die Betriebsgeräte sind jedoch technisch aufwändiger und teurer in der Produktion.

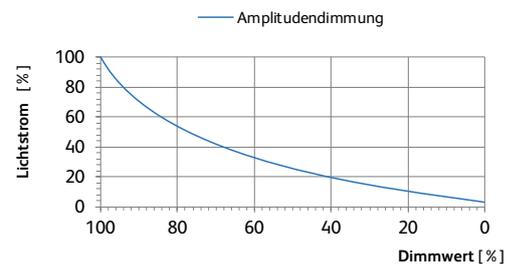


Abbildung 18: Dimmen mit Konstantstromregelung [Quelle: Licht@hslu]

2.2. Kunstlicht

Die erste künstliche Lichtquelle erlangte der frühe Mensch durch die Kontrolle des Feuers. In der Antike war die Öllampe das erste kompakte und sichere Massenprodukt, das den Tag in die Abendstunden ausdehnte. Heute ist künstliches Licht günstig und führt dazu, dass wir in einer 24-Stunden-Gesellschaft leben. Die LED hat mittlerweile die klassischen Lampen verdrängt und dominiert den Markt in Europa. Mit der LED beschleunigte sich der Entwicklungsprozess neuer Produkte, die bereits nach kurzer Zeit durch neuere ersetzt werden. Dieser rasanten Entwicklung ist bei der Wartung von Anlagen und dem Ersatz bei Ausfällen Rechnung zu tragen.

Früher lag das Licht im Verantwortungsbereich und Expertise des Architekten. Durch das Aufkommen des elektrischen Lichts haben sich die Zuständigkeiten verschoben. Der Begriff Licht wurde zunehmend unter technischen und normativen Standpunkten betrachtet und benötigte Fachpersonen wie Elektro- und Lichtplaner zur Bearbeitung, denn Licht ist komplexer geworden. Die moderne Lichtplanung hat heute zum Ziel, technische und gestalterische Aspekte miteinander zu verbinden und in Einklang zu bringen. Im Idealfall wirkt ein interdisziplinär zusammengesetztes Team, um das gesamte Spektrum an benötigtem Wissen abzudecken.

Hinweise dazu liefern Normen wie die SN EN 12464-1 für die Beleuchtung von Innenräumen [13]. Empfehlungen für Beleuchtungsstärken (E, Lux), Leuchtdichten (L, cd/m^2) und Leuchtdichteverhältnisse sind darin abgebildet. So sind zum Beispiel 500 Lux für einen Büroarbeitsplatz vorgesehen. Die 500 Lux sind dabei das Minimum, das im Durchschnitt auf Höhe der Arbeitsfläche zu erreichen ist. Dabei ist zu beachten, dass die Untersuchungen, die zu diesen Werten geführt haben, mehrheitlich mit jungen Menschen durchgeführt worden sind. Mit fortschreitendem Alterungsprozess benötigt ein Mensch für dieselbe Sehleistung allerdings mehr Licht, um seine Leistungsfähigkeit aufrechtzuerhalten.

2.3. Tageslicht

Im Verlaufe des Projekts führte die vertiefte Analyse der Situation vor Ort zu einer weiteren Öffnung des Themenfeldes. So musste man erkennen, dass sich Fragen zur Beleuchtung mit Kunstlicht nur mit Informationen über die jeweilige Tageslichtsituation korrekt beantworten lassen. Ohne Kenntnisse über die Tageslicht-Exposition eines Gebäudes ist eine bedarfsgerechte Kunstlicht-Planung nur schwer zu bewerkstelligen. So hat ein dunkles Gebäude mit kleinen und schlecht platzierten Fenstern an einer verschatteten Lage ganz andere Voraussetzungen als ein lichtdurchfluteter offener Bau an freistehender Lage mit guter Aussicht. Dies beeinflusst auch die Bedürfnisse an eine Beleuchtung.

Mit zwei Stunden Sonnenlicht pro Tag ist schon viel für die Gesundheit getan. Möglichkeiten, den Zugang zu natürlichem Tageslicht zu vereinfachen, sollten daher genutzt werden.

Auch im Schatten ist es draussen um ein Vielfaches heller als im Innern des Gebäudes: An einem sonnigen Tag rund 10'000 Lux. Bei direkter Sonneneinstrahlung werden Werte von 100'000 Lux oder mehr gemessen (Abbildung 19). Unter der dynamischen Lichtdecke des Pflegezentrums Appenzell wurden bei der Bestandsaufnahme für den Messbericht Werte zwischen 1'500 und 2'000 Lux gemessen. Für eine Innenraum-Beleuchtung ist dies ein hoher Wert, jedoch nicht vergleichbar mit der Dynamik und den hohen Beleuchtungsstärken des natürlichen Sonnenlichts. Kunstlicht

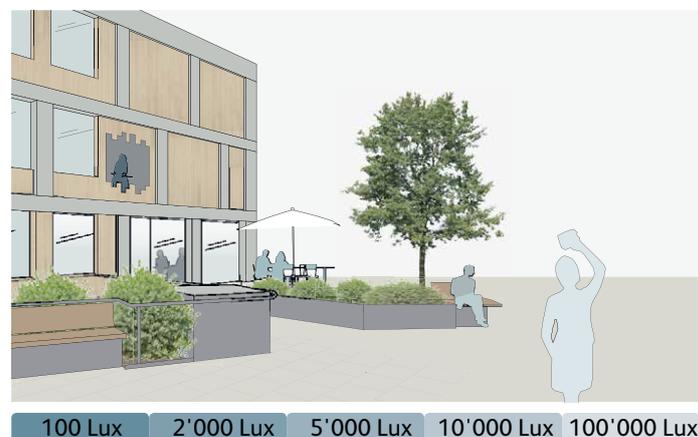


Abbildung 19: Typische Beleuchtungsstärken unter der Mittagsonne in gemässigten Klimazone [Quelle: Licht@hslu, S. Spichtig, auf Grundlage von [11]]

Tageslicht hat einen grossen Einfluss auf die menschliche Gesundheit. Physiologische Prozesse wie die Synchronisierung unserer inneren Uhr oder die Vitamin-D-Synthese in der Haut sind auf das Sonnenlicht angewiesen. Fensterglas verändert das Spektrum des Lichts: Bestandteile wie UVA, UVB oder Infrarot werden ja nach Glas und Beschichtung herausgefiltert oder reduziert. Am besten verbringt man möglichst viel Zeit draussen im natürlichen Sonnenlicht. Doch in unserer Gesellschaft ist dies aus unterschiedlichen Gründen nicht immer möglich. So verbringen heute die Menschen in den Industrieländern viel weniger Zeit im Freien [8–10] als früher.

kann das Licht der Sonne in dieser Hinsicht nicht ersetzen. Die Sensibilisierung dafür ist seit einigen Jahren am Wachsen und seit April 2019 sind die Anforderungen an das Tageslicht erstmalig in einer eigenen Norm, der SN EN 17037 [12] hinterlegt. Dies betrifft sowohl die schweizerische als auch die auf europäische Ebene.

3. Stand der Forschung – dynamische Beleuchtungen

Ziel der künstlichen Beleuchtung ist es, Tageslicht wo nötig zu ergänzen, um bestimmte Sehaufgaben gut erledigen zu können, um Menschen durch die Architektur zu führen, und um Klarheit und angenehme Atmosphären zu schaffen.

Tageslicht tiefer. So ermöglicht die Lichtdecke im Pflegezentrum Appenzell Farbtemperaturen von 2'900 bis zu 5'500 K wobei sich das Tageslicht in einem Bereich zwischen 5'000 und 20'000 K bewegt (Abbildung 20).

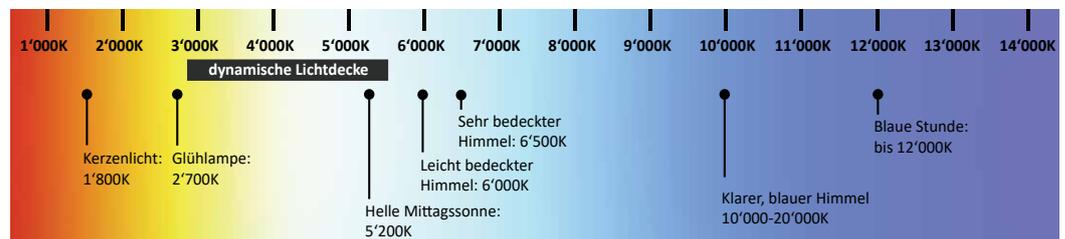


Abbildung 20: Farbtemperatur (in Kelvin, K) verschiedener Lichtquellen und unterschiedlicher Konditionen des Himmels [Quelle: Licht@hslu; auf Basis von [11]]

Weil Beleuchtungen heute dynamisch sein können und sich über den Tag verändern, nehmen die Komplexität rund um das künstliche Licht zu. So kann durchaus die Absicht dahinterstehen, Einfluss auf den Schlaf-Wach-Rhythmus zu nehmen, die Aufmerksamkeit von Mitarbeitern zu steigern oder unruhige Schulkinder zu entspannen. Auf dem Markt haben sich solche Anlagen unter dem Begriff HCL oder unter der Bezeichnung «Integrative Lighting» etabliert. HCL ist die Abkürzung von «Human Centric Lighting». Durch zyklische Veränderungen von Farbtemperatur und Intensität der Beleuchtungsstärke, analog zum natürlichen Verlauf der Sonne, soll eine positive biologische Wirkung auf den menschlichen Körper erzielt werden. Die langfristige Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen sollen unterstützt werden. Auch wenn sich solche Anlagen am Tageslicht orientieren, sind sie nicht direkt mit diesem vergleichbar. Farbtemperatur und Beleuchtungsstärken sind im Verhältnis zum

3.1. Wirkung von Licht auf den Menschen

Gelangt Licht in das menschliche Auge, fällt es auf die Netzhaut. Dieses mehrschichtige Nervengewebe, das die Innenseite des Augapfels auskleidet, wandelt Licht in Nervenimpulse um. Diese Umwandlung erfolgt über die sogenannten Stäbchen für das Hell-Dunkel-Sehen, die Zapfen für das Farbsehen und die fotosensitiven Ganglienzellen (Abbildung 21). Dabei führt Licht im menschlichen Körper zu unterschiedlichen kurz-, mittel- und langfristigen Wirkungen. Die nachfolgenden Abschnitte geben einen Überblick über visuelle, nicht-visuelle und emotionale Lichtwirkungen durch eine retinale Beleuchtung.

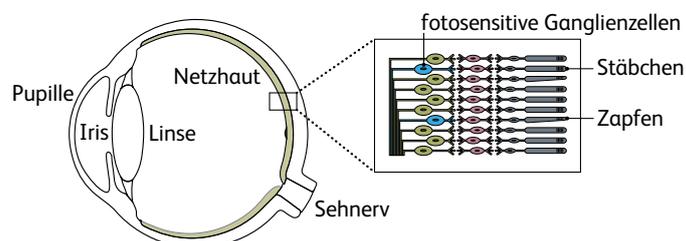


Abbildung 21: Das Auge und die Netzhaut [Grafik: Licht@hslu, S. Spichtig]

3.1.1. Visuelle Wirkung von Licht

Licht ermöglicht uns das Sehen. Unser visuelles System, das Auge, reagiert dabei auf Wellenlängen zwischen 380 und 780 nm, wobei sich die Sensitivität für monochromes Licht, abhängig von seiner Wellenlänge [11] unterscheidet. Vor diesem

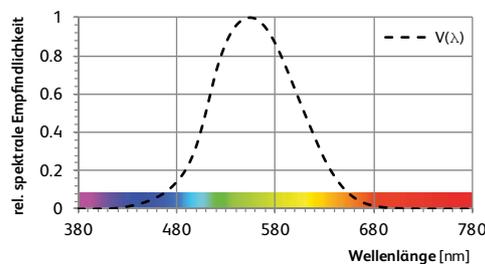


Abbildung 22: Relative spektrale Hellempfindlichkeitsfunktion $V(\lambda)$ [Quelle: Licht@hslu, Grundlage: Commission Internationale de l'Éclairage, CIE, 1924]

Hintergrund führte die Internationale Beleuchtungskommission (Commission Internationale de l'Éclairage, CIE) im Jahre 1924 die spektrale Hellempfindlichkeitsfunktion $V(\lambda)$ ein. Diese stellt dar, wie effizient ein sogenannter photopischer Standard-Betrachter die Lichtleistung unter Tageslichtbedingungen in wahrgenommene Helligkeit umwandeln kann. Oder mit einer Frage formuliert: Wie hell nimmt ein durchschnittlicher Mensch unterschiedliches Licht wahr? Die höchste Empfindlichkeit liegt bei grünem Licht mit einer Wellenlänge von 555 nm (Abbildung 22). Links

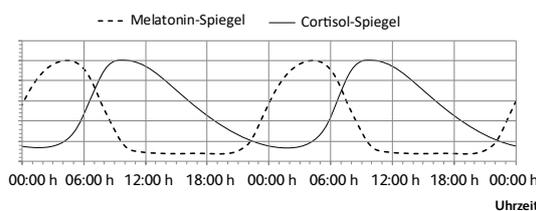


Abbildung 23: Zeitverlauf der menschlichen Melatonin-Konzentration [Quelle: Licht@hslu, auf Basis von [16]]

und rechts davon fällt die Kurve ab. Das bedeutet, dass Menschen für Wellenlängen im blauen oder roten Spektrum mehr Licht benötigen, um dieselbe Helligkeit wahrzunehmen.

3.1.2. Nicht-visuelle Wirkung von Licht

Licht synchronisiert unsere biologische Uhr, reguliert so den 24-Stunden-Rhythmus von Hormonen wie Melatonin (Abbildung 23) und damit unseren Schlaf-Wach-Rhythmus [3, 14]. Andere bekannte nicht-visuelle Wirkungen sind Pupillenlichtreflexe, die Steigerung der Aufmerksamkeit und die Abschwächung saisonaler Depressionen [3, 15].

Bei den Fotorezeptoren, die dabei eine massgebliche Rolle spielen, handelt es sich um die sogenannten intrinsischen fotosensitiven retinalen Ganglienzellen (ipRGCs), deren Entdeckung auf das Jahr 2001 zurückgeht [17–19]. Die maximale spektrale Empfindlichkeit wurde anfänglich bei 450 nm angenommen [17, 18, 20]. Allerdings hat sich dieser Wert aufgrund neuer Erkenntnisse wiederholt verschoben. Die grosse Schwierigkeit

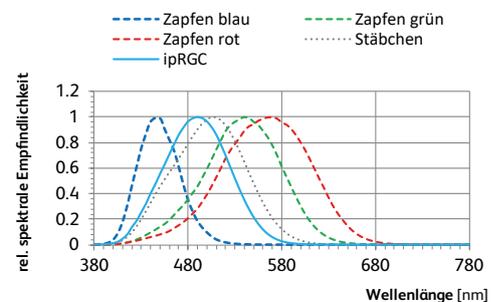


Abbildung 24: Relative spektrale Empfindlichkeitsfunktionen der drei Zapfen-Fotorezeptoren, der Stäbchen und der ipRGCs [Quelle: Licht@hslu; Daten aus [23]]

liegt daher in der Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit unterschiedlicher Studien [21, 22], denn lange gab es kein gemeinsames Vorgehen bei der Quantifizierung nicht-visueller Wirkungen. Erst im Jahr 2018 einigte sich die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) mit der Forschungsgemeinschaft auf eine Wirkungsfunktion mit einer Spitzenempfindlichkeit bei 490 nm [23] (Abbildung 24). Es wird angenommen, dass nicht nur die obgenannten Ganglienzellen (ipRGCs), sondern auch Stäbchen und Zapfen Einfluss auf die nicht-visuelle Wirkung haben [21, 23].

Dies macht Studien zu nicht-visuellen Wirkungen von Licht zu einer komplexen Aufgabe. Sie bedingen einen langen Zeithorizont sowie eine vergleichbare und vollständige Dokumentation der Lichtexposition; vorzugsweise sollte die Lichtexposition spektral aufgezeichnet werden [24]. Eine Mehrzahl der Studien untersucht nicht-visuelle Wirkungen von Licht in der Nacht, sodass diese heute besser verstanden werden als jene während des Tages [4, 25, 26]. Die Forschung steht hier erst am Anfang. Dabei sind eine Vielzahl wechselwirkender und voneinander abhängiger Parameter [4, 15, 25, 27–30] zu berücksichtigen. Konsens herrscht jedoch über die Wirksamkeit nachfolgender Einflussgrößen.

Die Intensität des Lichts

Relevant ist die Beleuchtungsstärke am Auge. Nur das Licht, das auf der Netzhaut ankommt, kann in Nervenimpulse umgewandelt werden. Dabei macht es einen grossen Unterschied aus, ob jemand in Richtung Lichtquelle, auf den Boden oder zur Seite schaut. Tagsüber sind verhältnismässig hohe Beleuchtungsstärken notwendig, um mögliche positive Wirkungen zu erzielen. In der Nacht reagiert das nicht-visuelle System bereits bei tiefen Beleuchtungsstärken und kann ungewollte Effekte hervorrufen.

Das Spektrum des Lichts

Wie bereits oben erwähnt, weisen die fünf Fotorezeptoren des menschlichen Auges unterschiedliche maximale Empfindlichkeiten auf (Abbildung 24). Je nach spektraler Zusammensetzung des Lichts werden die Rezeptoren unterschiedlich stark angeregt. In gegenseitiger Wechselwirkung wird eine Reaktion auf das entsprechende Licht ausgelöst. Licht mit einem hohen Blauanteil, beziehungsweise einem hohen Anteil von kurzwelligem blauen Licht um die 490 nm hat eine starke Wirkungsfähigkeit für nicht-visuelle Effekte.

Zeitpunkt der Lichtexposition

Für nicht-visuelle Lichtwirkungen sind Phasen der Dunkelheit ebenso wichtig wie das Licht selbst. Licht in der Nacht kann zur Unterdrückung der Melatonin-Produktion führen und so Schlafstörungen und eine Verschiebung des circadianen

Rhythmus hervorrufen [3, 14]. Mittel- und Langfristig kann dies negative Effekte auf die menschliche Gesundheit haben [14, 31]. Auf der anderen Seite wirkt auch Licht während des Tages, je nach Zeitpunkt unterschiedlich. So hat Licht in den frühen Morgenstunden den grössten stabilisierenden Nutzen für den zirkadianen Rhythmus, verringert die Schlafträgheit und verbessert die Leistungsfähigkeit [4].

Dauer der Lichtexposition

Einige nicht-visuelle Wirkungen wie Pupillenlichtreflexe zeigen sich innerhalb Sekunden. Wirkungen auf das circadiane System oder die menschliche Gesundheit sind mittel- bis langfristig. Es dauert Tage, Wochen oder Monate, bis sich Effekte einstellen, denn diese kumulieren sich über die Zeit.

Die individuelle Licht-Historie

Werden Lichtwirkungen untersucht, die nicht augenblicklich, sondern kumulativ [32] sind, ist ein Verständnis für die Licht-Historie des Individuums hilfreich. So verschiebt sich ein circadianer Rhythmus nicht von heute auf morgen, sondern bestimmte Ereignisse wiederholen sich über einen längeren Zeitraum. Zudem kann eine Lichtexposition in der Vergangenheit eine gegenwärtige Reaktion auf Licht sowohl positiv wie auch negativ beeinflussen.

Vermutlich spielt auch die räumliche Verteilung der Leuchtdichten eine Rolle bei den nicht-visuellen Wirkungen [11, 23], denn die verschiedenen Fotorezeptoren sind unterschiedlich auf der Netzhaut verteilt.

3.1.3. Emotionale Wirkungen von Licht

Neben den visuellen und nicht-visuellen Wirkungen wirkt Licht auch auf emotionaler Ebene. So vermutet man, dass helles Licht am Morgen einen positiven Effekt auf unsere Stimmung ausübt [4].

3.2. Die Technologie hinter dynamischen Beleuchtungsanlagen – Tunable White

Die Technologie, die dynamische Lichtsysteme ermöglicht, nennt sich «Tunable White», auch unter dem Begriff «Dynamic White» bekannt. Dank solcher Beleuchtungsanlagen können Nutzer die Farbtemperatur und die Beleuchtungsstärke über die Zeit selbst verändern. LED-Beleuchtungen mit «Tunable White» sind üblicherweise mit warmweissen und kaltweissen LEDs bestückt (Abbildung 25).

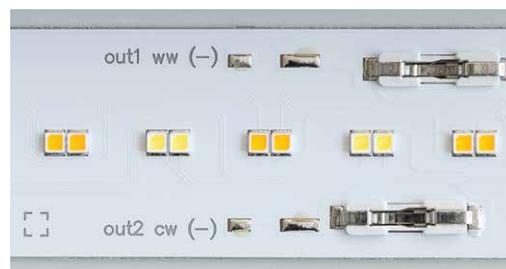


Abbildung 25: Leiterplatte mit warmweissen (2'700K) und kaltweissen (6'500K) LEDs [Quelle: Licht@hslu]

Durch eine lineare Überblendung von warmweissen zu kaltweissen LEDs entsteht ein Verlauf der Farbtemperatur (Abbildung 28). Dieser folgt üblicherweise einer Abfolge über den Tag, wobei sich das Licht vom Morgen über den Mittag bis zum Abend verändert. Bei den meisten heutigen Anlagen wiederholt sich derselbe Verlauf über das ganze Jahr. Eine saisonale Anpassung wäre in gewissen Situationen sinnvoll. Dies ist jedoch aufgrund der Steuerung häufig noch nicht umsetzbar. So muss ein Kompromiss gefunden werden, der sowohl für den Winter wie auch für den Sommer funktioniert.

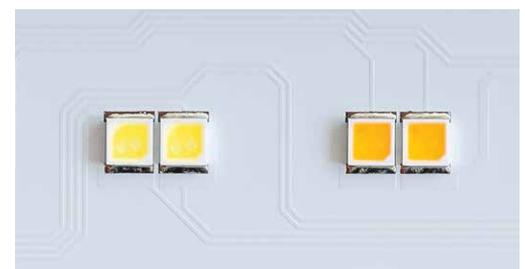


Abbildung 26: Detailaufnahme warmweissen (2'700K) und kaltweissen (6'500K) LEDs [Quelle: Licht@hslu]

Die LEDs auf Abbildung 26 unterscheiden sich in ihrer Farbigkeit, auch wenn sie nicht eingeschalten sind. In diesem Beispiel ist die warmweisse LED orange und die kaltweisse LED gelblich. Die Unterschiede ergeben sich aus unterschiedlichen Mengen, Arten und Mischungen an Phosphor, der das ursprünglich blaue Licht der LED in weisses Licht umwandelt. Auch im Spektrum lässt sich ein Unterschied ausmachen. So ist die Spitze im blauen Wellenlängenbereich bei der kaltweissen LED grösser.

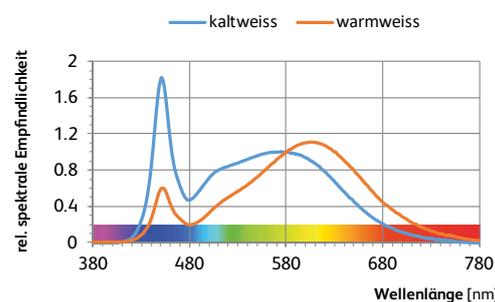


Abbildung 27: Spektrum einer warmweissen und einer kaltweissen LED [Quelle: Licht@hslu]

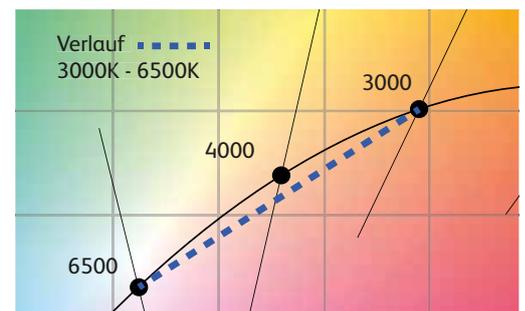


Abbildung 28: Detail mit Verlauf von 6'500 K zu 3'000 K [Quelle: Licht@hslu]

4. Befragung des Pflegepersonals

Während den quantitativen Befragungen vom 1. bis zum 16. Mai 2018 wurden die Mitarbeitenden gebeten, die Lichtsituation an ihrem Arbeitsplatz zu bewerten. Die Mitarbeitenden wurden vorrangig mit einem Informationsblatt über die Hintergründe der Befragung, die anonyme Behandlung ihrer persönlichen Daten und den Zeitrahmen informiert. Die Fragebögen wurden den Mitarbeitenden in Papierform zugänglich gemacht. Sie konnten innerhalb von zehn Tagen ausgefüllt und in einem Couvert in einen Briefkasten der Hochschule Luzern eingeworfen werden. Die Auswertung zeigt folgendes Bild.

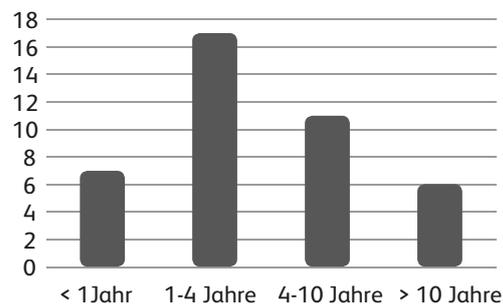


Abbildung 29: Wie lange arbeiten Sie schon im Pflegezentrum Appenzell? [Quelle: Licht@hslu]

Insgesamt haben sich 41 von 46 Mitarbeitenden an der Befragung beteiligt. Die Fragen befassen sich mit der Arbeitssituation im Pflegezentrum, dem Gebäude im Allgemeinen, der Beleuchtung durch Tages- und Kunstlicht und der Steuerung von Beleuchtung und Verschattung.

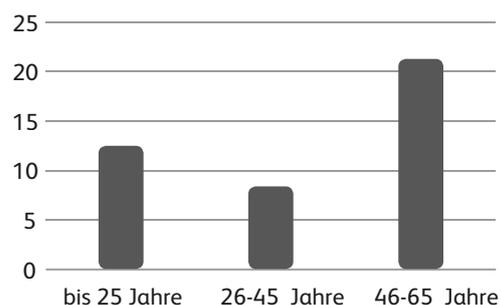


Abbildung 30: Wie alt sind Sie? [Quelle: Licht@hslu]

Im Pflegezentrum Appenzell arbeiten viele langjährige Mitarbeitende (Abbildung 29). Sie haben den Umzug in das neue Gebäude miterlebt und können diese mit den alten Räumlichkeiten vergleichen.

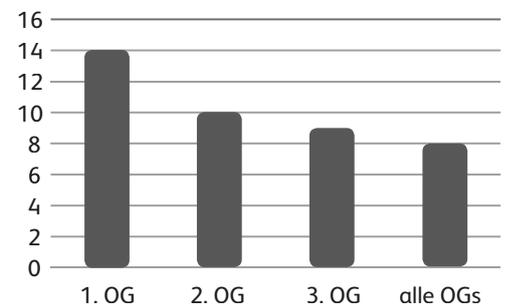


Abbildung 31: In welchem Stockwerk arbeiten Sie? [Quelle: Licht@hslu]

Das Alter der Mitarbeitenden ist durchmischt; es gibt jedoch eine stärkere Gewichtung von Mitarbeitenden über 46 Jahre (Abbildung 30). Im ersten Obergeschoss ist der Grossteil der Mitarbeitenden tätig (Abbildung 31). Dies ist darauf zurück zu führen, dass sich dort die Wohngruppe für Menschen mit Demenz befindet. Die Betreuung ist arbeitsintensiver und Tätigkeiten, die in den

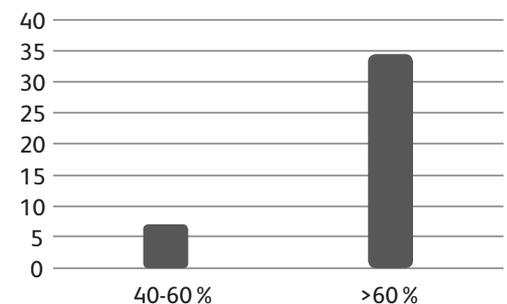


Abbildung 32: In welchem Arbeitspensum sind sie angestellt? [Quelle: Licht@hslu]

anderen Stockwerken von der Hotellerie übernommen werden, sind hier vom Pflegepersonal in Zusammenarbeit mit den Bewohnern zu erledigen. Die Mehrheit der Mitarbeitenden hat in einem Arbeitspensum von über 60 % (Abbildung 32).

Die allgemeine Zufriedenheit mit dem Gebäude und mit der Arbeitssituation im Pflegezentrum Appenzell ist hoch (Abbildung 33 und 34). Sowohl in der Befragung wie auch in den Interviews haben sich die Mitarbeitenden mehrheitlich positiv dazu geäußert.

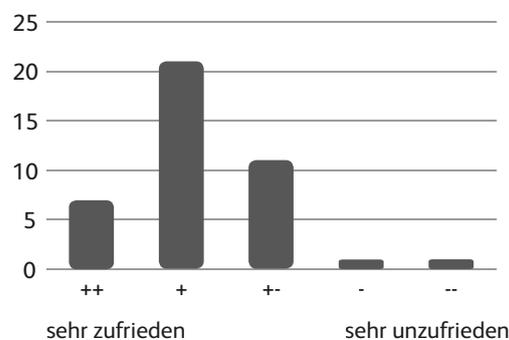


Abbildung 33: Wie zufrieden sind Sie mit dem Gebäude im Allgemeinen? [Quelle: Licht@hslu]

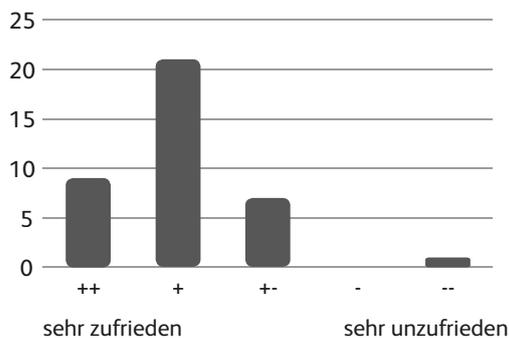


Abbildung 34: Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Arbeitssituation im Allgemeinen? [Quelle: Licht@hslu]

Ein anderes Bild zeigen jedoch die Antworten auf die Fragen zum elektrischen Licht und zu den dynamischen Lichtdecken. Viele Mitarbeitende über alle Stockwerke hinweg zeigen sich unzufrieden damit (Abbildung 35 und 36). Dafür gibt es unterschiedliche Gründe, was die individuellen Rückmeldungen im Fragebogen und in den Leitfadeninterviews bestätigt haben. Die Lichtdecke wird als zu hell und zu warm empfunden. Die Befragten verstehen nicht, wieso die Lichtdecke auch bei sonnigem Wetter permanent eingeschaltet ist und die Mitarbeitenden haben keine Möglichkeit, darauf Einfluss zu nehmen. Zudem sind Lichtdecken und die Storen nicht optimal aufeinander abgestimmt.

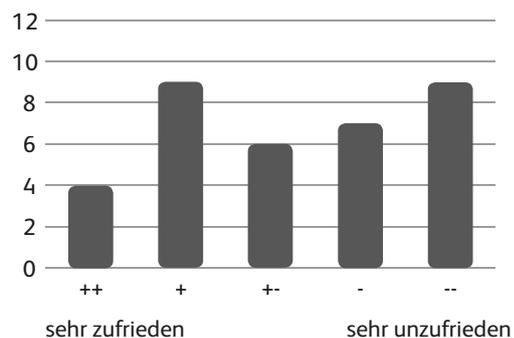


Abbildung 35: Wie zufrieden sind Sie mit der Beleuchtung durch das elektrische Licht in den Räumen mit dynamischer Lichtdecke? [Quelle: Licht@hslu]

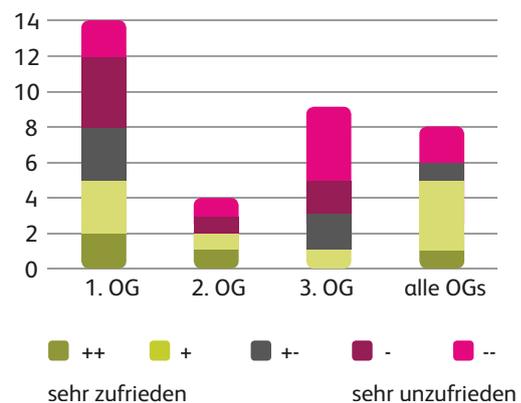


Abbildung 36: Wie zufrieden sind Sie mit der Beleuchtung durch das elektrische Licht in den Räumen mit dynamischer Lichtdecke? Nach Stockwerk [Quelle: Licht@hslu]

Die dynamischen Lichtdecken befinden sich im 1. und 3. Obergeschoss. Dort zeigt sich auch die höchste Unzufriedenheit. Im 2. Obergeschoss gibt es eine konventionelle Beleuchtung ohne Dynamik. Mitarbeitende, die im 2. Obergeschoss tätig sind haben keine Bewertung abgegeben, da sie kaum in Kontakt mit den dynamischen Lichtdecken kommen. Die Mitarbeitenden in der Nachtschicht arbeiten in allen Stockwerken und kommen daher auch in Kontakt mit den Lichtdecken.

Viele Mitarbeitende fühlten sich schlecht über die dynamischen Lichtdecken informiert (Abbildung 37 und 38). Es wurde zwar ein Kurvenverlauf hinterlegt; dieser wurde aber nicht kommuniziert: So gab keine Dokumentation über den eingestellten Kurvenverlauf und die dahinterliegenden Absichten.

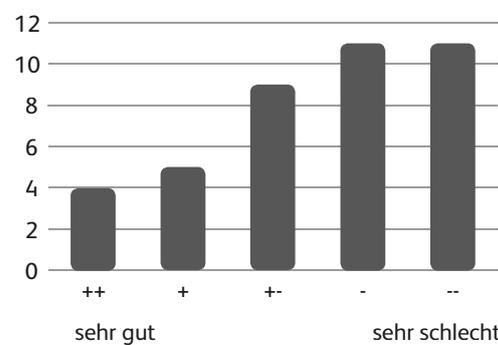


Abbildung 37: Wie gut wurden Sie über die dynamische Lichtdecke informiert? [Quelle: Licht@hslu]

Zudem stand keine Kontaktperson zur Verfügung, die Fragen von Pflegeleitung und Mitarbeitenden beantworten konnte. Nachfragen zum richtigen Kurvenverlauf für die konkrete Situation des Pflegezentrums Appenzell konnten seitens der Hersteller und Planer nicht beantwortet werden. Dies ergab sich aus individuellen Rückmeldungen im Rahmen der quantitativen Befragung und aus den Leitfadeninterviews.

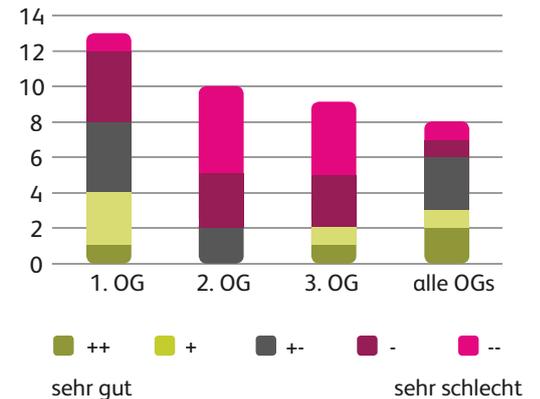


Abbildung 38: Wie gut wurden Sie über die dynamische Lichtdecke informiert? Nach Stockwerk [Quelle: Licht@hslu]

5. Messungen und Beobachtungen im Gebäude

5.1. Bestandsaufnahme und lichttechnische Messungen

Die lichttechnischen Messungen fanden am 9. Oktober 2017 von 13:00 bis 17:00 Uhr im Pflegezentrums Appenzell statt. Im Vorfeld der Bestandsaufnahme und der lichttechnischen Messungen erfolgte eine Sichtung von Grundrissen und Beleuchtungsplänen des Gebäudes und von Datenblättern von Leuchten, eingesetzter LEDs und Betriebsgeräten.

In ausgewählten, vordefinierten Zonen wurden Beleuchtungsstärken, Leuchtdichten, Farbtemperatur, Farbwiedergabe, Licht-Spektrum und Flicker gemessen. Bei den dynamischen Lichtdecken änderte man die Farbtemperatur und Dimmwerte stufenweise, zeichnete über die Zeit auf und verglich die Messwerte mit den Eingabewerten.

Neben dem Kunstlicht berücksichtigte die Bestandsaufnahme ebenfalls das Tageslicht. In der Planung sollte dem Tageslicht ein hoher Stellen-

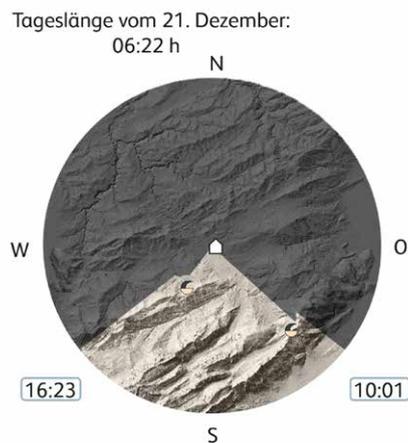


Abbildung 39: Pflegezentrum Appenzell, Tageslänge vom 21. Dezember [Quelle: Licht@hslu, Daten: Google Maps]

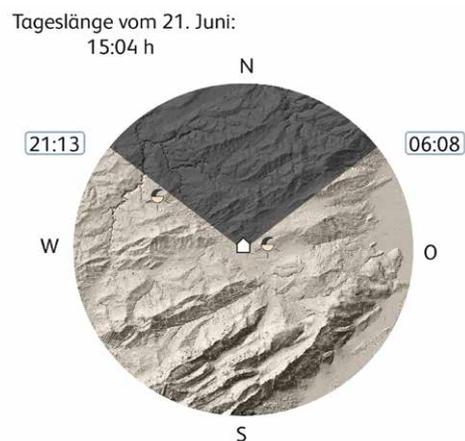


Abbildung 40: Pflegezentrum Appenzell, Tageslänge vom 21. Juni [Quelle: Licht@hslu, Daten: Google Maps]



Abbildung 41: Pflegezentrum Appenzell [Quelle: Licht@hslu]

wert zugeschrieben werden, denn ohne Wissen über die Tageslicht-Exposition eines Gebäudes ist eine bedarfsgerechte Kunstlicht-Planung nicht zu bewerkstelligen. Es ist zu empfehlen, dies frühzeitig in der Planung zu berücksichtigen, denn spätere Anpassungen an der Beleuchtung können kostenintensiv sein.

5.2. Standort des Gebäudes

Das kantonale Spital und Pflegezentrum Appenzell liegt an einer erhöhten und sonnigen Lage und bietet einen herrlichen Blick auf die umliegende Bergwelt. Das Gebäude liegt auf 790 Metern Höhe an einer Hanglage ohne Verbauungen. Die direkte Sonneneinstrahlung beträgt am 21. Dezember über sechs Stunden, am 21. Juni mehr als 15 Stunden (Abbildung 39 und 40). Dank des hohen Fensteranteils des Neubaus ist eine sehr gute Tageslichtversorgung möglich. Die grossen gedeckten Terrassen auf jedem Geschoss, der Demenzgarten und dem Restaurationsbetrieb mit Aussenbestuhlung ermöglichen es den Bewohnern, sich direkt mit Tageslicht zu versorgen.



Abbildung 42: Ausblick Pflegezentrum [Quelle: Licht@hslu]

5.3. Wohngruppe für Menschen mit Demenz

Die Wohngruppe für Menschen mit Demenz befindet sich im 1. Obergeschoss. Die Bewohner leben hier in zwei separaten Gruppen und haben über eine Terrasse Zugang zu Tageslicht (Abbildung 43) oder dem sogenannten Demenzgarten (Abbildung 48). Die Lichtdecken befinden sich hier im Zentrum die Aufenthaltsräume

5.3.1. Beleuchtungsstärken

Beleuchtungsstärken wurden in den Aufenthaltsräumen auf einer Höhe von 0.75 Meter horizontal gemessen. Dies entspricht der Höhe der Tische, an denen sich die Bewohner häufig aufhalten. Auch draussen im Demenzgarten wurden Beleuchtungsstärken aufgezeichnet. Die Messbereiche



Abbildung 43: Aufenthalt mit Terrasse [Quelle: Licht@hslu]

wurden in Abbildung 45 blau markiert. Direkt unter der Lichtdecke wurden Beleuchtungsstärken von rund 2'000 Lux gemessen. Die Lichtdecken wären technisch in der Lage, weit höhere Werte zu erreichen. Aktuell sind sie in den Aufenthaltsräumen des Pflegezentrums auf 30 % der möglichen Leistung gedimmt. Bei Inbetriebnahme wurden sie mit höherer Leistung betrieben, was zu allgemeiner Blendung führte.



Abbildung 44: Aufenthalt mit Zugang zum Demenzgarten [Quelle: Licht@hslu]

Bewohner mit sensiblen Augen mussten sich mit Sonnenbrillen schützen, wenn sie sich in den Aufenthaltsräumen aufhielten. Man entschied sich daher, die Intensität der Lichtdecken stark zu dimmen. Beleuchtungsstärken, wie wir sie draussen unter dem natürlichen Licht der Sonne vorfinden, können im Innern von Räumen bei permanenten Raumbelichtungen nicht erreicht werden, ohne dass es zu störender Blendung führt.

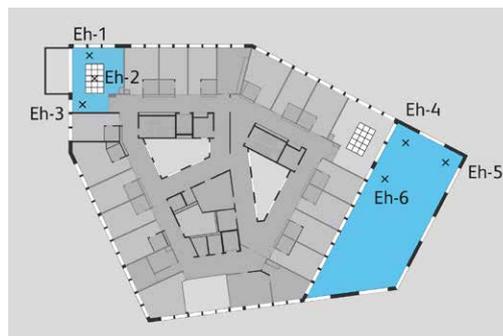


Abbildung 45: Beleuchtungsstärken Aufenthalt und Demenzparten [Quelle: Licht@hslu]

Beleuchtungsstärken Eh (Lux, horizontal)

Aufenthalt	Demenzgarten (stark bewölkt)
Eh-1: 700 lx	Eh-4: 8'200 lx
Eh-2: 2'000 lx	Eh-5: 10'500 lx
Eh-3: 480 lx	Eh-6: 7'800 lx

5.3.2. Tageslicht

Auch im Schatten ist es draussen um ein Vielfaches heller als im Gebäudeinnern unter Kunstlicht. In den Aufenthaltsräumen der Wohngruppe für Menschen mit Demenz wurden Beleuchtungsstärken zwischen 480 und 2'000 Lux gemessen. Zum

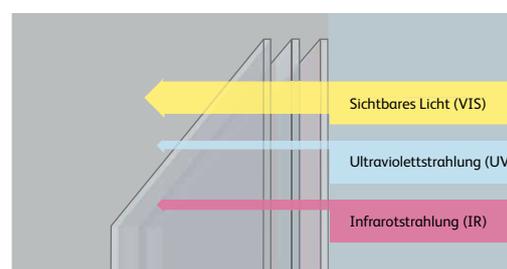


Abbildung 46: Filternde Eigenschaften von Fenstern [Quelle: Licht@hslu]

selben Zeitpunkt, an einem stark bewölkten Tag, belief sich im Demenzgarten die Beleuchtungsstärke auf über 10'000 Lux. An einem sonnigen Sommertag misst man draussen Werte zwischen 80'000 und 120'000 Lux. Zudem enthält das Spektrum des Sonnenlichts wichtige Anteile für die Vitamin D Produktion. Diese sind im Inneren des Gebäudes nicht vorhanden, da sie durch das Fensterglas herausgefiltert werden (Abbildung 46).

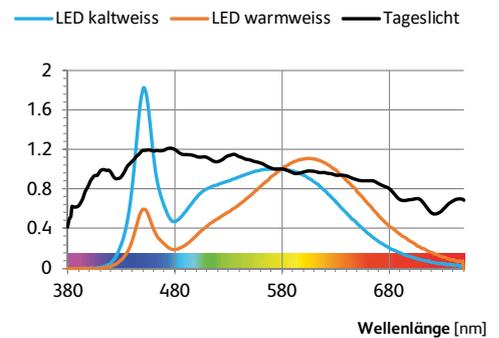


Abbildung 47: Lichtspektrum Lichtdecke, warmweiss und kaltweiss, Lichtspektrum Tageslicht [Quelle: Licht@hslu]

Abbildung 47 zeigt die Lichtspektren der dynamischen Lichtdecke (4'000 K, neutralweiss) und des im Demenzgarten gemessenen Tageslichts am 9. Oktober, um 16 Uhr.

Umso wichtiger ist es daher, Zugänge nach Draussen zu erleichtern und Bewohner zu motivieren, ins Freie zu gehen. Menschen mit Demenz kann viel Licht, speziell am Morgen helfen, den inneren Rhythmus zu stärken [33][4]. Das Pflegezentrum Appenzell hat sehr gute Voraussetzungen dazu. Der Neubau des Pflegezentrums Appenzell bietet durch die exponierte Lage und die grossen Fenster eine gute Tageslichtversorgung. Zudem bestehen nahegelegene Zugänge nach draussen zu natürlichem Tageslicht. Die feinen Schwellen an Übergangsbereichen von Innen- zu Aussenräumen fielen den Mitarbeitenden negativ auf. Für Menschen, die auf einen Rollstuhl oder Gehhilfen angewiesen sind, werden diese schnell zu einem unüberwindbaren Hindernis und könnten Stürze provozieren.

Um solchen Situationen vorzubeugen, wurde eine Rampe aus Metall angefertigt (Abbildung 49). Diese wird über die Türschwelle gelegt, wenn ein Bewohner auf die Terrasse möchte, und anschließend wieder entfernt, damit die Türe geschlossen werden kann. Steht die Türe permanent offen, fühlen sich Bewohner durch den entstehenden Durchzug der Luft gestört. So sind die Bewohner permanent auf das Pflegepersonal angewiesen, wenn sie ins Freie möchten. Für das Pflegepersonal entsteht ein zusätzlicher Arbeitsaufwand. Steht keine Hilfe zur Verfügung, ist der Zugang nach Draussen nicht möglich. Der Garten und die Terrassen sind so von den Bewohnern nicht optimal nutzbar.



Abbildung 48: Demenzgarten [Quelle: Licht@hslu]



Abbildung 49: Metallrampe bei Zugängen [Quelle: Licht@hslu]

5.3.3. Beschattung

Im Aussenbereich kommt dem Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung eine wichtige Bedeutung zu. Nur wenn genügend Schattenplätze vorhanden sind, gehen die Bewohner an warmen und sonnigen Tagen nach draussen. Ansonsten bleiben sie auch bei schönstem Wetter drinnen und die

Qualitäten eines Gebäudes mit seinen Aussenbereichen kommen nicht zum Tragen. Durch Schattenplätze mithilfe von Pergola-Verschattung oder Sonnensegel lassen sich exponierte Terrassen auch im Sommer nutzen. Sonnenschirme erweisen sich häufig als ungeeignet, denn die erzeugten Schatteninseln sind sehr klein, sodass die Position häufig geändert werden muss. Zudem können Schirmständer ein Sturzrisiko darstellen. Und nicht zuletzt sind Sonnenschirme bei starkem Wind.

Empfehlungen für die Praxis – Tageslicht

- *Das Gebäude und seine Versorgung mit Tageslicht bestimmt mit, wie gross der Nutzen einer dynamischen Beleuchtung sein kann. Eine dynamische Lichtdecke in einen Altbau mit kleinen Fenstern und dunklen Räumen hat eine andere Voraussetzung als dieselbe Installation in einem Neubau mit viel Tageslicht und guter Aussicht. Dies beeinflusst die Akzeptanz.*
- *Tageslicht kann durch Kunstlicht nicht ersetzt, sondern sinnvoll ergänzt werden. Das natürliche Licht der Sonnen ist wichtig für die Gesundheit der Bewohner. Mindestens zwei Stunden Tageslicht pro Tag sind zu empfehlen.*
- *Der Aufenthalt unter Tageslicht sollte gefördert und die Bewohner motiviert werden, nach draussen zu gehen. Auch im Schatten ist es um ein Vielfaches heller als in Innenräumen. Fenster filtern zudem gewisse Bestandteile des Sonnenlichts heraus.*
- *Um Aussenräume optimal nutzen zu können, sind Zugänge nach Draussen so einfach wie möglich zu gestalten und Schwellen zu vermeiden.*
- *Es ist wichtig, Schattenplätze zu schaffen. Ohne ausreichende Verschattung gehen die Bewohner weniger nach draussen. Sonnenschirme sind dazu wenig geeignet, denn der Schattenbereich ist sehr klein. Alternative Verschattungssysteme bieten sich hier als nachhaltigere Lösung für Bewohner und Personal an.*

5.4. Pflegeoase

Die Pflegeoase befindet sich im 3. Obergeschoss. Es handelt sich um eine Wohngruppe mit stark eingeschränkten und hilfsbedürftigen Menschen. In den Räumen der Pflegeoase befinden sich zwei Lichtdecken, die neben oder direkt über den Betten der Bewohner angebracht wurden. Durch das Licht sollen die Bewohner am Morgen aktiviert werden und es soll sie dabei unterstützen, ihren Schlaf-Wach-Rhythmus zu stärken.



Abbildung 50: Pflegeoase, 3. OG [Quelle: Licht@hslu]

5.4.1. Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten

Beleuchtungsstärken wurden in den blau markierten Zonen auf einer Höhe von 0.75 Meter (Tischhöhe) horizontal (Eh) gemessen und auf einer Höhe von 1.2 Meter (Kopfhöhe, sitzend) in vertikaler Richtung (Ev). Die dynamischen Lichtdecken sind zentriert in den beiden verbundenen Räumen angeordnet. Sechs Betten stehen für stark pflegebedürftige Bewohner zur Verfügung. Die einen wurden in der Planung direkt unter den Lichtdecken, die andere seitlich im Raum angeordnet (Abbildung 52). In der Pflegeoase gibt es Sitzgelegenheiten an verschiedenen Positionen und einen grossen Aufenthaltstisch, an dem sich die Bewohner häufig aufhalten (E1). Es ist anzumerken, dass die hier gepflegten Menschen im wachen Zustand den Kopf häufig nach unten gesenkt haben. Eine

Beleuchtung von oben kann so nicht die maximal mögliche Wirkung entfalten. Daher wurde an zwei Positionen im Raum (E1, E2) mit einer Neigung gemessen und mit E45° bezeichnet. Dies geschah in der Annahme, dass der Blick jeweils 45° nach unten geneigt ist.



Abbildung 51: Pflegeoase, 3. OG [Quelle: Licht@hslu]

Beleuchtungsstärken bei 10% der maximal möglichen Leistung der Lichtdecke.

Eh, horizontal	Ev, vertikal	E45°
E-1: 230 lx	E-1: 230 lx	E1: 100 lx
E-2: 650 lx	E-2: 450 lx	E2: 350 lx
Eh-1: 1'500 lx	-	-
Eh-2: 1'500 lx	-	-

Die Lichtdecken werden in der Pflegeoase mit nur 10% der möglichen Leistung betrieben, da sie zu Beginn als zu hell und blendend wahrgenommen wurden.

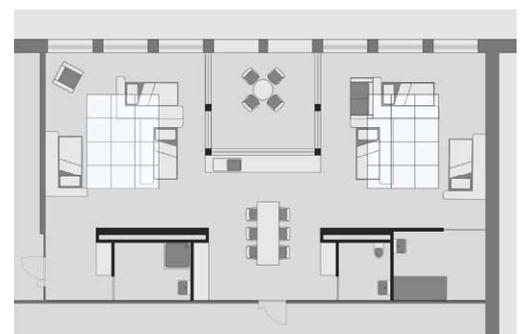


Abbildung 52: Geplante Anordnung der Betten [Quelle: Licht@hslu, Grundlage Bob Gysin & Partner]



Abbildung 53: Pflegeoase, 3. OG [Quelle: Licht@hslu]



Abbildung 54: Aufenthaltstisch [Quelle: Licht@hslu]

Bei 100 % Leistung werden Beleuchtungsstärken bis 13'000 Lux (Eh, 0.75 m) erreicht. Die Lichtdecken sind im Grundriss zentriert angeordnet, unabhängig von der Anordnung von Betten und Mobiliar. Die verschiedenen Liegepositionen unterscheiden sich daher stark bezüglich den gemessenen Beleuchtungsstärken. Bei einer Liegeposition direkt unter der Lichtdecke misst man Beleuchtungsstärken von rund 1'500 Lux und 650 Lux, wenn das Bett seitlich angeordnet wurde. Einige Bewohner schauen permanent in die helle

möglichen Leistung, weist die Lichtdecke in der Pflegeoase Leuchtdichten zwischen 550 und 800 cd/m^2 auf. Diese Leuchtdichten sind moderat; trotzdem ist es fraglich, ob die Betten direkt unter einer Lichtdecke platziert werden sollen, die den ganzen Tag eingeschaltet ist. Der direkte Blick in die Leuchte kann als unangenehm empfunden werden und blenden. Zudem sind die Bewohner in ihrer Selbstständigkeit eingeschränkt und können nicht frei entscheiden, wo sie sich aufhalten möchten.



Abbildung 55: Pflegeoase, Aufnahme Leuchtdichtekamera [Quelle: Licht@hslu]

Lichtdecke über ihnen. Bewohner und Pflegepersonal fühlten sich damit unwohl. Deshalb wurde die Intensität der Lichtdecke stark reduziert. Die Positionierung einiger Betten wurden im Betrieb verändert, da sich dies für den Pflegealltag als sinnvoller erwiesen hat. Eine fest installierte Lichtdecke im Nachhinein anzupassen und zu verschieben, ist sehr aufwändig und nicht praktikabel. Mit der aktuellen Dimmung auf 10 % der

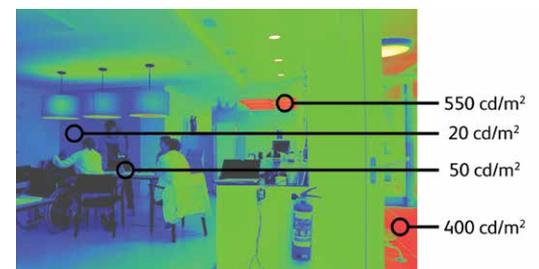


Abbildung 56: Pflegeoase, Aufnahme Leuchtdichtekamera [Quelle: Licht@hslu]

Die Leuchtdichtemessungen wurden an einem stark bewölkten Tag im Oktober durchgeführt. Beim Blick aus dem Fenster wurden am Himmel rund 3'500 cd/m^2 gemessen, auf dem Terrassenboden 700 cd/m^2 und auf dem Boden im Innern des Raumes noch 70 cd/m^2 . Das Licht nimmt stark ab, je weiter man in die Tiefe des Raumes geht. Die Leuchtdichte ist zudem von den eingesetzten Materialien abhängig. Nur Materialien, die Licht

reflektieren, werden als hell wahrgenommen. Schwarz ist auch dann dunkel, wenn sehr viel Licht darauf scheint, denn dieses Licht wird absorbiert. Tagsüber halten sich die Bewohner mit dem Pflegepersonal häufig am Aufenthaltstisch im Eingangsbereich auf. Nur wenig Tageslicht reicht bis dahin und, selbst ergänzt mit dem vorhandenen Kunstlicht, haben hier die Bewohner tagsüber mit rund 230 Lux wenig Lichtexposition. Da die Bewohner den Blick häufig nach unten gesenkt haben, reduziert sich dies auf geringe 100 Lux (E45°) am Auge. Dies ist sehr wenig in Anbetracht des Ziels, die Bewohner mit genügend Licht zu versorgen. Mehr Nähe zum Fenster und ein einfacher Zugang nach draussen sind zu empfehlen.

Empfehlungen für die Praxis – Leuchtdichten und Beleuchtungsstärken

- *Der direkte Blick in Leuchten sollte vermieden werden, denn hohe Leuchtdichten können zu störender Blendung führen. Menschen reagieren unterschiedlich sensibel auf Blendung, und mit dem Alter nimmt diese zu.*
- *Beleuchtungsanlagen sind unbedingt zu bemustern und in Rücksicht auf Pflegeroutinen, Bewohner und Mobiliar zu planen. Eine überdimensionierte, zu helle und ungünstig platzierte Anlage ist im Nachhinein nur noch mit grossem Aufwand anzupassen.*
- *Licht nimmt über die Distanz stark ab, sodass in tiefe Räumen nur wenig Tageslicht dringt. Bei der Planung der Möblierung ist diesem Umstand nach Möglichkeit Rechnung zu tragen. Einfache und nahe Zugänge nach draussen ans Tageslicht sind sehr wichtig.*

5.4.2. Dimmung und Flicker

Trotz der Reduzierung der Intensität auf 10 % der möglichen Leistung, meiden einige Mitarbeitende die Lichtdecken, da sie wiederholt negative körperliche Beeinflussungen festgestellt haben. Mögliche Ursache kann neben der Blendung der sogenannte Flicker sein. Flicker kann durch das Dimmen der LEDs entstehen. Dabei kann es in einigen Fällen zu stroboskopartigen Effekten kommen. Auch wenn das Phänomen Flicker nicht direkt sichtbar ist, kann es stören und die Leistung mindern. Bei einigen Menschen kann es zu Ermüdung der Augen und Kopfschmerzen führen; die Reaktion darauf ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Die Lichtdecken in der Pflegeoase sind aktuell auf 10 % gedimmt. Die eingesetzten Betriebsgeräte bedienen sich dabei der Pulsweitenmodulation. Die starke Dimmung in Kombination mit Pulsweitenmodulation führt bei den eingesetzten Leuchten zu Flicker-Erscheinungen. Je stärker die Dimmung, desto höher die Flicker-Belastung. Starker Flicker sollte an Orten, wo sich Personen über längere Zeit aufhalten, aus gesundheitlichen Gründen vermieden werden.

Bereits bei den ersten Messungen im Pflegezentrum Appenzell wurden bei einer Dimmung von 50 % starke Flicker-Erscheinungen gemessen. Man wiederholte die Messungen unter kontrollierten Bedingungen an der Hochschule Luzern. Ein Modul der Lichtdecke wurde in den Laborräumen in Betrieb genommen. Es zeigte sich, dass die Flickerwerte auch beim Einzelmodul hoch sind (Abbildung 57). Die Leuchte wurde mit verschiedenen Dimmwerten und unterschiedlichen Farbtemperaturen betrieben und in Vergleich gesetzt. Die Messung orientierte sich an den aktuellen Normen und Berichten zu Flicker [34, 35].

Flicker-Bewertung nach IEEE 1789 [35]

In der IEEE 1789:2015 werden die Flicker-Prozente in Verbindung mit der gemessenen Frequenz gesetzt. So entsteht ein empfohlener Bereich, in dem sich eine Beleuchtung befinden sollte, um körperliche Beschwerden zu vermeiden. Die nachfolgende Grafik zeigt den entsprechenden Bereich. Die gemessenen Betriebspunkte sind rot markiert (Abbildung 58). Alle gemessenen Betriebspunkte nach Tabelle 1 befinden sich ausserhalb des empfohlenen Bereichs zur Reduzierung von Gesundheitsrisiken.

100%	kaltweiss	neutralweiss	warmweiss
Kelvin, K	5520	3820	2940
Flicker, %	96.5	99.7	99.5
Index	0.05	0.16	0.1
Frequenz, Hz	1000	500	500

50%	kaltweiss	neutralweiss	warmweiss
Kelvin, K	5520	3810	2919
Flicker, %	99.7	99.7	99.7
Index	0.25	0.3	0.27
Frequenz, Hz	500	500	500

10%	kaltweiss	neutralweiss	warmweiss
Kelvin, K	5500	3810	2930
Flicker, %	99.8	99.6	99.8
Index	0.63	0.6	0.61
Frequenz, Hz	500	500	495

Abbildung 57: Flickermessungen, unterschiedliche Dimmlevel [Quelle: Licht@hslu]

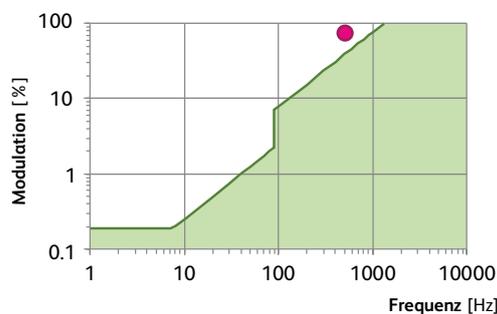


Abbildung 58: [Quelle: Licht@hslu], auf Basis von Flickerbewertung nach IEEE 1789:2015 [35]

Flicker-Bewertung nach IEC TR 63158 [34]

In der IEC TR 63158 wird eine Sichtbarkeitskurve für stroboskopische Effekte definiert (SVM). Folgende Werte für den SVM wurden am Einzelmodul der Lichtdecke gemessen (Abbildung 59). Man spricht dabei vom stroboskopischen Sichtbarkeit-Mass.

100%	kaltweiss	neutralweiss	warmweiss
Kelvin, K	5520	3820	2940
SVM	0.1	0.9	0.3

50%	kaltweiss	neutralweiss	warmweiss
Kelvin, K	5520	3810	2919
SVM	0.9	1.4	1.0

10%	kaltweiss	neutralweiss	warmweiss
Kelvin, K	5500	3810	2930
SVM	1.4	1.0	1.7

Abbildung 59: Messungen SVM [Quelle: Licht@hslu]

Die dominante Frequenz der Lichtdecken im Pflegezentrum liegt bei rund 500 Hz (Abbildung 57). Bei einer Frequenz von rund 500 Hz sollte gemäss der Sichtbarkeitskurve ein SVM < 0.75 eingehalten werden (Abbildung 60). Das vermessene Einzelmodul der Lichtdecke liegt ausserhalb der Empfehlung; der empfohlene Bereich ist grün markiert. Die Messwerte liegen teils ausserhalb der vorhandenen Skala. Dies führt zu sichtbaren stroboskopischen Effekten, die bei schnellen Bewegungen sichtbar werden (Abbildung 61).

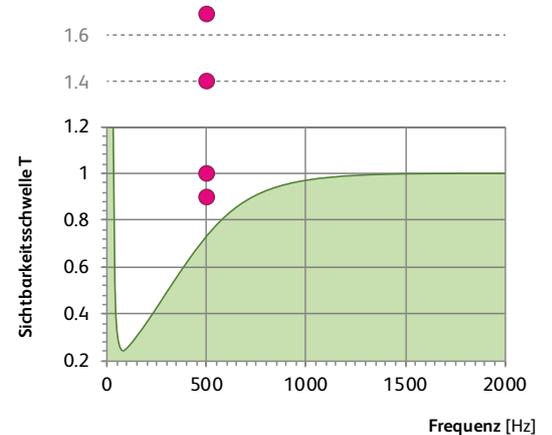


Abbildung 60: [Quelle: Licht@hslu auf Basis von IEC TR 63158 [34]]

Nachfolgendes Bild (Abbildung 61) zeigt den stroboskopischen Effekt unter einem Lichtdecken-Modul. Der Dimmwert der Leuchte beträgt 10 % und entspricht der aktuellen Einstellung in der Pflegeoase. Das Bild wurde mit einer Belichtungszeit von 1/30 Sekunde fotografiert. Solche Effekte sind zu vermeiden, da sie ein Gesundheitsrisiko darstellen können. Mit der Kamera eines Mobiltelefons können Flicker-Erscheinungen sichtbar gemacht werden, denn bei vorhandenem Flicker werden dunkle Linien sichtbar (Abbildung 62). Dies kann erste Hinweise geben, sagt aber noch nichts über die Stärke und Schädlichkeit von Flicker-Erscheinungen aus. Um dies zu validieren, braucht es die passende Messtechnik und Software sowie die entsprechenden Normen und Berichte.



Abbildung 61: Stroboskopischer Effekt bei SVM über 1
[Quelle: Licht@hslu]

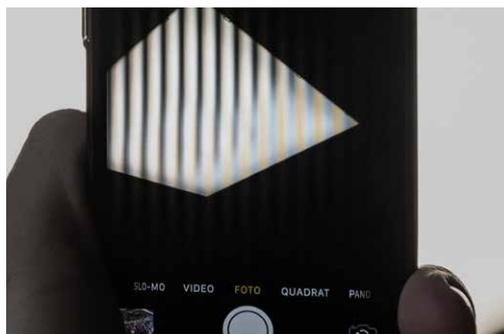


Abbildung 62: Sichtbare Frequenzen, Mobiltelefon
[Quelle: Licht@hslu]

Empfehlungen für die Praxis – Dimmen und Flicker

- Die Möglichkeit zu dimmen ist ein grosser Vorteil für den Betrieb einer Beleuchtungsanlage und sollte auch genutzt werden. Beleuchtungsanlagen sollten jedoch nicht um ein vielfaches überdimensioniert werden, da starke Dimmung zu Störungen führen kann.
- Es empfiehlt sich, für die Dimmung von LEDs möglichst Betriebsgeräte mit Amplitudendimmung oder Kombigeräte einzusetzen. Betriebsgeräte mit reiner Pulsweitenmodulation sind zwar preisgünstiger, können aber zu Flicker führen.
- Auch wenn Flicker nicht direkt sichtbar ist, kann es störend wirken und die Leistung der betroffenen Menschen reduzieren. Bei einigen Menschen kann es zu Ermüdungserscheinungen der Augen und zu Kopfschmerzen führen. Die Reaktionen darauf sind individuell unterschiedlich.
- Mit der Kamera eines Mobiltelefons lässt sich Flicker sichtbar machen. Dies gibt erste Hinweise über die Existenz von Flicker, sagt aber noch nichts über dessen Stärke und Auswirkungen aus.

5.4.3. Emotionale und ästhetische Faktoren

Im Pflegezentrum Appenzell wurde viel Wert auf eine wohnliche Einrichtung gelegt, worauf auch die Leuchten einen Einfluss haben. Diese sind von Raum zu Raum unterschiedlich. Die grossen Lichtdecken wirken technisch steril und kühl und stehen im Kontrast zur Einrichtung. Die runden Aufbauleuchten, die im Aufenthalt des 2. Obergeschosses integrieren sich dagegen besser in die Räume. Obwohl auch hier hohe Beleuchtungsstärken erreicht werden, laden diese Räume zum Verweilen ein.

Die Räume mit Lichtdecken sind im Zentrum sehr hell und am Rand ohne Tageslicht dunkel. Die Lichtdecken kamen direkt vom Hersteller, die restliche Beleuchtung von einem externen Lichtplaner. Die dynamischen Lichtdecken wurden unabhängig vom Gesamtkonzept installiert, d. h. ohne vertieftes Wissen zum Pflegealltag, zur Kundschaft und zum Mobiliar mit den Betten. Mit einem Gedankenaustausch zwischen den involvierten Parteien hätte ein stimmigeres und funktionelleres Gesamtbild erreicht werden können. Es ist durchaus möglich, eine Lichtdecke so zu gestalten, dass diese weniger steril, sondern attraktiv und inspirierend wirkt. So trägt eine ansprechende Gestaltung auch zur Akzeptanz der Lichtdecke bei.



Abbildung 63: Lichtdecke Pflegeoase [Quelle: Licht@hslu]



Abbildung 64: Aufenthaltsraum [Quelle: Licht@hslu]

5.5. Aufenthaltsräume mit Lichtdecken

Die Aufenthaltsräume mit dynamischen Lichtdecken befinden sich im 1. und 3. Obergeschoss. Im 2. Obergeschoss sind diese mit runden Aufbau-Leuchten ohne Dynamik ausgerüstet.

5.5.1. Dynamischer Verlauf der Farbtemperatur

Bei der Bestandsaufnahme hatte man die Lichtdecke im Aufenthaltsraum des 3. Obergeschoss lichttechnisch vermessen. Dabei wurde der hinterlegte dynamischen Farbtemperaturverlauf aufgezeichnet (Abbildung 67). Der hinterlegte

Nach aktuellem Forschungsstand zur dynamischen Beleuchtung [Kapitel 3, Stand der Forschung dynamische Beleuchtungen] und zu den alltäglichen Pflegeroutinen im Pflegezentrum Appenzell wurde im Rahmen der zu Verfügung stehenden Leuchten (Dynamik der Leuchte erlaubt Farbtemperaturen zwischen 2'900 K und 5'500 K) nachfolgender Verlauf für das Pflegezentrum erstellt (Abbildung 68). Der Verlauf lässt sich dabei nicht eins zu eins auf Anlagen in anderen Pflegezentren übertragen. Dafür braucht es Abklärungen zur jeweiligen Tageslichtversorgung, den Pflegeroutinen, zur Kundschaft und zu der zur Verfügung stehenden Technik und deren Einschränkungen.



Abbildung 65: Aufenthaltsraum, 3. OG [Quelle: Licht@hslu]



Abbildung 66: Küche Aufenthaltsraum, 3. OG [Quelle: Licht@hslu]

Farbtemperaturverlauf hat die bereits eingeschränkten Möglichkeiten der Lichtdecke in sehr geringem Masse ausgenutzt, denn die Farbtemperatur bewegte sich zwischen 3'100 und 3'800 Kelvin. Die Beleuchtungsstärke wurde über den Tag und in der Nacht konstant gehalten. Der Elektrotechniker definierte und hinterlegte den Verlauf in Eigenregie, da er keine Angaben von anderer Stelle erhalten hatte. In diesem Zusammenhang kommt die Frage auf, wer die Kompetenz und Verantwortung für eine Beleuchtung tragen soll, die für sich eine Einflussnahme auf den menschlichen Körper und die Gesundheit beansprucht.

Intensivem Licht mit hoher Farbtemperatur wird in den Morgenstunden eine aktivierende Wirkung zugeschrieben. Daher wird die Anlage in den Morgenstunden mit kaltweissem Licht bei 5'500 Kelvin betrieben. Eine höhere Farbtemperatur kann die Beleuchtung nicht wiedergeben. Wie sich dies mit Tageslicht vergleichen lässt, erläutert Kapitel 2.3.

Ab 12 Uhr wird die Anlage mit neutralweissem Licht bei 4'000 K betrieben. Ziel ist es, über den Tag einen Verlauf zu erstellen, der möglichst wenig ablenkt. Schnelle und grosse Sprünge sind zu vermeiden, da der Nutzer die Beleuchtung möglichst wenig aktiv wahrnehmen sollte. In den Abendstunden, spätestens zwei bis drei Stunden vor dem ins Bett gehen, sollte auf Licht mit hoher Farbtemperatur verzichtet werden. Der zirkadiane Rhythmus kann dadurch gestört werden und die Unterscheidbarkeit von Tag und Nacht leidet. In den Abendstunden ist Licht mit tiefer Farbtemperatur, das heisst warmes Licht mit 3'000 K oder weniger und mit tieferen Beleuchtungsstärken zu bevorzugen.

Auch die Intensität der Lichtdecke ist in der Nacht reduziert. Bis auf ein einzelnes Deckenelement wird die Lichtdecke ausgeschaltet. Da die Beleuchtung bereits stark gedimmt ist und Flicker gemessen wurde, ist Dimmung zur Erstellung einer Nachtszene keine Option. Zu Orientierungszwecken und zur Sicherheit reicht dies jedoch völlig aus.



Abbildung 67: Verlauf Farbtemperatur, gemessen bei der Bestandsaufnahme [Quelle: Licht@hslu]

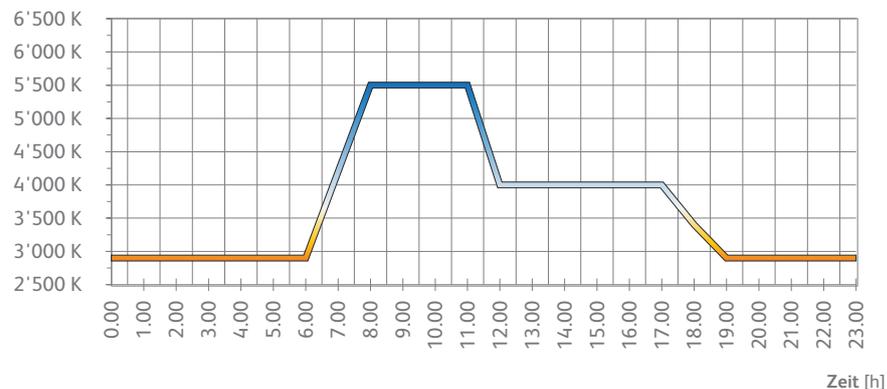


Abbildung 68: Verlauf Farbtemperatur, erstellt für Pflegezentrum Appenzell [Quelle: Licht@hslu]

Die nachfolgende Grafik zeigt eine detaillierte Aufzeichnung des Farbtemperaturverlaufs in den Aufenthaltsräumen (Abbildung 69). In der Pflegeoase wird die Lichtdecke leicht angepasst betrieben, da die Pflegeroutinen anders ablaufen.

Welchen dynamischen Verlauf von Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke man über den Tag und über die saisonalen Veränderungen des Jahres aus welchem Grund erreichen möchte, sollte frühzeitig diskutiert werden. Eine präzise Spezifikation der

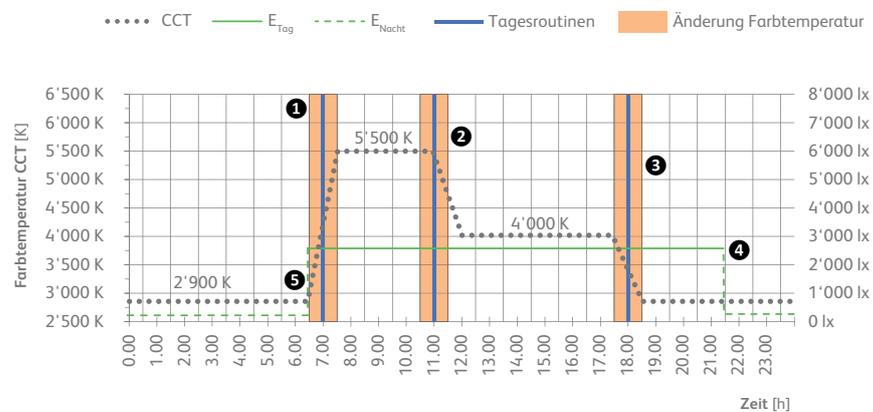


Abbildung 69: Detaillierter Ablauf Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke [Quelle: Licht@hslu]

Tagesablauf im Pflegezentrum

- 1. Die Bewohner stehen gegen 7 Uhr auf; der Tag beginnt. Von 6:30 bis 7:30 Uhr wird die Farbtemperatur von 2'900 auf 5'500 K erhöht.
- 2. Um 11:30 Uhr wird das Mittagessen serviert. Von 11:00 bis 12:00 Uhr wird die Farbtemperatur von 5'500 auf 4'000 K gesenkt.
- 3. Ab 18:00 Uhr gehen viele Bewohner zurück auf ihre Zimmer. Die Farbtemperatur wird zwischen 17:30 und 18:30 Uhr von 4'000 auf 2'900 K gesenkt. Ziel ist es, dass die Bewohner zwei bis drei Stunden vor dem ins Bett gehen Licht mit hoher Farbtemperatur vermeiden.
- 4. Die Nachtszene wird abends um 21:30 Uhr aktiviert. Es brennt nur noch ein einzelnes Leuchten-Modul.
- 5. Die Nachtszene wird morgens um 6:30 Uhr deaktiviert; alle 12 Module der Lichtdecke sind wieder eingeschaltet. Gleichzeitig wird die Farbtemperatur zwischen 6:30 und 7:30 Uhr wieder von 2'900 auf 5'500 K erhöht.

Anforderungen hilft, die richtige Beleuchtungsanlage und Steuerung zu bestimmen. Denn nicht alle entwickelten Kurven lassen sich auch umsetzen. So leben wir in einer geografischen Zone mit starken saisonalen Unterschieden zwischen Sommer und Winter; es wäre von Vorteil, dies auch bei dynamischen Beleuchtungen einfließen zu lassen. Technisch ist dies allerdings nicht einfach umsetzbar oder gar unmöglich. Deshalb muss häufig ein Kompromiss gefunden werden, der sowohl für den Winter wie auch für den Sommer funktioniert. Auch eine grundsätzlich einfache Sache wie eine Überblendung von einem Wert zu einem anderen über eine bestimmte Zeitspanne ist nicht auf beliebige Art mit jeder Steuerung umsetzbar. So erlaubt die Programmierung im Pflegezentrum Appenzell eine Farbtemperaturveränderung in einem festgelegten Zeitfenster von 90 Sekunden. Mehrere solche Überblendungen hintereinander sind möglich. Ziel ist es dabei, dass die Bewohner und das Pflegepersonal die Veränderung Farbtemperatur nicht aktiv wahrnehmen. Entsprechend sollte die Veränderung der Farbtemperatur innerhalb von 90 Sekunden nur so gross sein, dass sie nicht wahrgenommen. Im Pflegezentrum Appenzell sind dies 300 Kelvin in einem 90-Sekunden-Schritt, wie dies bereits in

anderen Projekten verifiziert werden konnte. Für eine Überblendung von 2'900 auf 5'500 K, wie dies im Pflegezentrum der Fall ist, sind also neun nacheinander folgende 90-Sekunden-Schritte mit 300 K notwendig. Der Programmierer braucht dazu genaue zeitliche Angaben, um den Verlauf richtig umzusetzen.

Empfehlungen für die Praxis – dynamische Beleuchtungen

- *Neben lichttechnischen und gesundheitlichen Aspekten ist ein klares Verständnis der Situation vor Ort zwingend: Welche Klientel lebt im Haus, wie schaut der Pflegealltag aus, und wann stehen die Leute in den unterschiedlichen Wohngruppen auf. Ein vorgefertigtes Konzept, das für alle passt, gibt es hier nicht.*
- *Welchen dynamischen Verlauf von Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke man tagsüber und über die saisonalen Veränderungen des Jahres erreichen möchte und weshalb, sollte frühzeitig diskutiert werden. Eine präzise Spezifikation der Anforderungen hilft, die richtige Beleuchtungsanlage und Steuerung zu bestimmen.*
- *Wir leben in einer geografischen Zone mit starken saisonalen Unterschieden. Es ist von Vorteil, wenn eine dynamische Beleuchtung in der Lage ist, saisonal unterschiedliche Farbtemperatur- und Beleuchtungsstärke-Verläufe abzurufen.*

- *Nicht alle entwickelten Kurven lassen sich auch umsetzen. Es ist empfehlenswert, sich frühzeitig mit den Möglichkeiten von Gebäudetechnik und Programmierung auseinanderzusetzen und sich mit den entsprechenden Fachpersonen auszutauschen. Die Person, die den Kurvenverlauf programmiert, braucht präzise Angaben, die vorerst erarbeitet werden müssen. Ansonsten besteht das Risiko, die Kontrolle über die Anlage zu verlieren.*
- *Bei dynamischen Beleuchtungsanlagen nimmt die Komplexität stark zu. Zur Umsetzung bedarf es ein breites und fundiertes Wissen sowie interdisziplinäre Zusammenarbeit. Nachträgliche Anpassungen können schnell aufwändig und teuer werden.*

5.5.2. Programmierung und Steuerung

Während den lichttechnischen Messungen im Pflegezentrum waren die Lichtdecken in den Aufenthaltsräumen permanent eingeschaltet, auch wenn die Sonne direkt in die Räume schien. Die Steuerung erfolgt über Sensorik; manuelle Schalter gibt es nicht. So hat der Nutzer keine Möglichkeit, aktiv einzugreifen. Aus vielerlei Hinsicht ist es jedoch sinnvoll, die Beleuchtung bei ausreichend Tageslicht und speziell bei Sonnenschein auszuschalten. Viele Bewohner hat das Leben in ihrem kulturellen und sozialen Umfeld gelehrt, sparsam



Abbildung 70: Aufenthaltsraum mit Lichtdecke
[Quelle: Licht@hslu]

mit Ressourcen und Energie umzugehen. Technische Massnahmen wie die der dynamischen Lichtdecke können negative Empfindungen auslösen und bei den Nutzern auf Unverständnis stossen. Das diffuse Licht der Lichtdecke kann an sonnigen Tagen sehr unnatürlich und nebelartig wirken, denn das natürliche Licht ist gerichtet und verleiht den Dingen im Raum einen klaren Schatten. Auch wenn heutige LEDs hocheffizient und bei Weitem nicht die Wärmeabgabe einer konventionellen Glühlampe haben, geben auch LEDs und die dazugehörigen elektronischen Geräte Wärme ab. Diese wird nach hinten abgeleitet, was den Raum mit der Zeit langsam erwärmt. Bei ausreichend Tageslicht ist es daher sinnvoll, die Lichtdecken zu dimmen oder ganz auszuschalten. Aufgrund der grossen Anzahl an Leuchten kann so eine mögliche Aufheizung der Räume vermindert werden.

Es ist eine Herausforderung, Sensorik so zu planen und einzustellen, dass sie den Nutzerbedürfnissen entspricht, denn die reale Situation ist häufig sehr komplex. Vieles ist während der Planung noch nicht bekannt oder nicht im Fokus; so etwa Mobiliar, Materialien, Nutzerverhalten oder Haustiere. Je nach Typ Sensor macht es einen Unterschied, ob dieser auf einen hellen Tisch oder auf den dunklen Boden gerichtet ist. So können unterschiedliche Sensoren auf eine ähnliche Lichtsituation verschieden reagieren (Abbildung 70 und 71); dies hängt auch von ihrer Position im Raum ab. Nutzer können sich anders verhalten als geplant und unvor-



Abbildung 71: Zweiter Aufenthaltsraum mit Lichtdecke zum selben Zeitpunkt, [Quelle: Licht@hslu]

hergesehene Situationen hervorrufen. So kann es vorkommen, dass Bewohner nicht in ihre Zimmer wollen, sondern im Aufenthaltsraum bleiben. Und wenn sie sich im Schlaf leicht bewegen, geht plötzlich das Licht an, was sie erschreckt.

Gewisse Sensoren sind in der Lage, zwischen Menschen und Haustieren zu unterscheiden. Auch das ist eine Kostenfrage. Auch hier sind nach der Implementierung Anpassungen notwendig, bis die Anlage bedürfniskonform ist. Gerade wenn die Automation nicht nach Plan funktioniert, kommt beim Nutzer schnell der Wunsch auf, selbst intervenieren zu können. Ist dies nicht möglich, macht sich Unzufriedenheit breit.

Doch selbst bei einer funktionierenden Einstellung kann es zu Unstimmigkeiten kommen. Ein wolki-ger Himmel an einem windigen Tag kann dazu führen, dass die Beleuchtung wiederholt an- und abschaltet, was äusserst störend sein kann. Ein langsames Hochfahren des Lichts ist angenehmer als ein hartes Ein- und Ausschalten. Sind die Reaktionszeiten der Steuerung länger, kann es sein, dass die Bewohner vorerst im Dunkeln sitzen. Die Nachlauf- und Überblendzeiten der Beleuchtung sind zu prüfen und iterativ anzupassen. Komplex wird es auch im Zusammenspiel mit den Storen. Diese senken sich bei Überhitzungsgefahr und fahren aus Sicherheitsgründen bei starkem Wind nach oben. Dabei kann es zu einem ungünstigen Wechselspiel kommen. Die perfekte Lösung gibt es dabei nicht. Auch sind die Wahrnehmungen und Anforderungen der Menschen sehr individuell und die Schwellen, bis etwas als Störfaktor empfunden wird, höchst unterschiedlich. So kann die Möglichkeit der Entscheidungsfreiheit auch zu Konflikten führen.

Grundsätzlich ist es empfehlenswert, dem Nutzer eine eingeschränkte Möglichkeit zur Intervention zu geben: So kann man ihm erlauben, die durch Sensorik gesteuerte Automatik für einen vordefinierten Zeitraum zu übersteuern. Um dies am Beispiel des wolkeigen Himmels, der die Beleuchtung ständig an- und ausgehen lässt, zu veranschaulichen: Der Nutzer entscheidet hier selbst, ob er die Beleuchtung benötigt oder nicht. Über einen Schalter wird die Automatik für eine Stunde übersteuert. Nach Ablauf dieser Zeit übernimmt wieder die Automatik. Im Falle der Storen-Steuerung wurde dies im Pflegezentrum Appenzell bereits so umgesetzt. Auch fahren diese im Restaurant im Erdgeschoss nur zur Hälfte herunter, sodass der Blick nach aussen weiterhin möglich ist. In gewissen Situationen und Räumen ist dies eine gute Option ohne Überhitzung zu produzieren. Sollte die Automatik der Lichtdecken in Zukunft trotz Korrekturmassnahmen nicht wie gewünscht funktionieren, wäre ein Schalter zur zeitlimitierten Übersteuerung der Automatik eine sinnvolle Option.

Empfehlungen für die Praxis – Gebäudeautomation und Steuerung

- *Planung von Gebäudeautomation erfordert ein Verständnis über den Alltag vor Ort, die Kenntnis der Tagesroutinen und der spezifischen Anforderungen der Nutzer.*
- *Sensorik und Gebäudeautomation benötigt Nachkontrollen und wiederholte Anpassungen, bis dass die Anlage bedürfniskonform funktioniert. Es sollte sichergestellt werden, dass die Erfahrungen der Nutzer aufgenommen und weitergeleitet werden, damit sinnvolle Anpassungen vornehmen kann. Dies ist ein iterativer Prozess und braucht Zeit. In diesem Sinne ist die Betriebsoptimierung in der Planungsphase zu berücksichtigen, denn diese ist in der Honorarordnung nicht automatisch hinterlegt.*
- *Es ist sinnvoll, dem Nutzer eingeschränkte Möglichkeiten zur Interaktion zu geben, wenn sich die Automatik nicht seinen Bedürfnissen entsprechend verhält. Zum Beispiel, indem die Automatik für eine begrenzte Zeitdauer übersteuert wird. Der Nutzer kann sich ausgeliefert fühlen, wenn er keine Interventionsmöglichkeiten hat.*
- *Piezo-Schalter sind eine kostengünstige Möglichkeit, Installationen nachträglich anzupassen, ohne ganze Verkabelungen zu erneuern.*
- *Steuerungen über Apps und Mobiltelefone bringen mehr Komplexität und neue Herausforderungen in Bezug auf Verantwortlichkeiten und Wartung. Einfache Taster bringen weniger Konfliktpotenzial.*

5.5.3. Unterscheidbarkeit von Tag und Nacht

Die Unterscheidbarkeit von Tag und Nacht sollte in einem Beleuchtungskonzept berücksichtigt werden, denn die Bedürfnisse unterscheiden sich je nach Tageszeit. Genauso wichtig wie die ausreichende Lichtversorgung am Tag ist Dunkelheit in der Nacht. Dieser Unterschied von hell und dunkel

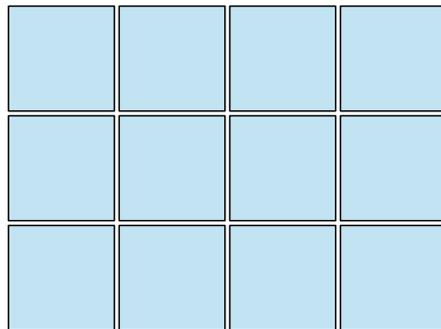


Abbildung 72: Tag-Szene, gesamte Lichtdecke
[Quelle: Licht@hslu]

sollte für die Bewohner erlebbar sein. Dies hilft, die innere Uhr zu synchronisieren und sich an die natürliche Aussenwelt anzupassen. Die maximale Nutzung des Tageslichts sollte dabei Priorität haben. Die künstliche Beleuchtung hat darauf Rücksicht zu nehmen, indem sie die Beleuchtung durch natürliches Sonnenlicht über den Tag unterstützt und wo nötig ergänzt. Dies ist insbesondere in den Wintermonaten mit deren trüben Tagen empfehlenswert. Während den Abendstunden und in der Nacht ist es sinnvoll, die Helligkeit der künstlichen Beleuchtung durchgehend deutlich zu verringern.

Die dynamischen Lichtdecken in den Aufenthaltsräumen des Pflegezentrums waren während der Bestandsaufnahme permanent mit gleichbleibender Leistung in Betrieb. Die Lichtdecke aktiviert sich über Bewegungssensoren, die auch in der Nacht durch Bewohner, Mitarbeitende und Haustiere ausgelöst worden sind. Die Sensoren registrierten auch Bewegungen im Korridor, was die Beleuchtung aktivierte. Die Bewohner empfanden die hohen Beleuchtungsstärken in der Nacht als störend. Es ist folglich sinnvoll, sich frühzeitig Gedanken über die Nachtszenen der Beleuchtung zu machen.

Die Intensität der Lichtdecke während der Nacht wurde nachträglich reduziert. Da die Lichtdecken bereits am Tag stark gedimmt werden, fällt diese Option zur Erstellung einer Nachtszene weg. Stattdessen wird die Lichtdecke bis auf ein einzelnes Licht-Modul ausgeschaltet. Dies reicht zur Orientierung und zu Sicherheitszwecken völlig aus. So lässt sich vermeiden, dass die Lichtdecke in der Nacht mit voller Leistung die Räumlichkeiten erhellt. Bei

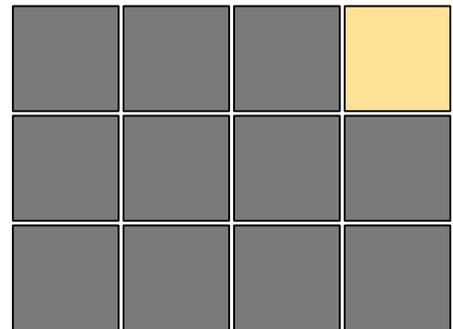


Abbildung 73: Nacht-Szene, mit nur einem Deckenmodul
[Quelle: Licht@hslu]

Diskussionen über dynamische Beleuchtungen sollte man diesem Aspekt Rechnung tragen. Gerade Menschen mit Demenz haben Schwierigkeiten, dem natürlichen Rhythmus von Tag und Nacht zu folgen. Durch zu viel Licht in der Nacht wird dies unnötig verstärkt.

Empfehlungen für die Praxis – Tag und Nacht

- *Spricht man über dynamische Beleuchtungen, sollte nicht nur dem Licht, sondern auch der Dunkelheit Beachtung geschenkt werden. Die Dunkelheit in der Nacht ist genauso wichtig wie das richtige Licht am Tag. Dies sollte in einem Beleuchtungskonzept berücksichtigt werden.*
- *Funktionalität und Einstellungen von Sensorik wie Bewegungsmeldern müssen für Tag und Nacht funktionieren und sind dementsprechend zu überprüfen und anzupassen. Was am Tag funktioniert, kann in der Nacht stören.*
- *Nachtszenen für die Beleuchtung sollten*

frühzeitig geprüft und geplant werden. In Aufenthaltsräumen, Korridoren oder Bewohnerzimmern entstehen in der Nacht andere Bedürfnisse als am Tag. Auch wenn sich der Alltag der Planer über den Tag abspielt, sollte dieser Aspekt nicht ausser Acht gelassen werden. Unterschiedliche Szenen und individuell dimmbare Leuchten können helfen.

5.5.4. Wartung, Ersatz und Produktreife

Dynamische Beleuchtungen sind aufwändiger in der Wartung und im Unterhalt und setzen eine gute Dokumentation voraus. Die Beleuchtungsanlage besteht aus einem optischen System der Leuchte, den LEDs, den dazugehörigen Betriebsgeräten und den Steuerungskomponenten mit der entsprechenden Programmierung. Alle erforderlichen Informationen zu Komponenten, deren Einstellungen und der Programmierung sollten der Wartungsdokumentation zu entnehmen sein. Die eingesetzten LEDs haben eine sehr lange Lebensdauer, verändern sich aber über die Zeit: Der Lichtstrom nimmt ab; die Farbtemperatur kann sich verändern. Speziell bei dynamischen Beleuchtungen sind Nachkontrollen nach einigen Jahren sinnvoll.

Auch bezüglich Ersatz ist eine detaillierte Dokumentation zu gegebener Zeit hilfreich. Fällt ein Treiber aus, kann dieser nicht ohne Zusatzaufwände ersetzt werden, denn bei heutigen dynamischen Beleuchtungen ist es üblich, dass die Betriebsgeräte auf die eine LED-Platine kalibriert werden. Werte für Farbtemperatur und Lichtstrom sind auf jedem einzelnen Treiber individuell hinterlegt. Wird der Treiber ohne Anpassungen ersetzt, kann dies zu sichtbar unterschiedlichen Farbtemperaturen führen. Von Herstellerseite wird daher empfohlen, Treiber und LEDs als Einheit zu behandeln und auch als Einheit zu ersetzen. Dies ist ein grosser Kostenfaktor bei Ersatz.

Durch die schnelle Weiterentwicklung der LEDs kann ein Produkt innerhalb weniger Jahre wieder

vom Markt verschwinden und durch eine neueres ersetzt werden. Dies bedeutet, dass Ersatz nicht unbegrenzt sichergestellt ist, da Ersatzteile nicht mehr an Lager sind. Dies kann zu Mehraufwänden und Verzögerungen führen. Man sollte deshalb in Erwägung ziehen, die wichtigsten Ersatzteile selbst an Lager zu haben. Gerade im Bereich der dynamischen Beleuchtungen hat sich in den letzten Jahren die technologische Entwicklung stark beschleunigt und viele neue Produkte sind auf den Markt gekommen. Dabei ist deren Marktreife zum Teil begrenzt. Dies trifft gerade bei Sonderleuchten zu. Erfahrungen aus der Planung und dem Betrieb, speziell über einen längeren Zeithorizont hinweg, gibt es wenige und über Nutzen und Risiken im Betrieb gibt es wenig etabliertes Wissen. In der Gesetzgebung wie beim Arbeitsschutz sind dynamische Beleuchtung mittlerweile auch ein Thema, sodass man in absehbarer Zeit mit einer gesetzlichen Regulierung rechnen kann.

Empfehlungen für die Praxis

- *Wartungsdokumentationen sind auf ihre Vollständigkeit und Aktualität hin zu prüfen, sodass bei Ausfällen und Defekten zeitnah die nötigen Schritte eingeleitet werden können. Spezifikationen von LEDs, Treibern und hinterlegten Werten, Steuerungskomponenten sowie Programmierung sind vollständig zu dokumentieren.*
- *Die Verantwortlichkeiten beim Ausfall von Treibern und LEDs sind klar festzulegen. Die Verfügbarkeit von Ersatz sollte frühzeitig geklärt und Reserven bei Bedarf eingelagert werden.*
- *Der Wartungsdokumentation sollte ein Dokument angehängt werden, das den hinterlegten Kurvenverlauf und den detaillierten zeitlichen Ablauf von Farbtemperatur und Beleuchtungsstärken über 24 Stunden inklusive allfälliger saisonaler Anpassungen festhält. Es ist zu empfehlen, dieses Dokument mit Kontaktdaten und der Unterschrift des Verantwortlichen zu ergänzen.*

6. Information und Verantwortlichkeiten

6.1. Bereitstellung und Dokumentation von Informationen

Die Komplexität bei der Implementierung einer dynamischen Beleuchtungsanlage ist hoch und eine Vielzahl an technischen Parametern sind zu überwachen. Zentral sind dabei die Geräte-Komponenten und die Einstellungen an Leuchten und Steuerung. Auch die Sicherstellung von lichttechnischen Kontrollen und die Wartung der Anlage in der Zukunft ist hier zu verorten.

während ihrer Arbeit den Bewohnern und ihren Angehörigen wiederholt erklären müssen. Dies geht einfacher, wenn sie es verstehen und dahinterstehen können. Wichtig ist auch die frühe Klärung von Verantwortlichkeiten. Es sollte geklärt sein, wer die Kompetenz dazu hat, etwas einzustellen, dass den Körper von Mitarbeitenden und Bewohnern biologisch beeinflussen kann und wer kontrolliert, ob eine Anlage korrekt eingestellt wurde. Bleiben diese Fragen ungeklärt, kann es zu Verunsicherung und Ablehnung führen.



Abbildung 74: Interventionen [Quelle: Licht@hslu]

Neben diesen technischen Herausforderungen sind die Information und Kommunikation wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Planung und Implementierung. Die beste technische Installation wird auf wenig Akzeptanz stossen, wenn Information, Kommunikation und Verantwortlichkeiten nicht im Vorfeld geklärt und geplant werden. Dies betrifft die Bereitstellung und Kommunikation relevanter und nachvollziehbarer Information zur dynamischen Beleuchtung und deren Verteilung an alle wichtigen Stellen.

Fazit: Für einen erfolgreichen Betrieb müssen sowohl der technische wie auch der informative Bereich frühzeitig geplant werden.

Die bereitgestellten Informationen sollten einige wichtige Fragen beantworten können, die sich in der Betriebsphase stellen werden. Der dynamische Verlauf der Lichtdecke muss klar dokumentiert und für alle einsehbar sein. Für die Mitarbeitenden sollte nachvollziehbar sein, was genau eingestellt wurde und wieso. Schliesslich werden sie dies

Empfehlungen für die Praxis – Information

- *Information und Kommunikation ist ebenso wichtig wie die technische Installation. Dies sollte auch angesichts der heutigen Komplexität der Technik nicht vergessen werden. So sind Informationsmaterialien für Nutzer und Dokumentationen der Beleuchtungsanlage einzuplanen und in der Budgetierung zu berücksichtigen.*
- *Mitarbeitende müssen verstehen, was bei einer dynamischen Beleuchtung zu welchem Zweck eingestellt worden ist. Sämtliche betroffenen Personen müssen Zugang zur Dokumentation des Kurvenverlaufs haben. Die Mitarbeitenden sollten sich informiert und nicht ausgeliefert fühlen.*
- *Zu empfehlen ist die Erarbeitung eines nachvollziehbaren Regelwerks, das die wichtigsten Punkte bezüglich Licht*

auf wenigen Seiten für den täglichen Gebrauch zusammenfasst. Darin wird beschrieben, was genau eingestellt worden ist und wieso welches Licht zu welcher Zeit gut ist für die Bewohner. Es sollte aufzeigen, wie die Beleuchtung sinnvoll gesteuert werden kann und was in Bezug auf die Beleuchtung vermieden werden sollte. Ebenso kann auf die positiven Eigenschaften des Tageslichts hingewiesen werden, um die Mitarbeitenden dafür zu sensibilisieren. Ein einfaches Regelwerk hilft bei aufkommenden Fragen und bei der Einarbeitung neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

6.2. Verantwortlichkeiten für die dynamische Beleuchtung

Die Planung läuft üblicherweise nur bis zur Inbetriebnahme; Aufwände für Anpassungen im Betrieb werden häufig unterschätzt. Wenn Unzulänglichkeiten auftreten, können sich Nutzer alleingelassen fühlen. Im Pflegezentrum Appenzell war nicht geklärt, wer für die dynamischen Lichtdecken zuständig ist. Die Mitarbeitenden fühlten sich schlecht informiert und waren verunsichert, da ihnen niemand beantworten konnte, ob das dynamische Licht richtig eingestellt worden ist. Wenn eine Beleuchtungsanlage für sich beansprucht, auf den menschlichen Körper biologisch zu wirken, ist dies eine berechtigte Frage. Mitarbeitenden werden während ihrer Arbeit mit Fragen zur dynamischen Beleuchtung von Bewohnern und Angehörigen konfrontiert und es ist hilfreich, wenn sie informiert sind und selbst dahinterstehen können. Der Hersteller organisierte eine Infoveranstaltung, bei der Anwendungsbeispiele aufgezeigt und positive Eigenschaften beschrieben wurden. Konkrete Fragen der Mitarbeitenden zum Verlauf der Farbtemperatur und der Helligkeit und wie die Lichtdecke im Pflegealltag richtig zu betreiben ist, konnten bei dieser Gelegenheit jedoch nicht beantwortet werden. Dies zeigt sich auch in der Befragung: Viele Mitarbeitende gaben an, schlecht über die dynamische Beleuchtung informiert zu sein (siehe 4. Befragung des Pflegepersonals).

Auch wenn die Pflegeleitung sehr engagiert verschiedene Fachpersonen im Umfeld der Planung kontaktiert hatte, konnte diesbezüglich keine Lösung gefunden werden. Im Austausch mit anderen Pflegeeinrichtungen stellte die Pflegeleitung fest, dass auch in anderen Einrichtungen ähnliche Probleme mit dynamischen Lichtdecken auftreten. Nach wiederholten Beschwerden wegen Blendung durch die dynamischen Lichtdecken wurde diese durch den Elektriker stark gedimmt. Die Lichtdecken waren auch bei Sonnenschein permanent eingeschaltet, was von Bewohnern, Mitarbeitenden und Besuchern nicht verstanden wurde und zu Reklamationen führte. Eigentlich hätten Sensoren detektieren sollen, wann genügend Tageslicht vorhanden ist. Eine Nachkontrolle auf diesen Punkt bezogen fand jedoch nicht statt und aus den negativen Erfahrungen der Nutzer wurden keine Konsequenzen gezogen. Wenn Mitarbeitende eine Beschwerde hatten, meldeten sie sich bei der Leitung des Pflegedienstes. Diese leitete das Anliegen an die Direktion weiter, die den technischen Dienst mit der Behebung des Problems beauftragte. Da das Pflegezentrum im Gebäude eingemietet ist, müssen die Kosten für allfällige Anpassungen vom Kanton als Bauherrn bewilligt werden.

Fragen bezüglich der dynamischen Beleuchtung konnten auf diesem Weg jedoch nicht behandelt werden, da der technische Dienst nicht über das entsprechende Wissen verfügte. Die Entscheidung, welcher dynamische Kurvenverlauf eingestellt wird, wurde vom Elektriker als letztem Glied in der Planungskette getroffen, obschon dieser nicht das notwendige Fachwissen hatte. Er befand sich jedoch in der misslichen Situation, etwas umsetzen zu müssen, ohne dabei über die dazu notwendigen Informationen zu verfügen, noch auf die Unterstützung von anderer Stelle zählen zu können.

Im August 2017, rund ein Jahr nach der Inbetriebnahme des Pflegezentrums, erhielt die Hochschule Luzern den Auftrag für eine wissenschaftliche Begleitung. Die dynamischen Lichtverläufe, deren Bedienung und Programmierung sollten so angepasst werden, dass die Akzeptanz für die Beleuchtungsanlage zunimmt.

Empfehlungen für die Praxis – Verantwortlichkeiten

- *Bei Projekten mit dynamischen Lichtinstallationen ist ein Service-Vertrag als Option zu prüfen, da wiederholt Anpassungen im laufenden Betrieb nötig sind. Es ist ein iterativer Prozess, der Zeit benötigt; die Erfahrung und Rückmeldungen der Mitarbeitenden sind dabei wichtig. Die Kosten für diesen Prozess sollten in der Planung berücksichtigt und bereits in diese integriert werden. Werden Lösungen ohne Anpassungsbedarf angeboten, ist Vorsicht angebracht.*
- *Es ist elementar, Verantwortlichkeiten für die dynamische Beleuchtung im Vorfeld zu klären und auch im Betrieb zu gewährleisten. Diese sollten klar definiert und am besten schriftlich und mit Unterschrift festgehalten werden, wer für den hinterlegten Kurvenverlauf verantwortlich ist.*
- *Im Haus sollte eine sichtbare Ansprechperson bestimmt werden, die zeitnah Rückmeldung auf allfällige Fragen geben kann. Dies kann der technische Dienst sein, der mit den nötigen Zusatzinformationen und einer guten Dokumentation ausgestattet wird, sodass er einen Großteil der Fragen kompetent beantworten kann. Für Fragen, die auf diese Art nicht beantwortet werden können, sollte eine externe Fachperson herangezogen werden.*

Werden Mängel offensichtlich, stellt sich ebenfalls die Frage nach den Verantwortlichkeiten. Im Planungsalltag führt dies zu Aufwänden und rechtlichen Auseinandersetzungen. Planer und Bauherren stehen unter Zeit- und Kostendruck; Ressourcen und Honorare sind knapp. Die Kosten sind ein wichtiger Treiber für Entscheidungen und können zu Einsparungen an zentralen Positionen führen. Mögliche Risiken und zukünftige Aufwände werden nicht angesprochen. So wie es keine perfekte Lösung gibt, so ist die Ursache für Unzulänglichkeiten kaum je an einer einzigen Stelle zu finden.

7. Ausblick, weiteres Vorgehen und Fazit

Zusammen mit den Pflegefachpersonen des Pflegezentrum Appenzell und Fachpersonen wurden unterschiedliche Interventionen entwickelt. Eine Mehrzahl davon sind bereits umgesetzt. An dieser Stelle möchten wir uns seitens der Hochschule herzlich bedanken bei den Mitarbeitenden des Pflegezentrums und bei allen andern Beteiligten für die vielen wertvollen Inputs aus dem Pflegealltag.

In den Aufenthaltsräumen der Wohngruppe für Menschen mit Demenz und der Pflegeoase hat der Elektriker den Verlauf der Farbtemperatur bei allen dynamischen Lichtdecken angepasst. Der detaillierte Beschrieb wurde der Wartungsdokumentation angefügt. In den Aufenthaltsräumen erweiterte man die dynamischen Lichtdecken mit einer Nachtszene. Zwischen 21:30 und 6:15 Uhr wird jeweils nur ein Element (von insgesamt 12) der Lichtdecken eingeschaltet (Dimmlevel: 30 %, Farbtemperatur: 2'900 K). Das Licht eines Moduls reicht aus zu Orientierungszwecken und zur Sicherheit. Auch in den Korridoren wurde eine Nachtszene mit reduziertem Lichtniveau implementiert, um auch hier die Unterscheidbarkeit von Tag und Nacht zu stärken.

Sensoren zur tageslichtabhängigen Steuerung wurden angepasst in der Absicht, dass sich die Lichtdecken bei sonnigem Wetter und viel Licht in den Aufenthaltsräumen automatisch ausschalten. Das Schaltverhalten soll in den kommenden Wochen beobachtet und bei Bedarf nachjustiert werden. Sollte es nicht gelingen, die Automatik so einzustellen, dass sie den Bedürfnissen der Nutzer entspricht, könnten als Option Schalter eingesetzt werden, über die sich die Automatik für einen begrenzten Zeitraum übersteuern lässt.

Die Hochschule Luzern erarbeitete zusammen mit dem Pflegezentrum ein Lichthandbuch, in dem die wichtigsten Punkte bezüglich Tageslicht und der dynamischen Beleuchtung erklärt werden. Das übersichtliche Handbuch soll auf den Arbeitsalltag Bezug nehmen und die meisten Fragen der Mitarbeitenden beantworten können. Das Lichthandbuch kann zu Informationszwecken in den Stationszimmern aufliegen und bei der Einarbeitung neuer Mitarbeitender Unterstützung bieten. Zudem wurden Verantwortliche für Fragen zur dynamischen Beleuchtung bestimmt. Diese Personen erhalten zusätzliche Informationen zur dynamischen Beleuchtung mit dem Ziel, einen Grossteil auftretender Fragen beantworten zu können. Ergänzend dazu steht die Hochschule Luzern in den kommenden Monaten in begrenztem Umfang für allfällige neue Fragen und Unklarheiten zur Verfügung.

Für die Flicker-Erscheinungen im Pflegezentrum wird zurzeit nach einer angebrachten Lösung gesucht. Speziell in der Pflegeoase, wo sich die Bewohner fast permanent im Bett unter den Lichtdecken aufhalten und sich weder fortbewegen noch ausdrücken können, halten die Autoren eine Anpassung für zwingend notwendig. So wurde untersucht, ob sich durch das Einlegen von lichtreduzierenden Folien in die Leuchten Flicker-Erscheinungen vermeiden lassen, da somit weniger stark gedimmt werden muss. Das gewünschte Ergebnis konnte auf diese Weise nicht erreicht werden. Zudem ist es aus energetischer Sicht wenig sinnvoll, Licht auf diese Art zu «vernichten». Auch verfällt mit dem Öffnen der Leuchten das Recht auf Garantieleistung.

Im Gespräch mit der Bauherrschaft, dem Leuchten-Hersteller und den Verantwortlichen des Pflegezentrums werden nun weitere Optionen abgeklärt. Dem Pflegezentrum Appenzell ist es ein Anliegen, dass bei der Umrüstung der laufende Betrieb möglichst wenig gestört wird. Ein Ersatz der gesamten Beleuchtung kommt daher nicht in Frage. In einem nächsten Schritt wurde untersucht, ob es möglich ist, nur die Betriebsgeräte durch neue zu ersetzen. Da LED-Platinen und Betriebsgeräte aufeinander kalibriert sind, wird dies zu Farbverschiebungen führen. Untersuchungen sollen evaluieren, ob diese Verschiebungen stören oder für den Betrieb akzeptabel sind. Lässt sich auf diese Weise das gewünschte Ergebnis nicht erreichen, wird der Ersatz von Betriebsgeräten und LEDs geprüft. Ziel ist, die bestehenden Leuchten weiterhin verwenden zu können und für alle Beteiligten eine angebrachte, möglichst und einfache Lösung zu finden, die für die Bewohner und das Pflegepersonal eine gute Lichtqualität sicherstellt.

Der Bericht zeigt auf, dass bei der Planung dynamischer Beleuchtungsanlagen die Komplexität stark ansteigt. Eine interdisziplinäre Betrachtungsweise und der frühe Einbezug der Nutzer ist dabei elementar für eine nachhaltige Umsetzung. Neben den technischen Fragestellungen spielt die Kommunikation und Klärung von Verantwortlichkeiten eine wichtige Rolle in Bezug auf die spätere Akzeptanz. Trotz aller Möglichkeiten heutiger künstlicher Beleuchtungsanlagen, sollte dabei die erste Priorität beim natürlichen Tageslicht liegen. Tageslicht ist wichtig für die Gesundheit und lässt sich nicht ersetzen. Möglichkeiten Zugänge nach Draussen zu vereinfachen und den Aufenthalt im Freien zu fördern, sollten optimal genutzt werden.

8. Literaturverzeichnis

- [1] M. S. Rea, M. G. Figueiro and J. D. Bullough, "Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research" *Lighting Research & Technology*, vol. 34, no. 3, pp. 177–187, 2002.
- [2] M. S. Rea, M. G. Figueiro, A. Bierman and J. D. Bullough, "Circadian light" (eng), *Journal of circadian rhythms*, vol. 8, no. 1, p. 2, 2010.
- [3] J. O'Hagan, L. Price, and L. Schlangen, "CIE Considers the «Good and Bad» of Light" *LED professional - Review*, vol. 68, pp. 24–25, Jul. 2018.
- [4] P. Zöch, "Human Centric Lighting: Über biologisch wirksames Licht und dessen Anwendung in Planungsprojekten" *medAmbiente*, no. 2, pp. 2–4, 2018.
- [5] M. Boutellier, V. Bromundt, A. Huber, M. Münch, A. Wirz-Justice, "Anwendung von dynamischer Dämmerungssimulation bei Menschen mit Demenz" 2016.
- [6] M. Knoop et al., "Daylight: What makes the difference?" *Lighting Research & Technology*, vol. 16, 147715351986975, 2019.
- [7] SN EN 12464-1:2013 - Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places, 2013.
- [8] N. E. Klepeis et al., "The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants" (eng), *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, vol. 11, no. 3, pp. 231–252, 2001.
- [9] J. A. Leech, W. C. Nelson, R. T. Burnett, S. Aaron and M. E. Raizenne, "It's about time: a comparison of Canadian and American time-activity patterns" (eng), *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, vol. 12, no. 6, pp. 427–432, 2002.
- [10] C. Schweizer et al., "Indoor time–microenvironment–activity patterns in seven regions of Europe" *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, vol. 17, no. 2, pp. 170–181, 2007.
- [11] P. Boyce and P. Raynham, *The SLL lighting handbook*. London: Soc. of Light and Lighting, 2009.
- [12] EN 17037:2019 - Tageslicht in Gebäuden, 2019.
- [13] EN 12464-1:2011 - Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places, 2011.
- [14] Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER), "Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs): Final Opinion" 2018.
- [15] CIE, "Report on the First International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry, 2013 (785): CIE_TN_003-2015" 2013.
- [16] Fördergemeinschaft Gutes Licht, Ed., "licht.wissen 07: Biologische Lichtwirkung auf den Menschen" 978-3-926193-82-7, 2012.
- [17] K. Thapan, J. Arendt and D. J. Skene, "Rapid Report: An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans" *Journal of Physiology*, no. 535.1, pp. 261–267, 2001.
- [18] G. C. Brainard et al., "Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor" *The Journal of Neuroscience*, vol. 21, no. 16, pp. 6405–6412, 2001.
- [19] I. Provencio et al., "A Novel Human Opsin in the Inner Retina" *The Journal of Neuroscience*, vol. 20, no. 2, pp. 600–605, 2000.
- [20] D. Gall, "Die Messung circadianer Strahlungsgrößen" Ilmenau, 2004.
- [21] R. J. Lucas et al., "Measuring and using light in the melanopsin age" (eng), *Trends in neurosciences*, vol. 37, no. 1, pp. 1–9, 2014.
- [22] M. L. Amundadottir, S. W. Lockley and M. Andersen, "Unified framework to evaluate non-visual spectral effectiveness of light for human health" *Lighting Research & Technology*, vol. 49, no. 6, pp. 673–696, 2017.
- [23] CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light, CIE DIS 026/E:2018, 2018.
- [24] M. Spitschan et al., "How to Report Light Exposure in Human Chronobiology and Sleep Research Experiments" (eng), *Clocks & sleep*, vol. 1, no. 3, pp. 280–289, 2019.

- [25] M. Canazei, L.-M. Neier and W. Pohl, "Gesundes Licht - nur eine Phrase?: Eine Stellungnahme zur Planbarkeit nicht-visueller Lichtwirkungen" *Licht*, vol. 69, no. 5, pp. 36–41, Jul. 2017.
- [26] M. Canazei, "Proceedings of the Lux Europa 2017: European Lighting Conference" pp. 197–201, Sep. 2017.
- [27] J. Weninger, M. Canazei and W. Pohl, "Die Wiederentdeckung des individuellen Lichtbedürfnisses" *Licht*, vol. 70, no. 4, pp. 28–33, Jun. 2018.
- [28] CIE, "CIE Statement on Non-Visual Effects of Light (783): Recommending proper light at the proper time" Jun. 2015.
- [29] M. G. Figueiro, "Rethinking Exposure to Saturated Colored Light" *Architect - The journal of the american institute of architects*, http://www.archlighting.com/technology/rethinking-exposure-to-saturated-colored-light_o, Sep. 2018.
- [30] T. Kantermann, C. Schierz and V. Harth, "Gesicherte arbeitsschutzrelevante Erkenntnisse über die nichtvisuelle Wirkung von Licht auf den Menschen: Eine Literaturstudie" Aug. 2018.
- [31] K. Straif et al., "Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting" *The Lancet Oncology*, vol. 8, no. 12, pp. 1065–1066, 2007.
- [32] M. G. Figueiro, R. Nagare and L. L.A. Price, "Non-visual effects of light: How to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness" *Lighting Research & Technology*, vol. 50, no. 1, pp. 38–62, 2018.
- [33] Hiroshi Yamadera et al., "Effects of bright light on cognitive and sleep–wake (circadian) rhythm disturbances in Alzheimer-type dementia" *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, vol. 54, pp. 352–353, 2000.
- [34] IEC TR 631582018, 2018.
- [35] Standards Committee of the IEEE Power Electronics Society, IEEE recommended practices for modulating current in high-brightness LEDs for mitigating health risks to viewers. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015.

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur