



# **Bachelor-Thesis**

zur Erlangung des akademischen Grades B.Sc.

## **Konzeption einer personalisierten Human-Centric Lighting (HCL) Anwendung im privaten und medizinischen Bereich**

**Kai-Sören Hoffmann** [REDACTED] Fakultät DMI  
Studiengang Medientechnik

**Erstprüfer:** Prof. Dr. Jan Mietzner  
**Zweitprüfer:** Prof. Dr. Roland Greule

Horneburg, 28.7.2022



## **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelor-Thesis mit dem Titel:

„Konzeption einer personalisierten Human-Centric Lighting (HCL) Anwendung im privaten und medizinischen Bereich“

selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln verfasst habe. Alle Passagen, die ich wörtlich aus der Literatur oder aus anderen Quellen wie z. B. Internetseiten übernommen habe, habe ich deutlich als Zitat mit Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

(Unterschrift)

## Zusammenfassung

In dieser Thesis wird das Prinzip von Human Centric Lighting und seine Anwendungsmöglichkeiten im privaten sowie medizinischen Bereich näher untersucht, dabei werden interessante Anwendungsfälle beleuchtet und dargestellt. Außerdem wird mit der Near Field Communication Technologie eine Möglichkeit der Lichtsteuerung aufgezeigt, die in Verbindung mit einem Human Centric Lighting fähigen Smarthome-System neue Möglichkeiten in Sachen Beleuchtung eröffnet. Smarthome Kommunikation wie ZigBee, Casambi, und LiveLink werden zudem näher betrachtet. Abschließend wird ein Konzept erstellt, dessen einzelnen Komponenten vorgestellt und erläutert werden, mit dem ein solches System in der Praxis realisiert werden könnte.

## Abstract

In this thesis, the principle of Human Centric Lighting and its possible applications in the private and medical sector are examined in more detail, and interesting use cases are highlighted and presented. In addition, the Near Field Communication technology is shown as a possibility of lighting control, which in conjunction with a Human Centric Lighting capable Smarthome system opens up new possibilities in terms of lighting. Smarthome communication such as ZigBee, Casambi, and LiveLink are also examined in more detail. Finally, a concept is created, whose individual components are presented and explained, with which such a system could be realized in practice.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Eigenständigkeitserklärung</b> .....	2
<b>Zusammenfassung</b> .....	3
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	6
<b>1. Einleitung</b> .....	8
1.1 Motivation .....	8
1.2 Aufgabenstellung.....	8
1.3 Ziel der Arbeit .....	9
<b>2. Grundlagen</b> .....	10
2.1 Licht .....	10
2.2 Wahrnehmung von Licht .....	11
2.3 Wahrnehmung von Farbe.....	11
2.4 Gesetzlicher Rahmen.....	12
<b>3. Human Centric Lighting</b> .....	14
3.1 Prinzipien und Wirkung .....	14
3.2 Der zirkadiane Rhythmus .....	15
3.3 Chronotyp.....	17
3.4 Bewertung von Lichtquellen anhand nicht-visueller Lichtwirkungen .....	17
<b>4. Anwendungen von HCL</b> .....	20
4.1 Theoretische HCL-Szenarios .....	20
4.1.1 Optimal nutzbares HCL-System .....	21
4.1.2 Eingeschränkt nutzbares HCL-System.....	23
4.2 Healwell von Signify.....	24
4.3 Advanced Naval Lighting System von LINKSrechts.....	27
4.4 TRILUX beleuchtet Schulen.....	29
<b>5. Leuchtmittel</b> .....	32
5.1 Aufbau und Funktion .....	32
5.2 Farbwiedergabe.....	33
5.3 Bluelight Hazard .....	35
<b>6. Funktechnik</b> .....	37
6.1 RFID .....	37
6.2 NFC .....	38
6.2.1 NFC-Lesegerät (PCD).....	41
6.2.2 NFC-Tag (PICC).....	41
6.2.3 Codierung .....	43

6.2.4 Modulation .....	44
6.3 Casambi .....	44
6.4 TRILUX LiveLink.....	45
6.5 ZigBee Protokolle.....	46
6.5.1 ZigBee Home Automation .....	46
6.5.2 ZigBee Light Link .....	47
6.5.3 ZigBee Health Care .....	47
<b>7. Konzept .....</b>	<b>48</b>
7.1 Das Armband .....	48
7.2 Der Lichtschalter.....	49
7.3 Die Beleuchtung .....	50
7.4 Lichtplanung .....	51
7.5 Konfliktbetrachtung und Lösungsansatz .....	53
<b>8. Fazit und Ausblick .....</b>	<b>55</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>57</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>68</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>72</b>

# Abkürzungsverzeichnis

**5G** – Fünfte Mobilfunkgeneration

**ACK** – Acknowledge

**ArbStättV** – Arbeitsstättenverordnung

**ASK** – Amplitude Shift keying

**BLE** – Bluetooth Low Energy

**CCT** – Correlated Color Temperature

**CRC** – Cyclic Redundancy Check

**CRI** – Color Rendering Index

**DALI** – Digital Addressable Lighting Interface

**DIN** – Deutsches Institut für Normung

**DM** – Disease Management

**EEPROM** – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

**FSK** – Frequency Shift Keying

**HADS** – Hospital Anxiety and Depression Scale

**HCL** – Human Centric Lighting

**IpRGC** – Intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells

**IR** – Infrarot

**JSON** – JavaScript Object Notation

**LED** – Light Emitting Diode

**LTE** – Long Term Evolution

**MAC** – Media Access Control

**MDER** – Melanopic Daylight Efficiency Ratio

**MEDI** – Melanopic Equivalent Daylight Illuminance

**MELF** – Melanopic Equivalent Luminous Flux

**NAK** – Not Acknowledge

**NFC** – Near field Communication

**NRZ-L** – Non return to zero level

**OOK** – On Off Keying

**PCD** – Proximity coupling device  
**PFM** – Personal Fitness Monitoring  
**PHY** – Physische Schicht  
**PICC** – Proximity inductive coupling card  
**PSK** – Phase Shift Keying  
**PWM** – Personal Wellness Monitoring  
**Rf** – Color Fidelity Index  
**RF** – Radiofrequency  
**RFID** – Radio-Frequency Identification  
**Rg** – Gamut Index  
**RG** – Risiko Gruppe  
**RGB** – Red Green Blue  
**UHF** – Ultra High Frequency  
**UID** – Unique Identifier  
**URL** – Uniform Resource Locator  
**UV-Licht** – Ultraviolettes Licht  
**ZHA** – ZigBee Home Automation  
**ZLL** – ZigBee Light Link

# 1. Einleitung

## 1.1 Motivation

Elektrisches Licht ist seit Jahrhunderten allgegenwärtig. Kaum ein technisches Produkt kommt ohne eine Form von Lichtquelle aus, sei es als Statusanzeige oder interaktiver Bildschirm; der Mensch ist regelrecht umzingelt von Lichtquellen und das zu jeder Tageszeit. Ein Umstand der die Nacht buchstäblich zum Tag machen kann. In unserer heutigen Leistungsgesellschaft könnte man sich einen Arbeitsplatz ohne Licht auf Abruf gar nicht mehr vorstellen, Leistung bis tief in die Nacht wäre unmöglich. Für die Effektivität des Unternehmens ein Segen, für die geregelte Nachtruhe und das Wohlbefinden des Menschen am Arbeitsplatz jedoch ein nicht unbedenkliches Risiko. Aber ohne Licht geht nichts. Dabei hat Licht nicht nur den illuminierenden Effekt. Anfang des 19. Jahrhunderts wurde entdeckt das Licht sich maßgeblich auf die Psyche und die Stimmung des Menschen auswirkt, der Grund hierfür wurde jedoch erst Anfang des 20. Jahrhunderts, mit Entdeckung der Ganglienzellen, ergründet. Licht ist viel mehr als nur Beleuchtung.

Diesen Umstand hat uns die Pandemie deutlich gemacht. Sie hat gezeigt, wie wichtig es ist das wir den Umgang mit der Außenwelt pflegen. Dazu gehören soziale Kontakte sowie der gewohnte Aufenthalt unter freiem Himmel, sei es durch einen Spaziergang durch den Park, ein Treffen mit Freunden zum gemeinsamen Fußballspielen, oder der Weg zur Arbeit. Durch Homeoffice und Lockdowns, wurden diese alltäglichen Aktivitäten drastisch zurückgefahren. Laut der Erkenntnisse eines Forscherteams vom Queensland Centre of Mental Health hat die Häufigkeit von schweren Depressionen und Angststörungen im Verlauf der Corona-pandemie um 25% zugenommen [1]. Ursachen für diesen Anstieg sind unter anderem die verringerte Mobilität, die stetige Bedrohung durch das Virus, aber möglicherweise auch der vermehrte Aufenthalt in Innenräumen. Ähnliches ist bei lang liegenden Patienten im Krankenhaus zu beobachten. HCL (Human Centric Lighting) könnte hier einen Betrag leisten, um das vermehrte Auftreten von Depressionskrankheiten zu senken.

## 1.2 Aufgabenstellung

In der Beleuchtungstechnik geht der Trend aktuell hin zu HCL – menschenbezogener Beleuchtung – bei der die Lichtintensität und die Farbtemperatur von Lichtquellen gezielt auf den aktuellen Bedarf des Menschen abgestimmt wird, um somit z.B. Aktivierungs- oder Entspannungsphasen zu schaffen. Entsprechende Leuchten mit einstellbarer Farbtemperatur sind seit einigen Jahren kommerziell verfügbar und sind inzwischen relativ preisgünstig erhältlich. Im medizinischen Bereich könnten HCL-Lösungen zu einer schnelleren Genesung von Patienten beitragen. Während sich dies bei Liegendpatienten (z.B. in einer stationären Rehabilitationstherapie) technisch relativ einfach realisieren ließe, erfordern mobile Patienten einen entsprechenden personalisierten Ansatz, damit der gewünschte HCL-Modus dem Patienten bei Bedarf in designierten Bereichen zur Verfügung steht.

In dieser Arbeit soll ein Konzept für eine solche personalisierte HCL-Lösung erarbeitet werden. Dabei sollen interessante Anwendungsfälle entwickelt und mit den Anforderungen in einem realen Klinikbetrieb abgeglichen werden. Dabei könnten beispielsweise Interviews mit Klinikmitarbeiter\*innen und ggf. Patienten einfließen. Zudem soll eine detaillierte Literaturrecherche erfolgen, inwieweit der Nutzen von HCL im medizinischen Bereich durch entsprechende Studien bereits nachgewiesen werden konnte. Die technische Umsetzung der personalisierten HCL-Lösung soll so aussehen, dass der gewünschte HCL-Modus eines Nutzers anhand fest installierter Scanner erfasst und per Funk an eine HCL-fähige Leuchte übertragen wird. Konzepte zur

„Konfliktlösung“ bei benachbarten Nutzern mit widersprüchlichen HCL-Vorgaben sollen ebenfalls mitbetrachtet werden. Abschließend sollen geeignete Hardware-Plattformen und Funkprotokolle identifiziert und das technische Konzept entsprechend verfeinert werden, z.B. auf Basis geeigneter Schaltpläne, (Pseudo-) Codesequenzen sowie (beispielhaften) Datenpaketstrukturen.

## 1.3 Ziel der Arbeit

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll ein HCL-Konzept entwickelt werden, das den anspruchsvollen Anforderungen im klinischen Bereich gerecht wird. Kern dieses Konzeptes soll es sein, einen Lichtschalter zu verwenden, der Befehl für die gewünschte Lichtstimmung über einen im Armband des Patienten integrierten NFC (Near Field Communication) Chip ausliest und an das Beleuchtungssystem sendet. Funktion und Aufbau der NFC-Technologie soll zudem genauer untersucht werden. Mögliche Funkprotokolle zur Übertragung werden zudem ermittelt und erläutert. Außerdem werden mögliche Konfliktszenarien von gegenläufigen HCL-Profilen skizziert und gelöst.

Anhand von bereits vorhandenen Anwendungsfälle soll das Prinzip von HCL und seiner Wirkung auf den Menschen und die Umwelt näher erläutert werden. Insbesondere das Hauseigene „HealWell“ Produkt von Signify sowie das „Advanced Naval Lighting“ System von LINKSrechts, und das HCL System von TRILUX werden näher beleuchtet.

## 2. Grundlagen

### 2.1 Licht

Von der Wissenschaft definiert als elektromagnetische Strahlung und Teilchen zugleich, beschreibt Licht das vom menschlichen Auge wahrnehmbare Spektrum der elektromagnetischen Strahlung von 380nm bis hin zu 780nm [2]. Dabei lässt sich der sichtbare Bereich grundlegend in fünf Spektralfarben einteilen, Violett, Blau, Grün, Gelb, und Rot. Je kurzwelliger das Licht, desto energiereicher ist es. Licht mit Wellenlängen kürzer als 380nm wird als UV-Licht (Ultraviolett) bezeichnet welches beim Menschen bei übermäßiger Exposition zu Schäden führen kann. Licht oberhalb des sichtbaren Spektrums von 780nm wird als IR (Infrarot) Strahlung bezeichnet, die wenn absorbiert die Energie in Wärme umwandelt. Drei der wichtigsten Messgrößen, um die Wirkung von Licht fotometrisch quantifizieren zu können sind Lichtstrom (Lumen, lm), Lichtstärke (Candela, cd), Beleuchtungsstärke (Lux, lx).

Spektrum des Lichts

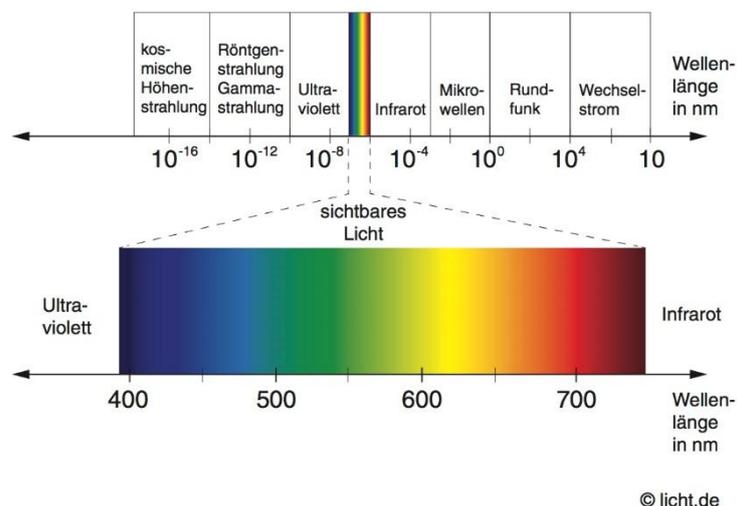


Abbildung 1: Das Lichtspektrum [2]

© licht.de

Der Lichtstrom beschreibt wie viel Licht über einen gewissen Zeitraum von einer Lichtquelle emittiert wird.

Lichtstärke bezieht sich auf die Lichteinstrahlung in eine bestimmte Richtung. 1 Candela entspricht dabei der Lichtstärke einer Kerzenflamme.

Die Beleuchtungsstärke ist definiert als die fotometrische Beleuchtung, die eine Lichtquelle mit 1 Lumen Lichtstrom gleichmäßig auf einen  $1\text{m}^2$  verteilt.

Messungen dieser Größen sind objektiv und werden Fotometrie genannt.

## 2.2 Wahrnehmung von Licht

Licht regt die im Auge befindlichen Netzhaut an und leitet die Information in elektrischen Impulsen an das Gehirn weiter. Die Aufnahme geschieht hierbei durch drei verschiedene Arten von Zellen: Zapfen, Stäbchen, und ipRGC (intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells).

Zapfen sind Fotorezeptoren und dienen auf der Netzhaut der Erfassung von einfallendem Licht. Sie sind empfindlich bei starker Helligkeit und befinden sich vorwiegend im Zentrum auf der Netzhaut. Die Farbrezeptoren treten in drei Formen auf: S-Zapfen, M-Zapfen, und L-Zapfen, und decken jeweils den blauen, grünen, und roten Bereich des sichtbaren Lichtspektrums ab. Im Vergleich zu Zapfen sind Stäbchen bei geringeren Lichtverhältnissen empfindlicher, weshalb bei geringerer Lichtintensität die Farbwahrnehmung abnimmt („Nachts sind alle Katzen grau“).

Wahrgenommenes Licht beeinflusst aber nicht nur das was wir sehen, sondern durch die Lichtfarben, auch die Empfindung. Zudem nehmen wir Licht auch durch den Rest unseres Körpers wahr. Durch die Lichteinstrahlung auf unserer Haut wird die Produktion von Vitamin D angeregt.

Bemerkenswert ist auch, dass Menschen mit Sehbehinderungen, aufgrund von ipRGC trotzdem noch sensibel auf blaues Licht reagieren [3].

## 2.3 Wahrnehmung von Farbe

Die Farbwahrnehmung wird nur zu einem Bruchteil vom direkt abgestrahlten Licht des Leuchtmittels beeinflusst. Stattdessen sehen wir die Reflektionen der Lichtstrahlen von den Objekten, die uns umgeben. Der Apfel scheint somit rötlich, weil hauptsächlich der rötliche Anteil des reflektierten Lichts vom Auge aufgenommen wird. Die anderen Anteile, die nicht wahrzunehmen sind, werden von der Oberfläche des Objektes absorbiert.

Dabei kann es passieren, das Leuchtmittel mit unterschiedlicher spektraler Charakteristik das gleiche Objekt in einer anderen Farbe erscheinen lassen. Das Auge kann dabei nicht zwischen Farbsignalsummen gleichen Wertes aber anderer Zusammensetzung unterscheiden. Das bedeutet, monochromatische Farben und Farbzusammensetzungen können unter einer spektral inhomogenen Lichtquelle gleich erscheinen, unter natürlichem Sonnenlicht jedoch unterschiedlich. Dieser Effekt wird Metamerie genannt und ist zu beachten, wenn ein bestimmter Farbeindruck erzielt werden soll [4]. In Abbildung 2 wird deutlich veranschaulicht, wie unterschiedlich der Farbeindruck unter verschiedenen Lichtquellen ausfallen kann.

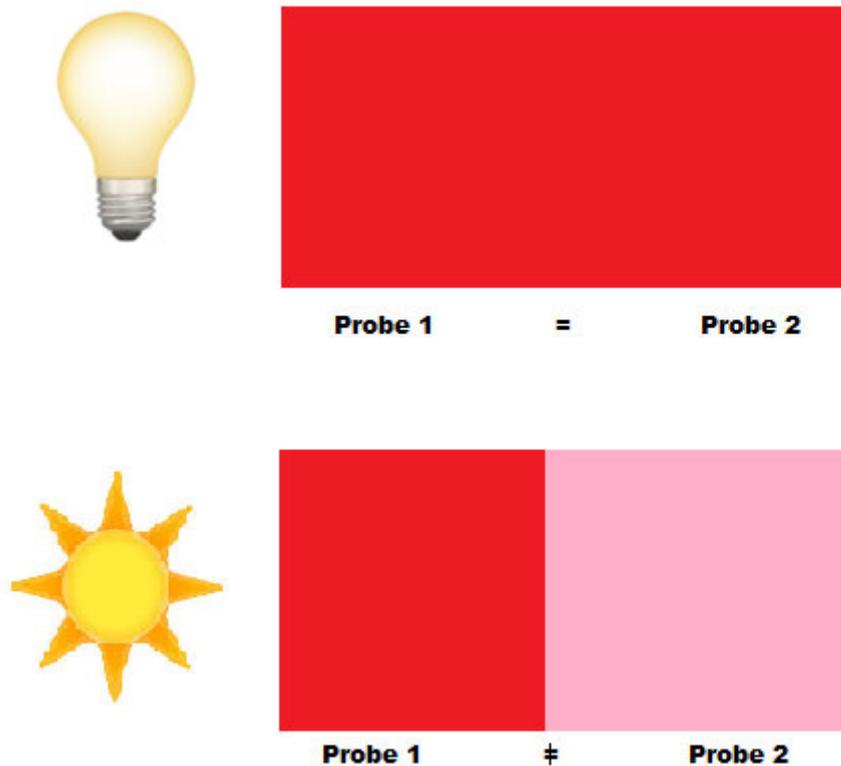


Abbildung 2: Beispiel für den Effekt der Metamerie [4]

## 2.4 Gesetzlicher Rahmen

Damit eine Lichanlage funktional und sicher gestaltet werden kann, hat der Gesetzgeber Anforderungen konkretisiert und in Form der ASR (Ausschuss für Arbeitsstätten) A3.4 festgehalten. Dabei setzt sie die Rahmenbedingungen für natürliches und künstliches Licht am Arbeitsplatz. Eine zusätzliche Unterscheidung findet dabei zwischen Allgemeinbeleuchtung und Sicherheitsbeleuchtung statt.

Die Mindestanforderung von Tageslicht am Arbeitsplatz wird dabei wie folgt festgelegt:

*„(3) Die Anforderung nach ausreichendem Tageslicht wird erfüllt, wenn in Arbeitsräumen*

*- am Arbeitsplatz ein Tageslichtquotient größer als 2 %, bei Dachoberlichtern größer als 4 % erreicht wird oder*

*- mindestens ein Verhältnis von lichtdurchlässiger Fenster-, Tür- oder Wandfläche bzw. Oberlichtfläche zur Raumgrundfläche von mindestens 1:10 (entspricht ca. 1:8 Rohbaumaße), eingehalten ist. Die Einrichtung fensternaher Arbeitsplätze ist zu bevorzugen.*

*Die Anforderungen gelten auch für Aufenthaltsbereiche in Pausenräumen.*

*Wenn die Forderung nach ausreichendem Tageslicht in bestehenden Arbeitsstätten oder auf Grund spezifischer betriebstechnischer Anforderungen nicht einzuhalten ist, sind im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung andere Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit und des*

*Gesundheitsschutzes erforderlich. Eine andere Maßnahme besteht in der Einrichtung und Nutzung von Pausenräumen mit hohem Tageslichteinfall in Verbindung mit einer geeigneten Pausengestaltung.“ [5]*

Weiter wird speziell auf andere Aspekte von künstlicher Beleuchtung Bezug genommen:

*„Da Tageslicht örtlich und zeitlich nicht immer in ausreichendem Maße vorhanden ist, ist zusätzlich eine künstliche Beleuchtung erforderlich. Die Arbeitsstätten müssen mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein. Eine Verringerung des individuellen Sehvermögens, z. B. mit zunehmendem Alter, kann eine höhere Anforderung an die Beleuchtungsqualität (z. B. eine höhere Beleuchtungsstärke und höhere Anforderungen an die Begrenzung der Blendung) erfordern.“*

Umgesetzt wird dabei der Gesundheitsschutz anhand von Richtlinien für Beleuchtungsstärken, die für spezifische Aufgaben festgelegt wurden. Eine genaue Auflistung der für den Gesundheitsbereich angeratenen Richtwerte ist im Anhang F.1 ersichtlich.

*„(5) Die mittlere Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich eines Arbeitsplatzes mit 300 lx Beleuchtungsstärke muss mindestens 200 lx betragen. Bei Arbeitsplätzen, die mit 500 lx oder mehr zu beleuchten sind, muss die mittlere Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich mindestens 300 lx betragen. Beleuchtungsstärken über 500 lx im Bereich des Arbeitsplatzes können eine höhere mittlere Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich erfordern. Die minimale Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich darf das 0,5-fache der mittleren Beleuchtungsstärke des Umgebungsbereichs nicht unterschreiten.“*

Dabei ist jedoch zu beachten, dass keine der in ASR A3.4 genannten Richtlinien rechtlich bindend sind. So wird lediglich der Hinweis gegeben, dass wenn diese technischen Regeln eingehalten werden, der Arbeitgeber davon ausgehen kann den entsprechenden Anforderungen der Verordnung gerecht zu werden. Rechtlich bindend ist letztendlich die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) auf welche sich die ASR A3.4 bezieht [6].

## 3. Human Centric Lighting

Human Centric Lighting beschreibt die nicht visuellen Effekte von Licht und deren Auswirkungen auf die menschliche Psychologie und Physiologie. Die Effekte von Licht auf den Menschen sind hier mannigfaltig dokumentiert [7], unter anderem das Gemüt sowie der Schlafrythmus werden vom Licht beeinflusst. Mittels HCL soll die physiologische sowie psychologische Einwirkung des Lichts auf den Menschen nutzbar gestaltet werden, um Produktivität zu steigern, medizinische Therapien zu optimieren und Gemütslagen zu beeinflussen.

Zusätzlich soll es den Nutzer bei der Regulierung des Schlafrythmus unterstützen. Die grundsätzliche Funktion von Licht soll um die Funktion von HCL erweitert werden, ohne das natürliche Tageslicht zu ersetzen, das wäre theoretisch möglich verfehlt aber den Zweck von HCL und soll in dieser Arbeit nicht weiter ergründet werden. Zentrales Ziel ist es das Wohlbefinden des Menschen zu steigern. Automatisch und unkompliziert soll das System gestaltet sein, sodass der Nutzer stressfrei von HCL profitieren kann, denn wie das Akronym schon beschreibt, der Mensch soll im Mittelpunkt stehen.

Der negative Einfluss auf den Biorhythmus des Menschen durch Arbeitsplätze ohne direkten Zugang zum natürlichen Tageslicht, kann durch den Einsatz von HCL fähigen Systemen abgemildert werden. Auch für Betriebe, die ihre Arbeitskräfte in Schichten organisieren, kann ein HCL gestützter Arbeitsplatz den Schichtwechsel erleichtern.

Weitere Einsatzgebiete sind unter anderem Flugzeuge, welche sich regelmäßig durch Langstreckenflüge in andere Zeitzonen begeben und somit den natürlichen Tagesverlauf der Passagiere stören können. Um diesem Jetlag entgegenzuwirken, kann die Lichtstimmung der Kabine oder Sitzplätze auf die Tageszeit ihres Ziellandes angepasst werden.

### 3.1 Prinzipien und Wirkung

#### **Leistungssteigerung**

HCL kann an Arbeitsplätzen zur Leistungs- und Effektivitätssteigerung eingesetzt werden, indem man Arbeitsplätze mit steuerbaren Leuchtmitteln ausrustet. Diese Leuchtmittel können dann je nach Bedarf im Bereich der Farbtemperatur, des Farbtons und der Helligkeit angepasst werden. Der damit einhergehende präzisere Seheindruck und die gesteigerte Aufmerksamkeit können eine Leistungssteigerung zur Folge haben.

#### **Steigerung des Wohlbefindens**

Anders wird der Einsatz in medizinischen Einrichtungen gestaltet; hier soll das Wohlbefinden des Menschen im Vordergrund stehen. Per gezielter Steuerung der Farbtemperatur im Raum wird ein natürlicher Tag-Nacht Zyklus simuliert, der die Patienten bei der Heilung ergänzend begleiten soll. Ohne direkte Sonneneinstrahlung kann der natürliche Schlafrythmus empfindlich gestört werden, in diesem Fall könnte HCL diesem Effekt stabilisierend entgegenwirken.

### Energieeinsparung

Zudem ist HCL auch dazu bedacht den Stromverbrauch zu optimieren, indem Licht nur am Ort des Bedarfs in der erforderlichen Dauer zur Verfügung gestellt wird. Dabei wurde in verschiedensten Fallstudien belegt, dass eine intelligente Lichtanlage im Vergleich zu einer konventionellen Lichtanlage bis zu 85% an Strom sparen kann [8].

## 3.2 Der zirkadiane Rhythmus

Abweichend vom bewussten Bildsehen wird das Licht auch von ipRGC aufgenommen, welche unseren 24 Stunden-rhythmus durch Melatoninregulierung beeinflussen und für die Übermittlung der Lichtinformation verantwortlich sind. Der fotosensitive Farbstoff Melanopsin reguliert die Melatonin Ausschüttung im Gehirn, in der Zirbeldrüse. Die Auswirkung des Lichts auf die melanopsinhaltenen Fotorezeptoren variiert aufgrund der Wellenlänge, die in das Auge einfällt. Der Wirkungsbereich im Auge ist dabei begrenzt, da nur Licht das in einem Einfallsbereich von  $0^\circ$  bis  $60^\circ$  auf die Netzhaut trifft überhaupt einen melanopische Effekt erzielt. IpRGC sind nur Bereich um den Sehnerv verortet.

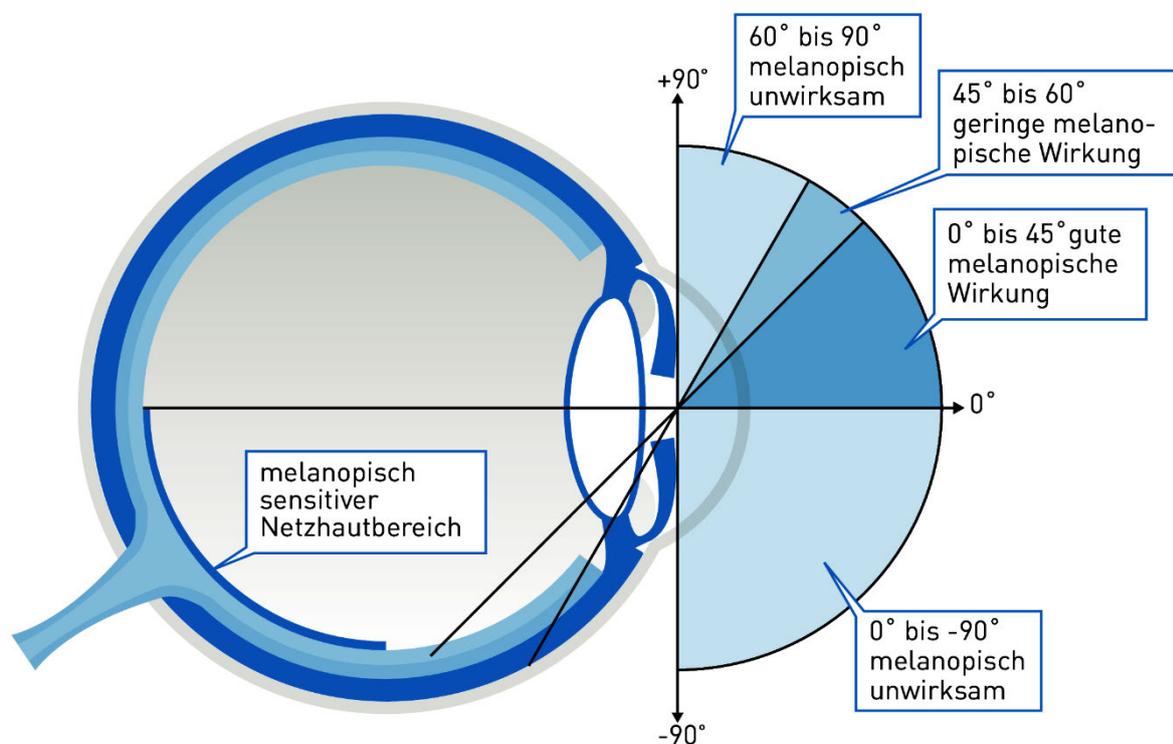


Abbildung 3: Melanopischer Wirkungsbereich im menschlichen Sichtfeld [9]

Diese Gegebenheit lässt sich darauf zurückführen, dass die Sonne für einen langen Zeitraum in der menschlichen Evolution die einzige Lichtquelle war, nach dem sich der zirkadiane Rhythmus entwickelt hat. Zudem wurde festgestellt, dass Jugendliche und Kinder von Natur aus einem anderen zirkadianen Rhythmus folgen.

Bei jedem Menschen ist der zirkadiane Rhythmus verschieden. Dies wird ganz besonders bei heranwachsenden Menschen deutlich, bei denen sich der zirkadiane Rhythmus noch entwickelt. So werden sie am Nachmittag später müde als erwachsene Menschen wie in Abbildung 4 ersichtlich.

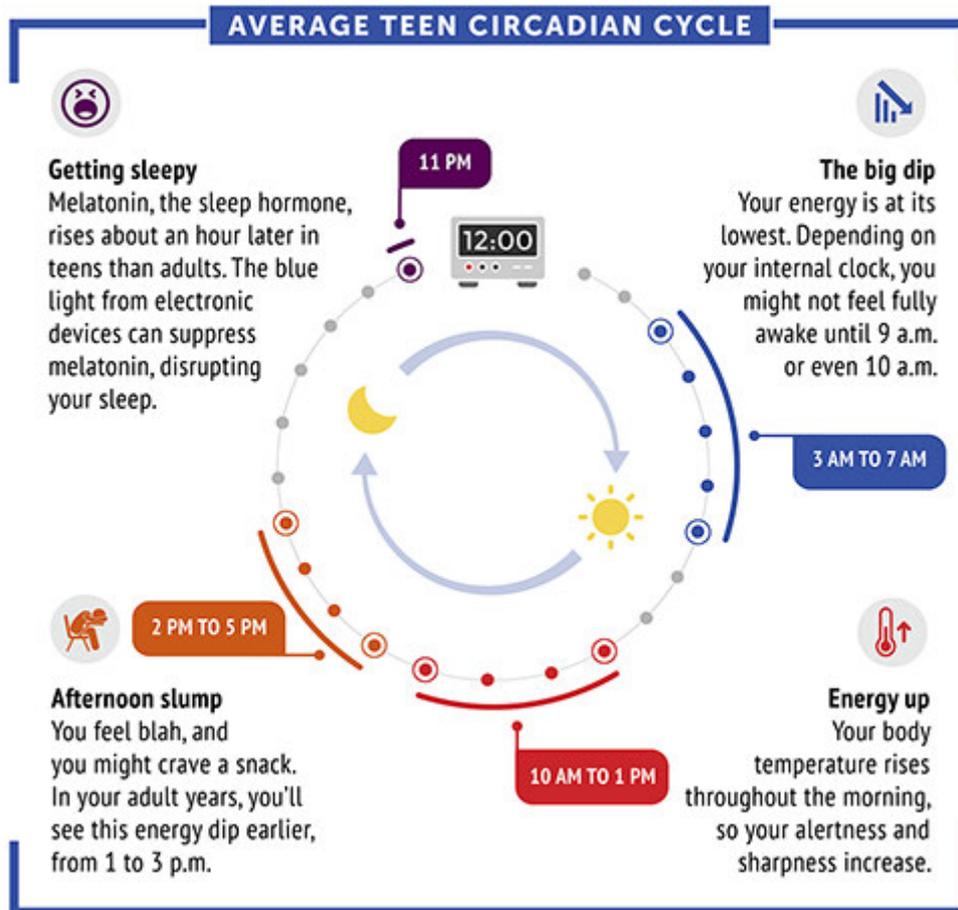


Abbildung 4: Beispiel eines zirkadianen Rhythmus bei einem Teenager [10]

Nicht nur der Einfallswinkel spielt eine entscheidende Rolle, auch die Beleuchtungsstärke ist maßgeblich am nicht visuellen Effekt von Licht beteiligt. Es wurde in der DIN/TS 5031 eine MEDI (melanopic equivalent daylight illuminance) Größe definiert, die beschreibt welches Licht ab welcher zylindrischen Beleuchtungsstärke einen melanopischen Effekt erzielt. In der DIN/TS 67600 wurde 250 MEDI lx als effektives Minimum festgelegt. Grundlegend gilt, dass je höher der MEDI-Wert ist, desto schneller und nachhaltiger fällt der aktivierende Effekt aus [11].

Dabei gilt es zu beachten das zu Tageszeiten, an denen keine Aktivierung durch die Beleuchtung stattfinden soll, bestimmte Grenzwerte der zylindrischen Beleuchtungsstärke nicht überschritten werden sollten. So wird geraten, dass man zur Abendzeit einen maximalen MEDI-Wert von 10 lx nicht überschreiten sollte. Während der Nachtruhe sollte der MEDI-Wert 1 lx nicht überschreiten, wenn kein melanopischer Effekt gewünscht ist [12].

Wird dieser Rhythmus über einen längeren Zeitraum gestört, kann dies zu nachhaltigen Schlafstörungen führen. Eine solche Störung kann beispielsweise durch Schichtbetrieb hervorgerufen werden, da dort der zirkadiane Rhythmus zugunsten der betrieblichen Effizienz aber zu Lasten des Wohlbefindens angepasst wird.

### 3.3 Chronotyp

Grundsätzlich lassen sich Menschen anhand ihres Schlafverhaltens in zwei Kategorien einordnen, „Lärchen“ und „Eulen“, da diese Art der Einordnung vor 100 Jahren zuerst bei Vögeln beobachtet werden konnte. Der „Lärchentyp“ ist in der Regel Frühaufsteher, deren Körper nach der Ruhephase schneller aktiv wird; der Tag beginnt früher wird aber auch früher abgeschlossen. Der „Eulentyp“ hingegen beginnt den Tag bevorzugt später und langsamer, ist dafür aber auch bis spät in die Nacht in der Lage, Leistung zu erbringen [13].

Wird das Schlafverhalten entgegen dieser Natur über einen längeren Zeitraum verändert, so spricht man von einem Jetlag.

Es ist notwendig den Chronotyp des Nutzers von einem HCL-System zu ermitteln, um ein Aussagekräftiges Nutzerprofil erstellen zu können. Diese Informationen fließen in die Gestaltung eines HCL-Profiles.

### 3.4 Bewertung von Lichtquellen anhand nicht-visueller Lichtwirkungen

Nicht visuelle Lichtwirkung beschreibt physiologische und psychologische Effekte auf den Menschen, die neben der klassischen Beleuchtung auftreten. Um Leuchtmittel in ihrer nicht visuellen Wirkung adäquat bewerten zu können, sind photometrische Größen allein ungenügend. Stattdessen müssen biologische sowie fotometrische Größen gemeinsam betrachtet werden, um ihre melanopische Effektivität zu ermitteln. Dieser Zusammenhang wird in der DIN/TS 5031-100 mit dem melanopischen Wirkungsfaktor ( $a_{mel}$ ) definiert, wobei zu beachten ist, dass der Begriff „melanopisch“ keine offizielle wissenschaftliche Bezeichnung, sondern ein Kunstwort ist, das unter anderem an Begrifflichkeiten wie „skotopisch“, „fotopisch“, und „mesopisch“ angelehnt wurde. Als Referenz wird das nördliche Tageslicht mit ca. 6500K Farbtemperatur, welches als D65 in der Norm spezifiziert wird, definiert [14].

Wie in Abbildung 5 ersichtlich, ist eine Gewichtung notwendig, da das melanopische Wirkungsspektrum nicht deckungsgleich mit dem des fotopischen Wirkungsspektrum ist. Der Höhepunkt der melanopischen Sensibilität liegt im Bereich von 490nm und nicht im Bereich von 560nm. Die Helligkeit, die anhand des Leuchtmittels ermittelt wird, kann nicht direkt in eine melanopische Wirkung übersetzt werden. Stattdessen wird der melanopische Wirkungsfaktor genutzt. Für die gängigsten Lichtarten wurde der Wirkungsfaktor ermittelt und anhand einer tabellarischen Auflistung in der DIN/TS 5031-100 wie im Anhang E.1 und E.2 festgehalten.

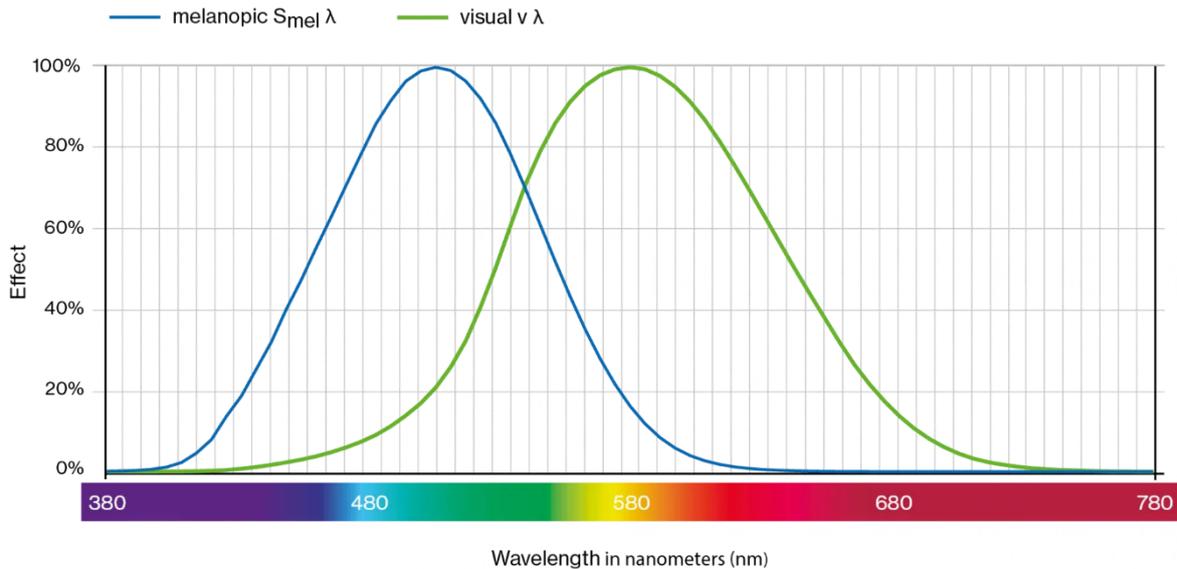


Abbildung 5: Differenz zwischen fotopischer und melanopischer Sensibilität [15]

Ein weiterer Faktor, der zum Vergleich von tageslichtäquivalenter Beleuchtungsstärke in visuelle Beleuchtungsstärke benötigt wird, ist der MDER (Melanopic Daylight Efficacy Ratio,  $\gamma_{mel,v,D65}$ ). Dafür wird der Leuchtmittel spezifische melanopische Wirkungsgrad ( $a_{mel,v}$ ) mit dem dimensionslosen Tageslichtkorrekturfaktor multipliziert.

Der Tageslichtkorrekturfaktor für die Normlichtart D65 entspricht einer Konstanten von 1,104. Er wird aus dem melanopischen Tageslichtäquivalent ( $K_{mel,D65} = 754,03 \text{ lm/W}$ ) und dem Maximalwert des fotometrischen Strahlungsäquivalents ( $K_{cd} = 683 \text{ lm/W}$ ) gebildet.

$$\frac{754,03 \text{ lm/W}}{683 \text{ lm/W}} = 1,104$$

Mit dem MDER ( $\gamma_{mel,v,D65}$ ) kann nun jede fotometrische Größe in ihr melanopisches Äquivalent überführt werden [16]. Wie z.B. der MELF (Melanopic Equivalent Luminous Flux) der in Kapitel 7.3 bei der Steuerung des Leuchtmittels eine Rolle spielt. Der MELF wird durch die Multiplikation der fotometrischen Größe des Lichtstroms mit dem MDER gebildet.

$$\gamma_{mel,v,D65} = 1,104 * a_{mel,v}$$

Außerdem wurden alter spezifische Korrekturfaktoren aufgestellt, welche die reduzierte Linsentransmission  $k_{mel,trans}(A)$  und den verkleinerten Pupillendurchmesser  $k_{pupille}(A)$  kompensieren sollen. Sie wurden in  $k_{mel}(A)$  zusammengefasst. Da in diesem Konzept überwiegend weißes Licht eingesetzt wird, lässt sich zur Berechnung eine quadratische Näherungsformel anwenden.

$$k_{mel}(A) = 0,000095 * A^2 - 0,0255 * A + 1,17$$

Dabei entspricht  $A^2$  dem Korrekturfaktor der angenäherten altersabhängigen Linsentransmission aus Abbildung 6 und A dem Korrekturfaktor der altersabhängigen Pupillenverkleinerung aus Abbildung 7.

	$A = 10$	$A = 25$	$A = 32$	$A = 50$	$A = 75$	$A = 90$
$k_{\text{mel. trans}}(A)$	1,13	1,05	1,00	0,84	0,59	0,46

Abbildung 6: Näherungsweise Korrekturfaktor für altersabhängige Linsentransmission [17]

	$A = 10$	$A = 25$	$A = 32$	$A = 50$	$A = 75$	$A = 90$
$k_{\text{Pupille}}(A)$	1,29	1,09	1,00	0,79	0,54	0,42

Abbildung 7: Korrekturfaktor für altersabhängige Pupillenverkleinerung [17]

Die Abweichung gegenüber der vollständigen ausgeführten Gleichung beschreibt dabei weniger als 0.02.

So wurde ermittelt, dass Menschen im Alter über 60 bis zu vier Mal mehr Licht benötigen als Menschen im Alter von 20. [18]

Gemeinsam mit dem MDER, den altersabhängigen Korrekturfaktoren, und den leuchtmittelspezifischen fotometrischen Größen lässt sich nunmehr ermitteln welchen nicht visuellen Effekt das emittierte Licht des Leuchtmittels auf die beeinflusste Person nimmt.

## 4. Anwendungen von HCL

Das Angebot von HCL-fähigen Systemen ist vielfältig. Kaum ein Anbieter würde ein modernes System vertreiben, ohne es dem Kunden zu ermöglichen das System dynamisch auf seine individuellen Bedürfnisse anzupassen. Sei es durch eine intelligente Smart Home Anwendung, oder ein dediziertes Beleuchtungskonzept: HCL kann praktisch jeder. Besonders namhafte Anbieter wie Waldmann, TRILUX, Signify, Sylvania, Glamox, und Zumtobel haben längst ihr Portfolio um HCL Lösungen erweitert. Sei es für den privaten Verbraucher, den industriellen Großunternehmer, oder medizinische Einrichtungen. Einsatzgebiete für HCL orientierte Lösungen passen sich stetig weiter an.

### 4.1 Theoretische HCL-Szenarios

In diesem Abschnitt wird anhand von drei fiktiven Personen herausgearbeitet, inwieweit ein HCL fähiges Smart Home- System unterstützend im jeweiligen Alltag eingesetzt werden könnte. Situationen zu verschiedenen Tageszeiten sollen Einstellungen und Herangehensweisen von HCL verdeutlichen und gegebenenfalls die Praktikabilität herausstellen. Die Merkmale von HCL sollen dabei stets im Vordergrund stehen.

Folgend soll ein fiktives Szenario skizziert werden, indem ein Smarthome system mit Merkmalen von HCL eingesetzt wird, um den dargestellten Probanden unterstützend zu begleiten. Zu verschiedenen Tageszeiten soll beschrieben werden, wie das HCL fähige System Einstellungen den energetisierenden Effekt von Licht, nach den Wünschen des Probanden, umsetzt, um Wohlbefinden und Effizienz zu optimieren.

Für dem Großteil der Menschen beginnt der Tag um 6:00 mit dem Klingeln eines Weckers. Je nach Chronotyp des Menschen geht dieser Aufwachprozess schnell oder langsam vonstatten. Der Aufwachprozess wird hier mit der Raumbelichtung unterstützt die stetig in der Helligkeit zunimmt.

#### **7:00**

Um einen zügigen Start in den Tag zu erleichtern, wird beim Frühstück eine flächige sanfte Lichtstimmung gewählt deren Rotlichtanteil erhöht ist. Indirektes Licht wird hier bevorzugt, um nicht zu irritieren.

#### **8:00**

Üblicherweise beginnt um diese Uhrzeit die Arbeit oder gegebenenfalls die Schule. Auch hier kann HCL unterstützend eingesetzt werden, indem eine helle flächige Beleuchtung von oben gewählt wird, die zudem dem der Tageslichttemperatur, etwa 5500K, entspricht. Das erleichtert Sehaufgaben und fördert die Konzentration.

#### **10:00**

Der durchschnittliche Mensch hat um diese Uhrzeit die Leistungsfähigste Zeit des Tages. Das bedeutet, dass die Beleuchtung keine besonders aktivierenden Anteile beinhalten muss, und lediglich durch effiziente Ausleuchtung des Arbeitsplatzes eingesetzt wird.

**14:00**

Die Pause sollte nach Möglichkeit mit direktem Tageslicht verbracht werden. Das Licht der Sonne wirkt durch seine Temperatur motivierend und beugt der gelegentlich gegebenen Müdigkeit vor, die nach dem Essen auftreten kann. Alternativ kann auch eine Beleuchtung gewählt werden, die in der Farbtemperatur besonders hoch ist, um aktivierend gegen die Müdigkeit zu wirken.

**17:00**

Der Arbeitstag neigt sich allmählich dem Ende, und auch der natürliche Zeitverlauf des Tages läutet den Abend ein. Einhergehend mit dem Abend ist eine wärmere Lichtstimmung durch den Sonnenuntergang. Je nach Tätigkeitsfeld und Chronotyp des Menschen kann durch HCL die Tageslichtzeit künstlich verlängert werden oder der Feierabend mit wärmerem Licht unterstützend begleitet werden.

**19:00**

Im häuslichen Umfeld angekommen, wird eine warme und sanfte Lichtstimmung gewählt, die zur Entspannung beiträgt. Intensive und aktivierende Beleuchtung wird vermieden, um den natürlichen Tageszyklus nicht zu stören.

**21:00**

Zu diesem Zeitpunkt des Tages befindet sich die Melatonin Ausschüttung auf dem Höhepunkt, der Botenstoff Melanopsin wird nun nicht mehr an die Zirbeldrüse weitergeleitet. Der Körper bereitet sich biologisch auf den Schlaf vor. Blaulichtquellen sollten zu diesem Zeitpunkt bereits vermieden werden, besonders Geräte deren Displays in kurzer Distanz zum Auge benutzt werden. Die Beleuchtung sollte möglichst warm gestaltet werden, um den natürlichen Einschlafprozess nicht zu unterbrechen.

**23:00**

Ohne Störung hat nun der Schlaf eingesetzt. Der Melatonin Spiegel wird durch die verschiedenen Schlafphasen gehalten, bis der Mensch am nächsten Morgen erwacht.

## 4.1.1 Optimal nutzbares HCL-System

Alexander ist Single und arbeitet bei einer namhaften Versicherung. Er verbringt den Großteil seines Arbeitstages in seinem persönlichen Büro. Tageslichteinfall durch die großen Fenster stellt kein Problem dar. Ambitioniert wie er ist, arbeitet er durchaus auch manche Tage länger, um dann nach Feierabend in seine moderne Wohnung zurückzukehren.

**6:00**

Für Alexander (Chronotyp Lärche) beginnt der Tag damit, dass sein Tageslichtwecker ihn mit einem

sanften Anstieg der Helligkeit um 6:00 weckt. Der Aufwachprozess wird direkt durch warmes Licht unterstützt, damit die morgendliche Zeit effizienter genutzt werden kann. Auch im Badezimmer wird die Beleuchtung dem Tageslicht entsprechend gestaltet, um den weckenden Effekt des Tageslichts weiter zu nutzen.

#### **7:00**

Das Frühstück nimmt bei Alexander nicht viel Zeit in Anspruch, einen schwarzen Kaffee aus der Maschine und ein zwei aufgebackene Brötchen werden unter energetisierendem Licht oberhalb von 5500K verspeist, bevor er sich dann auf den Weg zur Arbeit macht. Alexander fährt mit dem Auto zur Arbeit, dort ist keine HCL Unterstützung von Nöten, da das Sonnenlicht durch die Scheiben einfällt.

#### **8:00**

Nach einer kurzen Reisezeit kommt Alexander an seinem Arbeitsplatz an. Das moderne Büro ist mit einer Automatisierung ausgestattet, die er auf seine Bedürfnisse angepasst hat. Ein großer Stapel Arbeit wartet auf ihn, Sehaufgaben die hohe Präzision und Konzentration erfordern. Die Beleuchtung begleitet ihn hierbei mit einer Lichtstimmung von über 5500K.

#### **10:00**

Als Frühaufsteher hat Alexander jetzt die produktivste Zeit des Tages. Das HCL programmierte System reagiert darauf, indem es die Lichtstimmung unmerklich an die Tageslichttemperatur angepasst.

#### **14:00**

Nach einer ausgiebigen Mittagspause, die er im nahegelegenen Park mit einer gesunden Mahlzeit genossen hat, kehrt er gestärkt und gut gelaunt in sein Büro zurück. Durch das aufgenommene Tageslicht zusätzlich energetisiert, benötigt es keine weitere Aktivierung. Hätte er die Pause drinnen verbracht hätte die Möglichkeit bestanden dem übliche Mittagstief mit einer kälteren Beleuchtung von über 5500K entgegenzuwirken.

#### **17:00**

Der Arbeitstag neigt sich für Alexander allmählig dem Ende entgegen. Einhergehend mit dem nahenden Feierabend und der Uhrzeit ist eine wärmere Lichtstimmung durch den Sonnenuntergang. Hätte er mehr Zeit im Büro mit Überstunden verbracht, hätte die Beleuchtung den natürlichen Lichtverlauf künstlich verlängern können, um Alexanders Leistungsniveau zu stützen.

#### **19:00**

Wieder zuhause angekommen, wird eine warme und sanfte Lichtstimmung gewählt, die zur Entspannung beiträgt. Intensive und aktivierende Beleuchtung wird vermieden, um den natürlichen Tageszyklus nicht zu stören. Das Abendprogramm im Fernsehen stört hier nicht, da sowohl Entfernung und Abstrahlrichtung der Lichtquelle zum Auge für die Aktivierung unerheblich sind.

#### **21:00**

Zu diesem Zeitpunkt des Tages befindet sich die Melatoninausschüttung auf dem Höhepunkt: der Botenstoff Melanopsin wird nun nicht mehr an die Zirbeldrüse weitergeleitet. Der Körper bereitet sich biologisch auf den Schlaf vor. Die Beleuchtung sollte möglichst warm gestaltet werden, um den natürlichen Einschlafprozess nicht zu unterbrechen. Das Smartphone von Alexander bleibt somit auf dem Wohnzimmertisch liegen.

#### **23:00**

Ohne Störung hat nun der Schlaf eingesetzt. Der Melatoninspiegel wird durch die verschiedenen Schlafphasen gehalten, bis Alexander am nächsten Morgen geweckt wird

### **4.1.2 Eingeschränkt nutzbares HCL-System**

Er ist Familienvater und arbeitet untertage für einen großen Energiezulieferer, er verbringt den Großteil seines Tages an einem Arbeitsplatz ohne natürliches Tageslicht. Außerdem wird in der Zeche im Schichtbetrieb gearbeitet, somit variieren seine Arbeitszeiten, was seinen zirkadianen Rhythmus zusätzlich belastet.

#### **4:00**

Der Wecker klingelt für Karlheinz sehr früh am Morgen, von Tageslicht sind wir selbst im Sommer noch eine gute Stunde entfernt. Ein Tageslichtwecker oder ein HCL-System kommt für ihn nicht in Frage, da er seine Frau nicht im gleichen Maße aufwecken möchte, also bleibt es bei einem kurzen akustischen Weckton.

#### **5:00**

Die morgendliche Hygiene wird im Badezimmer unter kaltem Neonlicht vollzogen. dieses lässt sich nicht den Bedürfnissen entsprechend anpassen, hilft Karlheinz jedoch trotzdem durch den hohen Blauanteil im Licht, schneller wach zu werden. Anschließend werden noch schnell einige Butterbrote für die Verpflegung vorbereitet, bevor er sich auf den Weg zur Arbeit macht.

#### **6:00**

Um 6 Uhr auf dem Gelände des Bergwerks angekommen, beginnt auch schon seine Schicht. Nachdem er sich Umgezogen hat, steigt er in den Gitterkorb, der ihn mehrere hundert Meter in die tiefe führen soll. Die Beleuchtung ist zweckdienlich gestaltet und soll bei Sehaufgaben die Unfallgefahr mindern, das Wohlbefinden der Arbeiter ist jedoch zweitrangig. Diese Konditionen werden sich für Karlheinz und seine Kollegen über mehrere Stunden nicht ändern.

#### **10:00**

Die Essenspause verbringt Karlheinz im Pausenraum, ein gebauter Verschlag, der sich auch unten im Minenschacht befindet. Auch hier ist die Beleuchtung künstlich und auf die reine Beleuchtung des

Raumes beschränkt. Ein intelligente Lichtsteuerung mit entsprechenden Leuchtmitteln ist auch hier nicht im Einsatz.

#### **15:00**

Es ist Schichtende für Karlheinz. Nachdem er sich wieder umgezogen hat, ist es das erste Mal am Tag, das er dem natürlichen Tageslicht ausgesetzt ist. Für ihn neigt sich der Arbeitstag dem Ende entgegen, obwohl die Tageszeit üblicherweise einen anderen Takt vorgibt. Das volle Spektrum des Tageslichtes wirkt energetisierend und hemmt die die Melatoninausschüttung, ungünstig für den Schichtgänger Karlheinz, der relativ früh zu Bett gehen muss, um für die Frühschicht genug Schlaf zu bekommen.

#### **17:00**

Zuhause angekommen, nachdem er noch die Einkäufe erledigt hat, wird das Abendessen vorbereitet. Küche und Esszimmer sind noch immer vom Tageslicht durchflutet, welches erst allmählich eine wärmere Lichttemperatur annimmt. Die Freizeit, die danach noch zur Verfügung steht, wird mit der Familie oder vor dem Fernseher verbracht.

#### **20:00**

Um genügend Schlaf zu bekommen, müsste Karlheinz um diese Uhrzeit zu Bett gehen. Im Sommer ist dies ein Problem da der Sonnenuntergang erst ab ca. 21 Uhr stattfindet. Die Melatoninausschüttung findet jedoch üblicherweise erst später statt.

## 4.2 Healwell von Signify

*„HealWell - die natürliche Kraft des Lichts.“*

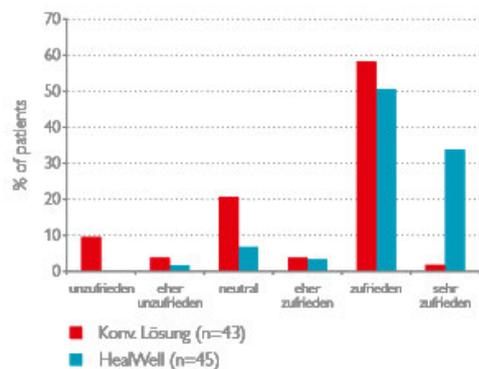
Wie anhand der vorherigen Beispiele deutlich gemacht, birgt die mobile Anwendung von HCL basierten Beleuchtungssystemen, einige nicht unerhebliche Herausforderungen. In einer idealisierten Umgebung bzw. Anwendungsprofil treten diese Schwierigkeiten zwar nicht auf, weil niemand außer der bedachten Person dem Effekt ausgesetzt ist, das begrenzt den Einsatzbereich für ein solches System jedoch enorm.

Was mit einem mobilen System nicht ohne weiteres möglich scheint ist als stationäre Anwendung bereits gängige Praxis. So hat das deutsche Unternehmen Signify sein eigens für die medizinische Anwendung entwickeltes System „HealWell“ auf der Herzstation des Maastrichter Universitätsklinikums als Pilotprojekt erprobt und etabliert. Das Wohlbefinden und eine rasche Heilung der Patienten sind hier oberstes Gebot.

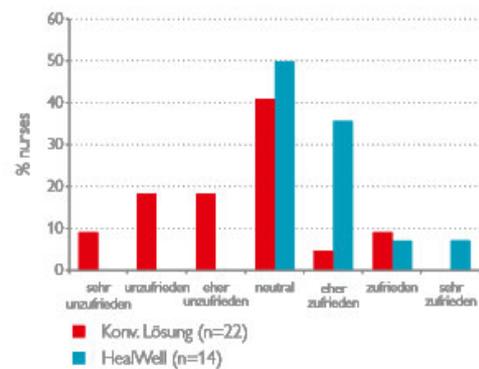
Das System „Healwell“ von Signify ist dabei auf die Optimierung der Beleuchtung des Patienten- oder Bewohnerzimmers ausgerichtet.

Eine Fallstudie vom Clinical Trial Centre Maastricht bestätigt den positiven Einfluss vom „HealWell“ System auf die Patienten.

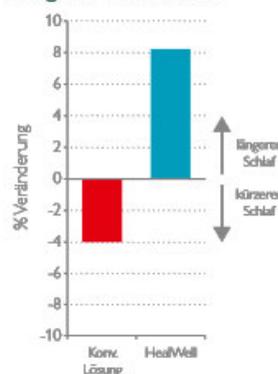
### Höhere Zufriedenheit der Patienten



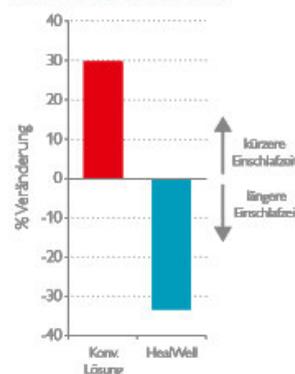
### Höhere Zufriedenheit des Pflegepersonals



### Längerer Schlafdauer



### Kürzere Einschlafzeit



### Reduzierte Anzeichen von Depression gemäß HADS

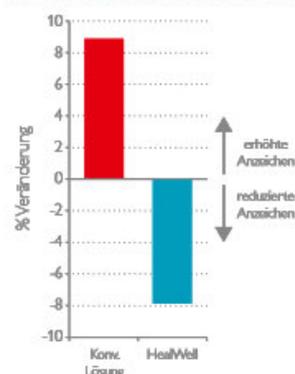


Abbildung 8: Fallstudie HealWell [19]

Wie in Abbildung 8 ersichtlich, erweckt HealWell einen positiven Eindruck beim Personal sowie bei den Patienten. So wurde festgestellt, dass die Patienten eine kürzere Einschlafzeit aufweisen und zudem noch eine generelle Verlängerung der Schlafdauer zur Folge hatte. Bemerkenswert war jedoch der Einfluss von „HealWell“ auf depressive Tendenzen nach HADS (Hospital anxiety and depression scale) im Vergleich zu konventionellen Lichtkonzepten. Hier wurde herausgestellt das unter Einfluss von „HealWell“ die Anzeichen von Depressionen um bis zu 8% rückläufig waren, während konventionelle Installationen diese Anzeichen tendenziell sogar förderten.



Abbildung 9: Patientenzimmer bei Tag [20]

Anhand der Abbilder 9 und 10 wird das Lichtkonzept von Healwell deutlich. So wird überwiegend mit indirektem Licht gearbeitet, um Blendung zu vermeiden. Lediglich das Leselicht in Bettnähe spendet auf Wunsch des Patienten direktes Licht zum Lesen oder Verrichten anderer Sichtaktivitäten.

Dynamisches Licht geht dabei von den Troffern in der Decke aus, welche sich in Lichtfarbe und Lichtintensität einstellen lassen. Sie simulieren den natürlichen Tageslichtverlauf, der den Patienten bei der Heilung unterstützen soll.



Abbildung 10: Patientenzimmer am Abend [20]

Anders als am Tag wird in der Nacht nur ein Minimum an Beleuchtung zugeschaltet. Der Übergang von aktivierendem blauem Licht zum beruhigenden rötlicheren Licht verläuft dabei dynamisch. Lediglich das Orientierungslicht unterhalb der Bettkantenhöhe bleibt dabei eingeschaltet, um die Sicherheit der Patienten in der Nacht zu gewährleisten.

### 4.3 Advanced Naval Lighting System von LINKSrechts

Für die Besatzung eines Schiffes ist die Gestaltung des Tages nicht einfach. Um den hohen Ansprüchen auf See gerecht zu werden, muss höchste Aufmerksamkeit und Konzentration am Arbeitsplatz gewährleistet sein auch an Orten, die keinen Zugang zu natürlichem Sonnenlicht haben. Außerdem muss dies rund um die Uhr geschehen, da nicht nur tagsüber Herausforderungen von der Besatzung gemeistert werden müssen. Das bedeutet eine Schichteinteilung der Besatzung in Tag und Nachtschicht ist unumgänglich, zeitlich wie örtlich. Denn auf dem begrenzten Raum, den das Schiff für die persönliche Entfaltung der Besatzung zur Verfügung stellen kann, wäre, ohne eine durchdachte Organisation, das Chaos vorprogrammiert.

Hier kommt nun LINKSrechts als Tochter von Glamox mit ihrem Advanced Naval Lighting System ins Spiel. Sie bieten dabei sowohl die Lichanlage an Deck des Schiffs an die zum sicheren Betrieb auf See notwendig sind. Außerdem haben sie mit der Besatzung ein Konzept entwickelt, das es möglich macht, die disruptiven Auswirkungen der Schichtarbeit auf den zirkadianen Rhythmus zu mindern. Wohlbefinden und Leistungssteigerung steht gleichermaßen im Fokus, da sich auf einem Schiff Arbeit und Privatleben kaum trennen lassen.

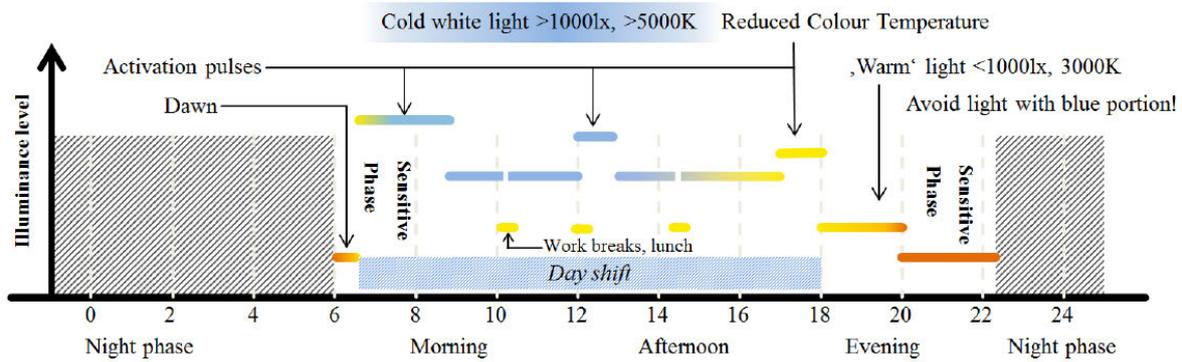


Abbildung 11: HCL Lichtdynamik der Tagschicht [21]

Dabei orientiert sich die Lichtgestaltung wie erwartet am natürlichen Tageslichtverlauf, dies wird anhand von Abbildung 11 deutlich. Der Tag beginnt mit warmem rötlichem Licht, um die Besatzung der Tagschicht nicht abrupt mit einer Energetisierung zu wecken. Stattdessen wird durch das Routing im Schiff ein sanfter Übergang geschaffen, der es den Menschen der Besatzung ermöglicht, sich optimal anzupassen. Die erhöhte CCT (Correlated Color Temperature) um 12-13 Uhr ist dazu gedacht, das üblicherweise auftretende Leistungstief nach dem Mittag zu kompensieren.

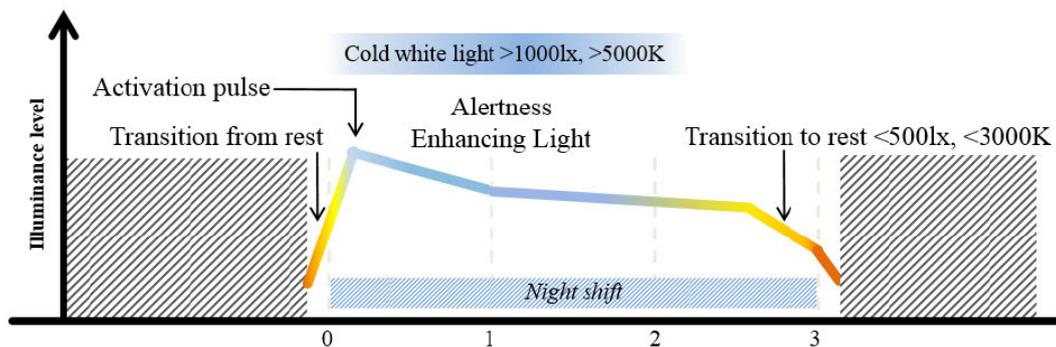


Abbildung 12: Lichtdynamik der Nachtschicht. [21]

Für die Nachtschicht wird ein ähnlicher Plan erstellt, der in der Essenz, wie in Abbildung 12 ersichtlich, den der Tagschicht widerspiegelt: Sonnenauf- und Sonnenuntergang werden mit rötlichem Licht ab 2000K simuliert. Das Tageslicht oberhalb von 5000K hilft der Besatzung dabei, in der Nacht wach und konzentriert zu bleiben. Auch sie werden wieder mit rötlichem Licht aus der Ruhephase in die aktive Phase überführt.

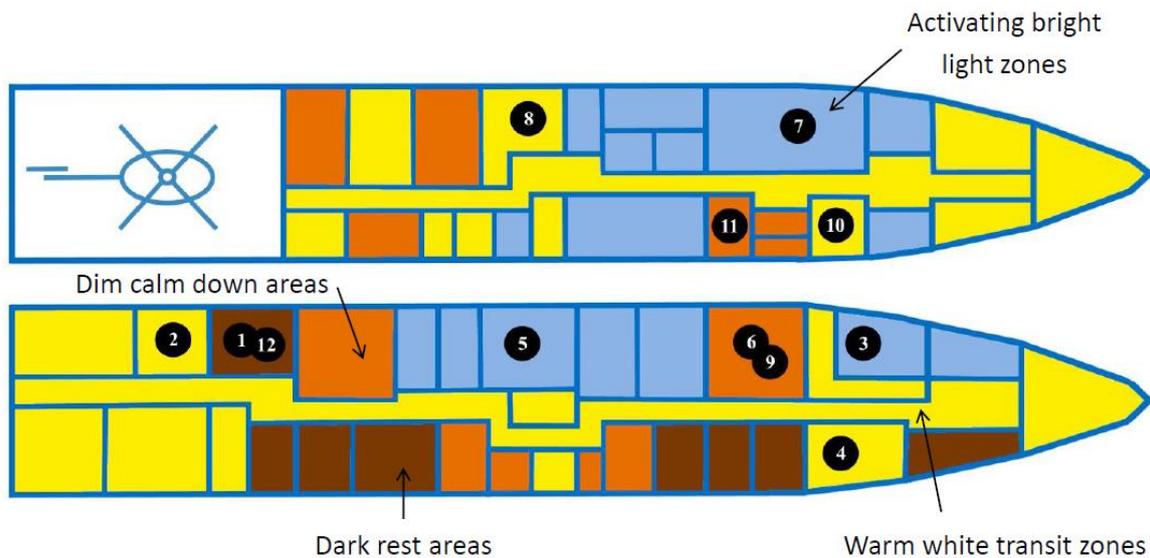


Abbildung 13: Schematischer Lichtplan des Schiffs [21]

Der Kern ist dabei die Einteilung des Schiffs in vier Zonen wie beispielhaft in Abbildung 13 dargestellt. In den Ruhezeiten (dunkelbraun) entspannt und schläft die Besatzung in einer dunklen Umgebung, Licht wird so gut es geht vermieden, um den Schlaf nicht unnötig zu stören. Zonen in denen entspannt werden kann sind mit rötlichem Licht bei 2000K beleuchtet als Vorbereitung auf den Schlaf und ruhe im Allgemeinen. Um den Ruheprozess nicht durch eine Aktivierungsphase zu unterbrechen, sollte hier blaues Licht möglichst eine Stunde vor der Nachtruhe vermieden werden. Räume und Flure dienen dabei als Transitzone die Ruheräume und Arbeitsumgebungen verbinden, das Licht ist dabei mit 3000K und 1000 lx neutral warm gewählt. In blauen Zonen wird aktivierendes Licht eingesetzt, um Sichtaufgaben zu erleichtern und die Konzentration bei der Arbeit zu erhöhen. Man sieht also das die Besatzung durch die verschiedenen Zonen einem simulierte Tageslichtverlauf folgen, selbst wenn sie keine Verbindung zu natürlichem Sonnenlicht zur Verfügung haben.

## 4.4 TRILUX beleuchtet Schulen

*„Wohlbefinden im Bildungsbereich fördern durch Human Centric Lighting“*

Vielorts sind Schulen nicht auf dem neusten Stand der Technik. Beleuchtungskonzepte gehen oft nicht über die fotopischen Aspekte der Beleuchtung hinaus. Daher ist es nicht überraschend, wenn die Schüler in den ersten Stunden Schwierigkeiten haben, die Leistung zu erbringen die von ihnen verlangt wird. Dabei haben Studien in der Vergangenheit gezeigt, das Licht keine unerhebliche Rolle für die kognitiven Leistung spielt.

Die Primarschule in Dübendorf in der Schweiz war ein Beispiel für veraltete Lichtkonzepte, bevor das Lichtkonzept von TRILUX implementiert wurde, bei dem bei der Sanierung des Schulgebäudes eine Intelligente Lichtanlage installiert wurde. Mit moderner Steuerung, die die Lichtverhältnisse dem

Bedarf und den Gegebenheiten anpassen. Nicht nur würde die Anlage drastisch Energie einsparen, sondern auch Leistung, Konzentration, und motorische Fähigkeiten der Schüler unterstützen [22].



Abbildung 14: Klassenraum am Morgen mit warmem Licht [23]

Die unterschiedlichen Beleuchtungseinstellungen sollen dabei nicht nur den natürlichen Tagesablauf simulieren, sondern auch bei verschiedenen Aufgaben unterstützend wirken. So hilft warmes Licht am Morgen dabei den Schülern den Start in den Schultag zu erleichtern wie beispielsweise in der Abbildung 14 zu sehen ist. Außerdem kann warmes Licht bei Bedarf z.B. Gruppenaufgaben vom geschulten Lehrpersonal eingeschaltet werden - das verringert Unruhe und fördert die Kreativität.



Abbildung 15: Klassenraum mit kühlem Licht zur Mittagszeit [23]

Ist hingegen Konzentration gefordert, hilft eine kühlere Lichtgestaltung wie in Abbildung 15 dabei, die Aufgaben besser zu erkennen und durch die energetisierende Wirkung zu lösen.

Eine Studie, die in den Jahren 2007 - 2008 im Universitätsklinikum Eppendorf durchgeführt wurde, bestätigte dabei die Effektivität, die einem HCL System in Schulen und Klassenräumen attestiert wird. So wurde ermittelt, dass Licht, wenn es gezielt eingesetzt wird, die Leseleistung um bis zu 35%

steigern kann. Außerdem sinkt die Fehlerquote bei den Aufgaben und Tätigkeiten um bis zu 45%. Motorische Störungen konnten sogar um 76% reduziert werden [24].

## 5. Leuchtmittel

Im Rahmen dieser Arbeit werden vorwiegend LED (Light Emitting Diode) -Leuchtmittel in Betracht gezogen, da sie durch steuerbare Farbtemperatur und Farbton für HCL eingesetzt werden können. Zudem müssen sie adressierbar sein, damit Steuersignale übermittelt werden können, die das Setzen der geforderten Parameter wie Helligkeit und Farbtemperatur ermöglichen. Damit ein homogenes Lichtbild entstehen kann, müssen die verwendeten LEDs vermessen und abgeglichen sein, ansonsten entstünde gegebenenfalls ein unerwünschter Farbeffekt (Metamerie in Kapitel 2.3).

### 5.1 Aufbau und Funktion

Lichtquellen können entweder künstlich oder natürlicher Form sein - sie unterscheiden sich im Wesentlichen in ihrem Spektrum. Das Spektrum einer künstlichen Lichtquelle ist meist deutlich inhomogener als das einer natürlichen Lichtquelle wie z.B. das der Sonne. Abbildung 16 zeigt vier Lichtquellen und wie sie sich im Lichtspektrum unterscheiden.

Gefertigt werden Leuchtmittel in verschiedenen Variationen, wie zum Beispiel Halogen-Metaldampflampen, Glühlampen und LED. Diese unterscheiden sich in der Methode der Lichterzeugung. Während traditionelle Leuchtmittel, wie die Glühbirne, Licht durch das Erhitzen eines Mediums abgibt, wird in einer LED mittels Elektrolumineszenz Licht abgestrahlt [25].

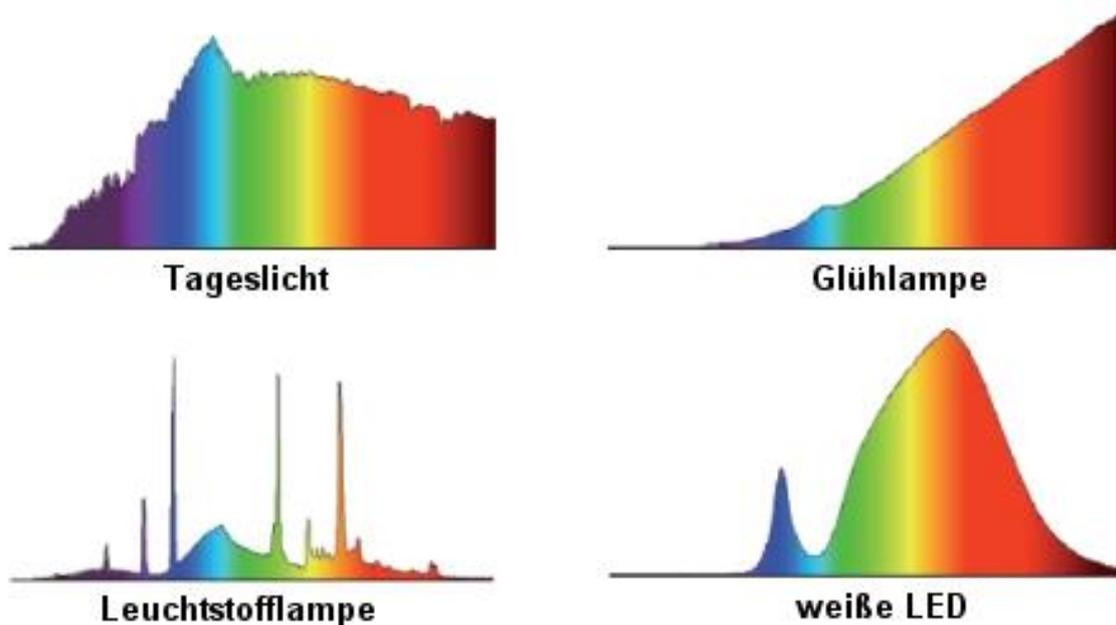


Abbildung 16: Spektren verschiedener Lichtquellen [26]

Um mit einem LED Leuchtmittel weißes Licht zu erzeugen, gibt es zwei geläufige Verfahren. Entweder wird das Licht von roten, grünen und blauen LEDs gemischt oder das Lichtspektrum einer blauen LED durch gelb fluoreszierenden Phosphorbeschichtung so verschoben, dass es weißes Licht erzeugt.

Häufig werden beide Fertigungsarten von Herstellern im Verbund verbaut, sodass eine hohe Farbdynamik und ein natürlicher Weißlichteindruck entstehen.

Die Phillips „Hue White & Colour Ambience“ der 5. Generation (2019) setzt dabei auf ein Array aus speziell verbauten LCA001 RGB (Red Green Blue) LEDs die gegenüber herkömmlichen LEDs im Lichtspektrum verschoben sind. Anstatt Rot, Grün, und Blau sollen „Lime“, „Royal Blue“, und „Red-Orange“ zusammen besser in der Lage sein, natürlich weißes Licht zu erzeugen, als die vergleichbaren Produkte der Konkurrenz [27]. Das Leuchtmittel ist dabei laut Datenblatt (Anhang A.1) in der Lage, einen CCT Bereich von 2000K bis hin zu 6500K abzudecken. Dies entspricht den Farbtemperaturanforderungen, um in einem HCL-fähigen System effektiv eingesetzt werden zu können.

Es ist außerdem ein sogenanntes Smartlight, das, anders als traditionelle Leuchtmittel, digital angesteuert und in ihren Einstellungen durch spezifizierte PUT Kommandos verändert werden kann. Die Kommandos werden im JSON (JavaScript Object Notation) Format an die Philips Hue Bridge übermittelt. Die Variablen die für dieses Konzept von Relevanz sind:

- on (boolean) true schaltet den die Leuchte ein, false schaltet sie aus.  
`{"on": {"on": true}}`
- dimming (Brightness) Wert von 1-100 der die Helligkeit in Prozent angibt.  
`{"dimming": {"brightness": 50}}`
- color\_temperature (mirek) bestimmt die Farbtemperatur in Mired Wert von 153-500  
`{"color_temperature": {"mirek": 500}}`
- color (xy) Representiert Koordinaten Gamut Farbraum  
`{"color": {"xy": {"x":0.675, "y":0.322}}}`

Da es bei diesem HCL-Konzept vorwiegend um die Beeinflussung des zirkadianen Rhythmus geht, spielt die Farbtemperatur eine übergeordnete Rolle. Der Mired wert soll in Kapitel 7 als Grundlage der Daten auf dem NFC-Chip dienen. Der Mired-Wert (micro reciprocal degree) wird dabei folgendermaßen ermittelt:

$$\text{Mired} - \text{Wert} = \frac{10^6}{\text{Farbtemperatur in Kelvin}}$$

Es gibt noch weitere Leuchten, wie die „Inplana LED“ von TRILUX oder die „ViVAA 2.0 VTL“ von Waldmann mit denen das Konzept realisiert werden könnte. Diese Leuchten sind bereits in Kliniken und Pflegeeinrichtungen im Einsatz und außerdem HCL-fähig, in dem sie einen Farbtemperatur Bereich von 2700 – 6500K abdecken. Die Adressierung ist hier jedoch eine andere als bei der „Hue White & Color Ambience“ light da sie ihre eigene Steuereinheit verwenden. Zur Veranschaulichung soll in dieser Arbeit nur das Leuchtmittel von Philips genauer betrachtet werden.

## 5.2 Farbwiedergabe

### CRI 1934

Der wiedergegeben Farbeindruck eines Leuchtmittels wird bisher mit dem CRI (Color Rendering Index) bemessen, dieser beschreibt anhand von acht fest gelegten Prüffarben die jeweilige Abweichung des vom Leuchtmittel vermittelten Farbeindrucks. Quantifiziert wird diese Abweichung mit einem Referenz Index, bezeichnet als Ra Wert, welcher von der DIN als abgestufte Einteilung definiert wurde. Dabei wird ein Wert von 0 bis 100 ermittelt. Aus den verglichenen Werten wird nun

das arithmetische Mittel gebildet, wobei 100 bedeutet, dass das emittierte Licht 1:1 den Farbeindruck der bestrahlten Prüffarbe wiedergegeben hat.

$$R_a = \sum_{i=1}^8 \frac{R_i}{8}$$

Experimente zeigen das sich der CRI trotz seiner Schwäche für LED-Farbspektren und Sättigung adäquat anwenden lässt. Lediglich in Bereichen unter 2000K und über 6500K wurde ein Wert des Gamut Area Indexes unter dem Vorgeschlagenen Wert festgestellt. Da in diesem Konzept die Phillips „Hue White and Colour Ambiance“ als Leuchtmittel im CCT Bereich von 2000K bis 6500K verwendet wird, kann der CRI problemlos als Bewertungsgrundlage verwendet werden [28].

### TM-30-15

Über diese Schwellenwerte hinaus empfiehlt sich jedoch ein anderer Farbreferenzindex, der mit Bedacht auf neuartige Leuchtmittel wie LED besser dazu geeignet ist, Farbwiedergabe bewerten zu können. Der color fidelity index ( $R_f$ ) erreicht dies, indem anstatt acht Referenzfarben 99 verglichen werden. Zusätzlich wird außerdem noch der Gamut Index ( $R_g$ ) implementiert. Dieser gibt dabei zusätzliche Informationen über den Sättigungsgrad der Farbe. Grundlage der 99 Farben ist der dreidimensionale Farbraum CIE CAM02-UCS der in Abbildung 17 zu sehen ist. Dabei wird die Messmetrik vom CRI, von 1 bis 100, für den  $R_f$  übernommen.

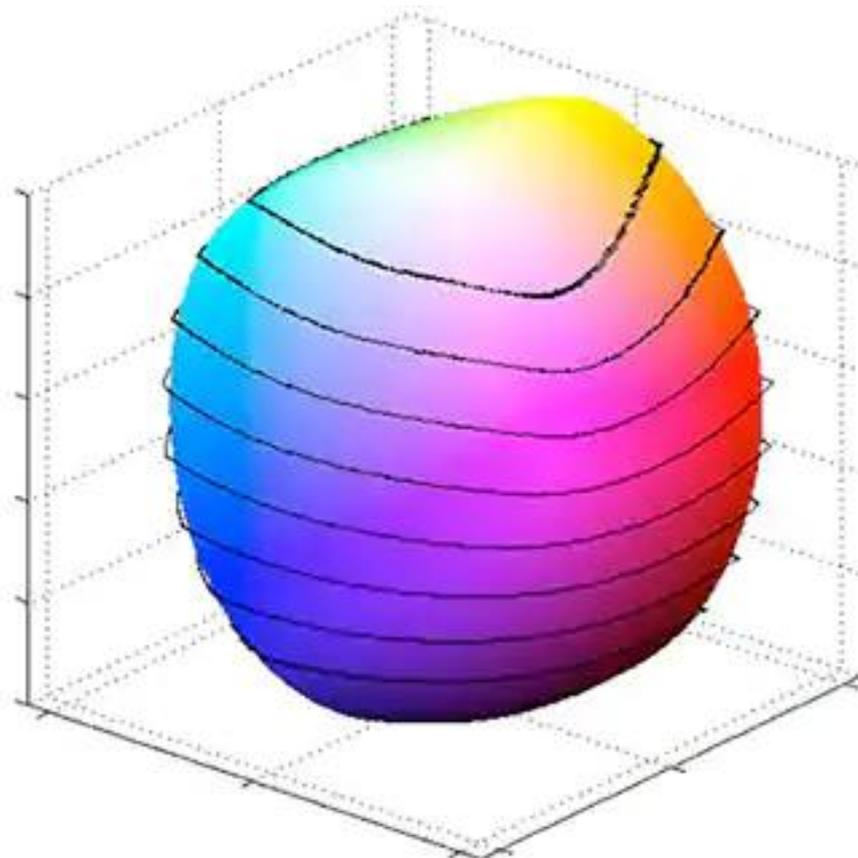


Abbildung 17: 3D Farbraum CIECAM02-UCS [29]

Ergänzend ist eine Unterscheidung der Referenzlichtquellen zwischen Temperaturstrahler und Tageslichtquelle notwendig. Dabei findet ab 4500k bis 5500k ein fließender Übergang statt [30].

$$R'_f = 100 - 7,54 \left( \frac{1}{99} \sum_{i=1}^{99} (\Delta E_{eja,i}) \right)$$

$$R_g = 100 * \frac{A_t}{A_r}$$

In der Gleichung für  $R_g$  steht  $A_t$  für den Gamut Raum der Referenz und  $A_r$  für den Gamut Raum des getesteten Leuchtmittels.

Kombiniert man nun beide Werte in einem Koordinatensystem, wird die Bewertung der Farbwiedergabe möglich. Dies wird anhand einer Beispieldarstellung einer Messreihe von verschiedenen Leuchtmitteln in Abbildung 18 dargestellt.

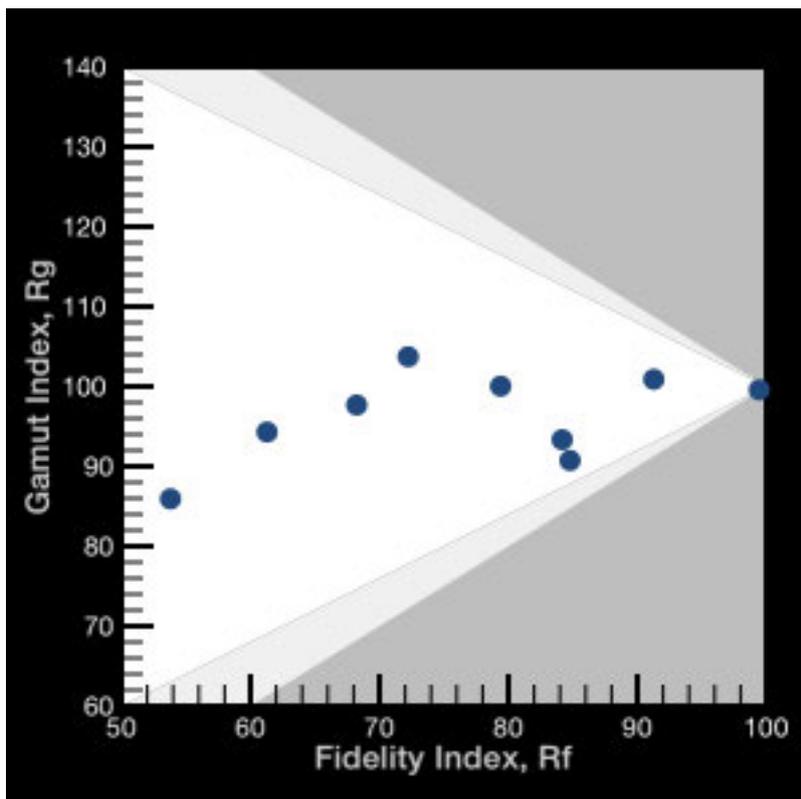


Abbildung 18:  $R_f$  (Fidelity Index) und  $R_g$  (Gamut Index) in einem Diagramm [31]

### 5.3 Bluelight Hazard

Dieser Begriff beschreibt mögliche Netzhautschäden, die auftreten können, wenn das Auge über einen längeren Zeitraum Licht ausgesetzt wird, dessen Spektrum vorwiegend kurzwelliger Natur ist (410 - 480nm).

Für kommerzielle Beleuchtungssysteme, die bei HCL zum Einsatz kommen, spielt dieser Effekt jedoch kaum eine Rolle. Leuchtmittel, die im europäischen Raum vertrieben werden, durchlaufen für gewöhnlich fotobiologische Sicherheitsüberprüfungen bevor sie auf den kommerziellen Markt gelangen. Diese Sicherheitszertifikate sind jedoch nicht bindend und werden vom Hersteller auf freiwilliger Basis erworben. Das CE Kennzeichen ist das einzig rechtlich bindende Siegel was jedoch keine Garantie auf die Fotobiologische Verträglichkeit gewährleistet; lediglich das Einhalten bestimmter EU-Richtlinien wird mit ihm bescheinigt.

Um das fotometrische Gefahrenpotential von Leuchtmitteln beurteilen zu können, hat die DIN (Deutsches Institut für Normung) die Einteilung in Risikogruppen im Standard DIN EN 62471 etabliert. Kriterien dieser Risikogruppen sind [32]:

- aktinische Ultraviolette-Gefahr
- nahe UV-Gefahr
- photochemische Netzhautgefährdung
- thermische Netzhautgefahr
- Infrarot-Strahlungsgefahr für das Auge

Die Einteilung nach DIN EN 62471 ergibt sich dann wie folgt.

Lampengruppe	Risikogruppe	Beschreibung
Freie Gruppe (kein Risiko)	RG 0 „exempt“	Sind unter allen Umständen sicher.
Risikogruppe 1 (Risiko gering)	RG 1 „low risk“	Sind aufgrund von normalen Einschränkungen durch das Verhalten der Person sicher.
Risikogruppe 2 (Risiko mittel)	RG 2 „mod risk“	Sind sicher, solange Abwendungsreaktionen wegen Blendung oder Thermischen Unbehagens die Expositionsdauer begrenzen.
Risikogruppe 3 (Risiko hoch)	RG 3 „high risk“	Sind auch bei kurzzeitiger Exposition gefährlich.

Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass unter üblichen Beleuchtungsszenarien, wie sie in diesem Konzept angewendet werden, eine Schädigung durch den Blauanteil im Licht nicht auftritt [33].

Im therapeutischen Bereich sieht das alles jedoch anders aus, da diese Leuchtmittel nicht zwingend frei auf dem Markt erhältlich sein müssen, um für einen gezielten Lichttherapiezweck geeignet zu sein. Außerdem kann die Intensität der angewendeten Beleuchtungstherapie eine Gefahreinschätzung erfordern.

Die Leuchtmittel, die in diesem Konzept Verwendung finden fallen unter die Kategorie kommerzielle Leuchtmittel und überschreiten somit geltende Grenzwerte bei gewissenhaftem Gebrauch nicht.

## 6. Funktechnik

Im Informationszeitalter ist das Übertragen von Daten und Informationen wichtiger denn je. Dabei spielt es keine Rolle ob Fernsehen, Radio, Mobilfunk oder drahtlose Computernetzwerke, Smarthome Systemen, oder Radar. Funktechnik ist in allen Bereichen unseres Lebens wiederzufinden. Flexibel lassen sich mit Funktechnik Informationen von A nach B transportieren, ohne das vorher eine physikalische Verbindung in Form eines Kabels hergestellt werden muss. Das ermöglicht hohe Flexibilität in der Planung und Gestaltung von Netzwerken und Installationen.

Die Signalübertragung funktioniert dabei so, dass Elektromagnetische Wellen im hohen Frequenzbereich von 10kHz bis 300GHz moduliert und durch den Raum übertragen werden. Sie breiten sich dabei orthogonal zur Schwingungsrichtung mit Lichtgeschwindigkeit aus. Da der nutzbare Frequenzbereich für Radiowellen physikalisch begrenzt ist, müssen die verschiedenen Akteure sich in designierten Frequenzbändern organisieren. Der Telekommunikationsstandard der nächsten Generation, 5G, erweitert dabei das bestehende LTE-Netz um die 2,1GHz und 3,6GHz Bänder [34]. Verschiedene Phänomene können dabei das Funksignal beeinflussen.

### **Dämpfung**

Reichweite und Signalstärke einer elektromagnetischen Welle sind unter anderem abhängig von der Sendeleistung des Senders, das bedeutet, das mit zunehmender Entfernung die Energie des Signals abnimmt. Wenn das Signal auf Bauten oder andere Objekte stößt, sinkt die Signalenergie: entweder durch Transmission, Absorption, oder gar Reflektion. Beschaffenheit des Materials bestimmt dabei wie viel Energie abgegeben wird. Langwellige Signale geben ihre Energie weniger leicht ab als kurzwellige Signale.

### **Interferenz**

Eine Interferenz entsteht durch Überlagerung oder Durchdringung unterschiedlicher Wellen. Dabei können die Wellen von Systemen unterschiedlichen Ursprungs sein oder aber auch durch Reflektion verschobene Wellen des eigenen Systems. Interferenzen können dabei konstruktiv oder destruktiv auf das Signal wirken. Bei einer destruktiven Einwirkung könnte das Signal sogar ausgelöscht werden, wobei konstruktive Interferenz das Signal verstärken können.

## 6.1 RFID

RFID (Radio Frequency Identification) ist eine auf Radiofrequenz basierende Technologie, mit der es ermöglicht wird, kleinere Datenmengen zu speichern und zu übertragen. Zu einem RFID-System gehört der Transponder, allgemein auch „Tag“ genannt (englisch für Etikett) und ein Gerät, das die Informationen vom Transponder auslesen und, sofern möglich, beschreiben kann. RFID-Tags finden wir im Alltag in Geschäften als Diebstahlsicherung oder beim Markieren von Haustieren wieder. Überwiegend werden RFID-Tags jedoch in der Transport- und Lagerlogistik verwendet. Hierbei weist die eindeutige UID (Unique Identifier) eines jeden Tags auf einen Datensatz in einer Datenbank. Die Erfassung von Bestandsinformation ganzer Lagerhäuser ist damit nicht mehr in Handarbeit, Objekt für Objekt, nötig.

Die Funktionsweise kann dabei in drei Kategorien unterteilt werden.

- **Kapazitiv gekoppelt:** hier wird ein hochfrequentes elektrisches Feld für Strom und Datenübertragung genutzt.
- **Induktiv gekoppelt:** ein hochfrequentes magnetisches Feld dient in diesem System zur Stromversorgung und Datentransfer.
- **UHF (Ultra High Frequency) -Backscatter:** Arbeitet mit der elektromagnetischen Wellenausbreitung und verwendet dabei die Reflektion von Energie.

Die Felder werden dabei vom Lesegerät erzeugt und nutzen die Antenne des Tags zur Datenübertragung und Stromversorgung durch Lastmodulation. Das bedeutet der Transponder variiert seine Impedanz zur Datenübertragung. Dabei unterscheidet man in der Art des Tags außerdem anhand ihrer Stromquelle: es gibt passive Tags, aktive Tags, und semi-aktive Tags. Aktive Tags haben eine eigene Batterie, die den Mikrochip und Sender separat speist, sodass über die Antenne nur Daten übertragen werden. Bei einem passiven Tag findet Die Datenübertragung und Stromversorgung auf gleiche Weise statt. Semi-aktive Transponder nutzen dagegen die Batterie nur für den volatilen Speicher und angeschlossene Sensorik, nicht jedoch zur Datenübertragung. Je nach Konfiguration und Model kann die Kommunikation zwischen Tag und Lesegerät simultan, im Voll duplex, abwechselnd im Halbduplex und sequenziell, durchgeführt werden.

Die Frequenzbereiche, in denen die Unterschiedlichen RFID Systeme operieren können, sind in der ISO/IEC 18000 definiert [35].

- **Close Coupling:** 1Hz- 30MHz die Reichweite beträgt hier 0 bis 1cm.
- **Remote Coupling:** 100 -135KHz, 6,75MHz, 13,56MHz, und 27,125MHz die Reichweite beträgt hier bis zu 1 Meter.
- **Long Range:** 2,45GHz Die Reichweite beträgt dabei 1-10m

Die Speicherkapazität von Handelsüblichen RFID-Chips reicht dabei von 1Byte bis hin zu mehr als 100kByte. Moderne RFID Tags sind noch dazu in der Lage mehrmals beschrieben werden zu können.

## 6.2 NFC

NFC ist eine Technologie, die auf dem Prinzip von RFID basiert und aus der Zusammenführung der RFID-Systeme MIFARE und FeliCa entstanden ist. Die Frequenz auf der gesendet wird ist dabei dem HF-Band 13,56MHz von Remote coupling entsprechenden festgelegt und in der ISO/IEC 18092:2013 dokumentiert [36]. Dabei werden Übertragungsraten von bis zu 424kbit/s möglich.

Im Gegensatz zu RFID wird bei NFC allerdings ausschließlich die Methode der induktiven Kopplung verwendet. Der Unterschied zwischen beiden Technologien besteht primär in der Art der Kommunikation zwischen Tag und Lesegerät. Während RFID-Tags grundsätzlich nur gelesen und beschrieben werden können, sind NFC-Tags zusätzlich eine Datenschnittstelle über die Informationen wie Bilder, URLs, Steuerbefehle, oder Visitenkarten wechselseitig ausgetauscht werden können. Via Peer-to-Peer Modus können somit zusätzlich zu den RFID-Modi beide Teilnehmer jeweils die Rolle des Senders und Empfängers erfüllen. Für die Lesegeräte macht es dabei keinen Unterschied welche Art des Tags ausgelesen wird, sie sind mit jeder Art des Tags kompatibel, auch mit älteren Versionen.

Der prinzipielle elektronische Aufbau der RFID- und NFC-Systeme wird im Abbild 19 in Form eines Blockschaltbildes dargestellt. Der Spannungsbegrenzer ist dabei notwendig in der Schaltung, um Spannungsspitzen von bis zu mehreren hundert Volt zu begrenzen. Diese können durch die physikalischen Eigenschaften des lage- und entfernungsabhängigen induzierten Magnetfeldes entstehen die den Mikrochip ansonsten beschädigen oder gar zerstören könnten.

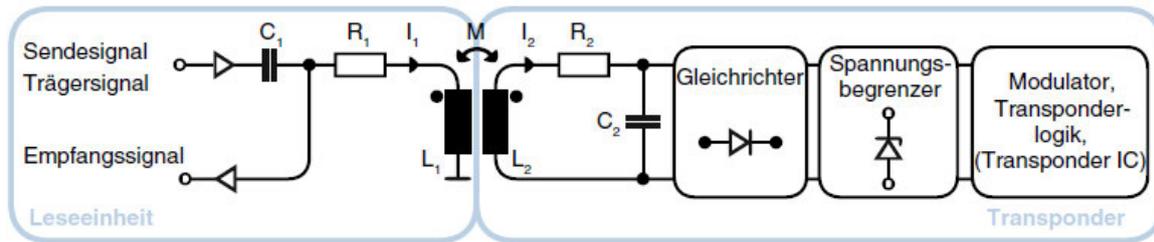


Abbildung 19: Prinzipieller Aufbau gekoppelter RFID- und NFC Systeme [37]

Beschrieben werden Tags dabei vom Hersteller oder aber von einem NFC-fähigen Gerät wie etwa einem Smartphone oder einem Tablet. Dazu wird dann zusätzlich eine Software wie z.B. „NFC Tools“ benötigt. Diese können zudem Daten auslesen und Informationen über das Tag auflisten, sofern es nicht zuvor von einem Passwort geschützt wurde.

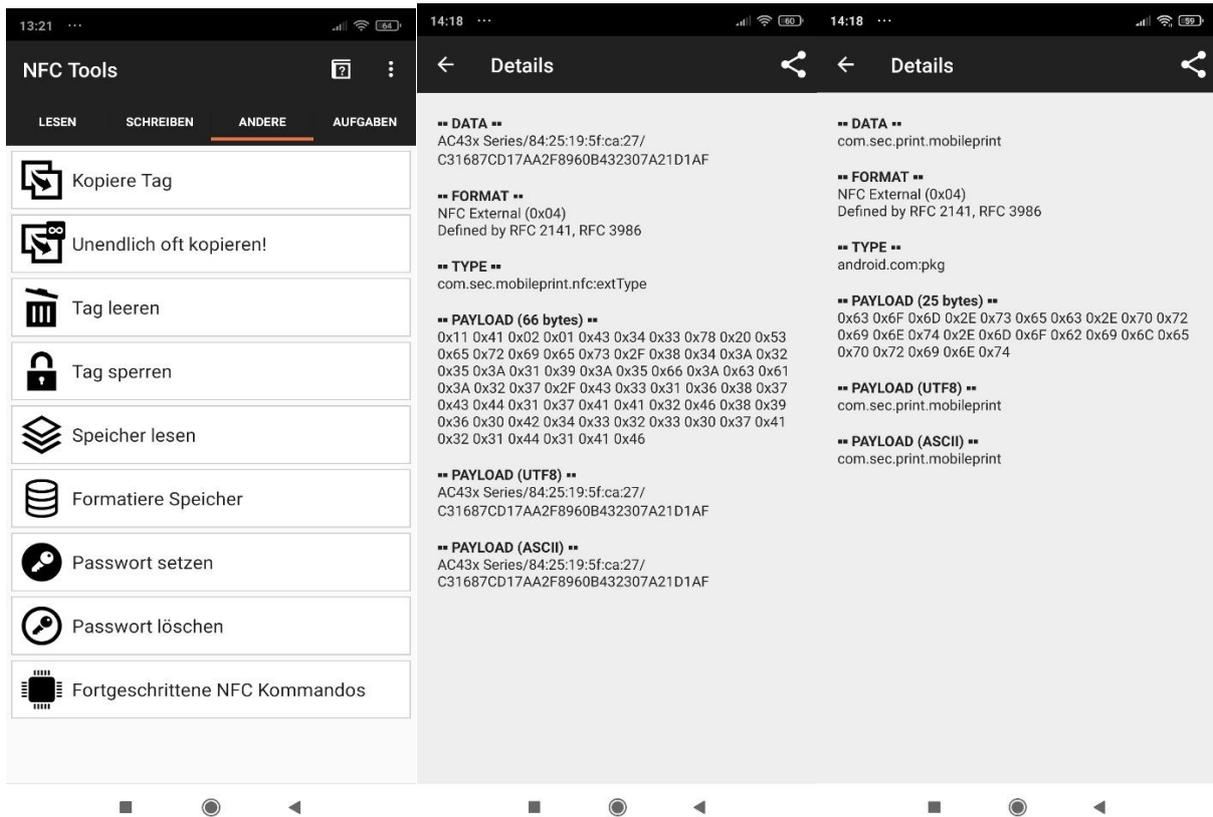
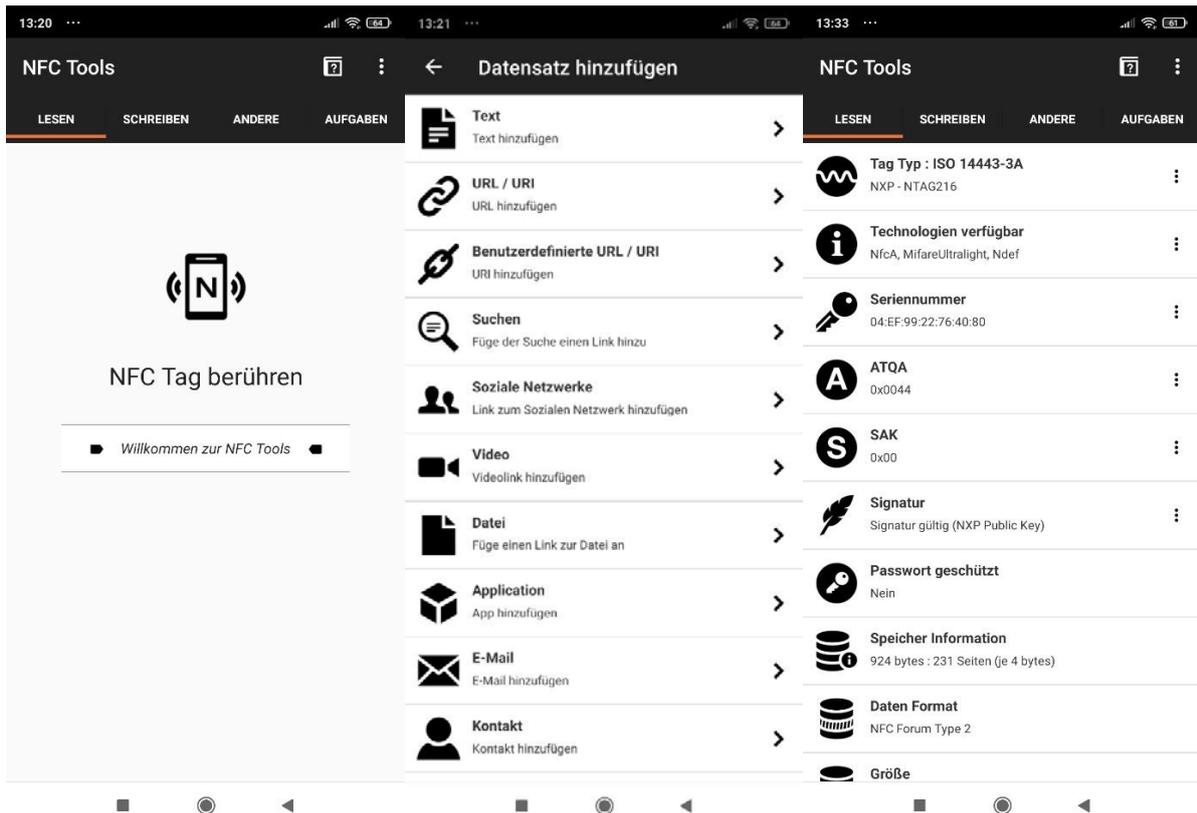


Abbildung 20: NFC Tools App mit ausgelesenem Tag

Die Software verfügt dabei über die gängigsten Anwendungen und Daten, mit denen ein Tag in der Regel beschrieben werden kann. Es gibt unterschiedliche Anbieter mit deren Software ein NFC-Tag beschrieben werden kann, sie unterscheiden sich in der Regel nur in der Bedienungsweise und der Optik, die Funktionen sind jedoch meist gleich. Das in Abbildung 20 ausgelesene Tag enthält ein Skript, mit dem sich das Lesegerät (Smartphone) mit einem Wi-Fi fähigen Drucker verbindet, nachdem das Tag aktiviert wurde.

## 6.2.1 NFC-Lesegerät (PCD)

Um ein NFC-Transponder auslesen zu können, benötigt man ein entsprechendes Gerät, dieses speist bei passiven Tags den Microchip durch induktive Koppelung mit Strom. Grundsätzlich muss das Lesegerät außerdem in der Lage sein, mit allen Tags (Typ A oder B) kommunizieren zu können. Die Kommunikation zwischen PCD (Proximity coupling device) und PICC (Proximity inductive coupling card) findet dabei im „Reader Talks First“ Modus statt, das bedeutet das Tag antwortet nur nach anfragen vom Lesegerät.

Lesegeräte gibt es in vielen unterschiedlichen Formen, vom elektronischen Türschloss, dem Kartenterminal beim Supermarkt, bis hin zum Smartphone, welches sowohl Lesegerät als auch Tag dienen kann.

Um PICCs lesen und verarbeiten zu können, benötigt das Lesegerät einen NFC-Controller und eine geeignete Antenne. Über die Antennen von Lesegerät und PICC werden, in induktiver Koppelung, Informationen ausgetauscht und Funktionen ausgeführt. Soll das Gerät dabei zudem noch mit anderen Netzen kommunizieren und Anwendungen ausführen können, muss zusätzlich ein Host-/Basisband Controller in das System eingegliedert sein.

## 6.2.2 NFC-Tag (PICC)

Der passive Speicher eines NFC-Tags gehört zu den wichtigsten Komponenten in einem NFC-System. Die Informationen, die dort enthalten sind, können von einem Lesegerät erfasst und verarbeitet werden. Ein Tag kann dabei in unterschiedlichsten Formen und Ausführungen eingesetzt werden. Gefertigt werden sie als Wafer, die mit einer Klebenden Fläche an Objekten befestigt werden können oder aber als Schlüsselanhänger eingefasst in ein Plastikgehäuse.

Das Tag NTAG215 das in diesem Konzept verwendet werden soll, wird von NXP semiconductors hergestellt und ist ein NFC Forum Type 2 Tag, das anhand der ISO/IEC14443 Spezifikationen entwickelt wurde. Es besitzt eine Speichergröße von 540 Byte, wobei 36 Byte reserviert sind. Die UID steht dabei in den ersten beiden Pages des Speichers und ist schreibgeschützt durch die letzten zwei Lockbits auf Page 3 die jeweils auf 1 gesetzt sind.

Die elektronische Schaltung ist dabei wie im Blockschaltbild von Abbildung 21 dargestellt aufgebaut.

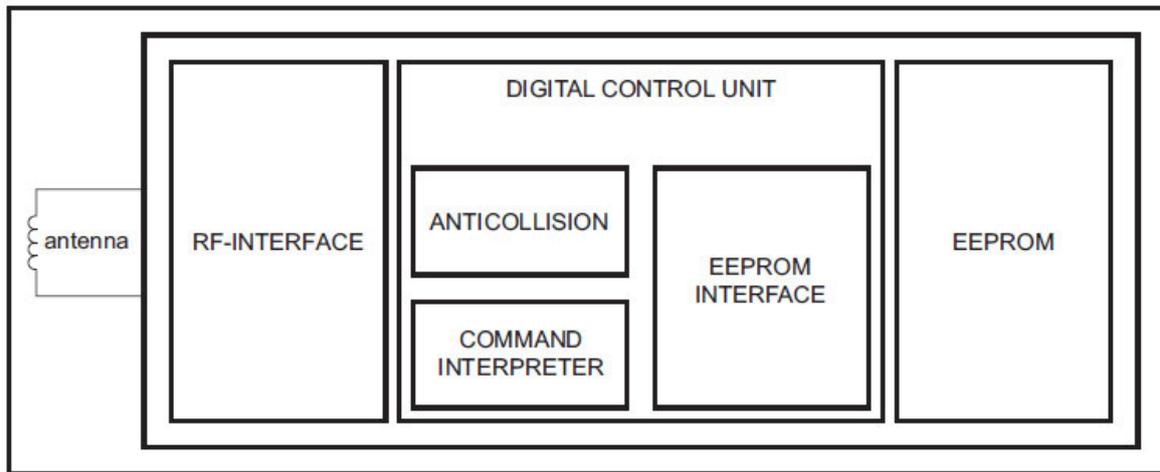


Abbildung 21: Blockschaltbild des NTAG215 [38]

**RF (radio-frequency) Interface:** Hier befindet sich die Hardware zum Verarbeiten des Signals, sowie der Spannungsregulator und eine Einheit, die den Takt regeneriert.

**Anticollision:** Ermöglicht durch interne Logik die Verarbeitung mehrerer NFC-Chips zur gleichen Zeit mit einem Lesegerät.

**Command Interpreter:** Interpretiert und verarbeitet die vom Lesegerät erteilten Befehle

**EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-only Memory) interface:** Regelt den Zugriff auf den Chip internen Speicher, auf denen die Daten gespeichert werden.

**NTAG215 EEPROM:** 540 Byte großer Speicher, organisiert in 135 Pages mit jeweils 4 Byte per Page. Wobei nur 504 Byte dem Nutzer zum Beschreiben zur Verfügung stehen.

Damit auf den Speicher des NFC-Chips zugegriffen werden kann stehen uns die in dem ISO/IEC 14443 Standard beschriebenen Kommandos zur Verfügung. Die wichtigsten die zum Betrieb des Systems benötigt werden sind. READ, und WRITE.

Erhält der Mikrochip den READ Befehl, werden 16 Byte von vier Pages aus dem Speicher ausgelesen. Das READ Befehl setzt sich dabei aus vier Segmenten zusammen. Einem command Byte, das die Art der Operation definiert, der 1 Byte langen Adresse im Speicher anhand derer begonnen wird den Speicher auszulesen und einem 2 Byte langem CRC (Cyclic Redundancy Check) Segment, das zur Fehlererkennung dient.

Der WRITE Befehl ist von der Struktur her dem READ Befehl entsprechend. Der Unterschied findet sich hier in dem DATA Block, in dem die zu schreibende Information in einem 4 Byte Segment festgehalten wird. Auch hier wird ein Adressblock mit 1 Byte eingesetzt, um das Ziel für die Daten zu deklarieren.

Page Adr		Byte number within a page				Description
Dec	Hex	0	1	2	3	
0	0h	serial number				Manufacturer data and static lock bytes
1	1h	serial number				
2	2h	serial number	internal	lock bytes	lock bytes	Capability Container
3	3h	Capability Container (CC)				
4	4h	user memory				User memory pages
5	5h					
...	...					
128	80 h	dynamic lock bytes			RFUI	Dynamic lock bytes
131	83 h	CFG 0				Configuration pages
132	84 h	CFG 1				
133	85 h	PWD				
134	86 h	PACK		RFUI		

Abbildung 22: EEPROM Struktur des NTAG 215 [38]

Wie im Abbild 22 ersichtlich, sind die ersten 8 Byte für die UID reserviert, welche im Konzept zur Identifikation des Patienten genutzt werden soll.

Je nachdem ob der gesendete Befehl valide ist, antwortet das Tag über die RF Schnittstelle mit einem ACK (Acknowledge) oder NAK (Not Acknowledge).

## 6.2.3 Codierung

### Leitungscode

Leitungscode werden eingesetzt, um bei der digitalen Telekommunikation zu definieren, wie der Datenstrom geformt wird. Dabei wird die diskrete Symbolfolge fest gelegt anhand derer die Information übertragen wird. Dabei ist es in einer NFC-Kommunikation üblich folgende Leitungscode anzuwenden, wie sie im Abbild 23 beispielhaft dargestellt werden.

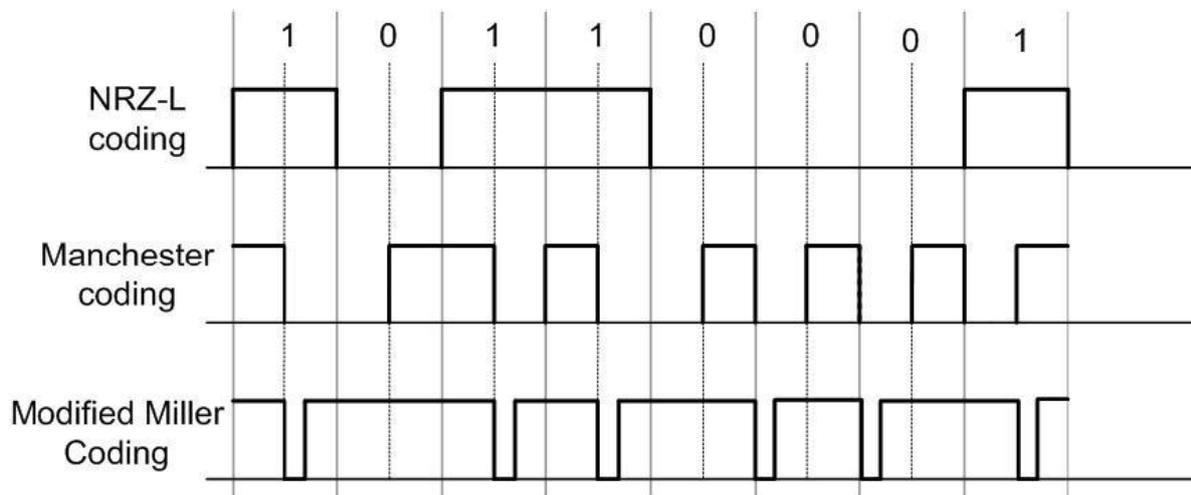


Abbildung 23: Beispiele von Leitungscode [39]

- **NRZ-L** (Non return to Zero Level): Jedem Datenbit wird dabei ein Signalpegel zugeordnet.

- **Manchester Codierung:** Datenbits werden bei der Manchester Codierung anhand von steigenden (Logisch 1) oder fallenden (Logisch 0) Signalfanken in der Mitte der Bitdauer codiert.
- **Modifizierter Miller Code:** Bei der modifizierten Miller-Codierung erfolgt für eine logische 1 ein „low“-Puls nach der Hälfte der Bitdauer. Bei einer logischen 0 tritt ein „low“-Puls am Beginn eines bits. Eine Ausnahme gibt es, wenn eine Logische 0 auf eine 1 folgt, dann bleibt der Signalpegel „high“

Da es sich bei dem „NTAG 215“ von NXP um ein passives Tag von Typ A mit einer Datenrate von 106 bit/s handelt, wird das Sendesignal vom PICC mit der Manchester Codierung codiert.

### Kanalcode

Um Fehler in einem übertragenen Signal finden und gegebenenfalls beheben zu können, bedarf es Kanalcodierung. Störungen und fehlerhafte bits sollen dabei durch das Hinzufügen von Redundanz korrigiert werden.

Bei NFC-Systemen, wie dem „NTAG 215“, kommt das CRC Verfahren zum Einsatz. Dabei wird jedem Nutzdatenblock ein Prüfwert in Form von 16 CRC bits angefügt, welche dann zusammen die Prüfsumme bilden. Wird nun Polynomdivision auf die Prüfgleichung angewendet und das Ergebnis Modulo 2 geteilt, können Information über die Integrität der übermittelten Daten gewonnen werden.

## 6.2.4 Modulation

Um Daten über elektromagnetische Wellen versenden zu können, müssen diese vom Sender moduliert werden. Das bedeutet, ein Nutzsignal wird auf ein Trägersignal gerechnet (moduliert), sodass sich ein niederfrequentes Signal mit einem hochfrequenten Signal als Träger versenden lässt. Vom Empfänger wird dann das Trägersignal vom Nutzsignal wieder getrennt (demoduliert), um die übertragene Information wieder nutzbar zu machen.

In der NFC-Technik werden üblicherweise drei Arten der Modulation angewendet.

- **n-ASK** (Amplitude Shift Keying)
- **n-PSK** (Phase Shift Keying)
- **n-FSK** (Frequency shift Keying)

Welche Art der Modulation verwendet wird, hängt dabei von der Kommunikationsrichtung und des Systems ab. Bei der Kommunikation von Typ A PCD zu PICC wird eine 2-ASK mit einem Modulationsindex von 100% eingesetzt. Das bedeutet das Signal variiert von 0 bis 100% der Amplitude. Bei der Kommunikation von PICC zu PCD ist die Modulation von der Bitrate abhängig. Ein Hilfsträger vom PICC mit einer Datenrate von 106 bit/s wird mit OOK (On off Keying, im Prinzip vergleichbar mit ASK) moduliert [40]. Höhere Bitraten nutzen hingegen eine BPSK Modulation. Der „NTAG 215“ von NXP arbeitet mit einer Datenrate von 106 Bit/s und wird somit seine Hilfsträger mit OOK modulieren.

## 6.3 Casambi

Casambi ist ein Smart Home System das auf der Basis von BLE (Bluetooth Low Energy) funktioniert. Als Teil von Bluetooth 4.0 sendet es dabei auf einer Sendefrequenz von 2,4 bis 2,483 GHz mit +4dBm.

Genau wie die meisten anderen Anbieter von Smart Home Beleuchtungslösungen unterstützt Casambi auch DALI (Digital Addressable Lighting Interface) als Protokoll.

Dabei wird ermöglicht, Licht und andere Sensorik via Smartphone gestützter App zu steuern und zu kontrollieren. Dazu bilden die einzelnen Leuchten untereinander ein Meshnetzwerk, in dem die Befehle der Station (z.B. Smartphone) an die gewünschten Teilnehmer weitergegeben werden. Sie fungieren im Netzwerk als Sender und Empfänger. Mit einem Casambi System ist es möglich, bis zu 127 Leuchten zu koordinieren welche, laut Datenblatt bis zu 20m Distanz zueinander haben können [41].

Die Leuchte „VIVAA 2.0 VTC“ von Waldmann wurde in Kapitel 5.1 erwähnt und kommuniziert via Casambi modul und wäre für den HCL Betrieb geeignet.

## 6.4 TRILUX LiveLink

LiveLink ist TRILUX' hauseigenes Steuersystem für Gebäude und Smart Homes. Das dazu verwendete Protokoll zur Leuchtmittelensteuerung basiert auf DALI. Aber auch über W-Lan können Leuchten angesteuert, werden sollte keine Verbindung zu dem DALI-Netz hergestellt werden können. Gesteuert wird das System dabei über ein Linux basiertes Steuergerät, welches sich direkt via Wi-Fi ansteuern lässt (Smartphone, Tablet, etc.). Dazu wird nur die TRILUX eigene App benötigt.

Interessant ist dabei zu bemerken, dass HCL bereits eine Rolle in der Planung und Gestaltung von LiveLink spielt. So wurde bereits eine Möglichkeit in das System integriert mit der beim Einschalten der Lichtszene ein automatischer zirkadian wirksamer Farbtemperaturverlauf abgerufen wird, sofern TRILUX Active Leuchtmittel verwendet werden.

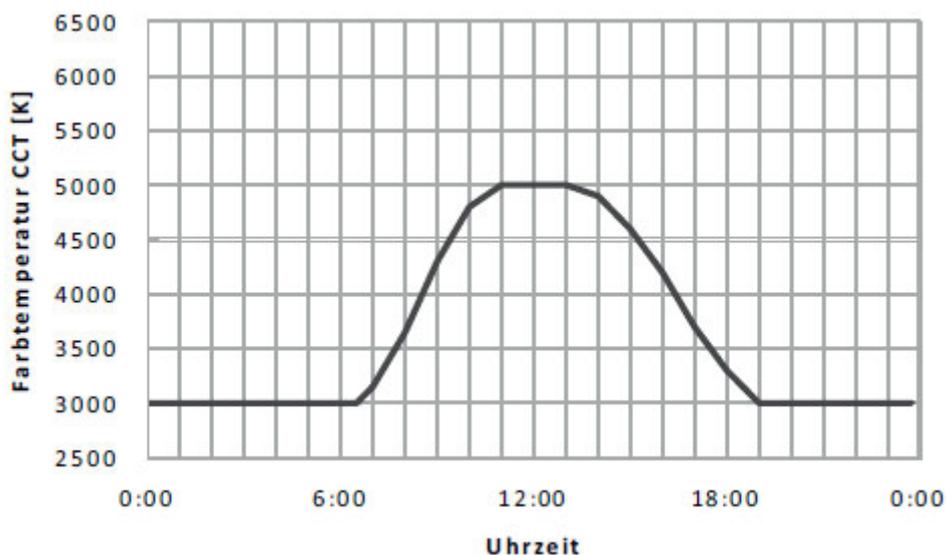


Abbildung 24: TRILUX HCL Kurve [42]

Wie auf der Abbildung 24 ersichtlich, folgt auch das System von TRILUX dem aktuellen Stand der Erkenntnisse: morgens und abends zur Entspannung rötliches Licht ab 3000K und über den Tag hinweg blaues aktivierendes Licht mit 5000K.

Ein Leuchtmittel das TRILUX mit einem HCL-Modus versehen hat, ist beispielsweise die „InplanaAct C07“, welche in Kapitel 5.1 erwähnt wurde. Sie lässt sich über LiveLink für einen Tageslichtverlauf simulierenden Zweck verwenden.

## 6.5 ZigBee Protokolle

ZigBee ist ein auf dem internationalen IEEE 802.15.4 beruhender Funkstandard, der von der ZigBee Alliance etabliert wurde. Die Protokollarchitektur ist dabei dem OSI Referenz Model entsprechend, das heißt PHY Schicht und MAC (Media-Access-Control) Schicht haben mit der Bitübertragung und Sicherung die gleichen Aufgaben. Anwendungsschicht und Vermittlungsschicht unterscheiden sich hingegen vom Referenzmodel und werden von der ZigBee Alliance spezifiziert. Die Größe des Frames ist dabei durch die PHY Schicht auf 127 Byte begrenzt, wobei allein bis zu 74 Byte für Protokollinformationen reserviert sind, je nachdem ob Sicherheitsfunktionen aktiviert wurden oder nicht. Das bedeutet minimal 53 Byte sind frei verfügbar für den Transport von Nutzdaten. Um trotzdem größere Datenmengen transportieren zu können, erlaubt ZigBee die Fragmentierung von Nutzdaten in kleinere Fragmente.

Dabei kann das Netzwerk eines ZigBee Netzes in einer Baumstruktur oder einem Meshnetzwerk gestaltet sein. Das Routing im Meshnetzwerk wird vom Koordinator organisiert, in dem alle Pfade und alle Teilnehmer in Routingtabellen erfasst werden. Sollte die Adresse veraltet sein oder fehlen, wird vom Koordinator eine Pfadentdeckung durchgeführt, bei der ein Testpaket an alle Teilnehmer im Netzwerk gesendet wird. Ein ZigBee Netzwerk, das hingegen in einer Baumstruktur organisiert wurde, organisiert sein Routing nach einem hierarchischen Muster. Erkannt werden die Teilnehmer an einer 16 Bit Kurzadresse und der 64bit MAC-Adresse, wobei nur die Kurzadresse zur Datenübertragung und Wegfindung genutzt wird.

Durch seine geringen Datenmengen und den niedrigen Stromverbrauch ist es besonders zur Steuerung von intelligenter Sensorik und Beleuchtung geeignet. Die Frequenzbänder auf denen ZigBee Geräte senden sind in Europa das 868 MHz und das 2,4 GHz Band. Diese sind lizenzfrei verfügbar und ermöglichen es Geräten in dem Meshnetzwerk über bis zu 10m miteinander zu kommunizieren [43]. Vereinzelt können die Reichweiten aber auch größer sein, wie z.B. im Gesundheitswesen, wo sie in Gebäuden mit 70m und im freien mit 400m angegeben sind. Die Reichweiten sind nicht spezifisch festgelegt und werden bedarfsorientiert gestaltet. Datenraten in ZigBee können beim 868 MHz Netz von bis zu 20 kbit/s und vom 2,4GHz Netz bis zu 250 kbit/s Geschwindigkeit erreichen.

Mit früheren Versionen von ZigBee gab es oft Kompatibilitätsprobleme innerhalb der verschiedenen Spezifikationen. So war es für Geräte, die über ZLL (ZigBee Light Link) kommunizieren nicht von Natur aus möglich mit System die über ZHA (ZigBee Home Automation) kommunizieren, Informationen auszutauschen. Mit ZigBee 3.0 sollen diese Probleme der Vergangenheit angehören.

### 6.5.1 ZigBee Home Automation

Im Zuge der ZigBee Spezifikation hat die ZigBee Alliance eine Reihe von Standards herausgebracht, die dazu gedacht sind, Anwendungsbereiche zu definieren und deren Vorgaben konkret dazustellen. Konkrete Vorgaben sollen gewährleisten das die Produkte von verschiedenen Herstellern, die sich an den gleichen ZigBee Standard halten untereinander kompatibel sind. Home Automation im speziellen ist dazu gedacht Sensorik und Aktuatoren in Wohnungen und kleinen Häusern drahtlos zu steuern.

Um die Sicherheit und Integrität des Netzwerks gewährleisten zu können, muss bei der Initialisierung des Netzwerks ein Teilnehmer ausgewählt werden, der als Trust Center fungiert.

Damit Geräte wie Dimmer, Lichtschalter, Rollläden und andere dem Netzwerk beitreten können, benötigen sie einen Netzwerkschlüssel mit 128 Bit Länge, dieser wird, sofern nicht bereits vorinstalliert, vom Trust Center verteilt. Zum Zeitpunkt der Übertragung des Netzwerkschlüssels ist es je nach Einstellung möglich, dass der Schlüssel offen versendet wird [45].

Ein weiterer Schlüssel, der zur Kommunikation verwendet wird, ist der Linkschlüssel. Dieser Schlüssel wird für die Ende-zu-Ende Kommunikation zwischen zwei Netzwerkteilnehmern verwendet und ist, anders als der Netzwerkschlüssel, nur diesen beiden Teilnehmern bekannt. Der Linkschlüssel kann auf drei Arten generiert werden: entweder er wird vom Trust Center versendet, er ist vom Hersteller vorinstalliert, oder er kann durch einen Masterkey generiert werden.

Die Hue Bridge, die in diesem Konzept verwendet wird, nutzt ZigBee Home Automation, um mit Steuergeräten wie dem NFC-Lichtschalter zu kommunizieren, nachdem dieser sich im Netzwerk authentifiziert hat.

## 6.5.2 ZigBee Light Link

Anders als Home Automation wurde ZigBee Lightlink ausschließlich als ein Standard zur drahtlosen Kommunikation zwischen Leuchten konzipiert. Darunter zählen unter anderem Smartlights, Moodlights, und Lightstrips. Kommunikation zwischen den Leuchten ist dabei mit Linkschlüsseln verschlüsselt, die nicht öffentlich bekannt sind.

Die Kommunikation zwischen „Philips Hue White & Color Ambiance“, anderen Leuchten, und der Bridge verwendet Light Link [46].

## 6.5.3 ZigBee Health Care

Ein Standard der ZigBee Alliance, der im Rahmen dieser Arbeit interessant ist, ist der Health Care Standard. Der Anwendungsbereich umfasst dabei verschiedene Bereiche wie DM (Disease Management), PFM (Personal Fitness Monitoring), und PWM (Personal Wellness Monitoring). Folgende Maßnahmen können somit außerhalb des Krankenhauses weitergeführt werden: Vernetzung von medizinischem Monitoring, die Überwachung von Blutwerten und Vitalzeichen, sowie die dosierte Verabreichung von Medikamenten [47]. Um den Sicherheitsanforderungen, einer sensiblen Umgebung, wie die der Patientenversorgung, gerecht zu werden, ist es bei ZigBee Health Care möglich zusätzliche Sicherheiten zu aktivieren. So ist es möglich die Kommunikation zusätzlich durch einen Alpha-secure Key zu verschlüsseln. Außerdem werden anders als bei ZHA weder der Netzwerkschlüssel noch der Linkschlüssel öffentlich im Netzwerk übertragen.

Um konstante und stabile Erreichbarkeit der Netzwerkteilnehmer zu gewährleisten, werden die Schlüssel nur bei Bedarf und nicht periodisch geändert, sonst könnte die neue Vergabe eines Schlüssels zu einem ungünstigen Zeitpunkt wertvolle Sekunden kosten.

## 7. Konzept

In diesem Kapitel werden die vorgestellten Systeme zusammengeführt. Der NFC-Chip wird dabei in das beim Krankenhausaufenthalt übliche Patientenarmband integriert. Die Informationen, die im EEPROM enthalten sind, werden dann vom Lesegerät ausgelesen. Das Lesegerät befindet sich an der Wand in der Form eines speziellen Lichtschalters und enthält eine RF-Schnittstelle, mit der die gelesenen Informationen an den Controller übertragen werden. Diese entscheidet dann anhand der empfangenen Parameter welche Beleuchtung vom Leuchtmittel ausgeht. Damit ergibt sich der endgültige Aufbau aus drei Geräten: dem NTAG 215, einem im Schalter integrierten NFC Lesegerät, das von einem Mikrocomputer, wie dem Raspberry Pi inklusive ZigBee-Extensionboard verwaltet wird, und der Philips Hue Beleuchtungsanlage bestehend aus Hue Bridge und der „Hue White & Color Ambiance“.

### 7.1 Das Armband

Damit der Tag als unkomplizierte Steuerung des Lichts fungieren kann, muss er für den Patienten während des Aufenthaltes im Krankenhaus jeder Zeit zur Hand sein, ohne aber die Motorik einzuschränken oder die Aufmerksamkeit der Patienten zu strapazieren. Eine Kombination aus Armband und NFC-Chip stellt für das Konzept eine anforderungsgerechte Lösung dar. Abbildung 25 zeigt ein bereits eingesetztes RFID Armband von Sato. Die Bedienung von Schaltelementen an der Wand wäre problemlos möglich und das geringe Gewicht ist für die Patienten keine zusätzliche Belastung. Üblicherweise sind die Armbänder aus Polypropylen, das besonders abweisend gegenüber Bakterien und Keimen ist. Die Informationen, die auf dem Band zu finden sind, sind z.B. Name, Alter und Fallnummer in Form eines Barcodes.

Elektromagnetische Strahlung ist zudem keine Gefahr, da die Sendeleistungen zu gering sind, um negative Auswirkungen zu entfalten. Als passiver Tag ist der „NTAG 215“ außerdem nur aktiv, wenn er sich in induktiver Koppelung mit einem NFC fähigen Gerät befindet.

Um den medizinischen Anforderungen der Patienten gerecht zu werden, muss vorab definiert werden auf welche Art von Information das HCL-fähige System reagieren soll. Die Länge und der Inhalt des zu verarbeitenden Datensatzes, der auf dem NFC-Chip gespeichert wird, ist hier maßgebend für die Dimensionierung des Speichers auf dem NFC-Tag.

Wie in Kapitel 4.1 anhand der drei Fallbeispiele dargestellt bietet es sich an Lichttemperaturwerte in volle Stundenabschnitte einzugliedern, das resultiert in 24 Werte für einen kompletten Tag. Würde eine höhere Auflösung gewünscht wäre die Anzahl der benötigten Werte dementsprechend größer. Der Farbtemperaturbereich, den die Lampe abdeckt, reicht von 2000 – 6500K entsprechend 500 und 154 Mired. Damit diese Werte auf dem EEPROM des NTAG 215 gespeichert werden können sind 2 Bytes für jeweils einen der 24 Werte von Nöten.



Abbildung 25: Beispiel eines NFC Patientenarmbands von Sato [48]

Neben Sato gibt es noch andere Anbieter, die RFID Technologie in ihren Armbändern anbieten, wie z.B. Zebra. Bei beiden wird das System im kompletten Paket mit Druckern, RFID Armbändern und mobilen Lesegeräten angeboten. Bis jetzt werden die Armbänder vorwiegend zur Identifikation von Patienten sowie zur Überwachung von Vitalwerten von Säuglingen verwendet. Die Abbildung 26 zeigt weitere Beispiele, für die die Systeme von Sato genutzt werden können.

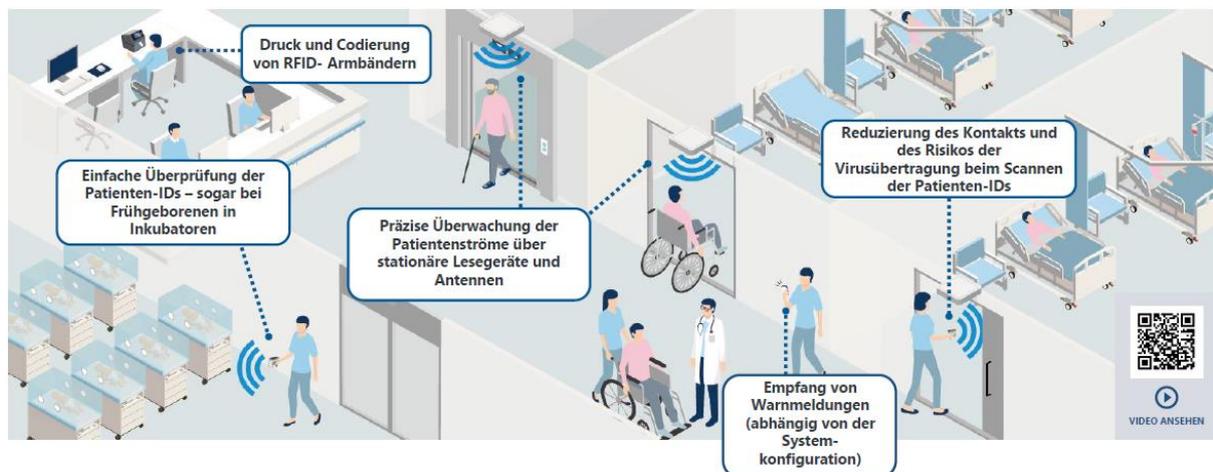


Abbildung 26: Anwendungen von RFID Armbändern im medizinischen Bereich [49]

Der Vorteil solcher bestehenden Systeme ist das Vorhandensein aller erforderlichen Lizenzen für den praktischen Einsatz in Krankenhäusern, um nicht erst mühsame und kostenintensive Verfahren durchlaufen zu müssen.

## 7.2 Der Lichtschalter

Um die personalisierten Daten vom Speicher im Armband integrierten Chips an die Beleuchtungsanlage weiter geben zu können, wird ein NFC-Lesegerät und einen Sender benötigt, der in der Lage ist, die ausgelesenen Daten in Form eines ZigBee Signals an die Hue Bridge zu übertragen.

Das bedeutet es muss eine Schnittstelle zwischen NFC-Controller und ZigBee Sender geschaffen werden. Vorstellbar wäre ein Mikrocomputer wie ein Raspberry Pi oder Arduino, um die benötigte Infrastruktur zu etablieren.

Ausgelesen wird dabei die einzigartige UID des Patienten sowie ein Mired Wert von 154 bis 500. Dieser Wert wird binär in 2 Byte auf dem EEPROM gespeichert. Das bedeutet, die Bytes auf Seite 1 und 2 werden bei jedem Scan mit ausgelesen, da sie die UID enthalten. Außerdem wird noch Seite 3 mit übertragen, in der das Alter des Patienten in 1 Byte gespeichert ist. Am Alter skaliert das System die Beleuchtungsstärke, welcher der Patient ausgesetzt ist. Die Seite mit der benötigten Information über die Farbtemperatur wird anhand der Speicheradresse ausgelesen. Jede volle Stunde des Tages (24 Stunden) erhält somit eine Seite im Speicher (Seiten 4-28), die Auswahl des Speichers wird dabei anhand der Tageszeit getroffen. Das erste Byte auf der Seite entspricht der Hunderterstelle und das zweite Byte jeweils der Zehner- und Einerstelle des Mired Werts.

Grundsätzlich sollen die User dabei in der Lage sein, das Licht kontaktlos ein und ausschalten zu können. Dazu wird die UID benötigt, um die Funktion des Schalters auf diese Weise zu ermöglichen. Das System muss außerdem eindeutig zwischen zwei verschiedenen Usern unterscheiden können. Die Technik reagiert dabei den ersten Scan der UID mit dem Einschalten des Lichts in der gewünschten Einstellung bzw. der Farbtemperatur. Ein weiterer Scan des NFC-Chips deaktiviert es wieder.

Bei beiden Scans wird geprüft, ob die User-ID gelistet ist. Je nach Ergebnis wird die Beleuchtung entweder aktiviert oder deaktiviert. Als Grundlage dieser Prüfung dient eine im Koordinator (Hue Bridge) hinterlegte Tabelle. Wird jetzt ein Armband mit der UID gelesen, wird diese Geräte-ID dem jeweiligen User zugeordnet, nachdem die Liste der vorhandenen Geräte nach der UID durchsucht wurde. Der Lichtschalter und die dazugehörige Beleuchtung sind aktiv, wenn sie einem User zugeordnet wurden. Folgende drei Fälle sind möglich:

- dem User wurde bereits eine ID zugewiesen - die alte ID wird gelöscht und die neue ID zugewiesen.
- die ID ist noch nicht vergeben und sie wird dem User zugeteilt
- ein User hat die ID bereits beansprucht und ein anderer User möchte den Platz übernehmen - die Geräte ID wird dem neuen User zugeteilt

Um die Funktion der Beleuchtungsanlage auch für Nutzer ohne NFC-Armband zu gewährleisten, ist ein taktiles Interface notwendig. Die Lichtanlage kann neben dem NFC gestützten HCL-Modus auch regulär durch einen Wippschalter mit einem neutralen Raumlicht von 4000K geschaltet werden.

## 7.3 Die Beleuchtung

Als Grundsatz des Beleuchtungskonzeptes wird die „Hue Bridge“ und die dazu kompatible „Hue White & Color Ambiance“ verwendet. Die Verteilung von Netzwerk- und Lightlink-Schlüsseln an die Teilnehmer im Meshnetzwerk wird von der Bridge in der Rolle des Koordinators übernommen. Außerdem hat die Bridge die Aufgabe die Beleuchtungsstärke melanopisch gewichtet an die „Hue White & Color Ambiance“ weiter zu vermitteln. Da in diesem Konzept nur ein Typ von Leuchtmitteln verwendet wird, muss dies nur einmal ermittelt werden, sodass die Gewichtung feststeht.

Diese Gewichtung soll zur Folge haben, dass am Auge des Patienten bei gewünschter Aktivierung eine MEDI von 250 lx erreicht wird. Dafür sind direkte und indirekte Faktoren entscheidend, direkte Faktoren sind der Output des Leuchtmittels selbst und die Korrektur, die anhand des altersbedingten

Korrekturfaktors direkt Bezug auf die Effektivität der Beleuchtung nehmen. Um dazu in der Lage zu sein, muss eine Tabelle auf dem Speicher der Bridge hinterlegt sein, der die altersabhängigen Korrekturfaktoren enthält (siehe Abschnitt 3.4). Der erhaltene Datensatz, der unter anderem das Alter des Patienten enthält, wird dann mit der Tabelle abgeglichen und entscheidet über den Korrekturfaktor.

Als tunable smart light formt die „Hue White & Color Ambiance“ ihr Licht durch eine Mischung aus drei farbigen LED, die in ihrer Farbtemperatur anpassbar sind. Das hat zur Folge das auch der MDER nicht für alle Farbtemperaturen einheitlich gilt. Vielmehr muss der Raum von 2500K bis 6500K abschnittsweise unterteilt werden. Dafür werden die MDER Faktoren aus der DIN/TS 5031-100 angenommen welche einer Weißen LED zu den Farbtemperaturen 2700, 3075, 4250, 5400, 6535 entsprechen (siehe Anhang E.1 und E.2).

Die „Hue White & Color Ambiance“ ist laut Datenblatt in der Lage 806 lm zu erzeugen, werden die MDER Faktoren darauf angewendet entspricht das den untenstehenden fotometrischen und melanopischen Werten.

<b>Farbtemperatur in Kelvin</b>	<b>Fotopischer Lichtstrom in lm</b>	<b>MDER</b>	<b>MELF in lm</b>	<b>Melanopic Output in %</b>
<b>2700</b>	806	0,395	318	39
<b>3075</b>	806	0,427	344	42
<b>4250</b>	806	0,738	594	74
<b>5400</b>	806	0,787	634	78
<b>6535</b>	806	0,800	644	79

Nachdem etwaige Korrekturfaktoren (Kapitel 3.4) berücksichtigt wurden, übermittelt die Bridge den Parameter der Helligkeit an das Leuchtmittel in Form von Prozentsätzen (Befehl dimming brightness 1-100), wie in Kapitel 5.1 beschrieben. Mit dem MELF kann man nun den MEDI bestimmen. Dazu werden Lichtplanungsprogramme wie Relux oder Dialux benötigt, in dem die Leuchte in einem Raum simuliert werden kann.

## 7.4 Lichtplanung

Zu einem ganzheitlichen Beleuchtungskonzept gehört mehr als nur die Beleuchtung des Raumes an sich. So gibt es einige Best Practice Schritte, die in der DIN 67600 aufgelistet werden, welche man schon vor der Installation einer Leuchte berücksichtigen sollte. So müssen die Anforderungen zwischen gewünschten nicht visuellen Effekten und notwendigen fotopischen Bedingungen in Einklang gebracht werden. Zusätzlich ist auch die Energieeffizienz zu berücksichtigen. Dieser Ansatz wird integrierende Planung genannt und arbeitet, wenn möglich, mit dem natürlichen Tageslicht.

Um das Prinzip zu verdeutlichen, nehmen wir für dieses dieses Konzept an, dass die Räumlichkeiten keinen Zugang zu natürlichem Licht haben. Wäre ein Zugang zum Sonnenlicht vorhanden würde dieses ergänzend zu künstlicher Beleuchtung genutzt werden. Natürliches Licht wird, wann immer

möglich, in die Lichtplanung integriert. Das Kunstlicht kompensiert wann immer nötig die Zeiträume an denen natürliches Tageslicht gewünscht ist, aber nicht zur Verfügung steht.

Als Rahmen gelten gesetzliche Vorlagen, die in der ArbStättV vorgegeben sind. Dort festgehaltene Grenzwerte müssen zwingend eingehalten werden. So muss z.B. sichergestellt sein, dass für Behandlungen und Untersuchungen am Patienten eine minimale Beleuchtungsstärke von 1000 lx gegeben ist [6]. Das skizzierte Beleuchtungskonzept muss also auch diesen Fall abdecken können, zusätzlich zu den nicht visuellen Anforderungen an ein HCL-System.

Zu einem ganzheitlichen Beleuchtungskonzept gehören unter anderem Orientierungslicht, Raumlicht, Untersuchungslicht, Leselicht und Notbeleuchtung.

Die Raumgestaltung selbst wird auch in die Planung der Beleuchtung mit einbezogen; Raumfarbe und Einrichtung werden nach Möglichkeit mitberücksichtigt. Reflektion und Transmission von Materialien sind wichtig zur Berechnung der notwendigen Parameter. So muss man darauf achten aus welchem Material Scheiben von Fenstern gefertigt werden [11]. Auch die Beschaffenheit der verwendeten Wandfarbe ist relevant, denn Pigmentierung und Zusammensetzung haben Einfluss auf Reflektion und Absorption. Das heißt, das matte dunkle Farbe besser absorbiert, aber schlechter reflektiert.

Bei der Beleuchtung selbst wird ein indirektes Beleuchtungsschema dem eines direkten vorgezogen, da so Blendungen größtenteils vermieden werden und indirektes Licht den Raum größer erscheinen lässt. Ein optisch größerer Raum hat meist eine beruhigende Wirkung auf die Nutzer [11]. Damit die Beleuchtung indirekt gestaltet werden kann, muss die generelle Blickrichtung bekannt sein. Nach dieser werden die Leuchten und ihre Strahlrichtung gewählt. Auch das Profil der erwarteten Aufenthaltsdauer fließt mit in das Design des HCL-fähigen Beleuchtungskonzeptes. So sind Räume, in denen Aufenthaltszeiten von bis zu 30 Minuten erwartet werden, nicht für Beleuchtung geeignet, die den zirkadianen Rhythmus stabilisieren sollen.

Unter Beachtung aller zuvor genannten Kriterien und Abläufe lässt sich ein Leitfaden zur Planung einer HCL unterstützten Umgebung zusammenfassen. Mit diesem lässt sich beschreiben welche Aspekte berücksichtigt werden müssen.

- **Nutzerprofil**  
(Wer wird das System voraussichtlich Nutzen?) - Entscheidet über die Grundlegenden Anforderungen an die Beleuchtung und welche Richtwerte gelten.
- **Alter**  
(Wie alt werden die Nutzer voraussichtlich sein?) - Bestimmt den Grad der Korrektur der auf die Beleuchtung angewendet wird.
- **Sehanforderungen**  
(Welche Aufgaben werden dort durchgeführt, wird z.B. gelesen?) - Hat Einfluss auf die Grundlegenden Parameter der Beleuchtung und zusätzliche Funktionen.
- **Blickrichtung**  
(Ist diese eher statisch oder wechselt sie potentiell häufiger?) - Entscheidet über die Ausrichtung der Leuchten und die Fläche, die abgedeckt werden muss.
- **Sicherheitsanforderungen**  
(Gibt es Notbeleuchtung oder Sturzkanten, die besonders beachtet werden müssen?) - Hat Einfluss auf das Anwendungsprofil der Beleuchtung und welche Funktionen abgedeckt werden müssen.
- **Aufenthaltsdauer**  
(Wie lange werden die Nutzer sich vermutlich an diesem Ort aufhalten?) - Ist ausschlaggebend für die Funktionsweise, in der das HCL-System im Raum angewendet wird.

Kann es zum Stabilisieren des zirkadianen Rhythmus genutzt werden, nur zum kurzen energetisieren der Nutzer, oder ist es an diesem Ort gänzlich untauglich.

- **Schichtbetrieb**  
(Sind Nutzer mit unterschiedlichen HCL Profilen zur gleichen Zeit am gleichen Ort?) – Beeinflusst die Planung und Organisation der HCL-Beleuchtungszonen.
- **Verfügbarkeit von natürlichem Tageslicht**  
(Wie viel natürliches Tageslicht ist zu erwarten?) - hat Einfluss auf die Skalierung des Systems, mehr Tageslicht bedeutet, das am Tag weniger Beleuchtung eingesetzt werden muss.
- **Verwendungszweck des Raums**  
(Wie wird der Raum üblicherweise genutzt?) - Beeinflusst wie groß eine und dynamisch eine HCL-Zone gestaltet werden kann. Orte an denen Sport getrieben wird müssen grundsätzlich größer und dynamischer gestaltet werden als Ruhezonen.
- **Beschaffenheit der Raumflächen**  
(Wie ist die Reflektion und Absorption der Wände?) - Beeinflusst die Beleuchtungsstärke und den emotionalen Effekt von Licht auf den Menschen.
- **Beschaffenheit der Objekte**  
(Wie ist die Reflektion und Absorption von Gegenständen und Möbeln?) - Beeinflusst ebenfalls die Beleuchtungsstärke und den emotionalen Effekt von Licht auf den Menschen
- **Abmessung des Raums**  
(Wie groß ist der zu Beleuchtende Raum?) - Ist maßgebend für die grundsätzliche Skalierung des Beleuchtungssystems.

## 7.5 Konfliktbetrachtung und Lösungsansatz

Da Licht sich durch seine physikalischen Eigenschaften meist im ganzen Raum ausbreitet, gibt es wenige Möglichkeiten zwei gegensätzlich laufende HCL-Profilen zeitgleich laufen zu lassen. Die Ursache dafür liegt an dem grundsätzlichen Unterschied der beiden Modi. Da sie gegenläufige Effekte beim Patienten bewirken. Eine warme Lichttemperatur darf einen MEDI-Wert von 250 lx nicht überschreiten, weil ab dieser Schwelle eine Aktivierung durch die ipRGCs stattfindet. Der Effekt von blauem Licht beginnt dort erst und überblendet somit prinzipiell rötlicheres Licht. Hierbei gilt das je höher der MEDI lx Wert ausfällt, desto schneller und nachhaltiger wirkt die Aktivierung auf den Nutzer.

Für Räume, in denen nur eine solche HCL-Zone vorhanden ist, wird der Konflikt dadurch verhindert das durch die Zuteilung der Raum ID an den User grundsätzlich nur ein User zurzeit aktiv sein kann. Bei größeren Räumen in denen mehr als eine HCL-Zone ohne räumliche Abtrennung vorgesehen ist, muss hingegen eine Lösung gefunden werden, um diese Parallel aktivieren zu können, ohne dass sie sich gegenseitig negativ beeinflussen.

Denkbar wäre eine softwaregestützte Lösung in dem das System zu einer neutralen Beleuchtung wechselt. Das hätte zur Folge das die Patienten, die gegenläufige HCL-Profilen aktivieren wollen, anstatt einem adversen Effekt einem neutralen ausgesetzt sind. Dieser Lösungsansatz würde aber dazu führen das am Ende nur ein Bruchteil des größeren Raumes genutzt werden könnte, ohne dass das HCL-System sich selbst in seiner Kernfunktion stetig behindern würde.

Damit mehrere HCL-Zonen in einem Raum ungestört parallel genutzt werden können, muss man, sofern möglich, den Lichtplan und die Raumaufteilung so gestalten, dass das Licht möglichst keinen nennenswerten Einfluss auf andere Personen im Raum hat. Zusätzlich wäre es denkbar, dass man mit organisch platzierten Raumteilern eine physische Separierung der HCL-fähigen Zonen schafft. Dies

findet in ähnlicher Form im Konzept bei Advanced Naval Lighting von LINKSrechts in Kapitel 4.3 statt. Während eine solche Raumteilung für Ruheräume und Orte zum Entspannen relativ simpel zu realisieren ist, gestaltet sich die gleiche Maßnahme für Orte, an denen Sport und Rehabilitationsübungen gemacht werden, als schwierig. Da eine sporttreibende Person grundsätzlich mehr Platz zur Entfaltung benötigt als eine ruhende. Dort wird es sich nicht vermeiden lassen, die Anzahl an HCL-Zonen im Vergleich zu den Ruheräumen zu verringern oder auf HCL-Zonen komplett zu verzichten.

## 8. Fazit und Ausblick

Verglichen mit bereits bestehenden HCL-Systemen kann das hier vorgestellte Konzept einen Mehrwert für Nutzer im privaten sowie medizinischen Bereich bedeuten. Mit Bedacht eingesetzt sind die Auswirkungen einer HCL-Beleuchtungsanlage auf Patienten und Mitmenschen ohne nennenswerten Einfluss. Außerdem ist der stromsparende Aspekt, von optimal genutzter Beleuchtung durch effektiv organisierte Beleuchtungszonen, nicht außeracht zu lassen. Außerdem ist die Realisierung eines Prototyps durch bereits erforschte und etablierte Technologien eine Hürde, die gemeistert werden kann.

Obwohl die Wissenschaft das Potential von Human Centric Lighting noch nicht vollends ausgeschöpft hat, gibt es jetzt schon einige deutliche Anhaltspunkte dafür, dass wir in Zukunft nicht mehr ohne die nicht visuellen Effekte von Licht planen werden. Bei richtigem Einsatz sind die positiven Einflüsse auf das Wohlbefinden und die Leistungssteigerung beim Menschen einfach zu attraktiv, während die Nachteile wie beispielsweise Bluelight Hazard aus wissenschaftlicher Sicht vernachlässigbar sind. Die führenden Anbieter in der Lichtbranche haben das bereits erkannt und bieten professionelle und weitreichende Lösungen an, mit denen das Umfeld des Menschen effektiver gestaltet werden kann. Auch in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen wird HCL bereits eingesetzt, weil die positiven Auswirkungen auf Schlafrhythmus und Heilung erforscht und dokumentiert ist. Bessere Schlafqualität unterstützt die schnellere Genesung und hilft außerdem dabei den Geist des Menschen zu stärken, wie die Studie von Signify in Kapitel 4.2 gezeigt hat. Das Ergebnis kann ein verkürzter Aufenthalt im Krankenhaus durch eine schnellere Genesung des Patienten bedeuten. Außerdem bietet es eine Gelegenheit für Menschen, die im Alltag in ihrer Selbstbestimmung und Entfaltung oft sehr eingeschränkt sind, diese ein Stückweit zurückzuerlangen.

Die NFC/RFID Technologie hat sich dabei als eine höchst interessante Art der Datenübertragung herausgestellt. In Verbindung mit dem Beleuchtungssystem könnte es sich als eine intuitive Variante der Lichtsteuerung etablieren. Zumal die RFID-Technologie bereits in Krankenhäusern eingesetzt wird, bedarf es dort keiner größeren Anpassungen der grundsätzlichen Funktion der Geräte. Auch spezifizierte Beleuchtungssysteme, die dem hohen Anforderungsprofil eines Krankenhauses oder Pflegeeinrichtung gerecht werden, sind bereits in der Anwendung. Systeme, wie das in Kapitel 6.3 erwähnte Casambi das von Waldmann genutzt wird, LiveLink von TRILUX das in 6.4 angesprochen wurde, oder ZigBee das von Signify dem das Kapitel 6.5 gewidmet wurde, gehören dabei zu den Marktführern im Bereich HCL-Lösungen in medizinischen Einrichtungen.

Für Privatanwendungen sind diese Lösungen von TRILUX und Waldmann jedoch nicht ohne weiteres eine Option, da sie hohe Kosten und Installationsaufwand mit sich bringen der nur von geschultem Personal bewältigt werden kann. Die Phillips Hue Lösung, die in der Thesis thematisiert wurde, könnte dabei eine kostengünstigere Alternative bieten. Auch wenn diese für den Einsatz in medizinischen Einrichtungen noch einige Hürden nehmen müsste, damit sie den Ansprüchen gerecht würde. Zum Beispiel fehlende Funktionen (Untersuchungslicht, Orientierungslicht) und Farbstabilität müssten nachgebessert werden.

Um eine Lösung für beide Anwendungsbereiche gleichzeitig finden zu wollen, müsste man beide Lösungen verbinden: den privatnutzerorientierten Ansatz der Hue Beleuchtung mit einer der Professionellen Lösungen, die bereits in Krankenhäusern im Einsatz sind. Sie müsste so aussehen das man Einstellungen, die auf dem NFC-Chip gespeichert sind, nahtlos von einem System in das andere übertragen könnte.

Die Schnittstelle, die den NFC-Controller und den RF Sender verbindet, wäre ein Punkt an dem nachfolgende Arbeiten ansetzen könnten. Diese könnte mit Hilfe eines Mikrocomputers wie dem

Raspberry Pi oder dem Arduino realisiert werden, da es dort höchstwahrscheinlich schon passende Hardwarekomponenten gibt mit der sich das gewünschte Signal and das System übertragen lässt. Darauf könnte ein erster Prototyp folgen, der dann Im FTZ (Forschungs- und Transferzentrum) unter simulierten Bedingungen erprobt wird. Dieser Test könnte Aufschluss über die Akzeptanz und Funktionalität in Form von Feedback verschiedener Nutzergruppen geben.

Zukünftig wäre es außerdem möglich, die Funktionen des Armbands, in dem der NFC-Chip eingebettet ist, zu erweitern. So wäre z.B. ein Sensor denkbar, der einen Sturz registriert und dann einen Alarm beim betreuenden Personal auslöst. Oder aber Speicherung von Fitnessdaten die dann dem betreuenden Personal zur besseren Einschätzung zur Verfügung stehen. Sollte zudem ein erhöhter Sicherheitsanspruch entstehen, bietet NFC bereits integrierte Möglichkeiten, um sensible Daten zu verschlüsseln. Die NFC-Technologie eröffnet dabei noch ungeahnte Möglichkeiten in einer sensiblen Umgebung mit vulnerablen Personen in der weniger Kontakt von Vorteil sein kann.

# Anhang

## A.1 Philips Hue White Col. Amb. E27 Datenblatt



### 67310900 Philips Hue White & Col. Amb. E27 Einzelpack 1x806lm

Erweiterungslampe, Steuerung ueber Bluetooth und Bridge, 16 Millionen Farben, alle Weisstoene, passend in jede Leuchte mit E27 Lampenfassung

Fuege jedem Raum Farbe hinzu, mit einer intelligenten Einzelleuchte, die warmweisses bis kaltweisses Licht, aber auch 16 Millionen Farben bietet. Nutze Bluetooth zur sofortigen Lichtsteuerung in einem Raum oder schliesse die Hue Bridge an, um den vollstaendigen Funktionssatz zu nutzen.

#### Technische Daten

Max. Wattage	9
Socket	E27
Schutzklasse	N/A
Schutzart	IP20
Volt	220-240
Lumen	806
Kelvin	2000 - 6500

#### Codes

EAN Artikel	8718699673109
Bestellnummer (EOC)	67310900

#### Artikeldaten

Flammenanzahl	
Zolltarifnummer	8539500000
Herkunftsland	CN

#### Verpackungsmaße

Artikel unverpackt in cm (H/B/T)	11	6,1	6,1
Verpackung in cm (H/B/T)	16,5	8,8	7,5

#### Design/Materialausführ.

Material	Kunststoff
Grundfarbe	Weiss
Dimmeffekt	

#### Gewichte

Artikelgewicht / kg netto	0,07
Artikel mit Verpackung / kg	0,13

#### Energieeffizienz

Kategorie	F
-----------	---

#### Verschiedenes

Typ	Keine Angabe
Kabellänge	Keine Angabe
Höhenverstellbar	Nein
Inkl. Leuchtmittel	

Inkl. Batterie	Nein
Inkl. Dimmschalter	
Inkl. Bridge	



Ausstellungsdatum: 20.05.2021

Signify GmbH

Technische Anforderungen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden.

Die Marken sind Eigentum der Signify GmbH oder der jeweiligen Firmen.

## B.1 Phillips Hue Bridge Datenblatt



# Kabellose Beleuchtung

Die Hue Bridge, das „Gehirn“ des intelligenten Philips Hue-Beleuchtungssystems, ermöglicht das Hinzufügen und die Steuerung von bis zu 50 Leuchten und Zubehörteilen. Stecke diese einfach ein, und steuere mit der Hue-App Routinen, Timer, eigene Lichtszenarien und mehr.

### Unbegrenzte Möglichkeiten

- Steuerung der intelligenten Leuchten von unterwegs aus
- Anschluss von bis zu 50 intelligenten Leuchten
- Immer aktuell
- Intelligente Heimautomatisierungszentrale: Hue Bridge
- Hinzufügen intelligenter Schalter und Sensoren und mehr
- Steuere die Leuchten mit Deiner Stimme

## Besonderheiten

### Fernsteuerung



Verbinde Deine intelligenten Leuchten mit der Hue Bridge, und lade die Hue-App herunter, um sicherzustellen, dass Dein Heim immer korrekt beleuchtet ist, egal, wo Du gerade bist. Richte in der App Lichtroutinen ein, die die Beleuchtung zu bestimmten Zeiten einschalten, um den Eindruck zu erwecken, dass Du zu Hause wärst.

### Anschluss von bis zu 50 intelligenten Leuchten



Die Hue Bridge ermöglicht den Anschluss von bis zu 50 Leuchten. So kannst Du das gesamte Haus – innen und außen – ausstatten und alles mit einer einzigen App steuern.

### Immer aktuell



Philips Hue verwendet ZigBee, eine sichere und zuverlässige Niedrigenergie-Technologie, für die Steuerung der intelligenten Leuchten. Alle neuen Funktionen und Verbesserungen des Systems werden automatisch zur Aktualisierung der intelligenten Hue-Leuchten übernommen.

### Die Hue Bridge



Die Hue Bridge ist ein essentieller Bestandteil jedes intelligenten Philips Hue-Beleuchtungssystems. Sie ist das „Gehirn“ der Bedienung und kommuniziert mit den intelligenten Leuchten und der Hue-App, um sicherzustellen, dass alles gut zusammenwirkt. Dazu ermöglicht sie intelligente Automatisierungsfunktionen wie die Planung von Routinen und Timern.

### Hinzufügen intelligenter Schalter und Sensoren



Erweitere Dein intelligentes Hue-Beleuchtungssystem mit Zubehörteilen, etwa mit intelligenten Dimmschaltern und Bewegungssensoren. Verbinde bis zu 12 Zubehörteile über eine Hue Bridge und automatisiere Dein Heim vollständig.

### Steuerung mit der Stimme



Bei Anschluss an die Hue Bridge können die Leuchten mit Alexa, Apple HomeKit und dem Google Assistant verbunden werden, so dass sie per Stimme gesteuert werden können. Einfache Sprachbefehle schalten dann die Leuchten ein und aus, dimmen sie oder machen sie heller – selbst eine Lichtszene kann so eingerichtet werden.

## Daten

### Umweltschutz

- Luftfeuchtigkeit für Betrieb: 0 % <math><H<80\%</math> (nicht kondensierend)
- Betriebstemperatur: 0 bis 40 °C

### Zusatzfunktion/Zubehör im Lieferumfang enthalten

- Inklusive Netzteil: Ja

## B.3 Fortsetzung B.2

8718696511800

### Garantie

- 2 Jahre: Ja

### Service

- Garantie: 2 Jahr(e)

### Technische Daten

- Hue Bridge: Frequenzbereich: 2.400 bis 2.483,5 MHz
- Gewicht: 280

### Hue Bridge

- Durchmesser: 88 mm
- Frequenzband: 2400–2483.5 MHz
- Höhe: 26 mm
- Länge x Breite: 90.9 x 90.6 mm
- Max. Anzahl von Zubehör: 10
- Max. Anzahl Lampen: 50
- Montageoptionen: Desktop, Wandleuchte
- Netzteil: 100 bis 240 V Wechselstrom, 50 bis 60 Hz, Ausgangsspannung: 5 V DC, 600 mA, Standby-Stromverbrauch: max. 0,1 W
- Stromverbrauch: 250mA max

### Was ist in der Verpackung?

- Hue Bridge: 1
- Ethernet-Netzwerkkabel: 1
- Netzteil: 1

### Was unterstützt wird

- Philips Hue App: iOS 13 und höher, Android 8.0 und höher
- Sprachassistenten: Amazon Alexa, Google Assistant, Apple HomeKit (Über Hue Bridge), Microsoft Cortana (Über Hue Bridge)

### Packmaße und Gewicht

- EAN/UPC - Produkt: 8718696511800
- Nettogewicht: 0.280 kg
- Bruttogewicht: 0.392 kg
- Höhe: 16.500 cm
- Länge: 7.500 cm
- Breite: 17.600 cm
- Materialnummer (12NC): 929001180601



Ausstellungsdatum:  
2021-09-01  
Version: 0.713

© 2021 Signify Holding. Alle Rechte vorbehalten. Signify gibt keine Zusicherungen und übernimmt keine Garantie bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit der in diesem Dokument enthaltenen Informationen und haftet nicht für Handlungen, die im Vertrauen darauf ausgeführt werden. Die in diesem Dokument vorgestellten Informationen sind, sofern keine anderslautende Vereinbarung mit Signify besteht, nicht als kommerzielles Angebot gedacht und sind nicht Teil eines Angebots oder Vertrags. Philips und das Philips Schildsymbol sind eingetragene Warenzeichen der Koninklijke Philips N.V.

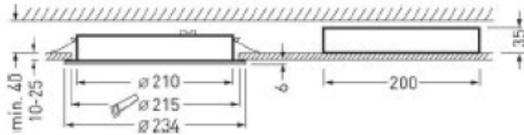
[www.lighting.philips.com](http://www.lighting.philips.com)

## C.1 Trilux Inplana Act C07 Datenblatt



InplanaAct C07 OTA25 2000 ETDD8 01

TOC: 7933862



### Produktmerkmale und Kenndaten

Leuchtentyp	LED-Downlight für Decken mit einem Hohlraummaß $\geq 36$ mm.		
Leuchtmittel	Mit Active-LED System zur Steuerung der Lichtfarbe.		
Montageart	Einbau		
LED-System	HCL-Channel 1	HCL-Channel 2	HCL-MAX
Anschlussleistung	18 W	18 W	18 W
Leistungsfaktor	0,95		
Farbtemperatur	2.700 K	6.500 K	4.000 K
Bemessungslichtstrom	1.900 lm	2.100 lm	2.100 lm
Lichtausbeute	105 lm/W	116 lm/W	116 lm/W
LED-Lebensdauer	L80 (25 °C) = 70.000 h L85 (25 °C) = 50.000 h		
Farbwiedergabeindex	80		
Farbtoleranz	3 SDCM		
Photobiologische Klasse	Gruppe 1 - geringes Risiko		
Leuchtenfarbe	RAL9016 Verkehrsweiß		
Leuchtenkörper	Leuchtenkörper aus Aluminiumdruckguss.		
Elektrische Ausführung	Mit elektronischem Betriebsgerät zum schalten, dimmen und steuern der Lichtfarbe mittels DALI Device Type 8 fähigem Steuergerät.		
DALI-2-Standard EN 62386	Ja		
Anschlussart	Steckklemme		
Dimmbereich	1 - 100 %		
Bemessungsfrequenz	50/60 Hz		
Bemessungsspannung	220 - 240 V		
Klirrfaktor (THD) < %	10 %		
Schutzart	IP20		
Schutzart Raumseitig	IP54		
Schutzklasse	I		
Schlagfestigkeit IK	IK06		
Glühdrahtbeständigkeit	650 °C		
Umgebungstemperatur	-20 - 25 °C		
Max. Leuchten an B10	10		
Max. Leuchten an B16	16		
Max. Leuchten an C10	16		
Max. Leuchten an C16	26		
Höhe-Netto	42 mm		
Außendurchmesser	234 mm		
Einbauhöhe	36 mm		
Gewicht	1,1 kg		
Einbaudurchmesser	215 mm		

## Anbauleuchte

VIVAA 2.0 VTL C/W 450 D16192000-00810913

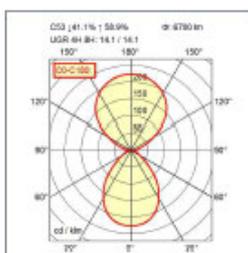
**Waldmann** **W**  
ENGINEER OF LIGHT.



**Derungs** **D**  
LIGHT FOR PEOPLE

<b>Bestückung</b>	6 x LED-Modul - Energieeffizienzklasse A+
<b>Farbwiedergabe (Ra)</b>	> 90, R9 > 50
<b>Farbtemperatur</b>	2700 - 6500 K
<b>Betriebgerät</b>	Elektronischer Konverter
<b>Anschlusswerte</b>	220-240 V; 50-60 Hz
<b>Netzanschlussleitung</b>	Festanschluss
<b>Leuchtengehäuse</b>	Aluminium
<b>Gewicht (netto)</b>	5.5 kg
<b>Leistungsaufnahme</b>	61 W
<b>Leuchtenlichtstrom</b>	6700 lm
<b>Leuchtenlichtausbeute</b>	120 lm/W
<b>Lampenabdeckung</b>	Acryl (PMMA), satine einzeln schaltbar, stufenlos dimmbar
<b>Schutzklasse</b>	I
<b>Zubehör</b>	Casambi Modul
<b>Normen</b>	EN 60598-1
<b>Raumhöhe</b>	270 - 420 cm, Deckenabstand 50 - 200 cm
<b>Besonderheiten</b>	Bildschirmtauglichkeit nach EN 12464-1, DALI Last 2x
<b>Befestigung</b>	Deckenbefestigung, Wandbefestigung
<b>Entblendung</b>	Mikroprismen
<b>Schutzart</b>	IP 20
<b>Bestell-Nr.</b>	D16192000 - reinweiß

### Lichtverteilung



E.1 Leuchtmittel Arten laut DIN/TS 5031-100:2021 mit altersbedingten Korrekturfaktoren, und MDER.

**Tabelle D.1 — Melanopischer Tageslicht-Effizienzfaktor (MDER), melanopischer Wirkungsfaktor und Korrekturfaktoren für die altersabhängige Linsentransmission bei verschiedenen Lichtarten nach DIN 5033-7 und CIE 15:2018**

Lichtart	$Y_{\text{mel, v, D65}}$ (MDER)	$a_{\text{mel, v}}$	$k_{\text{mel, trans}}$ (25)	$k_{\text{mel, trans}}$ (32)	$k_{\text{mel, trans}}$ (50)	$k_{\text{mel, trans}}$ (75)	$k_{\text{mel, trans}}$ (90)
Normlichtart A (Glühlampe, $T_{\text{cp}} = 2\,856\text{ K}$ )	0,496	0,449	1,042	1,000	0,863	0,646	0,523
Normlichtart D65 (Tageslicht, $T_{\text{cp}} = 6\,500\text{ K}$ )	1,000	0,906	1,052	1,000	0,835	0,589	0,457
Lichtart B (Sonnenlicht, $T_{\text{cp}} = 4\,865\text{ K}$ )	0,840	0,761	1,050	1,000	0,841	0,599	0,469
Lichtart D50 (Tageslicht $T_{\text{cp}} = 5\,000\text{ K}$ )	0,848	0,768	1,049	1,000	0,843	0,604	0,475
Lichtart D55 (Tageslicht $T_{\text{cp}} = 5\,500\text{ K}$ )	0,904	0,819	1,050	1,000	0,840	0,598	0,468
Lichtart D75 (Tageslicht $T_{\text{cp}} = 7\,500\text{ K}$ )	1,076	0,975	1,053	1,000	0,832	0,582	0,449
Lichtart F10, nach CIE (FL, $T_{\text{cp}} = 5\,000\text{ K}$ )	0,683	0,619	1,052	1,000	0,836	0,594	0,466
Lichtart F11, nach CIE (FL, $T_{\text{cp}} = 4\,000\text{ K}$ )	0,562	0,510	1,050	1,000	0,842	0,608	0,484
Lichtart F12, nach CIE (FL, $T_{\text{cp}} = 3\,000\text{ K}$ )	0,404	0,366	1,045	1,000	0,857	0,641	0,523
Lichtart G, $T_{\text{cp}} = 2\,362\text{ K}$ (Vakuum-Glühlicht)	0,383	0,347	1,039	1,000	0,873	0,666	0,547
Lichtart P, $T_{\text{cp}} = 1\,900\text{ K}$ (Petroleum/Kerzenlicht)	0,267	0,242	1,035	1,000	0,884	0,693	0,578
Lichtart Xe, $T_{\text{cp}} = 5\,896\text{ K}$ (Xenonlicht)	0,971	0,880	1,052	1,000	0,834	0,586	0,454
Berechnung nach 3.3 und 3.8.2 unter Zugrundelegung des Wirkungsspektrums nach Tabelle 6 in 4.3 und der typischen spektralen Verteilungen dieser Lichtquellen (siehe Tabelle A.1). Die Werte für LED-B1 bis LED-B5 beziehen sich auf spektrale Verteilungen, welche in CIE 15:2018, Tabelle 12.1 als Lichtarten für typische weiße LED definiert wurden							

E.2 Fortsetzung von E.1

**Tabelle D.2 — Melanopischer Tageslicht-Effizienzfaktor (MDER), melanopischer Wirkungsfaktor und Korrekturfaktoren für die altersabhängige Linsentransmission bei verschiedenen modernen Lichtquellen**

Lichtart	$Y_{\text{mel, v, D65}}$ (MDER)	$a_{\text{mel, v}}$	$k_{\text{mel, trans}}$ (25)	$k_{\text{mel, trans}}$ (32)	$k_{\text{mel, trans}}$ (50)	$k_{\text{mel, trans}}$ (75)	$k_{\text{mel, trans}}$ (90)
LED, weiß ( $T_{\text{cp}} = 2\,700\text{ K}$ ) (siehe Anhang A)	0,395	0,358	1,042	1,000	0,862	0,646	0,525
LED, weiß ( $T_{\text{cp}} = 3\,075\text{ K}$ ) (siehe Anhang A)	0,427	0,387	1,044	1,000	0,857	0,634	0,510
LED, weiß ( $T_{\text{cp}} = 4\,250\text{ K}$ ) (siehe Anhang A)	0,738	0,669	1,047	1,000	0,845	0,603	0,470
LED, weiß ( $T_{\text{cp}} = 5\,400\text{ K}$ ) (siehe Anhang A)	0,787	0,713	1,052	1,000	0,833	0,580	0,447
LED, weiß ( $T_{\text{cp}} = 6\,535\text{ K}$ ) (siehe Anhang A)	0,800	0,725	1,054	1,000	0,829	0,578	0,448
Leuchtstofflampe, weiß ( $T_{\text{cp}} = 8\,000\text{ K}$ )	0,957	0,867	1,055	1,000	0,825	0,569	0,437
Leuchtstofflampe, weiß ( $T_{\text{cp}} = 13\,650\text{ K}$ )	1,108	1,004	1,059	1,000	0,813	0,546	0,411
LED-B1, nach CIE ( $T_{\text{cp}} = 2\,735\text{ K}$ , $R_{\text{a}} = 82$ )	0,406	0,368	1,043	1,000	0,861	0,643	0,521
LED-B2, nach CIE ( $T_{\text{cp}} = 2\,998\text{ K}$ , $R_{\text{a}} = 83$ )	0,458	0,415	1,044	1,000	0,857	0,633	0,510
LED-B3, nach CIE ( $T_{\text{cp}} = 4\,103\text{ K}$ , $R_{\text{a}} = 85$ )	0,632	0,573	1,048	1,000	0,845	0,609	0,482
LED-B4, nach CIE ( $T_{\text{cp}} = 5\,108\text{ K}$ , $R_{\text{a}} = 77$ )	0,690	0,625	1,052	1,000	0,834	0,588	0,459
LED-B5, nach CIE ( $T_{\text{cp}} = 6\,596\text{ K}$ , $R_{\text{a}} = 80$ )	0,855	0,775	1,054	1,000	0,829	0,575	0,442

Berechnung nach 3.3 und 3.8.2 unter Zugrundelegung des Wirkungsspektrums nach Tabelle 6 in 4.3 und der typischen spektralen Verteilungen dieser Lichtquellen (siehe Tabelle A.1). Die Werte für LED-B1 bis LED-B5 beziehen sich auf spektrale Verteilungen, welche in CIE 15:2018, Tabelle 12.1 als Lichtarten für typische weiße LED definiert wurden

F.1 Beleuchtungsrichtlinien im Gesundheitswesen nach ASR A3.4

<b>28 Gesundheitseinrichtungen</b>				
28.1	Flure: während des Tages	200	80	Zur Durchführung der medizinischen Behandlung können höhere Werte erforderlich sein.
28.2	Flure: während der Nacht	50	80	
28.3	Allgemeinbeleuchtung ohne regelmäßigen Aufenthalt von Beschäftigten	200	80	
28.4	Nachtbeleuchtung, Übersichtsbeleuchtung in nicht regelmäßig begangenen Bereichen	5	80	
28.5	risikoarme medizinische oder pflegerische Tätigkeiten ohne Kontakt zu Körperflüssigkeiten, Körperausscheidungen oder kontaminierten Gegenständen	300	90	
28.6	bei medizinischen oder pflegerischen Tätigkeiten mit erhöhtem Gefährdungspotential durch Umgang mit - Körperflüssigkeiten, Körperausscheidungen oder kontaminierten Gegenständen oder - mit spitzen, scharfen, sich bewegenden oder heißen Instrumenten	500	90	
28.7	Teilfläche für medizinische oder pflegerische Tätigkeiten mit erhöhtem Gefährdungspotential durch Umgang mit - Körperflüssigkeiten, Körperausscheidungen oder kontaminierten Gegenständen oder - mit spitzen, scharfen, sich bewegenden oder heißen Instrumenten	1000	90	
28.8	Überwachung von Patienten in der Nacht	50	90	
28.9	Bildgebende Diagnostik mit Bildverstärkern und Fernsehsystemen	50	80	
28.10	Medizinische Bäder	300	80	
28.11	Massage und Strahlentherapie	300	80	
28.12	Instrumentenaufbereitung	500	80	
28.13	Laboratorien für den Gesundheitsdienst	500	90	
28.14	Dienstzimmer	500	80	

Dargestellt werden die jeweiligen Beleuchtungsstärken in Lux (dritte Spalte) und der Farbwiedergabewert in Ra (vierte Spalte)

<b>NTAG213/215/216</b>
<b>NFC Forum Type 2 Tag compliant IC with 144/504/888 bytes user memory</b>
Rev. 3.2 — 2 June 2015
265332
Product data sheet COMPANY PUBLIC

## 1. General description

---

NTAG213, NTAG215 and NTAG216 have been developed by NXP Semiconductors as standard NFC tag ICs to be used in mass market applications such as retail, gaming and consumer electronics, in combination with NFC devices or NFC compliant Proximity Coupling Devices. NTAG213, NTAG215 and NTAG216 (from now on, generally called NTAG21x) are designed to fully comply to NFC Forum Type 2 Tag ([Ref. 2](#)) and ISO/IEC14443 Type A ([Ref. 1](#)) specifications.

Target applications include Out-of-Home and print media smart advertisement, SoLoMo applications, product authentication, NFC shelf labels, mobile companion tags.

Target use cases include Out-of-Home smart advertisement, product authentication, mobile companion tags, Bluetooth or Wi-Fi pairing, electronic shelf labels and business cards. NTAG21x memory can also be segmented to implement multiple applications at the same time.

Thanks to the high input capacitance, NTAG21x tag ICs are particularly tailored for applications requiring small footprints, without compromise on performance. Small NFC tags can be more easily embedded into e.g. product labels or electronic devices.

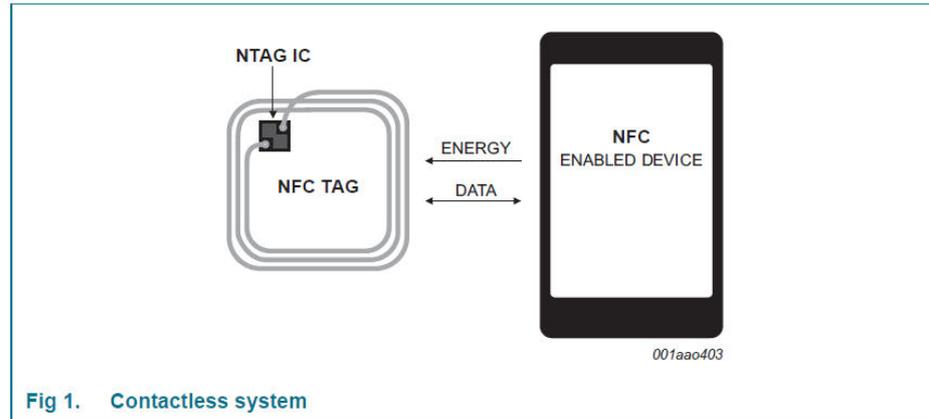
The mechanical and electrical specifications of NTAG21x are tailored to meet the requirements of inlay and tag manufacturers.

### 1.1 Contactless energy and data transfer

Communication to NTAG21x can be established only when the IC is connected to an antenna. Form and specification of the coil is out of scope of this document.

When NTAG21x is positioned in the RF field, the high speed RF communication interface allows the transmission of the data with a baud rate of 106 kbit/s.





## 1.2 Simple deployment and user convenience

NTAG21x offers specific features designed to improve integration and user convenience:

- The fast read capability allows to scan the complete NDEF message with only one FAST\_READ command, thus reducing the overhead in high throughput production environments
- The improved RF performance allows for more flexibility in the choice of shape, dimension and materials
- The option for 75  $\mu\text{m}$  IC thickness enables the manufacturing of ultrathin tags, for a more convenient integration in e.g. magazines or gaming cards.

## 1.3 Security

- Manufacturer programmed 7-byte UID for each device
- Pre-programmed Capability container with one time programmable bits
- Field programmable read-only locking function
- ECC based originality signature
- 32-bit password protection to prevent unauthorized memory operations

## 1.4 NFC Forum Tag 2 Type compliance

NTAG21x IC provides full compliance to the NFC Forum Tag 2 Type technical specification (see [Ref. 2](#)) and enables NDEF data structure configurations (see [Ref. 3](#)).

## 1.5 Anticollision

An intelligent anticollision function allows to operate more than one tag in the field simultaneously. The anticollision algorithm selects each tag individually and ensures that the execution of a transaction with a selected tag is performed correctly without interference from another tag in the field.

# Literaturverzeichnis

- [1] Collaborators, COVID-19 Mental Disorders, „Global prevalence and burden of depressive and anxiety disorders in 204 countries and territories in 2020 due to the COVID-19 pandemic“, *The Lancet*, pp. 1700-1712, 8 Oktober 2021.
- [2] Licht.de, „Was ist Licht?“, [Online]. Available: <https://www.licht.de/de/grundlagen/ueber-licht/was-ist-licht>. [Zugriff am 23 Mai 2022].
- [3] O. C. J. T. H. e. a. Gilles Vandewalle, „National Library of Medicine“, 16 Juli 2013. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4497579/>. [Zugriff am 21 Juni 2022].
- [4] S. Bühler, „Metamerie“, Bechtle Verlag&Druck, 25 Juni 2018. [Online]. Available: <https://blog.dierotationsdrucker.de/metamerie/>. [Zugriff am 3 Juni 2022].
- [5] (ASTA), Ausschuss für Arbeitsstätten, ASR A3.4 Technische Regeln für Arbeitsstätten-Beleuchtung, Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2022.
- [6] Bundesministerium für Justiz, „Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung-ArbStättV)“, 2020. [Online]. Available: [https://www.gesetze-im-internet.de/arbst\\_ttv\\_2004/BJNR217910004.html](https://www.gesetze-im-internet.de/arbst_ttv_2004/BJNR217910004.html). [Zugriff am 27 Juni 2022].
- [7] S. W. F. S. Agnes Lachner, „Biodynamische Beleuchtung - Die Wirkung von Licht auf den Menschen in Hinblick auf anwendungsspezifische Umsetzungen biologisch wirksamer Beleuchtung in der Praxis“, *innteract*, 5 September 2018.
- [8] S. K. Stefan Gasser, „Intelligente Beleuchtung spart 85 % Strom“, 13 Dezember 2021. [Online]. Available: <https://www.gebaeudetechnik.ch/strom-energie/licht/intelligente-beleuchtung-spart-85-strom/>, gebaedetechnik.ch. [Zugriff am 21 Juni 2022].
- [9] Trilux.com, „Melanopische Wirksamkeit des Lichtes“, [Online]. Available: <https://www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/innenraumbeleuchtung/weitere-kriterien-der-beleuchtung/licht-und-nicht-visuelle-wirkungen/melanopische-wirksamkeit-des-lichtes/>. [Zugriff am 7 Juni 2022].
- [10] National Institute of General Medical Sciences, „Circadian Rhythms“, [Online]. Available: <https://www.nigms.nih.gov/education/fact-sheets/Pages/circadian-rhythms.aspx>. [Zugriff am 2022 Juni 6].
- [11] DIN e.V, „DIN/TS 67600:2021-10“, in *Ergänzende Kriterien für die Lichtplanung und Lichtanwendung in*, Berlin, Beuth Verlag, 2021, p. 30.
- [12] G. C. B. C. C. A. C. J. P. S. W. L. e. a. Timothy M. Brown, „Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults“, *PLOS Biology*, Nr. 20(3), 2022.

- [13] A. Hoferichter, „Sind Sie eher der Morgen-, Abend- oder Mischtyp? Schlafmediziner unterscheiden beim Schlaf des Menschen drei sogenannte Chronotypen. Ein Überblick,“ GEO, 14 November 2018. [Online]. Available: <https://www.geo.de/magazine/geo-wissen-gesundheit/19916-rtkl-innere-uhr-was-der-chronotyp-fuer-unser-leben-bedeutet>. [Zugriff am 1 Juli 2022].
- [14] DIN e.V, „DIN/TS 5031-100:2021-11,“ in *DIN 5031-100:2021-11 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen - Größen, Symbole und Wirkungsspektren*, Berlin, Beuth-Verlag, 2021, p. 27.
- [15] Xal.com, „Wirk- und Korrekturfaktoren für biologisch wirksame Beleuchtung,“ Xal, [Online]. Available: <https://www.xal.com/de/know-how/wirk-und-korrekturfaktoren/>. [Zugriff am 20 Juni 2022].
- [16] DIN e.V, „DIN/TS 5031-100:2021-11,“ in *DIN/TS 5031-100:2021-11 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Symbole und Wirkungsspektren*, Berlin, Beuth-Verlag, 2021, p. 12.
- [17] DIN e.V, „DIN/TS 5031-100:2021-11,“ in *DIN/TS 5031-100:2021-11 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Symbole und Wirkungsspektren*, Berlin, Beuth-Verlag, 2021, p. 18.
- [18] Licht.de, „Sehen im Alter,“ [Online]. Available: <https://www.licht.de/de/grundlagen/ueber-licht/sehen-im-alter>. [Zugriff am 28 Juni 2022].
- [19] Philips Electronics N.V, „HealWell - A new lighting solution for patient rooms,“ Dezember 2011. [Online]. Available: [https://www.lighting.philips.com/b-dam/b2b-li/en\\_AA/systems/healwell/healwell-brochure-int.pdf](https://www.lighting.philips.com/b-dam/b2b-li/en_AA/systems/healwell/healwell-brochure-int.pdf). [Zugriff am 25 Mai 2022].
- [20] Philips Lighting, „Philips Lighting brightens year’s darkest day with next generation of human-centric lighting for hospital patient rooms,“ 21 Dezember 2016. [Online]. Available: <https://www.signify.com/global/our-company/news/press-release-archive/2016/20161221-philips-lighting-brightens-years-darkest-day-with-next-generation-of-human-centric-lighting-for-hospital-patient-rooms>. [Zugriff am 2 Juni 2022].
- [21] LINKSrechts GmbH, „Innovations in Lighting Technology: HCL&LiFi,“ LINKSrechts GmbH, Hamburg, 2019.
- [22] Trilux.com, „Human Centric Lighting macht Schule,“ Trilux GmbH & Co. KG, [Online]. Available: <https://www.trilux.com/de/blog/hcl-schule-schweiz/>. [Zugriff am 2 Juni 2022].
- [23] C. Wüthrich, „Es werde Licht – aber richtig!,“ 28 September 2020. [Online]. Available: <https://wuethrich.eu/de/2020/09/28/es-werde-licht-aber-richtig/>. [Zugriff am 3 Juni 2022].
- [24] N. Wessolowski, *Wirksamkeit von Dynamischem Licht im Schulunterricht*, Hamburg: SUB Hamburg, 2014.

- [25] gluehbirne.de, „So funktionieren LED Lampen,“ [Online]. Available: <https://www.gluehbirne.de/led-ratgeber-funktionsweise-led-lampen>. [Zugriff am 25 Mai 2022].
- [26] J. Plate, „Lampen, Lumen, Lux, Watt und Kelvin,“ [Online]. Available: <http://www.netzmafia.de/skripten/hardware/Licht/>. [Zugriff am 25 Mai 2022].
- [27] F.-O. Grün, „Philips Hue und Osram Lightify im Vergleich,“ digitalzimmer, 11 Januar 2015. [Online]. Available: <https://www.digitalzimmer.de/artikel/test/philips-hue-und-osram-lightify-im-vergleich/4/>. [Zugriff am 25 Mai 2022].
- [28] I. Petrinska, „Investigation of the Color Rendering of LED Luminaires for Human Centric Lighting,“ IEEE, Gabrovo, Bulgaria, 2021.
- [29] Digi-Key.ch, „Any Color, As Long As It’s White – Could TM-30 Be the Unambiguous Color-Quality Metric We Need?,“ 6 September 2016. [Online]. Available: <https://www.digikey.ch/de/articles/any-color-as-long-as-its-white-could-tm-30>. [Zugriff am 29 Juni 2022].
- [30] H. Bernstädt, „Farbwiedergabe: TM-30-15, CRI und Co.,“ Production Partner, [Online]. Available: <https://www.production-partner.de/basics/farbwiedergabe-tm-30-15-cri-und-co/>. [Zugriff am 29 Juni 2022].
- [31] T. Reichelt, „IES TM-30-15 Neuer Standard zur Farbwiedergabe-Bestimmung,“ LEDclusive, 10 April 2016. [Online]. Available: <https://www.ledclusive.de/blog/ies-tm-30-15-farbwiedergabeindex-rf-rg/>. [Zugriff am 29 Juni 2022].
- [32] DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, „DIN EN 62471,“ in *Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (IEC 62471:2006, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62471:2008*, Berlin, Beuth-Verlag, 2009.
- [33] C. Schierz, „Blaulichtschädigung der Augen-Netzhaut – Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse,“ 2018. [Online]. Available: [https://www.tu-ilmeneau.de/fileadmin/Bereiche/MB/lichttechnik/Literatur/2018/LICHT2018\\_Schierz\\_Christoph\\_Langfassung.pdf](https://www.tu-ilmeneau.de/fileadmin/Bereiche/MB/lichttechnik/Literatur/2018/LICHT2018_Schierz_Christoph_Langfassung.pdf). [Zugriff am 1 Juli 2022].
- [34] D. A. Sokolov, „5G der Deutschen Telekom jetzt auch auf 700-MHz-Frequenzen,“ heise.de, 8 Juni 2022. [Online]. Available: <https://www.heise.de/news/5G-der-Deutschen-Telekom-jetzt-auch-auf-700-MHz-Frequenzen-7135129.html>. [Zugriff am 4 Juni 2022].
- [35] Internationale Organisation für Normung, „ISO/IEC 18000-1:2008,“ in *Information technology — Radio frequency identification for item management — Part 1: Reference architecture and definition of parameters to be standardized*, Genf, British Standards Institution, 2008.
- [36] Telecommunications and information exchange between systems, „ISO/IEC 18092:2013,“ in *Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Near Field Communication — Interface and Protocol (NFCIP-1)*, Genf, ISO, 2013.
- [37] M. R. Josef Langer, *Anwendung und Technik von Near Field Communication (NFC)*, Berlin: Springer-Verlag, 2010, p. 22.

- [38] NXP Semiconductors, „NTAG213/215/216,“ 2 Juni 2015. [Online]. Available: [https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/NTAG213\\_215\\_216.pdf](https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/NTAG213_215_216.pdf). [Zugriff am 4 Juli 2022].
- [39] R. Minihold, „Near Field Communication (NFC) Technology and Measurements,“ Juni 2011. [Online]. Available: [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma182/1MA182\\_5E\\_NFC\\_WHITE\\_PAPER.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma182/1MA182_5E_NFC_WHITE_PAPER.pdf). [Zugriff am 4 Juli 2022].
- [40] M. R. Josef Langer, „3.4 Übertragungsprotokolle,“ in *Anwendung und Technik von Near Field Communication (NFC)*, Springer-Verlag, 2010, pp. 52-54.
- [41] WSH GmbH, „Die Casambi Lichtsteuerung,“ [Online]. Available: <https://www.wirsindheller.de/datenblaetter/Lichtsteuerung/Casambi/WSH-Lichtsteuerung-Casambi.pdf>. [Zugriff am 5 Juli 2022].
- [42] TRILUX GmbH & Co. KG, „Systemhandbuch LiveLink,“ [Online]. Available: [https://www.trilux.com/fileadmin/Downloads/LiveLink/LiveLink\\_Systemhandbuch\\_10140332.pdf](https://www.trilux.com/fileadmin/Downloads/LiveLink/LiveLink_Systemhandbuch_10140332.pdf). [Zugriff am 8 Juli 2022].
- [43] R. K. Markus Krauß, *Drahtlose ZigBee- Netzwerke*, Wiesbaden: Springer-Vieweg, 2014.
- [44] V. Rudresh, „ZigBee Security: Basics (Part 2),“ Kudelski Security Research, 8 November 2022. [Online]. Available: <https://research.kudelskisecurity.com/2017/11/08/zigbee-security-basics-part-2/>. [Zugriff am 8 Juli 2022].
- [45] F.-O. Grün, „Drahtlose Lichtsysteme: Die Funkstandards im Vergleich,“ digitalzimmer, 31 März 2018. [Online]. Available: <https://www.digitalzimmer.de/artikel/wissen/drahtlose-lichtsysteme-funkstandards-vergleich/>. [Zugriff am 8 Juni 2022].
- [46] ZigBee Alliance, „ZigBee Health Care,“ 2010. [Online]. Available: [https://davidhoglund.typepad.com/files/105619r00zb\\_zhc\\_ptg-zigbee\\_health\\_care\\_profile\\_1.0\\_public.pdf](https://davidhoglund.typepad.com/files/105619r00zb_zhc_ptg-zigbee_health_care_profile_1.0_public.pdf). [Zugriff am 10 Juli 2022].
- [47] „Patientensicherheit, Komfort und Zuverlässigkeit stehen bei uns an erster Stelle,“ SATO Europe GmbH, [Online]. Available: <https://www.satoeurope.com/de/products/wristbands.php>. [Zugriff am 10 Juli 2022].
- [48] Sato Holdings Corporation, „Patientenidentifikation und -Tracking,“ 28 Juli 2021. [Online]. Available: <https://www.satoeurope.com/de/pdf/products/consumables/sato-rfid-line-wristband-datasheet.pdf>. [Zugriff am 19 Juli 2022].

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Lichtspektrum [2] .....	10
Abbildung 2: Beispiel für den Effekt der Metamerie [4] .....	12
Abbildung 3: Melanopischer Wirkungsbereich im menschlichen Sichtfeld [9].....	15
Abbildung 4: Beispiel eines zirkadianen Rhythmus bei einem Teenager [10] .....	16
Abbildung 5: Differenz zwischen fotopischer und melanopischer Sensibilität [15].....	18
Abbildung 6: Näherungsweise Korrekturfaktor für altersabhängige Linsentransmission [17].....	19
Abbildung 7: Korrekturfaktor für altersabhängige Pupillenverkleinerung [17] .....	19
Abbildung 8: Fallstudie HealWell [19] .....	25
Abbildung 9: Patientenzimmer bei Tag [20].....	26
Abbildung 10: Patientenzimmer am Abend [20].....	27
Abbildung 11: HCL Lichtdynamik der Tagschicht [21] .....	28
Abbildung 12: Lichtdynamik der Nachtschicht. [21] .....	28
Abbildung 13: Schematischer Lichtplan des Schiffs [21] .....	29
Abbildung 14: Klassenraum am Morgen mit warmem Licht [23] .....	30
Abbildung 15: Klassenraum mit kühlem Licht zur Mittagszeit [23].....	30
Abbildung 16: Spektren verschiedener Lichtquellen [26] .....	32
Abbildung 17: 3D Farbraum CIECAM02-UCS [29] .....	34
Abbildung 18: Rf (Fidelity Index) und Rg (Gamut Index) in einem Diagramm [31].....	35
Abbildung 19: Prinzipieller Aufbau gekoppelter RFID- und NFC Systeme [37] .....	39
Abbildung 20: NFC Tools App mit ausgelesenem Tag .....	40
Abbildung 21: Blockschaltbild des NTAG215 [38] .....	42
Abbildung 22: EEPROM Struktur des NTAG 215 [38] .....	43
Abbildung 23: Beispiele von Leitungscodes [39] .....	43
Abbildung 24: TRILUX HCL Kurve [42] .....	45
Abbildung 25: Beispiel eines NFC Patientenarmbands von Sato [47] .....	49
Abbildung 26: Anwendungen von RFID Armbändern im medizinischen Bereich [48].....	49