

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit/Diplomarbeit/Dissertation identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis/diploma thesis/doctoral dissertation.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Die Technische Universität Graz übernimmt mit der Betreuung und Bewertung einer Masterarbeit keine Haftung für die erarbeiteten Ergebnisse: Eine positive Bewertung und Anerkennung (Approbation) einer Arbeit bescheinigt nicht notwendigerweise die vollständige Richtigkeit der Ergebnisse.

Danksagung

Der wohl größte Dank gilt meiner Familie, weshalb ich mich ganz besonders bei meinen Eltern, Astrid und Richard, sowie meinem Bruder Richard bedanken möchte. Sie haben nie an mir oder der Wahl meines Studiums gezweifelt und mich immer tatkräftig unterstützt. Noch einer weiteren Person, die ich mittlerweile zu meiner Familie zähle, möchte ich danken, meinem Freund Dominik. Er hat mich vor allem in den schweren Zeiten der letzten Phase des Studiums begleitet und immer wieder aufgebaut.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Maria und Karl-Heinz, die mir im Laufe meines Studiums immer wieder aus schwierigen Situationen geholfen haben und hilfsbereit waren.

Zum Schluss möchte ich mich noch bei meinen Freunden bedanken. Ganz besonders bei Claudia und Regina, die ganz egal zu welcher Tages- oder Nachtzeit die eine oder andere Krise mit mir ausgestanden haben.

Ich möchte mich also bei allen Personen bedanken, die für mich da waren, als ich sie gebraucht habe, denn ohne sie wäre ich heute nicht da, wo ich bin.

Zusammenfassung / Abstract

Störbeeinflussung elektromedizinischer Geräte durch LED-Felder

Elektromedizinische Geräte (EMG) können durch verschiedenste Quellen gestört werden. Im Fokus dieser Arbeit standen optische Störquellen, welche Geräte, die mit Hilfe von optischen Sensoren Signale messen, beeinflussen könnten. Dazu sind im Labor fünf Pulsoximeter, zwei Infusionspumpen und ein Infrarot-Fieberthermometer getestet worden. Mit Hilfe eines Leistungsverstärkers konnte ein LED-Feld mit verschiedenen Pulsweitenverhältnissen und Frequenzen gedimmt werden. Es konnte gezeigt werden, dass bei Frequenzen im Bereich der Abtastfrequenz des EMG eine Beeinflussung möglich ist. Diese Beeinflussung konnte bei vier der untersuchten Pulsoximeter nachgewiesen werden.

Schlüsselwörter:

Störung durch LED, Pulsweitenmodulation (PWM), Modulationsfrequenz, Abtastfrequenz, Ausfall medizinischer Geräte

Influence on electro-medical devices caused by fields of light emitting diodes

Electro-medical devices (EMD) can be influenced in various ways. The focus of this thesis was aimed at optical disturbance sources that can affect devices which use optical sensors to measure biomedical signals. Measurements were conducted in a laboratory using five pulsoximeter, two infusion pumps and one infrared thermometer. A power amplifier was used to dim a LED field with various pulse width modulations (PWM) and frequencies. It could be shown that interference in EMD occurred when the frequency reached the sampling rate of the device. This influence was observed in four of the scrutinized pulsoximeters.

Keywords:

influence caused by LED, Pulse width modulation (PWM), modulation frequency, sampling rate, failure of medical devices

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	9
1.1 Begriffe der Beleuchtung	10
1.2 Begriffe aus der Lichttechnik	13
1.3 Aufbau und Prinzip	15
1.4 Betrieb	20
1.5 Dimmen	23
1.6 Vor- und Nachteile	27
2 Problemstellung	28
3 Methoden	29
3.1 Methoden der Literaturrecherche	29
3.2 Methoden der Laborversuche	32
3.2.1 Wellenlängenmessungen	32
3.2.2 Frequenzmessungen	32
3.2.3 Störversuche	33
4 Ergebnisse	36
4.1 Ergebnisse der Literaturrecherche	36
4.1.1 Marktübersicht	36
4.1.2 Störbeeinflussung	41
4.2 Ergebnisse der Laborversuche	48
4.2.1 Wellenlängenmessungen	48
4.2.2 Frequenzmessungen	51
4.2.3 Störversuche	56
5 Diskussion	64
6 Ausblick	68
7 Schlussfolgerung	69
8 Literaturverzeichnis	70
9 Anhang	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Elektromagnetisches Spektrum	10
Abbildung 1.2 Eye sensitivity function.....	11
Abbildung 1.3 Bändermodell eines n- & p- dotierten Halbleiters.....	15
Abbildung 1.4 Bändermodell eines pn-Übergangs	16
Abbildung 1.5 Aufbau einer LED	17
Abbildung 1.6 Prinzip additive Farbmischung.....	18
Abbildung 1.7 Additive Farbmischung	18
Abbildung 1.8 Lumineszenzkonversion	19
Abbildung 1.9 Kennlinien verschiedener Leuchtdioden	20
Abbildung 1.10 Dimm-Kurven.....	23
Abbildung 1.11 Phasen-, Phasenabschnitt.....	24
Abbildung 1.12 Pulsweitenmodulation	25
Abbildung 1.13 Unterschiedliche Helligkeit PWM vs. CCR.....	26
Abbildung 3.1 Versuchsaufbau.....	33
Abbildung 4.1 Spektren verschiedener Leuchtmittel ohne Hintergrundbeleuchtung.	48
Abbildung 4.2 Spektren verschiedener Leuchtmittel mit Hintergrundbeleuchtung	49
Abbildung 4.3 Spektrum des LED-Feldes mit und ohne Abdeckung	49
Abbildung 4.4 Spektren der Sensoren der Infusionspumpen.....	50
Abbildung 4.5 Spektren der Sensoren verschiedener Pulsoximeter.....	50
Abbildung 4.6 Überlagerung der Spektren von IP, PO und LED-Feld	51
Abbildung 4.7 Oszillogramm der Energiesparlampe im Betrieb bei 40kHz.....	52
Abbildung 4.8 Oszillogramme der Glühbirne im Betrieb bei 50Hz & 500Hz	52
Abbildung 4.9 Oszillogramme des LED-Feldes im Betrieb bei 50Hz & 300Hz	52
Abbildung 4.10 Oszillogramm des LED-Feldes im Betrieb bei 500kHz	53
Abbildung 4.11 Oszillogramm des PO 504-US mit und ohne IR-Filter	54
Abbildung 4.12 Oszillogramm der PO CapnomacULTIMA und MD300C2	54
Abbildung 4.13 Oszillogramm des PO NANOXeco	54
Abbildung 4.14 Anzeige der verzerrten Pulscurve des Geräts 504-US bei einem Störversuch	57
Abbildung 4.15 Anzeige falsch erhöhter Messwerte und einer stark deformierten Pulscurve am Gerät 504-US.....	57
Abbildung 4.16 Fingerclip des Geräts 504-US.....	58

Abbildung 4.17 Anzeige veränderter Kurvenformen und falscher Werte am Gerät Capnomac	58
Abbildung 4.18 Fingerclip des Geräts Capnomac	59
Abbildung 4.19 Anzeige des Geräts MD300C2 während eines Störversuchs	60
Abbildung 4.20 Fingerclipgerät MD300C2	60
Abbildung 4.21 Fingerclip des Geräts NPB-40	61
Abbildung 4.22 Fingerclip des Geräts NANOX	62
Abbildung 9.1 Transimpedanzverstärker-Schaltung	80
Abbildung 9.2 Infusionspumpen Infusomat, Argus 200 und Intramat	81
Abbildung 9.3 Pulsoximeter CapnomacULTIMA und 504-US.....	81
Abbildung 9.4 Pulsoximeter NPB-40, MD300C2 und NANOXeco	81
Abbildung 9.5 IR-Fieberthermometer ecomed	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1 Lichtfarben von Lampen	12
Tabelle 1.2 Kennzeichnung von Lampen.....	12
Tabelle 1.3 Vor- und Nachteile von Leuchtdioden	27
Tabelle 3.1 Quellen der Literaturrecherche und dadurch erhaltene Informationen ...	29
Tabelle 3.2 Durchsuchte Datenbanken und Institute	30
Tabelle 4.1 Anbieter Lichtsysteme Österreich	36
Tabelle 4.2 Anbieter Lichtsysteme Deutschland	37
Tabelle 4.3 Auflistung Dimmer & Treiber	38
Tabelle 4.4 LED-Dimmer Eigenschaften.....	39
Tabelle 4.5 LED-Treiber Eigenschaften.....	40
Tabelle 4.6 Auflistung möglicherweise beeinflussbarer elektromedizinische Geräte	44
Tabelle 4.7 Zusammenfassung der Literaturrecherche in Bezug auf die Wellenlänge, sowie der Abtast- und Dimmfrequenz der elektromedizinischen Geräte, Dimmer, Sensoren und Dioden.....	46
Tabelle 4.8 Wellenlängen, Abtast- und Modulationsfrequenzen der verschiedenen Messobjekte	55
Tabelle 9.1 Verwendete Mischkristalle	74
Tabelle 9.2 Herstellerliste	75
Tabelle 9.3 Recherche beeinflussbarer Geräte	77
Tabelle 9.4 Auflistung Sensoren & Dioden	79
Tabelle 9.5 Störversuche 504-US.....	82
Tabelle 9.6 Störversuche CapnomacULITMA	84
Tabelle 9.7 Störversuche MD300C2.....	85
Tabelle 9.8 Störversuche NPB-40	87
Tabelle 9.9 Störversuche NANOXeco	88
Tabelle 9.10 Störversuche mit Abdeckung	89

Abkürzungsverzeichnis

LED	Light emitting diode, Licht emittierende Diode
VIS	von „visible“; steht für den sichtbaren Spektralbereich des Lichts
UV	Ultraviolett
IR	Infrarot
CRI	colour rendering index, Farbwiedergabeindex
lm	Lumen
lx	Lux
cd	Candela
GaAs	Galliumarsenid
GaP	Galliumphosphid
SELV	safety extra low voltage
RLZ	Raumladungszone
PF	Power Factor, Power Faktor
PFC	Power factor correction, Powerfaktor Korrektur
CC	constant current, konstanter Strom
CV	constant voltage, konstante Spannung
ESL	Energiesparlampe
LR	Leuchtstoffröhre
SSK	Strahlenschutzkommission
EM	elektromagnetisch
EMF	elektromagnetische Felder
EMV	elektromagnetische Verträglichkeit
EMG	elektromedizinische Geräte
DALI	Digital adressable lighting interface
PO	Pulsoximeter
PFR	Pulsfrequenz
IP	Infusionspumpe
PM	Patientenmonitor
PPG	Photoplethysmographie
D-PPG	digitale Photoplethysmographie
LRR	Lichtreflexionsrheografie
FC	Fingerclip
BRM	Bilirubinmessgerät
Häm	Hämoxymeter
IRT	IR-Fieberthermometer
BZMG	Blutzuckermessgerät
WL	Wood-Lampe
LDO	Low drop out
CCR	constant current reduction

PWM	Pulse width modulation, Pulsweitenmodulation
DLT	digital load transformation
COB	chip on board
SMD	surface mount device
PWV	Pulsweiten-Verhältnis
P_R	real Power, Wirkleistung
P_A	apparent power, Scheinleistung
f_A	Abtastfrequenz
f_M	Modulationsfrequenz
f_D	Dimmfrequenz
R_a	Farbwiedergabeindex
U_s	Schwellspannung
T_{cp}	température de couleur proximale, Farbtemperatur

1 Einleitung

Licht emittierende Dioden (LED, light emitting diode) gewinnen immer mehr an Bedeutung, da sie vielseitig einsetzbar sind und enorme Kosten- und Energieersparnisse mit sich bringen. Viele Hersteller entdecken bereits das Potential dieser Lichtquelle und setzen auf in die Haustechnik integrierte Lösungen. Im medizinischen Sektor arbeiten bereits längere Zeit einige Geräte mit Leuchtdioden, nun beginnt man auch die Beleuchtung in Krankenhäusern auf LED umzustellen.

Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit besonderes Augenmerk auf Beleuchtungen gelegt, die in Räumen mit elektromedizinischen Geräten (EMG) installiert sind. Es soll eine mögliche negative Beeinflussung der Beleuchtung auf EMG getestet werden. Um jedoch Störungen erkennen zu können, muss ein Verständnis für den Aufbau der Leuchtdiode und den verschiedenen, zum Betrieb von LED notwendigen Komponenten vorhanden sein. Das Buch „Power supplies for LED-drivers“ [1] gibt einen sehr guten Überblick über die vorhandenen Schaltungen für Betriebsgeräte sowie deren Vor- und Nachteile. In diesem Kapitel werden die Grundlagen in Bezug auf Leuchtdioden erklärt. Weiterführende Literatur: [2] [3] [4] [5]

Auswirkungen von Leuchtdioden auf den menschlichen Körper sind nicht Teil dieser Arbeit. Diese Thematik wird beispielsweise in den Projekten „Safe LED“ [6] der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt und „F 2115“ [7] der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin ausführlich behandelt.

Im Nachfolgenden werden Begriffe und Grundlagen erklärt, die für das weitere Verständnis der Arbeit essentiell sind. Diese stellen Ergebnisse der Literaturrecherche dar. Jedoch ist es dem Verständnis dienlich, sie bereits in der Einleitung zu erwähnen.

1.1 Begriffe der Beleuchtung

Licht:

Als „Licht“ wird grundsätzlich nur jener Teil des elektromagnetischen (EM) Spektrums verstanden, den das menschliche Auge wahrnehmen kann (VIS). Das entspricht einem Wellenlängenbereich von ca. 380 - 780nm, siehe Abbildung 1.1. Häufig werden in die Begriffsdefinition von Licht auch noch die Ultraviolett- (UV) und Infrarot (IR)-Strahlung miteinbezogen.

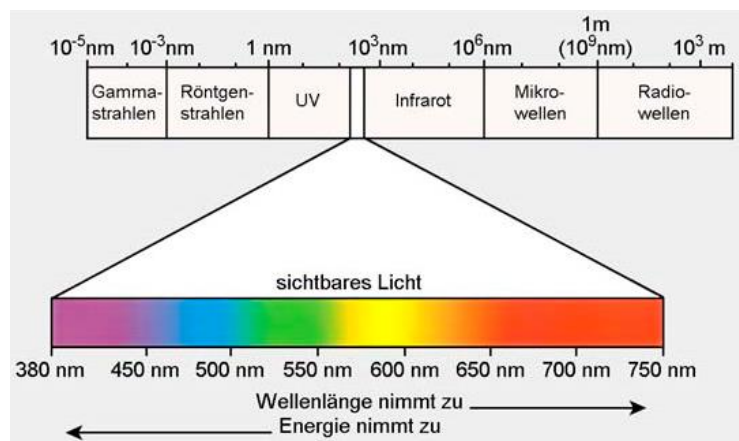


Abbildung 1.1 Elektromagnetisches Spektrum [8]

Lichtstrom Φ

Der Lichtstrom stellt die gesamte, von einer Lichtquelle in den Raum abgegebene und mit der spektralen Augenempfindlichkeit bewerteten, Strahlungsleistung dar. Er wird in Lumen (lm) gemessen. Möchte man also die Helligkeit von verschiedenen Lampen vergleichen, bezieht man sich auf die Lumen - Angabe. [9]

Die Hellempfindlichkeitsfunktion (eye sensitivity function) ist für Tagsehen $V(\lambda)$ (photopic) und für Nachtsehen $V'(\lambda)$ (scotopic) von der internationalen Beleuchtungskommission CIE (Commission internationale de l'éclairage) definiert worden und ist in Abbildung 1.2 zu sehen. Die ursprüngliche Kurvenform (CIE 1931) ist aufgrund von mangelnder Genauigkeit im blauen und violetten Spektralbereich zur CIE 1978 ausgebessert worden, weshalb dieser Kurvenverlauf zu bevorzugen ist. [4]

Der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad ist von der Intensität und der Wellenlänge der Strahlung abhängig. Bei 555nm befindet sich das Maximum (am Tag), d. h. grünes Licht wirkt für unser Auge bei gleicher Intensität heller als rotes Licht. Zum kurzwelligeren (blauen) bzw. zum langwelligeren (roten) Bereich hin, nimmt die Intensität ab. [10]

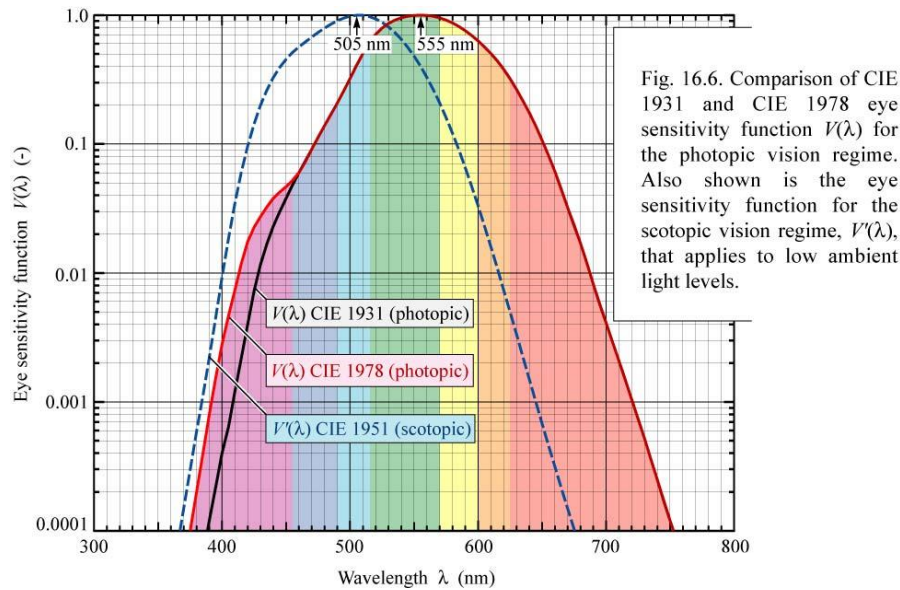


Abbildung 1.2 Eye sensitivity function [4]

Lichtstärke I

Das von einer Lichtquelle ausgesendete Licht ist (meist) nicht gebündelt und die Intensität variiert, d. h. es breitet sich kugelförmig und unterschiedlich stark in alle Richtungen aus. Die Lichtstärke ist definiert als die Intensität des abgestrahlten Lichts in eine bestimmte Richtung und wird in Candela (cd) gemessen. [11]

Beleuchtungsstärke E

Die Beleuchtungsstärke ist definiert als der Lichtstrom pro Fläche, auf die der Lichtstrahl fällt. Sie beträgt demnach ein Lux (lx), wenn ein Lichtstrom von einem Lumen (lm) auf eine Fläche von einem m^2 gleichmäßig auftrifft. [9]

Lichtausbeute η

Sie stellt das Verhältnis von aufgenommener Leistung P zum umgesetzten Lichtstrom Φ dar, mit der Einheit lm/W . Erhöht man die Farbwiedergabe (siehe S.12) wird die Lichtausbeute reduziert. [11]

Lichtfarbe

Das von einer Lampe abgestrahlte Licht wird mit dem menschlichen Auge als farbliche Erscheinung wahrgenommen. Diese Farbe wird durch die ähnlichste Farbtemperatur (T_{CP} , température de couleur proximale) beschrieben. Sie entspricht dabei jener Temperatur, die erhitztes Platin annehmen würde, um mit der gleichen Farbe zu strahlen. Eine Einteilung laut EN 12464-1 ist in Tabelle 1.1 aufgelistet.

Niedrige ähnlichste Temperaturen entsprechen somit Farben, die von Lichtquellen wie Kerzen oder Glühlampen emittiert werden, also warme, gelb-rot-weiße Farbtöne.

Hohe ähnlichste Temperaturen beschreiben hingegen eher weißblaue, kalte Lichtfarben, wie z. B. Tageslicht bei bedecktem Himmel (ca. 6500K). [12] [13]

Es ist allerdings zu beachten, dass sich die Lichtfarbe einer Leuchtdiode mit steigender Temperatur verändert. [1]

Tabelle 1.1 Lichtfarben von Lampen

Lichtfarbe	ähnlichste Farbtemperatur T_{CP}
<3300K	Warmweiß
3300 – 5300K	Neutralweiß
>5300K	Tageslichtweiß

Quelle: [14]

Farbwiedergabeindex R_a

Der Farbwiedergabeindex (CRI, colour rendering index) gibt an, wie natürlich bzw. unverfälscht Farben im Licht einer Lampe wiedergegeben werden. Je höher der Farbwiedergabeindex, desto natürlicher werden die Farben dargestellt, ideal ist ein R_a von 100 (wird z. B.: von Sonnenlicht erreicht). [13]

Um eine einheitliche Kennzeichnung der Lampen in Bezug auf Lichtfarbe und Farbwiedergabe sicher zu stellen, ist eine internationale, herstellerunabhängige Farbbezeichnung nach EN12464-1 eingeführt worden. Diese besteht aus einer dreistelligen Ziffernfolge. Die erste Ziffer steht für die Farbwiedergabe, die zweite und dritte Ziffer kennzeichnen die Lichtfarbe, siehe Tabelle 1.2. Als Beispiel wird hier ein angegebener Wert von 930 erklärt: 9 steht für einen R_a -Bereich von 90 - 100 und 30 für 3000K, was einem „Warmweiß“ entspricht (siehe Tabelle 1.1). [9] [12]

Tabelle 1.2 Kennzeichnung von Lampen

1. Ziffer		2. und 3. Ziffer	
Ziffer	R_a -Bereich	Ziffern	Farbtemperatur in Kelvin
9	90 - 100	27	2700
8	80 - 89	30	3000
7	70 - 79	40	4000
6	60 - 69	50	5000
5	50 - 59	60	6000
4	40 - 49	65	6500

Quelle: [9] [12]

1.2 Begriffe aus der Lichttechnik

Leuchtdiode oder LED

„[...] bezeichnet eine Lichtquelle, die aus einem Halbleiterbauelement mit einem p-n-Übergang besteht. An diesem Übergang wird Licht emittiert, wenn er durch einen elektrischen Strom angeregt wird;“ [15]

Gerät für Lampe

„ein oder mehrere Bauteile zwischen dem Netz und einer oder mehreren Lampen, das/die dazu dient (dienen) kann (können), die Netzspannung zu transformieren, den Strom der Lampe(n) auf den vorgeschriebenen Wert zu begrenzen, die Startspannung und den Vorheizstrom zu liefern, den Kaltstart zu verhindern, den Leistungsfaktor zu verbessern oder die Funkstörung zu verringern.“ [16]

Vorschaltgerät

„[...] bezeichnet ein Betriebsgerät für Lampen, das zwischen der Stromquelle und einer oder mehreren Entladungslampen angeordnet ist und durch Induktivität, Kapazität oder einer Kombination aus Induktivität und Kapazität hauptsächlich dazu dient, den Strom der Lampe(n) auf den erforderlichen Wert zu begrenzen;“ [15]

Steuergerät

„[...] bezeichnet eine elektronische oder mechanische Einrichtung, die den Lichtstrom der Lampe auf andere Weise als durch das Stromrichten für die Lampe steuert oder überwacht, z. B. Zeitschaltuhren, Anwesenheitssensoren, Lichtsensoren und tageslichtabhängige Regelungseinrichtungen. Außerdem gelten Dimmer mit Phasentrennung auch als Steuergeräte;“ [15]

Betriebsgerät für Lampen

„[...] bezeichnet eine Einrichtung zwischen der Stromversorgung und einer oder mehreren Lampen, die eine den Betrieb der Lampe(n) betreffende Funktion bereitstellt, etwa die Umwandlung der Versorgungsspannung, die Strombegrenzung der Lampe(n) auf den erforderlichen Wert, [...] die Korrektur des Leistungsfaktors oder die Verringerung der Funkstörung. Die Einrichtung kann für den Anschluss an andere Betriebsgeräte für Lampen ausgelegt sein, um diese Funktion auszuführen.“ [15]

LED-Modul

„Einheit, die als Lichtquelle geliefert wird. Zusätzlich zu einer oder mehreren lumineszenzemittierenden Dioden kann diese weitere Bauteile, z. B. optische, mechanische, elektrische und elektronische, enthalten, wobei jedoch das Betriebsgerät ausgenommen ist.“ [17]

LED-Feld

Unter einem LED-Feld wird in dieser Arbeit eine Zusammenschaltung von vier LED-Modulen mit einem Steuergerät verstanden. Das LED-Feld wird somit einheitlich angesteuert, gedimmt oder ausgeschalten.

Leistungsfaktor

Der Leistungsfaktor oder auch Powerfaktor (PF, Power factor) ist definiert als das Verhältnis von Wirkleistung („active or real power“, P_R) zu Scheinleistung („apparent power“, P_A), siehe Formel (1). Mit Hilfe des PF kann eine Aussage darüber getroffen werden, wie effektiv die elektrische Leistung umgesetzt wird. [18]

Berechnung des Powerfaktors:

$$PF = \frac{P_R}{P_A} \quad (1)$$

Modulationsfrequenz

Unter der Modulationsfrequenz (f_M) versteht man jene Frequenz, mit der die einzelnen Lichtimpulse ausgesendet werden (genauere Erklärung siehe Kapitel 1.5).

Abtastfrequenz

Photosensoren bzw. -dioden in medizinischen Geräten messen meist nicht kontinuierlich, sondern häufig hintereinander in gewissen Zeitabständen. Wie oft pro Sekunde gemessen wird, wird mit der Abtastfrequenz (f_A) angegeben.

1.3 Aufbau und Prinzip

Halbleiterdiode

Bei einer Leuchtdiode oder Licht emittierenden Diode handelt es sich um eine dotierte Halbleiterdiode. Dotiert bedeutet, dass Fremdatome in den Halbleiter eingebracht werden. Dadurch werden entweder freie Elektronen (n-Dotierung) oder freie Löcher (p-Dotierung) zur Verfügung gestellt. Mit Hilfe eines Bändermodells lässt sich die Verteilung der Elektronen sehr gut darstellen (siehe Abbildung 1.3). Im Leitungsband befinden sich frei bewegliche Elektronen, während sich im Valenzband jene Elektronen befinden, die an den Atomkern gebunden sind, bzw. sich nach dem Bohr'schen Atommodell auf den äußeren Schalen befinden. Wird ein p-dotierter mit einem n-dotierten Halbleiter kombiniert, ergibt sich dazwischen ein sogenannter pn-Übergang, an dem sich eine Raumladungszone (RLZ) ausbildet. [19]

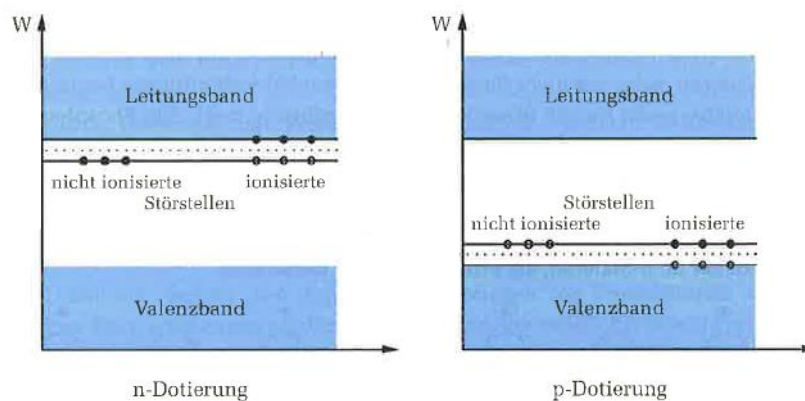


Abbildung 1.3 Bändermodell eines n- & p- dotierten Halbleiters [19] (W...Energie)

Der Übergang der Elektronen vom p- ins n-Gebiet benötigt keine Energie, im Gegensatz dazu muss dem Elektron Energie zugeführt werden, um es vom n- ins p-Gebiet zu bringen. Diese Energie kann durch das Anlegen einer äußeren Spannung (sogenannte Diffusionsspannung) eingebracht werden. Je nach Polung der Quelle spricht man von Polung in Sperrichtung (positiver Pol an n-Gebiet) oder Polung in Durchlassrichtung (negativer Pol an n-Gebiet). Bei der Polung in Sperrichtung vergrößert sich die RLZ während sie sich bei der Polung in Durchlassrichtung verkleinert (siehe Abbildung 1.4). [19]

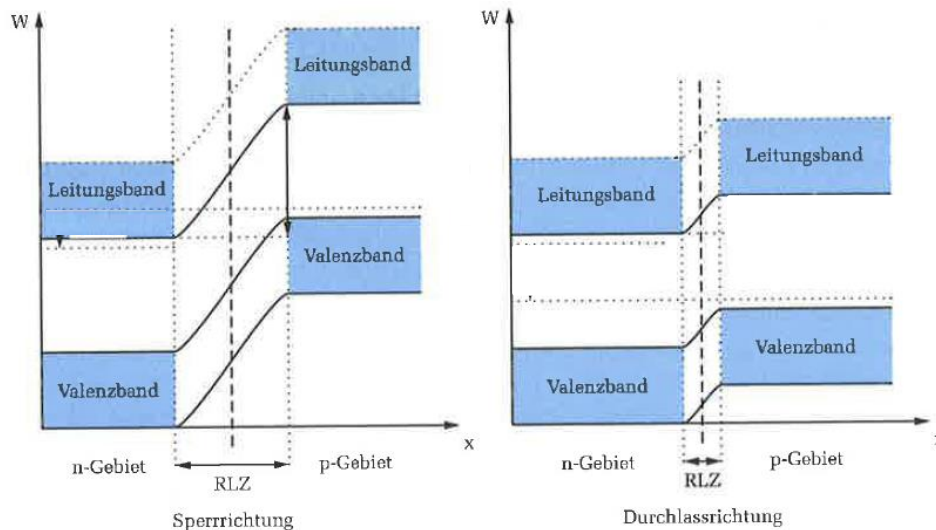


Abbildung 1.4 Bändermodell eines pn-Übergangs [19]

Leuchtdiode

Bei Leuchtdioden die aus Mischkristallen wie beispielsweise Galliumarsenid (GaAs) oder Galliumphosphid (GaP) bestehen, kann der Energieunterschied, der bei der Rekombination zwischen Leitungs- und Valenzband entsteht (Bandabstand), in Form von Licht abgestrahlt werden. Je nach Materialien ergeben sich unterschiedliche Bandabstände und damit auch verschiedene Wellenlängen (Farben) des abgestrahlten Lichts. [19]

Der realisierbare Wellenlängenbereich geht von UV bis hin zu IR. Dabei werden momentan die in Tabelle 9.1 im Anhang aufgelisteten Mischkristalle zur Lichterzeugung genutzt.

Eine Licht emittierende Diode im Sinne einer Lampe besteht aus mehreren Komponenten. Ein LED-Chip stellt den Kern des Aufbaus dar. In ihm sind zwei verschiedene Schichten enthalten, eine mit Elektronenüberschuss und eine mit Löcherüberschuss. Der Chip wird von einem Kunststoffgehäuse bzw. einer Linse umgeben und dadurch vor äußeren Krafteinwirkungen geschützt. Zugleich kann durch die Linse das Licht besser gelenkt werden. Eine Leuchtdiode hat aufgrund ihrer Größe meist einen sehr kleinen Abstrahlwinkel, weshalb der Einsatz von Reflektoren notwendig wird. Dadurch sind Winkel zwischen 15° und 180° möglich.

Der LED-Chip ist mit einem Anschlussdraht, der meist aus Gold besteht, mit dem Gehäuse verbunden. Diese Kontaktierung ist notwendig, um die Stromversorgung sicher zu stellen. Der Chip hat einen Plus- (Anode) und einen Minuspol (Kathode).

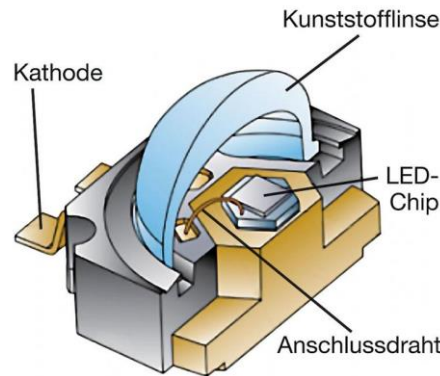


Abbildung 1.5 Aufbau einer LED [3]

Zwar ist bei allen LED der prinzipielle Aufbau ungefähr gleich, doch kann man sie zum Beispiel laut [3] bezüglich der Leistung oder Bauform unterscheiden:

Einteilung nach Leistung

1. **Low-Power LED:** auch radiale LED genannt, werden mit 20-100mA betrieben und sind in verschiedenen Bauformen erhältlich. Sie können weiter unterteilt werden in 3 oder 5mm große LED, welche meist zwei „Beinchen“ und einen Abstrahlwinkel von 15°-30° haben, und in Superflux-Modelle (auch Spider oder Piranha genannt). Diese haben vier „Beinchen“, eine höhere Lichtleistung, einen Abstrahlwinkel von 90°-130° und werden in der Regel mit 70mA betrieben.
2. **High-Power LED:** Sie können bis zu 200lm erzeugen, wenn sie mit 1A betrieben werden. Standard-LED liefern vergleichsweise nur 1-2lm bei 20mA. High-Power LED werden mit Stromstärken ab 100 mA betrieben.

Einteilung nach Bauform

1. **Radiale bzw. bedrahtete LED:** Deren Aufbau entspricht der klassischen Bauform, welche in Abbildung 1.5 zu sehen ist. Der LED-Chip wird von einem Kunststoffgehäuse umgeben. Sie zählen zu den Low-Power LED.
2. **COB LED:** Mehrere LED-Chips werden ohne Kunststoffgehäuse direkt auf eine Leiterplatte platziert und über „Bond-Drähte“ kontaktiert. Anschließend wird eine Epoxylinse, die sogenannte Bubble, aufgeklebt.
3. **Surface Mounted Device (SMD) LED:** Bei dieser Bauform werden sowohl Low- als auch High-Power LED verwendet. Die LED-Chips sind wieder von einem Gehäuse umschlossen und werden auf eine Leiterplatte gesteckt. Die Kontaktierung erfolgt dann im Lötbad.

Erzeugung von weißem Licht mit LED

Um mit einer LED weißes Licht zu erzeugen gibt es im Grunde zwei Möglichkeiten:

1. Additive Farbmischung:

Man verwendet mehrere farbige LED und kombiniert diese so, dass in Summe weißes Licht entsteht (siehe Abbildung 1.6). Dabei muss man mindestens zwei verschiedenfarbige LED, z. B. blau und gelb kombinieren. Werden 2 LED verwendet, spricht man von einer dichromatischen Lichtquelle, bei 3 verschiedenen LED (z. B. rot, grün, blau) von einer trichromatischen Lichtquelle, bei vier (z. B. rot, blau, cyan und grün) von tetrachromatisch (siehe Abbildung 1.7).

Je nach den zugegebenen Anteilen der Komponenten verändert sich die Farbtemperatur. Um den Eindruck einer weißen Lampe zu vermitteln, müssen die LED räumlich sehr eng nebeneinander angeordnet werden. [4]

Der Farbwiedergabeindex R_a liegt bei 70 bis 80 und ist somit etwas schlechter als das erzeugte weiße Licht durch Lumineszenzkonversion (siehe 2.). [3]

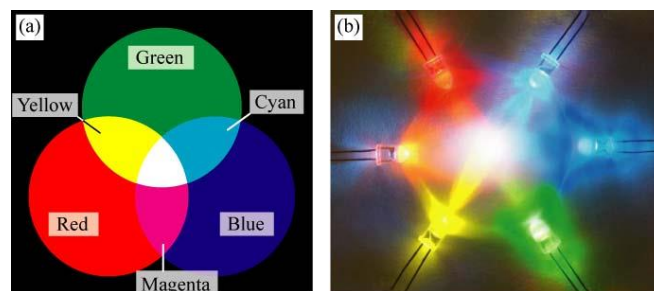


Abbildung 1.6 Prinzip additive Farbmischung [4]

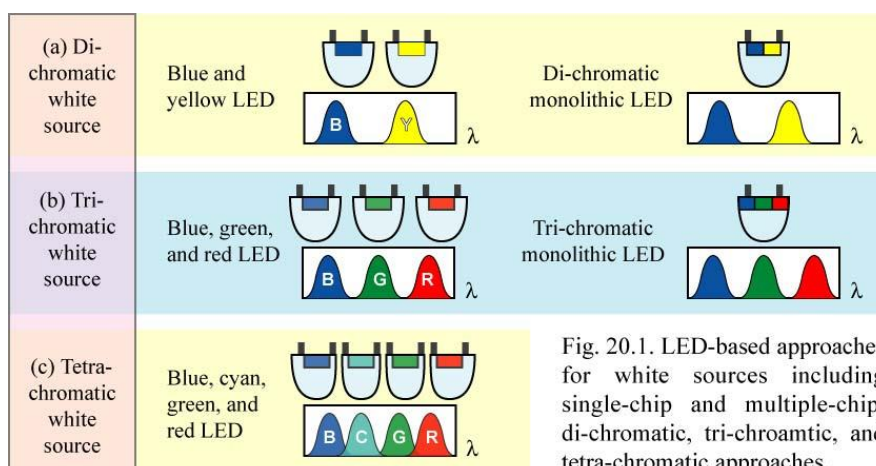


Abbildung 1.7 Additive Farbmischung [4]

2. Lumineszenzkonversion:

Bei dieser Methode werden LED mit Leuchtstoffen beschichtet, die dann durch das Licht der LED angeregt werden und sich mit diesem zu weißem Licht vermischen. Bei Leuchtdioden im sichtbaren Bereich werden am häufigsten blaue LED mit gelbem Phosphor beschichtet, auch dichromatisches Prinzip genannt. Werden mehrere LED oder Leuchtstoffe verwendet, spricht man analog zur additiven Farbmischung, von tri- und tetrachromatisch (siehe Abbildung 1.8). Neben den LED im sichtbaren Bereich können auch UV-LED mit Beschichtung verwendet werden. Dabei werden die Leuchtstoffe dazu angeregt Licht in verschiedenen Farben zu emittieren, aus der Mischung entsteht wiederum weißes Licht. Der Farbwiedergabeindex kann Werte von bis zu 100 erreichen.

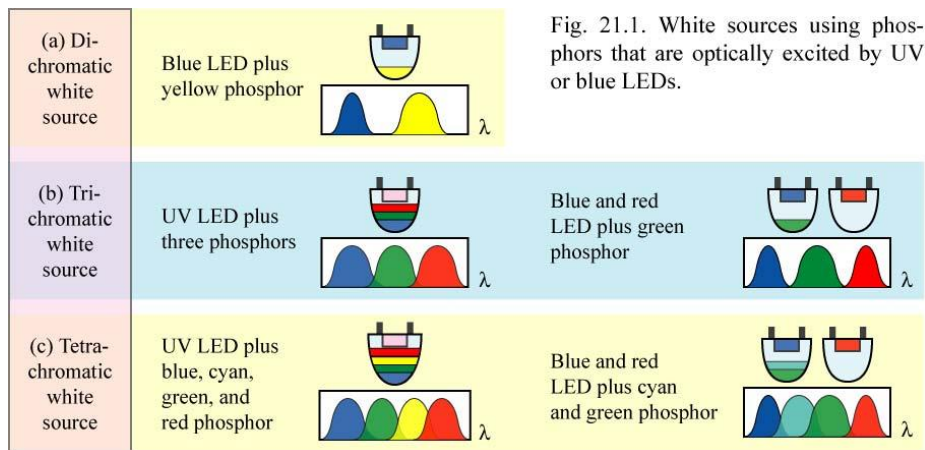


Abbildung 1.8 Lumineszenzkonversion [4]

1.4 Betrieb

Leuchtdioden haben, je nach verwendetem Mischkristall, eine spezifische Strom - Spannungs - Kennlinie (siehe Abbildung 1.9) aus der ersichtlich ist, dass der Strom ab einem gewissen Spannungswert sprunghaft ansteigt. Ist die „Knickspannung“ oder auch Schwellspannung (U_s) erreicht, so können bereits Spannungsänderungen im mV-Bereich eine große Stromänderung zur Folge haben. Damit erhöht sich auch die abgegebene Leistung und die LED leuchtet heller. Diese Leistungserhöhung resultiert aber auch in einem Anstieg der Temperatur. Dieser ist umgekehrt proportional zur Effizienz. Es kann zur thermischen Zerstörung bzw. zu irreversiblen Schäden kommen. Im Kristall werden immer mehr Störstellen ausgebildet und die LED verliert an Leuchtkraft. Dieser Vorgang wird „Degradation“ genannt. Plötzliche Ausfälle sind jedoch äußerst selten. Prinzipiell sollten LED nicht direkt an eine Spannungsquelle angeschlossen werden, sondern immer mit Konstantstrom betrieben werden. [20] [3] Wie bereits erwähnt, ergeben sich unterschiedliche U_s für verschiedene Kristalle. Das hat jedoch zur Folge, dass verschiedene LED nicht mit dem gleichen Strom bzw. der gleichen Spannung betrieben werden sollen. Um dies besser zu veranschaulichen, sind in Abbildung 1.9 die Kennlinien von vier unterschiedlich farbigen LED dargestellt. Werden alle Dioden mit einer Gleichspannung von 1,7V₌ versorgt, leuchten nur die rote und gelbe LED, die grüne und blaue LED nicht. Außerdem wird es in der roten LED bereits zur Degradation kommen. Um Schäden zu vermeiden muss deshalb der Strom, der durch die LED fließt, begrenzt werden. Dies kann beispielsweise durch einen Vorwiderstand geschehen.

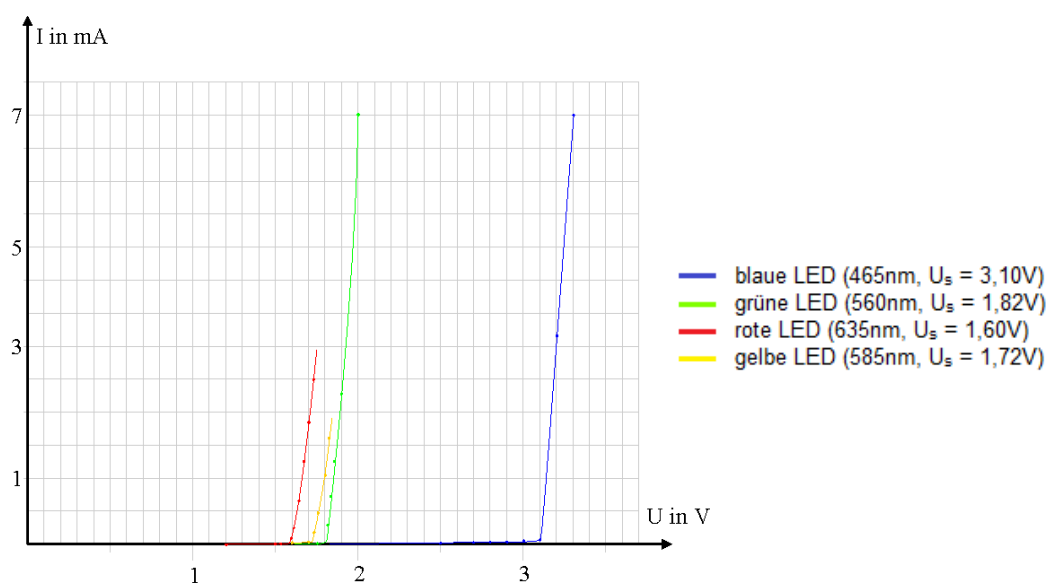


Abbildung 1.9 Kennlinien verschiedener Leuchtdioden [21]

Es existieren zwei verschiedene Möglichkeiten die Netzspannung in eine für den Betrieb von LED gerechte Spannung zu transformieren. Dazu werden an die LED angepasste Betriebsgeräte verwendet, die laut [22] und [23] entweder:

1. eine **konstante Ausgangsspannung** (constant voltage, CV) erzeugen, indem sie die Netzspannung (230V \sim) auf eine kleinere Spannung (10V \sim , 12V \sim oder 24V \sim) drosseln. Diese Betriebsgeräte werden üblicherweise für LED-Module oder für LED-Leuchten unter 0,5W verwendet. LED-Module werden durch Spannungsänderungen gesteuert, d. h. durch ein- und ausschalten der Spannung („Pulsen“ der Spannung). Dieses Vorgehen macht eine Strombegrenzung unbedingt notwendig, um die einzelnen LED-Chips vor Zerstörung zu schützen.
2. einen **konstanten Ausgangsstrom** (constant current, CC) erzeugen, beispielsweise 350mA, 700mA oder 1.050mA. Diese Art erlaubt einen direkten Betrieb von LED-Modulen bzw. eine Reihenschaltung einzelner LED bis zur maximalen Leerlaufspannung des Betriebsgerätes. Dabei ist zu beachten, dass diese Geräte meist auf Schutzkleinspannung (safety extra low voltage, SELV) ausgelegt sind.

Die Betriebsgeräte, auch kurz Treiber genannt, unterscheiden sich hinsichtlich ihres Aufbaus und der Funktion. Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über die möglichen Ausführungsformen und deren Eigenschaften gegeben. Für eine detaillierte Betrachtung wird an dieser Stelle auf [1] verwiesen, aus dem folgende Informationen stammen:

1. Lineare Wandler

Diese Wandlerart hat zwei wesentliche Vorteile: Zum einen ist sie sehr kostengünstig und zum anderen sendet sie keine EM-Strahlung aus. Nachteilig sind die Baugröße, die niedrige Effizienz und das Auftreten von thermischen Problemen.

Der low drop out (LDO) Treiber stellt eine Sonderform dar. Charakteristischerweise herrscht zwischen Eingang und Ausgang eine geringe Spannungsdifferenz.

2. Schaltwandler

Sie sind effizienter als lineare Wandler, allerdings erzeugen sie elektromagnetische Störungen, die wiederum durch geeignete Maßnahmen reduziert werden müssen.

Buck converter, Abwärtswandler

Dieser Typ ist vom Aufbau her der einfachste. Er wandelt eine höhere Eingangsspannung in eine niedrigere Ausgangsspannung um (daher „Abwärts“wandler). Er wird aufgrund der sehr hohen Effizienz (90-95%) eingesetzt, wenn die Arbeitsspannung kleiner als 85% der Netzspannung ist oder in Offline- und Niederspannungsanwendungen. Diese Topologie kann ohne Schwierigkeiten mittels Pulsweitenmodulation (PWM) oder linear gedimmt (Dimmverfahren siehe Kapitel 1.5) werden.

Boost converter, Aufwärtswandler

Analog zum Abwärtswandler transformiert der Aufwärtswandler eine niedrige Eingangsspannung in eine höhere Ausgangsspannung (aufwärts). Er wird dann verwendet, wenn die minimale Ausgangsspannung das 1,5fache der Eingangsspannung beträgt. Ein großer Vorteil ist die hohe Effizienz (über 90%), es sind aber auch Nachteile (z. B. Ausgangsstrom ist gepulst, Dimmen mit PWM ist schwieriger) zu beachten.

Boost-Buck converter, Aufwärts-Abwärtswandler

Aufgrund dessen, dass bei dieser Variante sowohl ein Aufwärts- als auch ein Abwärtswandler verwendet wird, kann er immer eingesetzt werden. D. h. die LED-Last-Spannung kann entweder höher oder niedriger als die Netzspannung sein. Allerdings hat dies den Nachteil, dass er weniger effizient ist als die jeweiligen zu Grunde liegenden Konverter (boost oder buck).

Flyback converter, Sperrwandler

Wird dann verwendet, wenn eine konstante Ausgangsspannung nötig ist. Der Vorteil einer relativ hohen Effizienz von 90% steht dem komplexen und teuren Aufbau gegenüber. Außerdem ist das Dimmen mittels PWM sehr schwierig.

1.5 Dimmen

LED lassen sich sehr gut dimmen, wenn die richtigen bzw. zueinander kompatiblen Betriebsgeräte und Dimmer verwendet werden. In Abbildung 1.10 sind Dimm-Kennlinien verschiedener Lichtquellen dargestellt. Eine LED kommt über den gesamten Dimm-Bereich von 0-100% sehr nahe an die ideale Dimm-Kennlinie heran. In starkem Gegensatz dazu steht die Glühlampe, welche beim Dimmen erhebliche Leistungseinbußen erfährt.

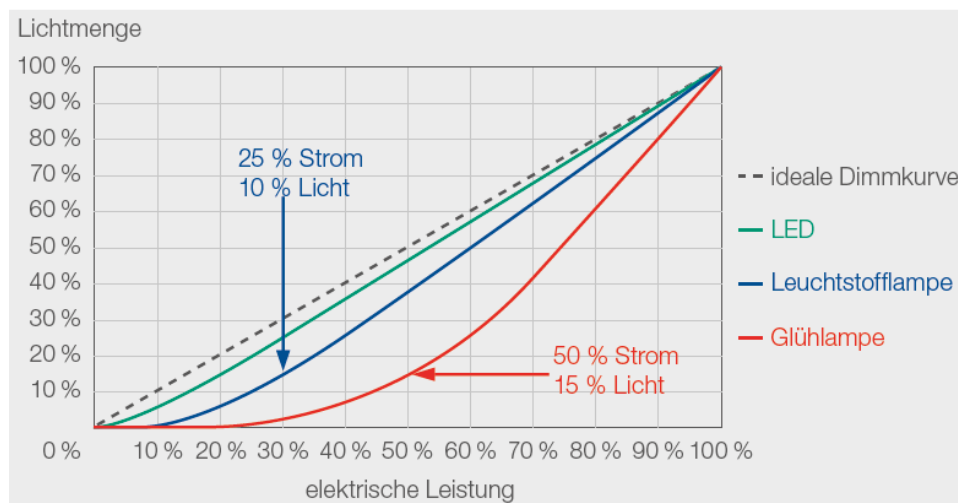


Abbildung 1.10 Dimm-Kurven [22]

Das Dimmen von Leuchtdioden hat nicht nur den Sinn die Atmosphäre im Raum angenehmer zu gestalten, sondern soll vor allem Energie bzw. Strom sparen. Der Betrieb einer gedimmten LED ist effizienter, da der verringerte Stromfluss eine Senkung der Temperatur im Halbleiter mit sich bringt, wodurch auch die Lebensdauer verlängert wird. [24]

Besonders wichtig ist, dass Betriebsgerät und Dimmer aufeinander abgestimmt sind, da es sonst zu Effekten wie Flackern, Flimmern oder Ausfällen kommen kann.

Im Folgenden werden einige Methoden zum Dimmen von LED besprochen. Es ist zu erwähnen, dass die PWM als Verfahren am häufigsten zum Einsatz kommt und daher etwas genauer behandelt wird. Prinzipiell unterscheidet man zwischen einer analogen und digitalen Ansteuerung der Dimmverfahren.

Analoge Ansteuerung

0-10V / 1-10V Steuersignal oder constant current reduction (CCR)

Durch Variieren des Steuersignals ändert sich auch der (Vorwärts-) Stromfluss durch die LED. So kann die Helligkeit der LED mit Hilfe eines Tasters oder Drehreglers eingestellt werden. Die LED ist bei dieser Methode durchgehend eingeschaltet, im Unterschied zur PWM. Dadurch ergeben sich auch keine potentiell hörbaren Störungen. Allerdings kann es zu einer Veränderung des Farbortes kommen, d. h. die Lichtfarbe verändert sich. [24]

Dieser Effekt wird auch gezielt genutzt, um die Atmosphäre angenehmer zu machen. In medizinischen Anwendungen ist das allerdings ein Nachteil, da meist eine hohe Farbwiedergabe erwünscht ist.

Phasenanschnitt / Phasenabschnitt Verfahren

Bei diesem Verfahren wird von einem sinusförmigen Signal entweder vor oder nach jedem Nulldurchgang ein Teil abgeschnitten, siehe Abbildung 1.11. Die technische Umsetzung kann z. B. durch einen TRIAC (=Zweirichtungs-Thyristordiode, bei Phasenanschnitt) geschehen, der erst nach einer gewissen Verzögerungszeit (t_a) umschaltet und den Strom durchlässt. Diese Methode wird gerne bei Glühlampen verwendet, weil sie sich damit ohne Probleme sehr leicht und unkompliziert dimmen lassen. Um LED mit dieser Methode zu dimmen, bedarf es einer Eingangsschaltung, die z. B. ein Ohm'sche Last simuliert. Es ist also nicht möglich eine Leuchtdiode direkt mit Phasenan- oder Phasenabschnitt zu dimmen. Außerdem funktionieren beide Verfahren ausschließlich bei Wechselspannung bzw. Wechselstrom.

Wenn eine Ohm'sche Last (Glühlampe) mit Strom durchflossen wird, so sind Strom und Spannung in Phase. Allerdings ergibt sich beim Phasenan- oder Phasenabschnitt eine (insgesamt meist geringe) Verzerrungsblindleistung, da das Stromsignal nicht mehr sinusförmig sowie nicht in Phase mit dem Spannungssignal ist. [25]

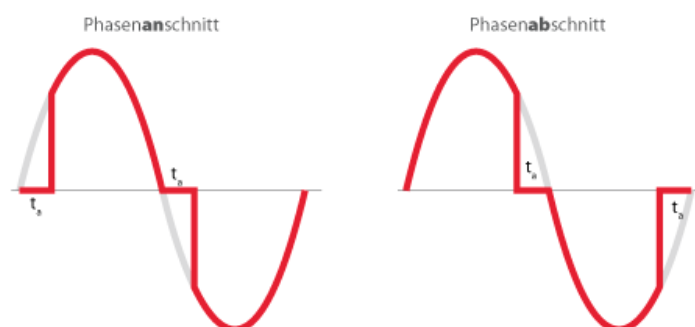


Abbildung 1.11 Phasenan-, Phasenabschnitt [25]

Pulsweitenmodulation (PWM)

Die PWM ist ein Modulationsverfahren, bei dem durch zyklisches Ein- und Ausschalten des Lichts ein analoges Signal generiert wird. Je länger die Aus-Phasen im Verhältnis zu den Ein-Phasen sind, desto dunkler erscheint das Licht.

Das Auge kann diesen schnellen Schaltzyklen ab der sogenannten Flimmerverschmelzungsfrequenz nicht mehr folgen. Bei dieser Frequenz können die einzelnen Reize nicht mehr getrennt voneinander wahrgenommen werden, sie verschmelzen ineinander. Je nach Alter, Leuchtdichte sowie weiteren Einflussfaktoren variiert das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges zwischen 10 und 60 Einzelreizen pro Sekunde. [26]

Um diesen Flimmereffekt zu vermeiden, sollten immer höhere Modulationsfrequenzen (über 100Hz) verwendet werden. Es kann dennoch zu stroboskopischen Effekten kommen, wenn der Kopf schnell bewegt wird. Außerdem können durch die schnellen Schaltvorgänge wahrnehmbare Geräusche entstehen.

Die Farbtemperatur wird bei der PWM über den ganzen Dimm-Bereich nicht wirklich verändert, da die Einstellung der Helligkeitswerte präziser erfolgt. [24]

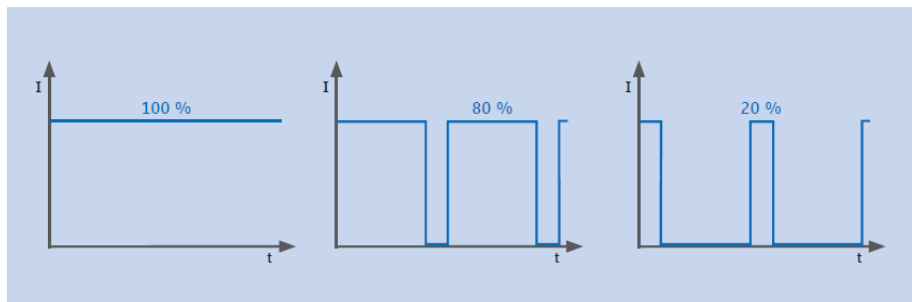


Abbildung 1.12 Pulsweitenmodulation [24]

Wird beim Dimmen ein linearer LED-Treiber verwendet, so bleibt der hohe Wirkungsgrad auch noch bei hohen Frequenzen erhalten und es ergeben sich im Gegensatz zum getakteten Wandler keine störenden Geräusche. So „kann der lineare Treiber bei voller Stromstärke (d. h. 800 mA) schnell ein- und ausgeschaltet (0 mA) werden - bei Frequenzen zwischen 200 Hz und 500 kHz.“ [27]

Ein Vorteil den die PWM gegenüber der CCR hat, liegt in der gleichmäßigen Helligkeit der einzelnen LED-Stränge (bei Parallelschaltung) bei niedrigem Dimmniveau. Bei der CCR kann es sein, dass der Strom nicht gleichmäßig auf die Stränge verteilt wird und so eine Abweichung zwischen den LED (siehe Abbildung 1.13) zu erkennen ist.

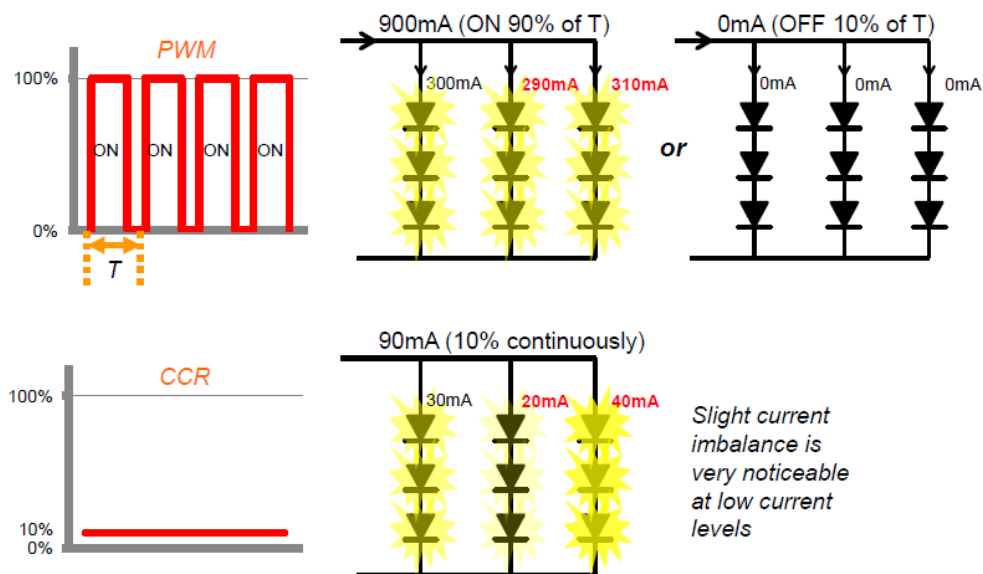


Abbildung 1.13 Unterschiedliche Helligkeit PWM vs. CCR [28]

Digitale Ansteuerung

Digital Adressable Lighting Interface, DALI

DALI wurde vom Fachverband Licht des ZVEI in Zusammenarbeit mit der dafür gegründeten DALI AG entwickelt. DALI ist eine standardisierte digitale Betriebsgeräteschnittstelle und ist mittlerweile als international festgeschriebene Norm (IEC 60929, Anhang E) anerkannt. Es erleichtert die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten der Lichttechnik (Herstellerunabhängig). DALI ist definiert für max. 64 Einzelgeräte (Individualadressen), 12 Gruppen (Gruppenadressen) und 16 Szenen. Definiert man 16 Szenenlichtwerte können die an eine Schnittstelle angeschlossenen Betriebsgeräte einzeln ausgewählt und gruppiert werden. Das macht vor allem dann Sinn, wenn einige Bereiche gedimmt werden sollen, während in anderen die volle Lichtleistung notwendig ist. Da alle Prozesse digital ablaufen, müssen keine neuen Kabel verlegt werden, wenn man etwas an der Beleuchtung ändern möchte. [29]

Digital Load Transformation, DLT

Bei diesem Verfahren wird der sinusförmigen Netzspannung ein Signal überlagert, welches vom Steuergerät zur LED-Lampe übertragen wird. Dieses Steuersignal enthält die Dimm-Information, also einen bestimmten Helligkeitswert. Die Lampe dekodiert die „aufgekoppelte Information“ und setzt dementsprechend eine Aktion. Voraussetzung für die Überlagerung der Signale ist, dass die ankommende Netzspannung sinusförmig ist. [24]

Probleme beim Dimmen

Probleme, die beim Dimmen von LED auftreten können sind laut [28] unter anderem:

- schlechte Annäherung an die optimale Dimmkurve (siehe Abbildung 1.10)
- Geräusentwicklung
- frühzeitiger Ausfall
- funktionsunfähiges System
- diverses Fehlverhalten bei unterschiedlichen Dimm-Niveaus wie zum Beispiel kein Licht, obwohl die LED eingeschalten ist oder wenig Licht, obwohl die LED ausgeschalten ist etc. (diese Phänomene nennt man Ghosting, Pop-up, flashing, ...)

1.6 Vor- und Nachteile

Die wichtigsten Vor- und Nachteile von Leuchtdioden sind in Tabelle 1.3 zusammengefasst.

Tabelle 1.3 Vor- und Nachteile von Leuchtdioden

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • hohe Lebensdauer • geringer Energieverbrauch • keine Wartungskosten • stoß- und vibrationsfest • geringe Wärmeabstrahlung • kleine Bauformen • höhere Lichtausbeute η als Glühlampen • keine UV- oder IR- Begleitstrahlung • plötzlicher Ausfall unwahrscheinlich • 0 - 100% Dimmen • kein 50Hz Flimmern • Lichtfarbe regelbar • schnelle Schalt- und Modulierbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebsgerät notwendig • geringe Lichtleistung pro Einheit • Thermische Zerstörung möglich • Empfindlichkeit gegenüber Mikrowellenstrahlung • weiße LED: diskontinuierliches Spektrum • hohe Stückkosten

Quelle: [11] [5]

2 Problemstellung

Werden EMG unter bestimmten Bedingungen Licht emittierenden Dioden (LED) ausgesetzt, könnte eine Störbeeinflussung der Funktion der Geräte möglich sein. Da bisher noch keine Veröffentlichungen auf diesem Gebiet verfügbar sind, wurden im Zuge dieser Arbeit in einem Laborversuch einige elektromedizinische Geräte auf ihre Abtastfrequenz (f_A) hin untersucht und der Versuch gestartet, diese in diesem Frequenzbereich zu stören bzw. in ihrer Funktion zu beeinflussen. Wichtige Parameter in diesem Zusammenhang, wie beispielsweise Abstand zum LED-Feld, Einstrahlwinkel, Reproduzierbarkeit etc. sollen ausführlich diskutiert werden.

Im Zuge einer vorangehenden Literaturrecherche soll abgeklärt werden, welche Geräte dadurch betroffen sein könnten und wie ein möglicher Versuchsaufbau aussehen könnte.

3 Methoden

3.1 Methoden der Literaturrecherche

Die Literaturrecherche ist in drei große Bereiche unterteilt worden:

1. Grundlagen: Diese Informationen sind dem Kapitel Einleitung zu entnehmen;
2. Marktübersicht: Suche nach Anbietern bzw. Herstellern von Lichtsystemen und LED-Lichtkomponenten, sowie Recherche der am Markt befindlichen Dimmer und Treiber und deren Eigenschaften;
3. Störbeeinflussung: Recherche nach möglichen Störquellen und beeinflussbaren Geräten;

Die verwendeten Literaturquellen sind in Tabelle 3.1 aufgelistet. Außerdem kann dieser Tabelle entnommen werden, in welchem Bereich die verwendeten Quellen Informationen (mit einem ✓ markiert) geliefert haben.

Tabelle 3.1 Quellen der Literaturrecherche und dadurch erhaltene Informationen

Quelle	Einleitung	Marktübersicht	Störbeeinflussung
Google	✓	✓	✓
Bibliothek der TU Graz	✓	✓	-
Bibliothek der Med Uni Graz	-	-	✓
Google scholar	-	✓	-
Science Direct	-	-	-
BASE	-	-	-
EMBASE	-	-	-

Zu Beginn der Recherche sind erste Suchbegriffe, sogenannte Keywords, aus dem Pflichtenheft entnommen und in die Suchmaschine „Google“ eingegeben worden (Beispiele: LED-Felder, LED-Felder Ansteuerung, LED Störbeeinflussung durch Vorschaltgeräte). Erste Treffer haben zur Orientierung und zum Finden weiterer Keywords gedient. Problematisch war, dass sich die von Herstellern verwendeten Begriffe deutlich voneinander unterschieden haben.

Neben der „Keyword“-Suche ist das sogenannte „Schneeballsystem“ angewandt worden. Bei dieser Suchstrategie wird eine Literaturarbeit als Ausgangsdokument herangezogen. Die Literaturstellen dieser Arbeit sind dabei von besonderem Interesse, da diese weiter verfolgt werden und so zu neuen Informationsquellen führen. Diese neuen Artikel, Arbeiten, Dokumente etc. werden dann wieder auf ihre Literaturstellen hin durchsucht. Dieses System kann so lange angewendet werden, bis die angegebene Literatur nicht mehr zum Ausgangsthema passt. Außerdem ist diese Vorgehensweise nicht nur bei wissenschaftlichen Artikeln, sondern auch bei Webseiten angewandt worden. Die Literaturstellen sind dabei Links und Verweise auf andere Webseiten oder andere Themen auf derselben Homepage gewesen.

Speziell für die Literatursuche zum Thema Störbeeinflussungen sind diverse Plattformen, auf denen Zwischenfälle mit Medizingeräten dokumentiert sind, durchsucht worden. Die Ergebnisse dieser Recherche können Tabelle 3.2 entnommen werden.

Tabelle 3.2 Durchsuchte Datenbanken und Institutionen

Kürzel	Name	Website	Notiz
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte	www.bfarm.de	Keine derartigen Störungen bekannt
BaSG	Bundesamt für Sicherheit im Gesundheitswesen	www.basg.gv.at	haben ein MP-Register; beide Stellen verfügen über eine Medizinprodukteabteilung, jedoch sind diese der Geheimhaltung verpflichtet und dürfen keine Auskunft erteilen
AGES	Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit	www.ages.at	
MHRA	Medicines and healthcare products regulatory agency	www.gov.uk	107 reports: alerts & recalls for drug and medical devices; gesetzte Filter: medical device alert, issued after 2012; keine derartigen Störungen bekannt
CPRD	Clinical practice research datalink	www.cprd.com	keine Informationen erhalten
AHRQ	Agency for healthcare research and quality	www.ahrq.gov	keine Informationen erhalten

Ein wichtiger Punkt bei der Recherche ist die Aktualität der Information. Die LED-Technik hat sich in den letzten Jahren rasant weiter entwickelt und wird vermutlich auch in Zukunft viele weitere Anwendungen und Neuerungen erfahren. Aus diesem Grund sind Quellen, die schon älter als 15 Jahre sind, kritisch zu hinterfragen, da die Informationen darin nicht mehr aktuell sind.

Informationen zu den Herstellern, Lichtsystemen, LED-Komponenten und deren Eigenschaften sind über die Homepage bzw. Datenblätter der jeweiligen Firmen eingeholt worden.

Die Ergebnisse der Marktrecherche von Lichtsystem-Anbietern sind den Tabellen in Kapitel 4.1.1 zu entnehmen. Hersteller von LED-Lampen, Betriebsgeräten, LED-Modulen und Treibern können in Tabelle 9.2 im Anhang eingesehen werden. Selbstverständlich stellt diese Auflistung keine vollständige Nennung der am Markt befindlichen Hersteller dar. Viel mehr dient sie der ersten Orientierung.

Ein Brainstorming möglicherweise beeinflussbarer Geräte hat gezeigt, dass der Fokus auf Apparaturen gelegt werden sollte, die mit Hilfe von Photosensoren/-dioden Eingangsgrößen messen. Dazu zählen etwa IR-Fieberthermometer (IRT), Pulsoximeter (PO) oder Glukosemessgeräte. Eine genaue Auflistung der Geräte kann Tabelle 4.6 entnommen werden. Die Funktionsweise einiger Geräte, wie Pulsoximeter oder Bilirubinometer, und die verwendeten Wellenlängenbereiche, in denen diese Geräte arbeiten, sind diversen Arbeiten [30] [31] [32] [33] [34] entnommen worden.

Auch Laborgeräte sind in Betracht gezogen worden, jedoch ist davon auszugehen, dass diese Geräte keinen Störungen unterliegen, da sie abgeschlossene Systeme bilden und daher nur in geringem Maße auf äußere Lichteinflüsse reagieren. Die gewonnenen Erkenntnisse können Tabelle 9.3 im Anhang entnommen werden.

Abschließend sind die Abtastfrequenzen, mit denen die Photodioden das Signal abtasten (siehe Tabelle 9.4) und die Wellenlängen, mit denen diese das Signal senden, genauer betrachtet worden. Die Abtastfrequenzen sind mit den Modulationsfrequenzen von LED-Dimmern (siehe Tabelle 4.3) verglichen worden, um Testparameter für die Laborversuche festzulegen. Eine Gegenüberstellung der verschiedenen Frequenzen und Wellenlängen kann Tabelle 4.7 entnommen werden.

3.2 Methoden der Laborversuche

Im Labor sind fünf Pulsoximeter, zwei Infusionspumpen (IP) mit Tropfsensoren und ein IRT, siehe Abbildung 9.2 bis Abbildung 9.5 im Anhang, untersucht worden.

Als Störquelle ist ein LED-Feld, das aus vier LED-Modulen und einem gemeinsamen Steuergerät (Philips Xitanium 75W 0.12-0.40A) besteht, verwendet worden. Auf jedem LED-Modul befinden sich 6x8 Reihen Chip on Board (COB LED, siehe S.17) Leuchtdioden. D. h. insgesamt verfügt das LED-Feld über 192 Leuchtdioden. Zur Erzeugung von weißem Licht wird bei diesem LED-Feld die additive Farbmischung (siehe S.18) verwendet. Darauf lässt das Spektrogramm in Abbildung 4.3 schließen, da verschiedene Farbpeaks im Spektrum enthalten sind.

Die Laborversuche sind in drei verschiedene Abschnitte unterteilt worden. In den ersten beiden Laborversuchen ist abgeklärt worden, ob eine Beeinflussung der elektromedizinischen Geräte durch ein LED-Feld theoretisch möglich ist. Dazu sind von verschiedenen Leuchtmitteln und Geräten die Wellenlängen und Frequenzen (f_A und f_M) gemessen und miteinander verglichen worden. Im letzten Teil der Laborversuche ist versucht worden die Geräte mit dem LED-Feld zu stören.

3.2.1 Wellenlängenmessungen

Die Spektrometrie der Leuchtmittel und Geräte ist mit Hilfe der Software AvaSoft 7.5.1 und der dazugehörigen Hardware durchgeführt worden. Die Hardware besteht aus einem Lichtwellenleiter, einem Kosinuskorrektor, einem Notebook (Lenovo), auf dem die Software installiert ist und einer Recheneinheit, die das gewonnene Signal digital umwandelt. Der Kosinuskorrektor ist zusätzlich auf das Ende des Lichtwellenleiters geschraubt worden, um das einfallende Licht stärker zu bündeln und so die Lichtausbeute im Wellenleiter zu erhöhen. Die Ergebnisse der Spektrometrie sind in Excel-Dateien gespeichert und dort weiter bearbeitet bzw. grafisch dargestellt worden. In Kapitel 4.2.1 können die Grafiken eingesehen werden.

3.2.2 Frequenzmessungen

Bei den Frequenzmessungen ist bei den EMG und Lichtquellen unterschiedlich vorgegangen worden. Die Leuchtmittel sind mit Hilfe eines Frequenzgenerators angesteuert worden. Das emittierte Licht ist mit der Silicon PIN Photodiode BPW34 von Vishay aufgenommen und mit einem digitalen Speicheroszilloskop dargestellt worden. Beginnend bei 50Hz ist die Frequenz immer weiter erhöht worden und die Ver-

änderungen sind am Oszilloskop verfolgt worden. Die Erhöhung ist so lange durchgeführt worden, bis kein Signal mehr erkennbar gewesen ist bzw. kein Licht mehr emittiert worden ist. Damit ist überprüft worden bis zu welchen Frequenzen eine gepulste Übertragung des Lichts bzw. eines Signals möglich ist (siehe Kapitel 4.2.2.1). Bei den Geräten ist die Photodiode direkt vor den emittierenden Teil des Fingerclips bzw. Tropfensensors gehalten worden. Die dabei aufgenommenen Oszillogramme sind Kapitel 4.2.2.2 zu entnehmen.

Die verwendete Photodiode ist in eine Transimpedanzverstärker-Schaltung integriert worden, um die Empfindlichkeit und das Schaltverhalten der Diode zu verändern. Die Schaltung ist in Abbildung 9.1 im Anhang zu sehen.

3.2.3 Störversuche

Das LED-Feld ist in einer Höhe von ca. 180cm befestigt worden, sodass die Geräte darunter platziert werden konnten. Um den Abstand zwischen Gerät und LED-Feld genau zu bestimmen, ist eine Abstands-Messvorrichtung angebracht worden.

Das LED-Feld ist mit dem Leistungsverstärker Spitzenberger Spies und der Software Signal Manager 3.2, unter Umgehung des vorhandenen Steuergeräts, angesteuert worden. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 3.1 schematisch dargestellt. Mit Hilfe der Software ist es möglich verschiedene Pulsweitenverhältnisse (PWV) und Frequenzen am Notebook (Lenovo) einzustellen. Die angelegte Spannung ist mit $154V_{PK}$ (Spitzenspannung) festgesetzt und bei allen Versuchen beibehalten worden.

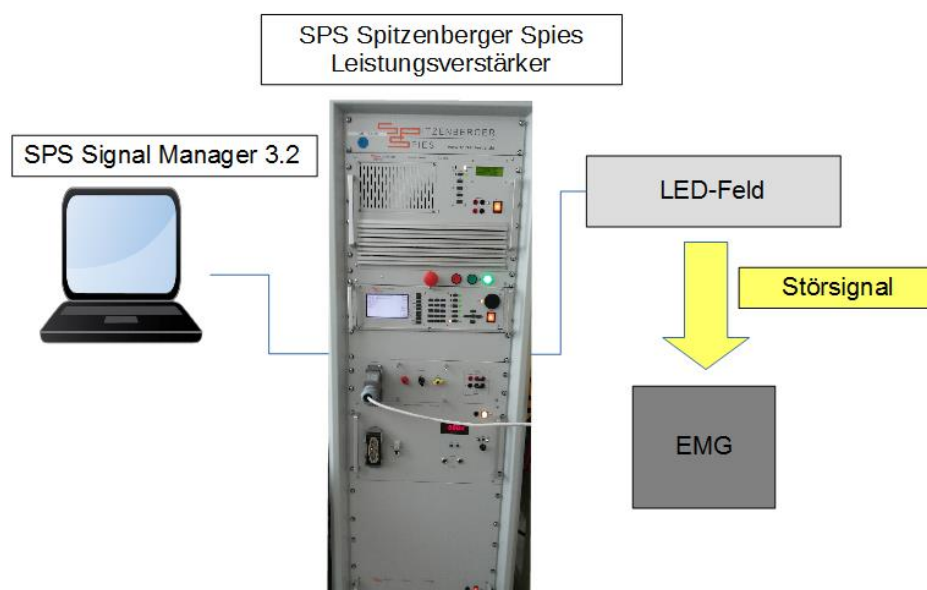


Abbildung 3.1 Versuchsaufbau

Da aus den Frequenzmessungen der Geräte bekannt ist, bei welchen Frequenzen die einzelnen Geräte arbeiten, sind in diesen Frequenzbereichen Störversuche unternommen worden. Beispielsweise arbeitet das Gerät MD300C2 mit 100Hz. Deshalb sind beginnend bei 80Hz in Zehnerschritten bis hin zu 130Hz Messungen durchgeführt worden. Zusätzlich sind pro eingestellter Frequenz unterschiedliche Pulsweiten getestet worden.

Beim Testen der Pulsoximeter ist das zu untersuchende PO auf den rechten Zeigefinger geclipt worden, während auf der linken Hand ein weiteres PO (NANOXeco) zur Überwachung der Pulsfrequenz (PFR) und der Sauerstoffsättigung (SpO_2) angebracht worden ist. Der überwachende Fingerclip ist möglichst weit vom LED-Feld weg und hinter dem Oberkörper der Probandin positioniert worden, damit eine Beeinflussung des Überwachungsgerätes durch das LED-Feld ausgeschlossen werden konnte.

Weiters ist versucht worden gängige Störquellen der Pulsoximetrie auszuschalten. Beispielsweise hat die Probandin während der gesamten Messungen keinen Nagellack getragen, um die Messergebnisse nicht zusätzlich zu verfälschen. Außerdem ist die Hintergrundbeleuchtung ausgeschaltet worden. Ein Einflussfaktor, der während der Messungen nicht eliminiert werden konnte, sind Bewegungen der Probandin während der Messungen. Der Laptop ist auf einem Labortisch gestellt worden, der sich nicht in Reichweite der Aufhängung für das LED-Feld befunden hat. Weiters musste in verschiedenen Abständen zum LED-Feld gemessen werden, was eine weitere physikalische Bewegung des Sensors zur Folge hatte. Das heißt, die Fingerposition ist nicht immer in Herzhöhe gewesen und der Sensor ist während der Messungen auch nicht vollkommen still gehalten worden. So musste die Probandin beispielsweise in die Hocke gehen, wenn im Abstand von 150cm und mehr gemessen worden ist. Bei ca. 50-100cm konnte auf einem Sessel Platz genommen werden. Nahe am LED-Feld musste der Finger über den Kopf gestreckt werden. Außerdem sind die Messungen tageszeitabhängigen Schwankungen unterlegen. Dadurch ergeben sich keine exakten Messungen des Pulses oder der Sauerstoffsättigung. Diese Messfehler sind jedoch nicht von Bedeutung, da nur gezeigt werden soll, dass eine (gravierende) Beeinflussung möglich ist und nicht die exakten Absolutwerte bestimmt werden sollen.

Es ergeben sich daher also einige Fehlerquellen bei den Messungen, jedoch kann immer ausgeschlossen werden, dass diese den eigentlichen Sinn der Messungen negativ beeinflussen, indem sie einen Ausfall oder eine Pulserhöhung verursachen. Wenn ein Pulsoximeter aufgrund von zu viel Bewegung oder Ähnlichem ausgefallen ist, sind diese Ausfälle als solche identifiziert worden und nicht als vom LED-Feld erzeugte Störungen gewertet worden. Denn durch wiederholte Messungen konnte gezeigt werden, dass diese Fehler nicht durch das LED-Feld verursacht worden sind. Die Ergebnisse der Störversuche sind in Excel-Tabellen eingetragen worden und können dem Anhang (Tabelle 9.5 bis 9.10) entnommen werden.

Zusätzlich ist mit einer Phasenanschnitt-Dimmung und einer Glühbirne getestet worden, ob auch bei diesem Verfahren eine Beeinflussung möglich ist. Die Ergebnisse dieser Messungen sind dem Kapitel 4.2.3 zu entnehmen.

Um möglichst nahe am „bestimmungsgemäßen Gebrauch“ des LED-Feldes zu sein, sind die Messungen noch mit der für das LED-Feld vorgesehenen Abdeckung durchgeführt worden. Zwar war aus den Wellenlängen- und Frequenzmessungen bekannt, dass die Abdeckung keinen Effekt auf die Wellenlänge oder die Modulationsfrequenz hat, jedoch sind zur Kontrolle noch einige Messungen durchgeführt worden. Denn eine andere Art der Beeinflussung durch die Abdeckung konnte nicht ausgeschlossen werden. Die Messpunkte sind aus den Messungen ohne Abdeckung abgeleitet worden - jene Stellen mit der größten Beeinflussung.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

4.1.1 Marktübersicht

Im Zuge der Literaturrecherche ist eine Marktübersicht über die am Markt erhältlichen LED-Felder, sowie Dimmer und Betriebsgeräte zu erstellen gewesen. Aufgrund dessen, dass die Bezeichnung LED-Feld von den Herstellern nicht verwendet wird, ist nach Anbietern von Lichtsystemen gesucht worden. Darunter ist eine Zusammenschaltung von LED mit einem Dimmer oder Betriebsgerät zu verstehen. Die Recherche ist für Österreich, siehe Tabelle 4.1, und Deutschland, siehe Tabelle 4.2, durchgeführt worden. Dabei ist zu beachten, dass diese Auflistung von Firmen keine vollständige Aufzählung aller am Markt befindlichen Anbieter darstellt.

Tabelle 4.1 Anbieter Lichtsysteme Österreich

Name	Website	Adresse
AVV-LED-Lichtsysteme GmbH	www.avv-leuchten.at	Prinz-Eugen-Straße 72, 6020 Innsbruck
sedotron Lichtsysteme	www.sedotron.com/de/	Amraser Straße 54, 6020 Innsbruck
Zumtobel	www.zumtobel.com/at-de/	Grabenstraße 23, 8010 Graz
Selux	www.selux.com/at/de/	Deutschstr. 4, 1230 Wien
lightsolutionsmounting lsm	www.lsm.co.at/	Westbahnstraße 11-13, 1070 Wien
Gemini	www.gemini-licht.com/	Tuttenhofstrasse 3, 2103 Langenzersdorf bei Wien
Regent lighting	www.regent.ch/de.html	Karl-Farkas-Gasse 22, 1030 Wien
Lichtpartner Albin Beichler GmbH	www.lichtpartner.at	Schmiedlstraße 1, 8042 Graz St.Peter
lighting design austria lda	www.lda.at	Mairenstraße 23, 3032 Eichgraben
XAL GmbH	www.xal.com	Auer-Welsbach-Gasse 36, 8055 Graz
alpha LED light	www.alpha-ledlight.at	Eschenstraße 3, 4040 Lichtenberg
Planlicht	www.planlicht.com/	Fiecht Au 25, 6130 Schwaz/Vomp
Bartenbach	www.bartenbach.com	Rinner Straße 14, 6071 Aldrans/Tirol
Tridonic GmbH & Co KG	www.tridonic.com	Färbergasse 15, 6851 Dornbirn
BELIGHTED	www.belighted.at	Hauptstraße 103, 2384 Breitenfurt bei Wien
Ecoled Soutlion	www.ecoledsolution.com	St.Johanner-Straße 49a, 6370 Kitzbühel
Elektro Hollauf GmbH	www.elektro-hollauf.at	10. Oktoberplatz 26, 9150 Bleiburg
Licht Design	www.lichtdesign.at	Hofhaymer Allee 21, 5020 Salzburg
Leuchtwurm GmbH	www.leuchtwurm.at	Gewerbegebiet Bradl 325, 6210 Wiesing

Quelle: Homepages der Firmen

Tabelle 4.2 Anbieter Lichtsysteme Deutschland

Name	Website	Adresse
Glamox	www.glamox.com/de	Daimlerring 25, 31135 Hildesheim
fuma LED	www.fumaled.com	Weststraße 30, 87561 Oberstdorf
Sonertec GmbH	www.sonertec.de	Forst-Arenberg-Str. 13, 26892 Dörpen
ALS GmbH & Co. KG	www.als.de	Mastorter Straße 29, 88069 Tettnang
Durlum GmbH	www.durlum.de	An der Wiese 5, 79650 Schopfheim
Oligo Lichttechnik GmbH	www.oligo.de	Meysstraße 22-24, 53773 Hennef
Bader LED-Lichtsysteme	www.bader-led.de/	
LEDORA	www.ledora.de	Felix-Wankel-Straße 70, 72108 Rottenburg am Neckar
Insta Elektro GmbH	www.insta.de	Hohe Steinert 10, 58509 Lüdenscheid
Working Light LED Lichtsysteme GmbH	www.workinglight.de	Hopfensack 8, 20457 Hamburg
Will#Licht	www.creative-led.com	Leeren Teich 13, 33154 Salzkotten
ELS GmbH & Co KG	www.els-lichtsysteme.de	Piderits Bleiche 17, 33689 Bielefeld
CLW creative Lichtgestaltung Wenzel	www.lichtgestalter.de	Am Handwerkerzentrum 1 (HIMO), 52456 Monschau
DigitaLicht AG	www.digitalicht.de	Gewerbepark Birkenhain 9/b, 63579 Freigericht Bernbach
mm-design Leuchten GmbH	www.mmdesign-leuchten.de	Finkenstraße 26, 90439 Nürnberg
TRILUX GmbH & Co KG	www.trilux.com/de	Heidestraße, 59759 Arnsberg
EPV Electronics GmbH	www.epvelectronics.com/de	Gevener Weg 36, 58809 Neuenrade
TLT Forchheim	www.tlt-forchheim.de	Dreikirchenstraße 23, 91301 Forchheim
Wir sind heller	www.wirsindheller.de	Dörspestraße 2, 51702 Bergneustadt
Lichtwerk GmbH	www.lichtwerk.de	Hellinger Strasse 3, 97486 Königsberg
Eledelux	www.eledelux.net	Milanweg 1, 72076 Tübingen
ECOLUX GmbH	www.led-ecolux.de	In den Tiefenäckern 2, 55590 Meisenheim

Quelle: Homepages der Firmen

Zusätzlich sollen die Kenngrößen der Produkte gegenübergestellt werden.

In Tabelle 4.3 sind alle Dimmer und Treiber, die untersucht worden sind, unter Angabe des Herstellers, des Typs, des Namens und der Dimm- (f_D) bzw. Modulationsfrequenz genannt. Diese sind dann noch ausführlicher betrachtet worden.

Tabelle 4.3 Auflistung Dimmer & Treiber

Hersteller	Typ	Name	f_D, f_M
ELV	Dimmer	HomeMatic 68 09 94 44	Dimmfrequenz: 200Hz
Pur-led technik	Dimmer	4-Kanal DALI PWM Dimmer	PWM- Frequenz: 500Hz
	Dimmer	3-Kanal PWM Dimmer	interne Schaltfrequenz: 250Hz
Schrack technik	Dimmer	LED DALI PWM RGB Dimmer	PWM- Frequenz: 440Hz
	Dimmer	LED PUSH & 1-10V Dimmer	PWM-Frequenz: 980Hz
DMX4all	Dimmer	DMX-LED Dimmer X9 HR	PWM-Frequenz: 244Hz, 2 oder 4kHz
	Dimmer	DMX-LED Dimmer P9	PWM-Frequenz: 244Hz
	Dimmer	DMX-LED Dimmer Maxi RGB	PWM-Frequenz: 240Hz
Osram	Dimmer	OTi DALI Dim	PWM-Frequenz: 350Hz, eigentlich aber Steuergerät
Lunatone	Dimmer	1 Ch LED Booster/Dimmer	PWM-Frequenz: 50Hz - 1kHz
Barthelme	Dimmer	Chromoflex Dimmer 3.0	PWM-Frequenz: 275Hz \pm 10%
Arnoldlicht	Dimmer	MC1	PWM-Frequenz: 2.5kHz
Maxim Integrated	LED driver	16840	analog dimming
	LED driver & Dimmer	16834	PWM-Frequenzen: 2, 20, 100 & 200kHz
	LED driver	16820	dimming ratio: 5000
Bilton	Dimmer	KNX LED-Dimmer Steel XT	Dimmfrequenz: 600Hz
Texas Instruments	LED driver	LM3448	kann dann mit TRIAC-Dimmer gedimmt werden
	LED driver	TCA6507	Dimming rate fully programmable
	Timer	LM555	für PWM Schaltzeiten
National Semiconductor	LED driver	LM3404 & LM3404HV	PWM-Frequenz: 200Hz (eine Größenordnung niedriger als Schaltfrequenz)
	LED driver	LM3406	PWM-Frequenz: 200Hz (als Bsp.)
	LED driver	LM3409 & LM3409HV	PWM & analog dimming
	LED driver	LM3421 & LM3423	suitable for fast PWM-dimming: 50kHz
ON Semi-conductors	LED driver	CC regulator & LED driver	CCR -> analoges Dimmen
	LED driver	CC regulator & LED driver	CCR -> analoges Dimmen
	LED driver	CC regulator & LED driver	CCR -> analoges Dimmen
	LED driver	NCL30001	„operating frequency“: 20 - 250kHz
	Dimmer	CAT9532	0.593 - 152Hz
NXP Semi-conductor	Dimmer	PCA9533	0.591 - 152Hz

Quelle: Homepages bzw. Datenblätter der Hersteller

Die Eigenschaften der LED-Dimmer können Tabelle 4.4 entnommen werden und die Eigenschaften der LED-Treiber Tabelle 4.5. Dabei sind die Versorgungsspannung (supply voltage) und der Versorgungsstrom (supply current), sowie die Modulationsfrequenz angegeben. Außerdem handelt es sich bei den Dimmern meist um das fertige Gerät, das zum Verkauf steht, während bei den LED-Treibern die Treiber-Bausteine untersucht worden sind.

Tabelle 4.4 LED-Dimmer Eigenschaften

Hersteller	Name	supply voltage	supply current	f_D, f_M
NXP Semiconductor	PCA9533	2.3 - 5.5V	550 μ A	0.591 - 152Hz
ELV	HomeMatic 68 09 94 44	12 - 24V	45mA	Dimmfrequenz: 200Hz
Pur-led technik	pu-reled_PWMDimmer	12 - 36V ₌	4x3A	PWM- Frequenz: 500Hz
	pureled_3Kanal	12 - 24V	max 5A pro Kanal	interne Schaltfrequenz: 250Hz
Schrack technik	LED DALI PWM RGB Dimmer	12 - 24V	10A	PWM- Frequenz: 440Hz
	LED PUSH & 1-10V Dimmer	12 - 24V	10A	PWM-Frequenz: 980Hz
DMX4all	DMX-LED Dimmer X9 HR	7 - 24V ₌	9x10A max	PWM-Frequenz: 244Hz, 2 oder 4kHz
	DMX-LED Dimmer P9	12 - 24V	9x10A max	PWM-Frequenz: 244Hz
	DMX-LED Dimmer Maxi RGB	12 - 24V ₌	3x10A max	PWM-Frequenz: 240Hz
Osram	OTi DALI Dim	10 - 24V	X	PWM-Frequenz: 350Hz, eigentlich aber Steuergerät
Lunatone	1 Ch LED Booster/Dimmer	12, 24 oder 48V ₌	15A max	PWM-Frequenz: 50Hz - 1kHz
Barthelme	Chromoflex Dimmer 3.0	12 - 24 V ₌	2mA Steuerstrom	PWM-Frequenz: 275Hz \pm 10%
Arnoldlicht	MC1	5 - 30V ₌	2.5A max	PWM-Frequenz: 2.5kHz
Philips	PCA9530	2.3 - 5.5V	50mA	0.591 - 152Hz
Bilton	KNX LED-Dimmer Steel XT	230V _~	4x1A	Dimmfrequenz: 600Hz
ON Semiconductors	CAT9532	2.3 - 5.5 V	16x25mA	0.593 - 152Hz

Quelle: Homepages bzw. Datenblätter der Hersteller

Tabelle 4.5 LED-Treiber Eigenschaften

Hersteller	Name	supply voltage	supply current	f_D, f_M
Maxim Integrated	16840	6.5 - 48V	3mA	analog dimming
	16834	4.75 - 28V	10mA	f = 20 kHz, dimming ratio: 3000; PWM-Frequenzen: 2, 20, 100 & 200 kHz
	16820	4.5 - 28V	±20mA max	f = 20 kHz, dimming ratio: 5000
Texas Instruments	LM3448	8 - 12V	1.2A	kann dann mit TRIAC-Dimmer gedimmt werden
	TCA6507	minus 0.5 - 4.6V	±20mA	Dimming rate fully programmable
National Semiconductor	LM3404 & LM3404HV	6 - 47 V	1A	PWM-Frequenz: 200Hz (eine Größenordnung niedriger als Schaltfrequenz)
	LM3406	6 - 42V	1.7A	PWM-Frequenz: 200Hz (als Bsp.)
	LM3409 & LM3409HV	6 - 42V	5A	PWM & analog dimming
	LM3421 & LM3423	4.5 - 75V		suitable for fast PWM-dimming: 50kHz
ON Semi-conductors	NSI45025AZ	45V	27.5mA	CCR -> analoges Dimmen
	NSI45030A	45V	30mA	CCR -> analoges Dimmen
	NSI50010Y1G1	50V	10mA	CCR -> analoges Dimmen
	NCL30001	minus 0.3 - 20 VCC	±100mA	operating frequency: 20 - 250kHz

Quelle: Homepages bzw. Datenblätter der Hersteller

4.1.2 Störbeeinflussung

Beleuchtungsstärke

Bei vielen elektromedizinischen Geräten, die mit Photodioden oder Lichtsensoren arbeiten, kann direktes Sonnenlicht oder elektrisch erzeugtes Licht zum Ausfall des Gerätes führen. Grund dafür ist die hohe Beleuchtungsstärke, wodurch der Sensor gestört wird. Sonnenlicht weist genauso wie Licht im Operationssaal eine Beleuchtungsstärke von 100.000lx auf. Trifft das Licht direkt auf den Sensor, so kann dieser das zu messende Lichtsignal nicht mehr aufnehmen und fällt aus. Modernere Geräte versuchen diesem Effekt mit Hilfe von sogenannten „Tageslichtfiltern“ entgegen zu wirken, jedoch bleibt das Problem für im Einsatz befindliche, ältere Geräte bestehen. Es handelt sich dabei also nicht um eine LED-spezifische Beeinflussung. Aus diesem Grund ist dieser Effekt im Labor nicht explizit gemessen worden.

Netzurückwirkungen

LED-Betriebsgeräte haben meist einen Power Faktor < 1 und entnehmen die Energie pulsartig, wodurch ein Teil der Energie zurück ins Energieversorgungsnetz reflektiert wird. Dort überlagert sich dieser Anteil mit dem ursprünglichen Signal und „verschmutzt“ somit das Versorgungsnetz. Die reflektierten Anteile sind meist ganzzahlige Vielfache der Grundschwingung (harmonische Oberwellen). Dadurch wird das Netz instabil und es kann zu Ausfällen kommen. [35] [36]

Um diese Beeinflussung des Versorgungsnetzes durch schlecht konstruierte Geräte zu vermeiden, wird versucht die Hersteller dazu anzuhalten ihre Geräte mit einem höheren PF auszustatten. Ein sehr erfolgreiches und bekanntes Abkommen in diesem Bereich ist das EnergyStar Kriterium. Energy Star ist ein internationaler Standard für energieeffiziente Konsumprodukte in den USA. Um das Energy Star-Zeichen zu erhalten, müssen LED einige Kriterien [37] erfüllen, beispielsweise müssen sie einen PF von mindestens 0.9 aufweisen.

Hersteller von LED-Betriebsgeräten sind jedoch noch nicht dazu verpflichtet einen gewissen Mindest-PF einzuhalten. Beim Kauf eines Betriebsgeräts sollte daher darauf geachtet werden, dass ein hoher PF eingehalten wird.

Es gibt außerdem noch die Möglichkeit eine Power factor correction (PFC) zu verwenden. Man unterscheidet zwischen aktiver und passiver PFC. [18]

Da zum Thema „Netzurückwirkungen bei LED-Beleuchtung“ bereits eine Literaturarbeit existiert [11], wird in dieser Arbeit nicht weiter auf diese Form der Störbeeinflussung

sung eingegangen. Jedoch wird an dieser Stelle noch auf zwei Normen verwiesen: EN 50160:2006 „Merkmale der Spannung in öffentlichen Energieversorgungsnetzen“ und die EN 61000-3-2 bzw. EN 61000-3-12 „Grenzwerte für Oberschwingungsströme“ (einmal <16A, das andere Mal >16A).

Elektromagnetische Verträglichkeit

Bei allen elektrischen Geräten spielt die elektromagnetische Verträglichkeit eine immer größere Rolle. Zum einen werden die Geräte im Laufe der Jahre immer leistungsfähiger und schneller, wodurch mehr Störfrequenzen generiert werden, zum anderen werden die Geräte störepfindlicher. Aus diesem Grund soll auch in Bezug auf LED die EMV kurz angesprochen werden.

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat dazu einen Bericht veröffentlicht [38], indem unter anderem die von LED erzeugten EMF kurz diskutiert werden. Die SSK bestätigt in einem weiteren Bericht: „Es geht daher von LED-Lampen keine Gefährdung durch elektrische oder magnetische Felder aus [...]“ [2]

Von elektronischen Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen ist allerdings bekannt, dass Störfrequenzen generiert werden. Diese können IR-Steuerungen stören, wenn die erzeugten Frequenzen zwischen 35 - 40 kHz liegen. [12]

Der Verband ZVEI hat einen Bericht zum Thema „LED - gesetzliche und normative Anforderungen“ [39] veröffentlicht, indem sämtliche für LED relevante Normen, sowie die EMV von LED, besprochen werden. Es existieren bereits viele Normen bezüglich EMV, jedoch wird an dieser Stelle darauf verzichtet diese einzeln zu erwähnen.

Überlagerung von Modulations- und Abtastfrequenz

Die wohl interessanteste und wichtigste Störbeeinflussung für diese Arbeit ist im Folgenden dargestellt. Wenn LED mit Hilfe der PWM gedimmt werden, so kann sich die Modulationsfrequenz mit der Abtastfrequenz von elektromedizinischen Geräten überlagern. EMG haben teilweise Sensoren eingebaut, die das Lichtsignal nicht kontinuierlich messen, sondern in gewissem Abstand das Signal abtasten. Kommt es nun zu einer ungünstigen Überlagerung der beiden Frequenzen kann es, zumindest theoretisch, zu einem Ausfall oder einer Fehlfunktion des EMG kommen.

Die Ergebnisse der Recherche nach Geräten, bei denen eine Störung denkbar ist, kann Tabelle 4.6 entnommen werden. Dabei ist die Funktionsweise bzw. das Messprinzip untersucht worden, um eine mögliche Beeinflussung festzustellen. Es ist vor allem darauf zu achten, ob die Geräte Eingangsgrößen mit Photosensoren oder Photodioden messen.

So sind einige Geräte in die engere Auswahl (siehe Tabelle 9.3 im Anhang) genommen worden. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um folgende Geräte:

- Blutzuckermessgerät (BZMG)
- Tropfensensor der Infusionspumpe
- IR-Fieberthermometer
- Photoplethysmographie (PPG)
- Lichtreflexionsrheographie (LRR)
- Hämoxymeter (Häm)
- Patientenmonitor (PM) mit Puls- und SpO₂-Messfunktion
- Pulsoximeter mit Fingerclip (FC)
- nicht invasives Bilirubinometer (BRM)
- Woodlampe (WL)
- Pulsuhren ohne Brustgurt

Tabelle 4.6 Auflistung möglicherweise beeinflussbarer elektromedizinische Geräte

Messgerät	Beschreibung Prinzip	rel. ¹	Notizen
Blutgasanalysator	gemessen werden folgende Parameter im Blut: pH, pCO ₂ , pO ₂ , sO ₂ , Birkarbonat/HCO ₃ , Säure-Basen-Haushalt; bei Patienten mit Atmungsstörungen & Sauerstoffmangel [40]	nein	wahrscheinlich immer geschlossener Aufbau
Blutkörperchen-zählgerät	Prinzip beruht auf geringer Leitfähigkeit der Blutkörperchen: wenn ein Körperchen in das Innere des Elektrodenraums eindringt, ergibt sich eine dem Partikelchen proportionale Widerstandsänderung, die gemessen werden kann, d. h. die Impulse werden elektronisch gezählt [41]	nein	hat nichts mit optischen Sensoren zu tun, basiert auf Wanderung der Blutkörperchen in einer Lösung
Blutkörperchensenkungsgeschwindigkeit Messgerät	Blut wird ungerinnbar gemacht und dann in die Apparatur gestellt, dort senken sich nach der Zeit die festen zellulären Blutbestandteile nach unten ab	nein	IR-Sensoren zur Messung, Röhrchen werden in Gerät gesteckt [42]
Blutzuckermessgerät	Glukose im Blut reagiert mit Reagenzien auf Teststreifen, es kommt zur Reaktion, wobei Reaktionsprodukte entstehen, deren Farbintensität bzw. Menge proportional zur Glukosemenge ist; optisch, amperometrisch oder nicht-invasive Methode [43]	ja	interessant wird nur die optische Variante, dabei wird Teststreifen mit Blut getränkt, wodurch er sich farblich ändert & dann durchleuchtet wird
Tropfensensor (in Infusionspumpe)	IR-Sensoren in Spezialausführung: transmissive Sensoren, nehmen Bewegung wahr, wenn Tropfen durchfließt ²	ja	andere Messverfahren wie mit Temperaturveränderungen sind nicht relevant
kontinuierlich messender Glukosesensor	es werden durch chemische Reaktionen an Elektroden Stromflüsse erzeugt, deren Stromstärke proportional zur Glukosekonzentration ist [44]	nein	hat nichts mit optischen Sensoren zu tun
Refraktometer	Bestimmung des Brechungsindex von flüssigen oder festen transparenten Stoffen. Dazu wird das Verhalten von Licht am Übergang zwischen Prisma und zu prüfendem Stoff genutzt [45]	nein	geschlossener Aufbau oder man sieht direkt in eine Lichtquelle, keine optischen Sensoren, die gestört werden könnten
Zapper, BRT, Magnetfeldtherapie		nein	Alternativmedizin
Radiofrequenztherapie	4MHz, für chirurgische Eingriffe verwendet, weil schönere Schnittränder [46]	nein	Hautstraffung, Behandlung chronischer Schmerzen, Krampfadern etc.
Elektrotherapie	Strom mit Nieder- oder Mittelfrequenz wird zur Therapie genutzt, ~143Hz [47]	nein	nicht sicher ob Störfrequenzen so großen Einfluss auf die Geräte ausüben können
VIS/UV - Spektroskopie	über die Absorption von Licht bzw. Photonen und Anhebung in höheres Energieniveau kann die absorbierte Energie berechnet werden [48]	nein	wieder abgeschlossener Aufbau, Einkopplung von Umgebungslicht undenkbar

¹ rel. ... relevant² Honeywell transmissive sensor

Messgerät	Beschreibung Prinzip	rel.	Notizen
CO ₂ -Brutschrank	CO ₂ -Messung mit Hilfe der IR-Sensoren im Brutschrank; wird verwendet um Proben zu erhitzen bzw. zu sterilisieren [49]	nein	sieht aus wie Kühlschranks, Sensoren befinden sich im Inneren, Bestrahlung mit Licht nicht möglich
Spektrometer	Strahlung wird in Bezug auf ihr Wellenlängenspektrum untersucht; bei Messungen wird Umgebungslicht vermieden [50]	nein	meist geschlossener Aufbau (im Labor)
IR - Fieberthermometer	mit Hilfe von IR-Strahlung wird Gewebe (z. B. Stirn) bestrahlt, reflektierte Photonen werden von Photodetektor gezählt und dadurch entsteht elektr. Signal das proportional zur Temperatur ist [51]	ja	Photosensor könnte beeinflusst werden, optimaler Arbeitsabstand 5-8cm
Photoplethysmographie	misst mit IR-Licht, ist Ausgangspunkt für Impedanzplethysmographie (IPG) & LRR [52]; davon abgeleitet ist die digitale Photoplethysmographie (D-PPG)	ja	meist mit Manschette oder Aufkleber
Lichtreflexionsrheographie	wieder Messung mit IR-Licht + Sensor, zur Beurteilung des Wiederauffüllvermögens von Venen; Patient wird zur aktiven Muskelbewegung aufgefordert und man beobachtet danach ob der Bluttransport der Venen normal ist [53]	ja	Manschette wird ca. 10cm über dem Knöchel an Unterschenkelinnenseite befestigt, wird meist synonym verwendet mit PPG
Hämoxymeter	Messung der Sauerstoffsättigung [54]	ja	Ausgangsverfahren für Pulsoximetrie
Patientenmonitor	überwacht verschiedene Vitalparameter des Patienten	ja	nur wenn sie SpO ₂ -Messfunktion z. B. über Fingerclip haben
Photometer	Instrument zur Messung photometrischer Größen (Lichtstärke, Leuchtdichte etc.); Bestimmung von Konzentrationen in Lösungen, nach Lambert-Beerschen Gesetz [55]	nein	bei geschlossenem Aufbau ist Störung nicht möglich; Probe wird in das Gerät eingeführt
Pulsoximeter	2 Dioden, die Licht im roten & IR-Bereich emittieren, werden von Sensoren detektiert; man unterscheidet Transmissions- und Reflexionsverfahren [30]	ja	Beeinflussung dann denkbar, wenn Finger nicht optimal mit Sensor zusammenpasst
nicht invasives Bilirubinmessgerät (Bilirubinometer)	misst mit Hilfe von Lichtleiter, Sensoren und eingestrahlttem weißen Licht die Bilirubinwerte von Neonaten [32]	ja	arbeitet im Prinzip mit einem Spektrometer, wird direkt an Haut angelegt
Woodlampe	mit UV-Licht bestrahltes Hautgewebe zeigt veränderte Hautstellen fluoreszierend auf [56]	nein	eher keine Beeinflussung denkbar
Pulsuhren ohne Brustgurt	mit IR-Licht & Sensoren wird Puls gemessen, ohne Brustgurt [57]	ja	in Beschreibung steht: kann durch Licht gestört werden

Quelle: angegebene Literatur

Die genannten Geräte sind genauer auf ihre Abtastfrequenz und Wellenlänge untersucht worden. Allerdings sind diese Informationen nur bei wenigen Geräten zugänglich gewesen. Aus diesem Grund ist die Suche verfeinert worden, indem nach verschiedenen Sensoren und Dioden gesucht worden ist. Die Ergebnisse der Recherche können Tabelle 9.4 im Anhang entnommen werden.

Zum besseren Verständnis sind alle Wellenlängen, Abtast- und Modulationsfrequenzen der in Frage kommenden Geräte und Dimmer in Tabelle 4.7 zusammengefasst. Diese Auflistung zeigt bereits einige Überschneidungen der Frequenzen.

Tabelle 4.7 Zusammenfassung der Literaturrecherche in Bezug auf die Wellenlänge, sowie der Abtast- und Dimmfrequenz der elektromedizinischen Geräte, Dimmer, Sensoren und Dioden

Gerät	Hersteller	λ^3 [nm]	f_A^4, f_D^5 [Hz]	Quelle
Pulsoxi		660-760 & 810-940		[34]
	Philips Medical	660 & 910	10 - 2.000	Info aus Tabelle 9.3
	Mindray	660 & 905/940		Info aus Tabelle 9.3
		660 & 940		[30]
		660 & 940		[58]
	Nellcor	660 & 900		Info aus Tabelle 9.3
	Konica Minolta	665 & 880		Info aus Tabelle 9.3
			50 - 200	[33]
	Fraunhofer Institut		200	Info aus Tabelle 9.3
	Weinmann		300 bzw. 75	Info aus Tabelle 9.3
MIR		400	Info aus Tabelle 9.3	
		33,33; 40,91; 75; 81,81; 100; 150; 300	[59]	
Dimmer	ON Semiconductor		0,593 - 152	Info aus Tabelle 4.3
	NXP Semiconductor		0,591 - 152	Info aus Tabelle 4.3
	ELV		200	Info aus Tabelle 4.3
PWM Dimmer	Texas Instruments		200	Info aus Tabelle 4.3
			100 - 1.000	[24]
			100 - 120	[60]
	National Semi		200	Info aus Tabelle 4.3
	Maxim Integrated		2, 20, 100, 200 kHz	Info aus Tabelle 4.3
	Arnoldlicht		2.500	Info aus Tabelle 4.3
	Barthelme		275	Info aus Tabelle 4.3
	Lunatone		50 - 10.000	Info aus Tabelle 4.3
	Osram		350	Info aus Tabelle 4.3
	DMX4all		240, 244	Info aus Tabelle 4.3
Schrack Technik		440, 940	Info aus Tabelle 4.3	
Pur-led technik		500	Info aus Tabelle 4.3	

³ λ ... Wellenlänge

⁴ f_A ... Abtastfrequenz

⁵ f_D ... Dimmfrequenz

Gerät	Hersteller	λ [nm]	f_A, f_D [Hz]	Quelle
Wood Lampe	DermoPro	345 - 450		Info aus Tabelle 9.3
		254, 365		[56]
PM	Philips Medical	500-1.000		Info aus Tabelle 9.3
BRM	Dräger	450 & 550		Info aus Tabelle 9.3
	MBR	360 - 800		Info aus Tabelle 9.3
HMG	MBR	500 - 1.000		Info aus Tabelle 9.3
PPG	LEA Medizintechnik	450 - 800		Info aus Tabelle 9.3
	Medis	950	0.2 - 25	Info aus Tabelle 9.3
LRR	Elcat	940		Info aus Tabelle 9.3
	LEA Medizintechnik	450 - 800		Info aus Tabelle 9.3
	Medis	950	0 - 10	Info aus Tabelle 9.3
Sensoren	Texas Instruments	550, 650		Info aus Tabelle 9.4
	Fairchild Semiconductor	880	10.000	Info aus Tabelle 9.4
	AMS	428, 470, 565, 645	10, 100, 1.000	Info aus Tabelle 9.4
	AMS	470, 524, 640		Info aus Tabelle 9.4
	Honeywell	880		Info aus Tabelle 9.4
Photo- diode	Hamamastu	190 - 1.000, 320 - 730, 320 - 1.000, 320 - 1.100		Info aus Tabelle 9.4
	Fairchild Semiconductor	700 - 1.100		Info aus Tabelle 9.4
	First Sensor	635, 800, 900, 632, 410, 550		Info aus Tabelle 9.4

Quelle: siehe letzte Spalte

4.2 Ergebnisse der Laborversuche

4.2.1 Wellenlängenmessungen

Im Folgenden werden die Spektrogramme der verschiedenen Leuchtmittel und Geräte dargestellt.

4.2.1.1 Spektren der Leuchtmittel

In Abbildung 4.1 sind die Spektren unterschiedlicher Leuchtmittel dargestellt. Es ist sehr gut zu erkennen, dass die Glühbirne ein sehr breites Wellenlängenspektrum im Bereich von ca. 400 - 1100nm aufweist. Da sich die Spitze des Wellenberges bei knapp 700nm befindet, welches dem roten Wellenlängenbereich entspricht, nehmen wir das Licht einer Glühbirne als eher „warmes“ Licht wahr, unabhängig davon wie heiß die Glühbirne im Betrieb wird. Im Gegensatz dazu werden das Licht der Leuchtstoffröhre (LR) und der Energiesparlampe (ESL) als „kaltes“ Licht beschrieben, da im Spektrum viele grüne und blaue Anteile enthalten sind.

Das LED-Feld hat einen sehr spezifischen Verlauf (der auch in [2] und [61] bestätigt wird), mit einem Peak im blauen Spektralbereich und einem etwas breiteren Peak im grünen bis roten Bereich. Ob es einen Unterschied macht, wenn im grünen bzw. blauen oder im roten Bereich gestört wird, kann im Labor nicht gezeigt werden, da nur Geräte zur Verfügung stehen, die im roten Wellenlängenbereich arbeiten.

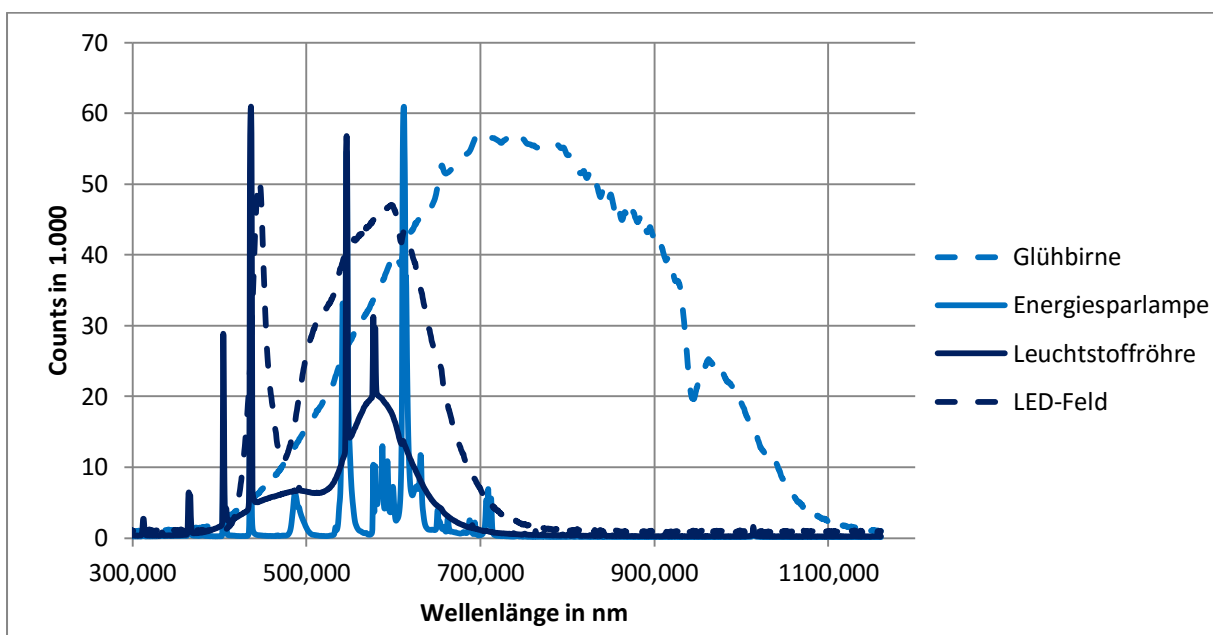


Abbildung 4.1 Spektren verschiedener Leuchtmittel ohne Hintergrundbeleuchtung

Einfluss der Hintergrundbeleuchtung

In Abbildung 4.2 ist der Einfluss der Hintergrundbeleuchtung auf die Wellenlängenmessung sehr deutlich zu sehen. Bei 436nm, 546nm und 611nm ergeben sich in allen Spektren Peaks, die als Störeinfluss der Hintergrundbeleuchtung gesehen werden. Aus diesem Grund sind alle Messungen bei ausgeschaltetem Deckenlicht (Hintergrundbeleuchtung) durchgeführt worden.

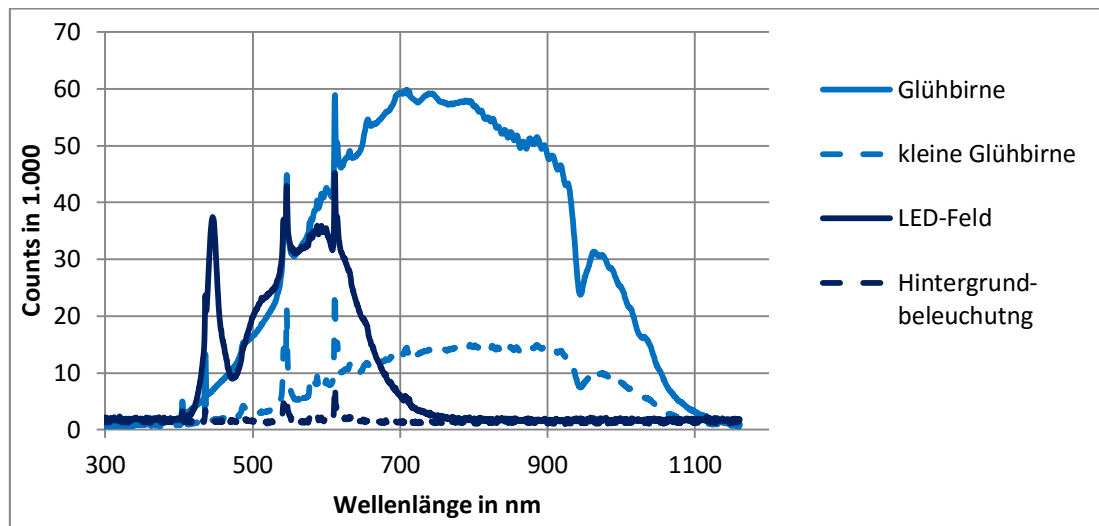


Abbildung 4.2 Spektren verschiedener Leuchtmittel mit Hintergrundbeleuchtung

Einfluss LED-Feld-Abdeckung

Der mögliche Einfluss der Abdeckung des LED-Feldes kann Abbildung 4.3 entnommen werden. Es hat sich gezeigt, dass diese keine Veränderung der Wellenlänge mit sich bringt, da keine Veränderung im Spektrum zu sehen ist.

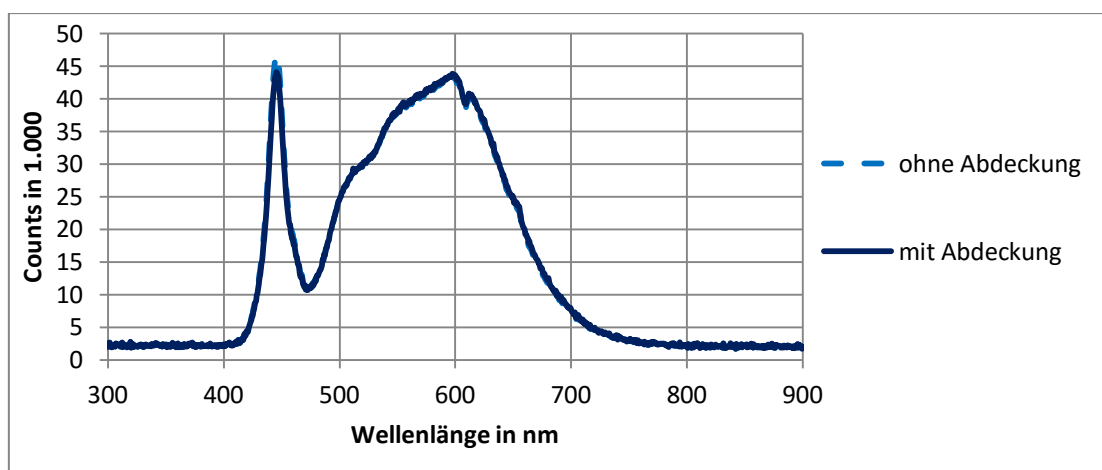


Abbildung 4.3 Spektrum des LED-Feldes mit und ohne Abdeckung

4.2.1.2 Spektren ausgewählter Geräte

Die Spektren der Sensoren der Infusionspumpen sind in Abbildung 4.4 dargestellt.

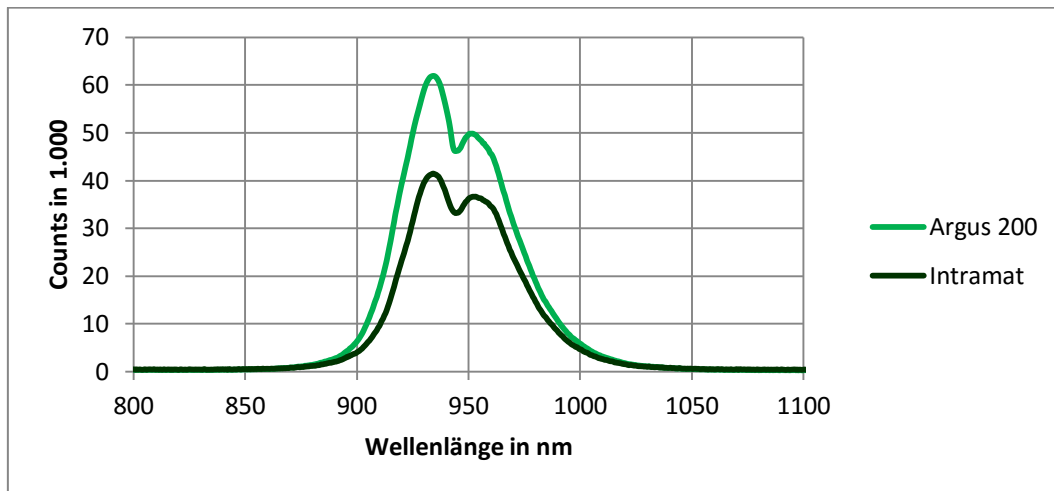


Abbildung 4.4 Spektren der Sensoren der Infusionspumpen

Die Spektren der Sensoren der fünf getesteten Pulsoximeter sind in Abbildung 4.5 zu sehen. Diese zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf. Aus Tabelle 4.8 kann eine genaue Auflistung der Wellenlängen der Geräte und Leuchtmittel entnommen werden.

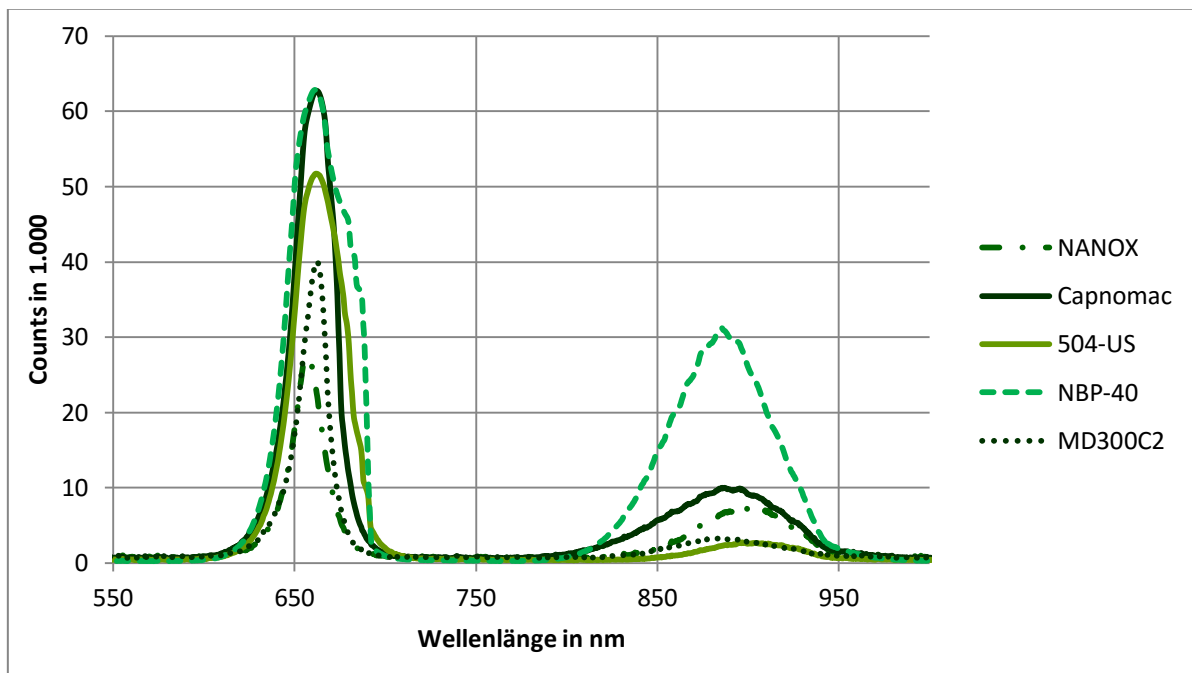


Abbildung 4.5 Spektren der Sensoren verschiedener Pulsoximeter

4.2.1.3 Fazit

Die nachfolgende Abbildung 4.6 soll zeigen, dass eine Beeinflussung der Infusionspumpen, am Beispiel des Geräts Argus 200, durch das LED-Feld eher unwahrscheinlich ist. Die von den Sensoren der IP emittierten Wellenlängen liegen außerhalb des vom LED-Feld erzeugten Spektralbereichs. Eine Störung der Pulsoximeter hingegen kann nicht ausgeschlossen werden, da sich die Spektren des LED-Feldes und der Sensoren der PO im roten Bereich teilweise überlagern. Die Peaks im IR-Bereich können nicht mit dem LED-Feld erzeugt werden.

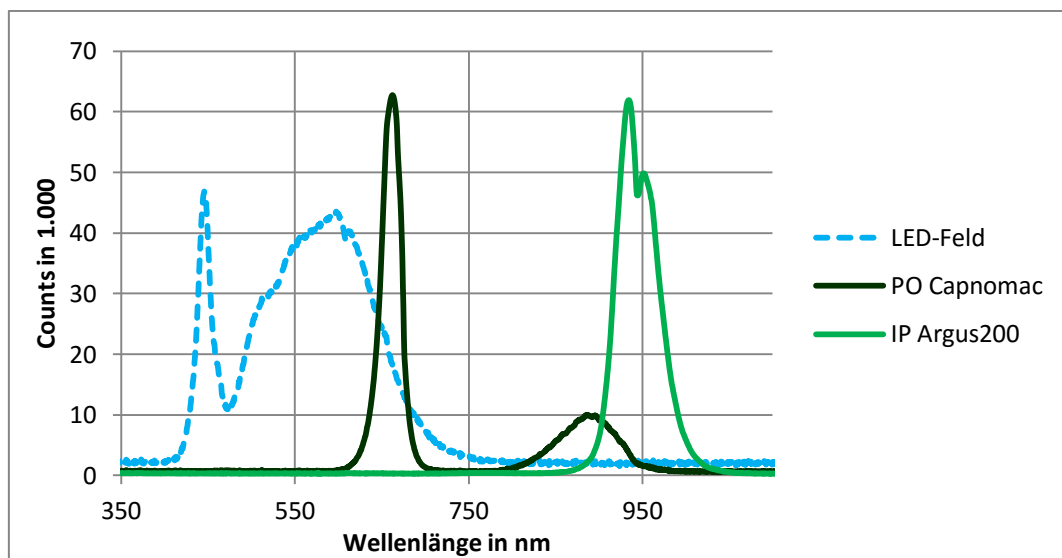


Abbildung 4.6 Überlagerung der Spektren von IP, PO und LED-Feld

4.2.2 Frequenzmessungen

4.2.2.1 Oszillogramme der Leuchtmittel

Die mit dem Oszilloskop aufgenommenen Bilder der angesteuerten Leuchtmittel sind in den folgenden Abbildungen zu sehen. Mit Hilfe des Frequenzgenerators sind verschiedene Frequenzen und als Signalform ein Rechteck eingestellt worden. Durch eine Frequenzerhöhung ist festgestellt worden, bis wohin ein Betrieb des Leuchtmittels noch sinnvoll ist. Die Oszillogramme sollen zeigen, bis zu welchen Frequenzen noch Signale gemessen werden konnten.

In Abbildung 4.7 ist das Oszillogramm der Energiesparlampe bei einer eingestellten Frequenz von 40kHz dargestellt. Die „Obergrenze“ für die Energiesparlampe ist mit 40kHz angesetzt worden, da das Signal schon sehr schwach ist.

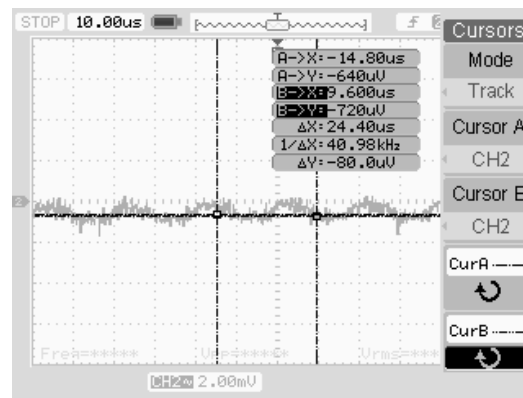


Abbildung 4.7 Oszillogramm der Energiesparlampe im Betrieb bei 40kHz

In Abbildung 4.8 sind die Oszillogramme der Glühbirne bei zwei verschiedenen Frequenzen dargestellt. Links ist die Glühbirne mit 50Hz und rechts mit 500Hz (Lichtausbeute noch ausreichend) betrieben worden.

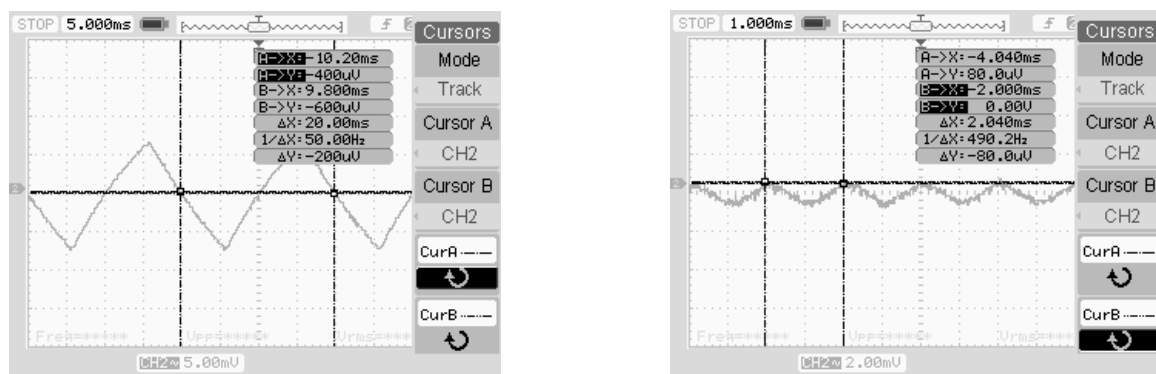


Abbildung 4.8 Oszillogramme der Glühbirne im Betrieb bei 50Hz & 500Hz

Das LED-Feld wurde ebenfalls bei 50Hz (links) und 300Hz (rechts) betrieben, die Oszillogramme sind in Abbildung 4.9 zu sehen.



Abbildung 4.9 Oszillogramme des LED-Feldes im Betrieb bei 50Hz & 300Hz

Im Unterschied zur Glühlampe stellen 500Hz kein Problem dar. Die ermittelte obere Grenze, bei der ein Betrieb des LED-Feldes noch mit annehmbarer Lichtausbeute möglich ist, liegt bei ca. 500kHz, siehe Abbildung 4.10. Allerdings ist dann die Signalform schon sehr verzerrt. Wenn aber nur ein gewisser Schwellenwert als Trigger nötig ist, um eine Aktion auszulösen (beispielsweise um als Pulsschlag zu zählen), so ist dies noch möglich, da sehr große Spitzen im Signal enthalten sind.

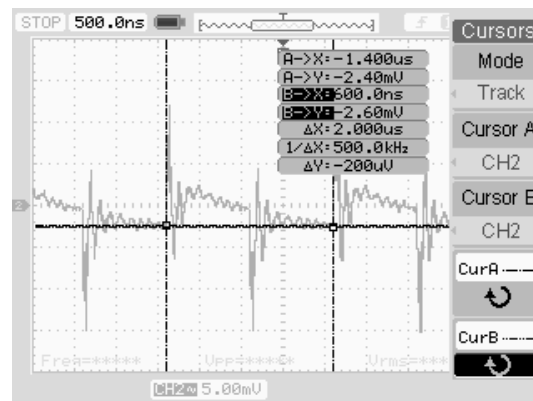


Abbildung 4.10 Oszillogramm des LED-Feldes im Betrieb bei 500kHz

4.2.2.2 Oszillogramme der Geräte

Bei den Pulsoximetern sind die Abtastfrequenzen ermittelt worden, indem die Photodiode BPW34 direkt vor die emittierende Diode im Fingerclip gehalten worden ist. Für das Gerät 504-US sind dabei die Oszillogramme in Abbildung 4.11 aufgenommen worden. Es hat sich heraus gestellt, das dieses PO abwechselnd im roten und IR-Spektralbereich Signale aussendet. Wodurch sich der einmal rechteckähnliche und einmal sägezahnförmige Signalverlauf ergibt, welcher im linken Bild zu sehen ist. Im rechten Bild ist nur mehr der rechteckförmige Signalanteil zu sehen, da mit Hilfe eines IR-Filters (840 - 1050nm) der IR-Anteil im Signal herausgefiltert worden ist. Dadurch ist die Frequenz des Signals im roten Spektralbereich ermittelt worden.

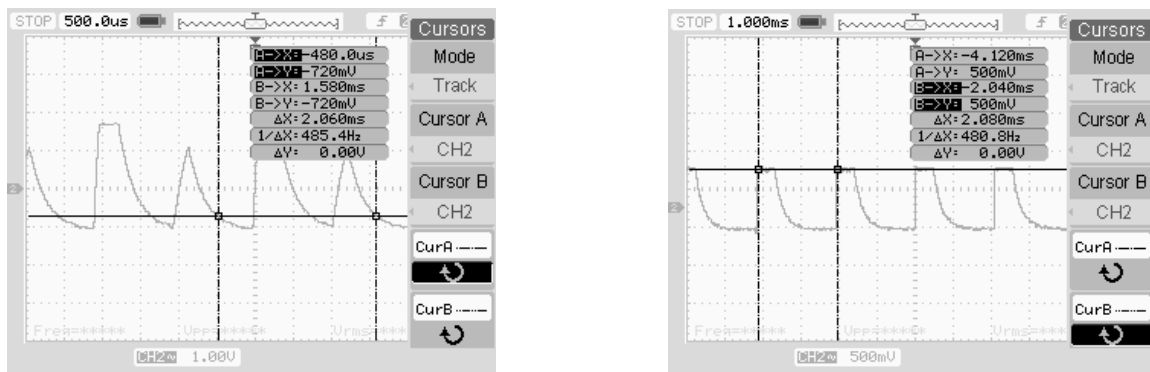


Abbildung 4.11 Oszillogramm des PO 504-US mit und ohne IR-Filter

Die Oszillogramme der PO CapnomacULTIMA (links) und MD300C2 (rechts) sind in Abbildung 4.12 dargestellt. Bei diesen Geräten werden der rote und IR- Signalanteil zeitgleich ausgesandt.

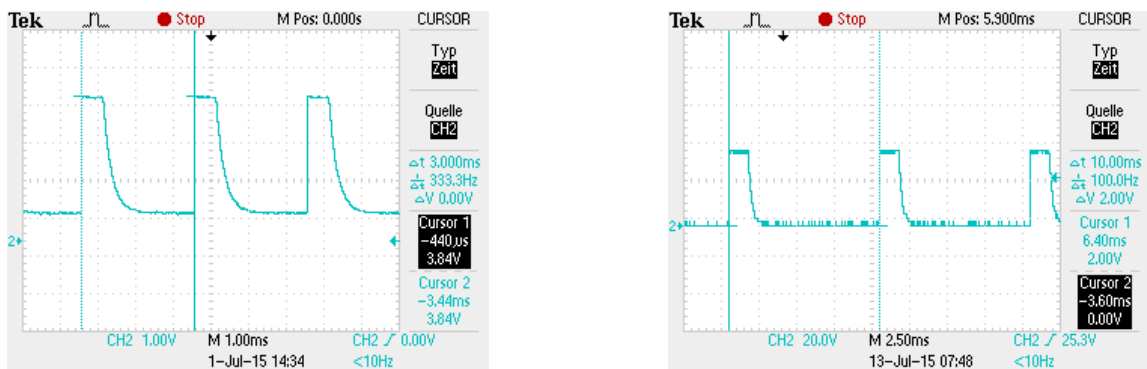


Abbildung 4.12 Oszillogramm der PO CapnomacULTIMA und MD300C2

Das Gerät NANOXeco sendet die zwei Signale (rot und IR) kurz hintereinander aus, wodurch sich zwei Peaks ergeben, siehe Abbildung 4.13.

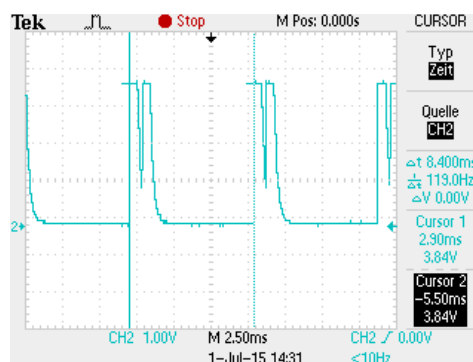


Abbildung 4.13 Oszillogramm des PO NANOXeco

4.2.2.3 Fazit

Die Werte der ermittelten Wellenlängen und Frequenzen sind in Tabelle 4.8 zusammengefasst. Bei den Leuchtmitteln ist jene Frequenz eingetragen, bei der der Betrieb noch sinnvoll ist bzw. ein Signal am Oszilloskop erkennbar ist. Für die Wellenlängen der Sensoren der Pulsoximeter ist aus den Excel-Dateien jeweils der höchste Wert ausgelesen worden. Bei den Tropfensensoren, dem LED-Feld, der IR-Diode und der Glühbirne ist eine willkürliche Grenze gesetzt worden, ab der der Peak gezählt worden ist.

Tabelle 4.8 Wellenlängen, Abtast- und Modulationsfrequenzen der verschiedenen Messobjekte

Geräte / Leuchtmittel	f_A^6, f_M^7 [Hz]	λ^8 [nm]	Bemerkung
Glühbirne	ca. 500	400 - 1.100	über alle Messungen gemittelt
ESL	40k	404, 436, 546, 612	die 4 größten Peaks wurden abgelesen
LR	-	404, 436, 546, 690	die 4 größten Peaks wurden abgelesen
LED-Feld	ca. 500k	447, 487 - 667	über 20.000 Counts
IR-Diode	ca. 900k	772 - 981	über 1.000 Counts
504-US	480	662, 897	Maximalwert ausgelesen
Capnomac	333	662, 886	Maximalwert ausgelesen
NPB-40	-	660, 886	Maximalwert ausgelesen
NANOXeco	119	656, 897	Maximalwert ausgelesen
MD300C2	100	662, 887	Maximalwert ausgelesen
Infusomat	-	-	nicht funktionstüchtig
Intramat	-	872 - 1.032	über 1.000 Counts
Argus200	-	872 - 1.032	über 1.000 Counts
IR-Fieber- thermometer	-	-	wahrscheinlich handelt es sich um Sensor, emittiert nichts

⁶ f_A ... Abtastfrequenz

⁷ f_M ... Modulationsfrequenz

⁸ λ ... Wellenlänge

4.2.3 Störversuche

Es sind insgesamt fünf Pulsoximeter (Datex CapnomacULTIMA ist eigentlich ein Patientenmonitor mit Pulsoximeter-Funktion) gemessen worden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Störversuche einzeln für jedes Gerät präsentiert. Eine genaue Auflistung der getesteten Frequenzen, der Abstände, eingestellten Pulsweiten-Verhältnisse und der Sensorstellungen sind den Tabellen 9.5 bis 9.9 im Anhang zu entnehmen. Bei den Messstellen mit den markantesten Störungen sind noch Messungen mit Abdeckung des LED-Feldes durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser Messreihe können Tabelle 9.10 im Anhang entnommen werden. Anschließend ist noch mit einem Phasenanschnittsdimmer und einer Glühbirne überprüft worden, ob durch dieses Verfahren eine Beeinflussung der Geräte möglich ist.

Zusätzlich sind drei verschiedene Infusionspumpen und ein IR-Fieberthermometer versucht worden zu stören, jedoch konnten keine Abweichungen von der normalen Funktion festgestellt werden.

Criticare Systems Inc, 504-US

Bei diesem Gerät ist es relativ einfach eine Störung hervorzurufen, da durch den Aufbau des Fingerclips eine Einkopplung der störenden Lichtsignale möglich ist.

Die Variation der Pulsweite und Frequenz hat immer andere Ergebnisse zur Folge, es kann keine lineare Steigerung der Störungen mit längerer Einschaltzeit der Diode beobachtet werden. Bei der Angabe des Pulsweitenverhältnisses wird immer die Einschaltzeit zur Ausschaltzeit der LED angegeben. D. h. bei einem Verhältnis von 30 zu 70 ist die LED 30% des Zyklus eingeschaltet und 70% ausgeschaltet.

So ist es beispielsweise bei einem Pulsweitenverhältnis von 25 zu 75 sehr häufig der Fall, dass bei den verschiedenen Frequenzen ein zu hoher Puls angezeigt wird, während sich bei einem Pulsweitenverhältnis von 40 zu 60 die Störungen größten Teils auf veränderte Kurvenformen beschränken, siehe Tabelle 9.5 im Anhang.

Auffallend ist bei diesem Gerät, dass es öfters das Signal verliert. Vor allem dann, wenn sich die Probandin zu viel bewegt bzw. den Fingerclip zu schnell dreht. Dann verrutscht der Clip etwas und dadurch verliert das Gerät das Signal. Durch eine Fixierung des Kabels, das vom Gerät zum Fingerclip reicht, konnten die Ausfälle minimiert werden.

Das Ausmaß der Störung reicht von leichten Veränderungen der am Gerät abgebildeten Pulskurve bis hin zum kompletten Ausfall des Systems.

In Abbildung 4.14 ist eine starke Verzerrung der Pulskurve zu sehen. Bei diesem Ausmaß der Störung kann das Pulsoximeter das Pulssignal der Probandin nicht mehr aufnehmen und zeigt die zuletzt gemessenen Werte weiter an. Bei anhaltender Störung fällt das Gerät aus und gibt Alarm.



Abbildung 4.14 Anzeige der verzerrten Pulskurve des Geräts 504-US bei einem Störversuch

Eine weitere Störbeeinflussung zeigt sich, wenn das PO das zusätzliche Signal vom LED-Feld mit dem Pulssignal der Probandin mit misst und dadurch einen vermeintlich erhöhten Puls angibt. So zu sehen in Abbildung 4.15, wo sowohl der SpO₂-Wert (93%) als auch die Puls-Frequenz (174 1/min) von den eigentlichen Werten (SpO₂: 97%, PFr: 87 1/min) abweichen (vgl. Tabelle 9.5 im Anhang). Auch die Pulskurve ist stark deformiert, aber man kann sehen, dass das PO einzelne Pulse noch erkennt und deshalb auf einen fälschlicherweise erhöhten Puls schließt.

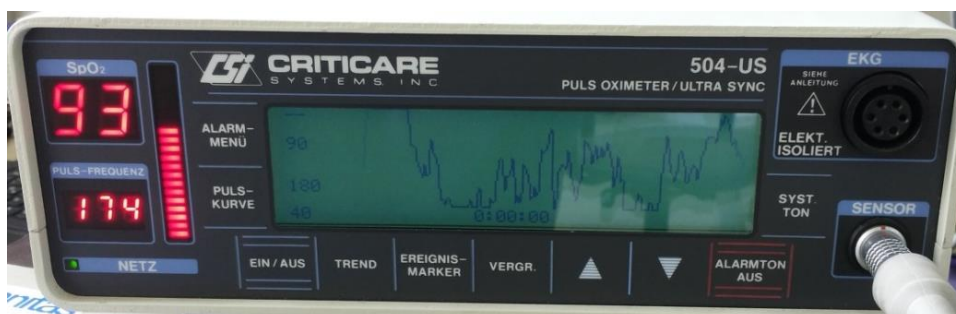


Abbildung 4.15 Anzeige falsch erhöhter Messwerte und einer stark deformierten Pulskurve am Gerät 504-US

Der Fingerclip (siehe Abbildung 4.16) ist seitlich und an der hinteren Seite, wo die Federn zum Öffnen des Clips eingebaut sind, relativ schlecht vom Umgebungslicht abgeschirmt. Die Position des Fingerclips, bei der fast immer eine Störung erzeugt werden konnte, war eine leicht schräge Haltung des Fingers. Da die emittierende Photodiode im oberen Teil des Clips eingebaut ist und der empfangende Sensor im unteren Teil, kann mit einer schrägen Fingerhaltung der Sensor leichter vom Licht des LED-Feldes erreicht werden.



Abbildung 4.16 Fingerclip des Geräts 504-US

Bei den Versuchen das Gerät mit der Phasenanschnittsdimmung zu stören, hat sich gezeigt, dass das Gerät das eingebrachte Licht als „Fremdlicht“ erkennt und ausfällt. Es konnte keine Veränderung des Pulses, des SpO₂-Wertes oder der Pulskurve erzeugt werden.

Datex, CapnomacULTIMA

Da der Capnomac eigentlich ein Patientenmonitor ist, sind die interessanten Bereiche am Bildschirm nur die Pulskurve ganz oben im Bild und die Werte für SpO₂ und PFr rechts unten im Bild. Wenn diese Werte eine voreingestellte Grenze über- oder unterschreiten, so meldet das Gerät, wie in Abbildung 4.17 zu sehen ist: „SpO₂ TIEF“ und „PF HOCH“. Im linken Bild ist zu sehen, dass die Pulskurve zuerst nur etwas deformiert ist, sobald das Gerät aber das Störsignal mit einbezieht, eine gezackte Pulskurve zu sehen ist. Der SpO₂ Wert sinkt auf 78% bzw. 79% ab, während die PFr rasant auf 215 Schläge pro Minute steigt. Die Probandin hat bei diesem Versuch ungefähr einen Puls von 75 1/min und eine Sauerstoffsättigung von 98% (vgl. Tabelle 9.6 im Anhang).



Abbildung 4.17 Anzeige veränderter Kurvenformen und falscher Werte am Gerät Capnomac

Wie in Abbildung 4.18 ganz rechts zu sehen ist, weist der Fingerclip seitlich sehr große Spalten auf. Dadurch soll wahrscheinlich gewährleistet sein, dass die Flügel des Fingerclips ebener am Finger anliegen und nicht „abstehen“. Dennoch sind die schwarzen Gummieinfassungen nicht optimal ausgeführt. Wenn diese weiter vorstehen, so ist eine bessere Abschirmung möglich, da diese sich wie ein Kokon um den Finger schließen. Bei diesem Fingerclip ist an der Stelle, wo die Federn zum Öffnen des Clips eingebaut sind, eine schwarze Plastikabdeckung montiert, wie man im mittleren Bild erkennen kann. Dies verhindert das Eindringen von Licht. Nichts desto trotz kann das Gerät gestört werden (vgl. Tabelle 9.6 im Anhang), wenn der Finger leicht schräg gehalten wird. Der auslösende Effekt ist bereits beim Gerät 504-US erklärt worden. Zusätzlich ist eine horizontale Einstrahlung des Lichts ein Problem. Dabei ergeben sich verzerrte Pulscurven. Eine stärkere Beeinflussung ist jedoch gegeben, wenn der Finger schräg gehalten wird. Zusätzlich muss die Fingerposition zum Sensor nicht optimal sein, damit der Puls oder Sauerstoffsättigungswert falsch gemessen wird. In diesem Fall soll das Gerät eigentlich eine Warnung ausgeben, dass der Finger nicht ganz am Sensor aufliegt.



Abbildung 4.18 Fingerclip des Geräts Capnomac

Mit der Phasenanschnittsdimmung können nur minimale Veränderungen in der Pulscurve verursacht werden. Die Störung äußert sich, indem ca. jeder dritte Wellenberg eine gezacktere Form als üblich hat. Es können auch hier weder PFr noch SpO₂-Wert verändert werden.

Beijing Choice Electronic Tech. Co.,Ltd, MD300C2

Das kompakte Fingerclip-Gerät MD300C2 neigt dazu sich leicht durch das LED-Feld beeinflussen zu lassen. Auch ohne Beleuchtung durch das LED-Feld hat das Gerät öfters Ausfälle bzw. braucht relativ lange, um von erhöhten Werten wieder auf normale Messwerte zurück zu kommen. Bei den Versuchen das Gerät zu stören, sind entweder falsche Messwerte oder Ausfälle die Folge gewesen. Zwischenfälle wie nur ein Stocken der Anzeige oder eine verzerrte Pulskurve sind äußerst selten.

Da das Gerät nur aus dem Fingerclip (siehe Abbildung 4.20) besteht, liegt das gesamte Gewicht des Geräts am Finger auf. Wenn der Finger etwas gedreht wird, so verrutscht das Pulsoximeter, wodurch die Position des Fingers zum Sensor verändert wird. In diesem Fall kann es zu falschen Messwerten kommen, wie in Abbildung 4.19 zu sehen ist. Die Probandin hat einen Puls von ca. 86 Schlägen pro Minute und einen SpO₂-Wert von 97%, während das Gerät eine PFr von 225 1/min und SpO₂ von 89% anzeigt (vgl. Tabelle 9.7 im Anhang).



Abbildung 4.19 Anzeige des Geräts MD300C2 während eines Störversuchs

Das Gerät erscheint als sehr gut abgeschirmt, siehe Abbildung 4.20. Doch auch bei diesem PO ist es nicht nur bei einer leicht schrägen Fingerhaltung, sondern auch bei einer Horizontalen möglich das Gerät zu stören.



Abbildung 4.20 Fingerclipgerät MD300C2

Das MD300C2 zeigt bei der Phasenanschnittsdimmung keine Störungen, jedoch fiel es zweimal während der Störversuche mit diesem Dimmverfahren aus. Diese Ausfälle werden aber nicht als Störung gewertet, sondern als generelle Schwäche des Gerätes, da es dazu neigt das Signal zu verlieren und auszufallen.

Nellcor, NPB-40

Dieses Pulsoximeter konnte ebenfalls beeinflusst werden, da wie in Abbildung 4.21 gut ersichtlich, von fast allen Seiten Licht in den Sensor eindringen kann. Auch die Sauerstoffsättigung konnte beeinflusst werden. Auffallend bei diesem Pulsoximeter ist, dass es nur selten dazu gebracht werden konnte falsche Messwerte anzuzeigen. Die Störbeeinflussung hat sich fast ausschließlich durch einen Ausfall des Geräts (vgl. Tabelle 9.8 im Anhang) geäußert.

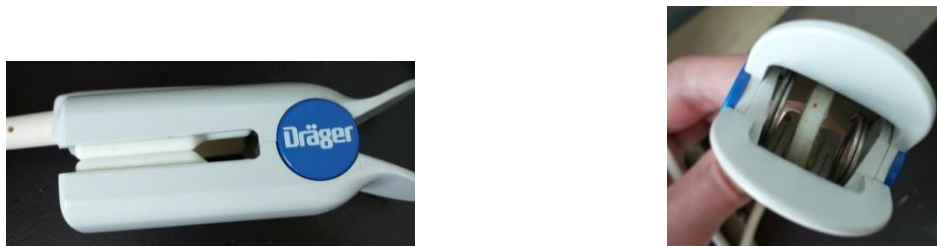


Abbildung 4.21 Fingerclip des Geräts NPB-40

Das Gerät ist nicht mit der Phasenanschnittsdimmung getestet worden, da es zum Zeitpunkt der Messungen nicht mehr verfügbar war. Jedoch ist versucht worden dieses Gerät mit einer handelsüblichen Glühbirne zu stören. Durch die Beleuchtung mit der Glühbirne konnten Ausfälle des PO verursacht werden. Allerdings nur in einem Abstand von ca. 3cm, was im „bestimmungsgemäßen Gebrauch“ nicht vorgesehen ist. Denn das Pulsoximeter befindet sich in keiner denkbaren Position so nahe an einer Glühbirne. Daher ist davon auszugehen, dass auch eine Beleuchtung mit dem Phasenanschnittsdimmer zum Ausfall des Geräts führt. Anzumerken ist, dass die Hersteller davor warnen, dass ihre Geräte bei direktem Lichteinfall möglicherweise nicht richtig funktionieren. Besonders bei starker Beleuchtung, wie durch OP-Lampen oder direkte Sonneneinstrahlung kann es zu Ausfällen kommen. Zur Vermeidung dieses Effekts wird empfohlen eine lichtundurchlässige Abdeckung auf den Sensor zu legen. [62]

Medlab, NANOXeco

Der Fingerclip dieses Geräts ist so konzipiert, dass jegliches Eindringen von Fremdlicht verhindert wird, siehe Abbildung 4.22. Der Clip ist an allen Stellen, wo Licht eindringen kann sicher verkapselt, da die Plastikverkleidung außen weit nach unten reicht. Auch von hinten ist nur ein minimaler Spalt zu sehen. Dies ist sicherlich der Hauptgrund, warum dieses Gerät nicht beeinflusst werden kann (vgl. Tabelle 9.9 im Anhang).



Abbildung 4.22 Fingerclip des Geräts NANOX

Manchmal setzt das Gerät kurz aus, jedoch geschieht dies auch ohne Beeinflussung durch das LED-Feld, weshalb diese Aussetzer nicht als Störung gewertet worden sind. Dennoch sind diese kurzen Aussetzer dokumentiert worden, siehe Tabelle 9.9 im Anhang.

Da sich dieses Gerät als das Zuverlässigste erwiesen hat, ist es als Referenzgerät eingesetzt worden. Trotzdem ist bei den Versuchen darauf geachtet worden den Fingerclip des NANOX vom LED-Feld weg zu positionieren.

Auch mit der Phasenanschnittsdimmung können keine Veränderungen der Funktion des Geräts verursacht werden.

Fazit

Im Labor konnte gezeigt werden, dass sich die Pulsoximeter dahingehend beeinflussen lassen, dass sie das Signal verlieren, der angezeigte Puls nach oben geht, bis der Alarm ausgelöst wird oder der SpO₂-Wert fällt. Diese Störungen können allerdings nicht nur direkt unter dem LED-Feld beobachtet werden, sondern auch seitlich in ca. 60cm Abstand zum LED-Feld. Der Abstand zum LED-Feld wirkt sich also auch seitlich auf die Beeinflussbarkeit aus.

Insgesamt kann gesagt werden, dass je weiter man den Sensor vom LED-Feld weg, platziert, desto geringer ist die Beeinflussung. Dabei muss man den Abstand zum LED-Feld jedoch radial vergrößern, da sowohl unter als auch seitlich zum Feld eine Beeinflussung möglich ist.

Der Aufbau des Fingerclips ist ein wesentlicher Faktor für die Störbarkeit. Je besser der Finger vom Clip umschlossen ist, wie es beispielsweise beim Gerät NANOXeco der Fall ist, desto weniger wird das Gerät gestört. Bei den Geräten, die gestört werden können, ist eindeutig zu erkennen, dass der Fingerclip seitlich große Öffnungen frei lässt, durch die das Licht des LED-Feldes eindringen kann.

Die Sensorstellung ist dabei auch sehr wichtig, eine leicht schräge Haltung des Fingers führt fast immer zu einer Beeinflussung des Sensors. Wenn der Finger hingegen ganz gerade gehalten wird, sodass das Licht senkrecht auf den Fingerclip fällt, kommt es eher selten zu einer Störung des Gerätes. Auch eine horizontale Bestrahlung, also seitlich zum Fingerclip, stellt sich als ungünstige Position heraus.

Als weiterer Punkt muss beachtet werden, dass nicht bei jeder Fingerform eine Beeinflussung möglich ist. Im Labor hat sich gezeigt, dass sehr schlanke, lange Finger eine ideale Ausgangsbasis für Störungen liefern, während es mit breiteren Fingern schwierig ist, das Gerät zu stören. Das lässt sich damit erklären, dass es einen Einheitsfingerclip für Erwachsene gibt. Somit füllen breitere Finger den Clip komplett aus und bedecken den Sensor ganz, während schlanke Finger eventuell einen Teil des Sensors nicht abdecken. Das einfallende Licht kann nahezu ungehindert auf den Sensor treffen.

5 Diskussion

Die in der Einleitung aufgezählten Dimmverfahren stellen die Hauptarten der verwendeten Dimm-Varianten dar. Es ist anzumerken, dass die Pulsweitenmodulation nicht die einzige Modulationsart ist. Weitere Verfahren sind die Pulsfrequenz-Modulation und die Pulscode-Modulation. Da diese aber praktisch nie eingesetzt werden, sind sie nicht behandelt worden.

Die Einarbeitung in die Thematik der Ansteuerung und Dimmbarkeit von Leuchtdioden zeigt, dass die Probleme nicht etwa durch das von LED erzeugte Licht selbst entstehen, sondern durch die Vorschaltel Elektronik. Um die einzelnen Elemente besser vergleichen zu können, sind die Eigenschaften der Dimmer und Treiber gegenübergestellt worden. Es ist anzumerken, dass die große Anzahl an Typen und Bauformen einen seriösen Vergleich der Kenngrößen erschwert. Zusätzlich unterscheiden sich die Geräte auch je nach Einsatzort, also indoor oder outdoor. Daher ist in den Vergleichs-Tabellen darauf geachtet worden, Geräte zu nennen, die annähernd die gleichen Eigenschaften haben. Beispielsweise handelt es sich bei den Dimmern hauptsächlich um PWM-Dimmer, aus dem einfachen Grund, dass diese Dimmmethode die Interessanteste, speziell für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit, ist.

Die Messungen von Wellenlänge und Abtast- oder Modulationsfrequenzen haben folgende Erkenntnisse mit sich gebracht:

- Das LED-Feld kann Wellenlängen im Bereich von 487 - 667nm emittieren. Die geprüften Pulsoximeter arbeiten im Bereich von 656 - 663nm mit der roten Diode (siehe Abbildung 4.5), welcher in den Bereich des LED-Feldes passt.
- Das LED-Feld kann ohne Probleme bei Frequenzen um 500Hz betrieben werden. Aus diesem Grund ist es theoretisch sehr wahrscheinlich, dass man mit dem LED-Feld die PO stören kann (siehe Abbildung 4.6), da die Wellenlängen und Frequenzen mit dem LED-Feld erreicht werden können.
- Der Wellenlängenbereich in dem die Tropfsensoren arbeiten (872 - 1032nm, siehe Abbildung 4.4), liegt außerhalb des Bereichs, der mit dem LED-Feld erreicht werden kann. Zusätzlich messen die Tropfsensoren kontinuierlich, wodurch eine Störbeeinflussung ausgeschlossen werden kann.

Auch die in Tabelle 4.8 dargestellten Ergebnisse lassen einige Rückschlüsse zu: Die Glühbirne weist einen sehr breiten Spektralbereich auf. Da Glühbirnen aber relativ träge sind und deshalb nicht mit der PWM gedimmt werden können, sind bisher keine Probleme aufgetreten. Würde die Glühbirne ebenfalls so schnell ein- und ausgeschaltet werden können wie eine LED, so würde sie auf dem gesamten Wellenlängenspektrum Geräte stören. Eine Glühbirne kann nur im Frequenzbereich von einigen Hundert Hertz betrieben werden.

Die Energiesparlampe kann zwar noch mit höheren Frequenzen betrieben werden, jedoch zeigt das Wellenlängenspektrum eindeutige Peaks (404nm, 436nm, 546nm und 612nm). Eine Störung durch die ESL wäre nur dann möglich, wenn ein Gerät genau bei diesen Wellenlängen arbeitet. In diesem Fall würden Geräte wie ein Bilirubinometer oder eine Wood-Lampe in Frage kommen.

Die IR-Diode ist gemessen worden, da sie als Referenz für die, in einen Fingerclip eingebauten, IR-Dioden dienen soll. Dabei ergab sich, dass theoretisch ein Betrieb bei Frequenzen bis 900kHz möglich ist. Da aber nicht bekannt ist, wie hoch die Abtastfrequenzen maximal sein können, sind keine weiteren Messungen mit der IR-Diode durchgeführt worden. Ein Betrieb bei so hohen Frequenzen ist nur möglich, wenn die eingebauten Sensoren das Signal noch aufnehmen können. In diesem Fall wäre es wahrscheinlich nicht mehr möglich, die Geräte mit dem LED-Feld zu stören, da dieses nur bis ca. 500kHz betrieben werden kann.

Bei den Störversuchen ist das LED-Feld, unter Umgehung des Betriebsgerätes, mit einem Leistungsverstärker angesteuert worden. Dadurch konnten verschiedene Pulsweitenverhältnisse und Frequenzen, sowie als Signalform ein „Rechteck“ eingestellt werden. Bei eingebauten Dimmern in LED-Lichtsystemen wird zwar auch mit einem Rechtecksignal gearbeitet, jedoch ergeben sich aufgrund der im Dimmer integrierten Bauteile Verzerrungen. Dadurch wird eigentlich nicht mit einem idealen Rechteck sondern mit einem rechteckähnlichem Signal gearbeitet, wodurch sich möglicherweise ein anderes Störverhalten der LED-Felder zeigt.

Die Störung der Sensoren beruht wahrscheinlich auf einer Addition beider Signale, also dem eigentlichen Messsignal und dem Störsignal. Daher steigt die Pulsfrequenz auf extrem hohe Werte an. Um den weitaus gefährlicheren Fall, dass der Proband tatsächlich einen viel zu hohen Puls hat, aber ein normaler Puls angezeigt wird, zu produzieren, müsste man mit dem Störsignal das Messsignal auslöschen oder in irgendeiner Form so abschwächen, dass es nicht gemessen werden kann. Die Ergebnisse des MD300C2 zeigen, dass es möglich zu sein scheint, da auch ein niedrigerer Puls als der eigentliche Puls angezeigt worden ist.

Um diese Störungen zu vermeiden reicht es den Sensor, beispielsweise mit einem Tuch, zu verdecken oder den Abstand radial zum LED-Feld zu vergrößern. Im Extremfall muss vielleicht das Licht ausgeschaltet werden, sofern dies möglich ist. Man kann auch die Dimm-Stufe verändern, da die Störungen von der Pulsweite und der eingestellten Frequenz abhängt. Wenn sich diese Beeinflussungen beispielsweise in einem Operationssaal ergeben, wird es relativ schwierig sein die Patienten zu verlagern, um den Abstand zu vergrößern oder die Dimmung des Lichts zu verändern. In diesem Fall sollte der Fokus auf der Abschirmung des Fingerclips mit einem OP-Tuch oder Ähnlichem liegen.

Grundsätzlich handelt es sich bei der Beeinflussung um eine vorübergehende Störung, der Sensor wird dadurch nicht dauerhaft geschädigt.

Auch mit Abdeckung des LED-Feldes können Störungen hervorgerufen werden. Die genauen Ergebnisse dieser Messungen sind Tabelle 9.10 im Anhang zu entnehmen. Teilweise gewinnt man den Eindruck, dass die Abdeckung die Störungen verstärkt. D. h. eine Beeinflussung ist auch noch bei größerem Abstand zum LED-Feld gegeben. Dies lässt sich damit erklären, dass die Abdeckung die Ausleuchtung der Umgebung homogener macht. Möglicherweise kann man sogar von einer Fokussierung der einzelnen Strahlen ausgehen. Umgekehrt kann an manchen Messpunkten weniger Beeinflussung gezeigt werden als mit Abdeckung. Aus diesem Grund und weil auch ohne Abdeckung die Störungen nicht immer gleich sind, ist es nicht möglich gewesen zu beurteilen, wie genau sich die Beeinflussung mit der Abdeckung verändert. Es wurde jedoch gezeigt, dass auch mit Abdeckung Störungen möglich sind.

Die Laborversuche konnten zeigen, dass es möglich ist, Pulsoximeter durch die Pulsweitenmodulation von dimmbaren LED zu stören. Die Rahmenbedingungen im Labor entsprechen dabei nicht ganz den Bedingungen in Krankenhäusern oder ähnlichen Einrichtungen, wo ein Pulsoximeter verwendet wird. Normalerweise wird nicht nur ein LED-Feld an der Decke montiert, sondern mehrere. Dadurch ergeben sich andere Einstrahlwinkel und Expositionswerte. Denkbar ist eine Verstärkung der Störfrequenzen, da sich die ausgesandten Lichtsignale von den LED-Feldern addieren. Zwar befindet sich der Patient meist nicht in unmittelbarer Umgebung zum LED-Feld, also 50-100cm Abstand, jedoch würde sich durch die Verstärkung mehrerer LED-Felder wahrscheinlich auch ein größerer Abstand ergeben, in dem noch eine Störung stattfinden kann. Da gezeigt werden konnte, dass auch seitlich zum LED-Feld eine Beeinflussung möglich ist, kann somit in jeder beliebigen Position zwischen den LED-Feldern eine Störung auftreten.

6 Ausblick

In weiteren Arbeiten zu diesem Thema muss geklärt werden, wodurch diese Störungen verursacht werden. Sowohl Superposition der Signale, als auch eine Reaktion auf einzelne Impulse scheinen mögliche Ursachen für die aufgetretenen Messfehler zu sein.

Eine Störbeeinflussung könnte verhindert werden, indem man die Frequenz, mit der die Geräte die Signale abtasten, verändert. Wählt man eine höhere Abtastfrequenz, muss die Leistungsfähigkeit der Sensoren dementsprechend erhöht werden. Das Kodieren der Messsignale ist, wie auch eine hardwaretechnische Änderung des Fingerclipaufbaus, eine weitere Möglichkeit, die Störbeeinflussung zu minimieren.

Für weiterführende Arbeiten sollten Simulatoren verwendet werden, die einen genauen Puls- und SpO₂-Wert vorgeben. Bei den Laborversuchen ist nur eine Probandin zu verschiedenen Tageszeiten gemessen worden. Daher ergeben sich grundsätzliche Unterschiede in den Messwerten. Weitere Einflussfaktoren wie Hitze oder Anstrengung haben auch einen Einfluss auf die absolute Höhe der Messwerte. Mit einem Simulator können diese biologischen Mess-Schwankungen eliminiert werden und genauere Messungen durchgeführt werden.

Zudem muss untersucht werden, ob sich auch andere Geräte wie beispielsweise ein Bilirubinometer stören lassen. Da der erste Peak des LED-Feld-Spektrums genau in jenem Wellenlängenbereich liegt, bei dem diese Geräte arbeiten (450nm, 550nm) [32], ist eine Beeinflussung zumindest in Bezug auf die Wellenlänge denkbar.

Weiters muss geklärt werden, ob es einen Unterschied in der Beeinflussbarkeit der Geräte je nach verwendeter Wellenlänge (blaues oder rotes Spektrum) gibt.

7 Schlussfolgerung

Viele Krankenhäuser wollen aus Gründen der Energie- und Kosteneinsparung, ihre Beleuchtung auf LED umstellen. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit von besonderem Interesse. Denn bei der Pflege von Patienten auf der Intensivstation können Störungen bzw. Messfehler durchaus lebensgefährlich sein.

Diese Arbeit konnte zeigen, dass grundsätzlich eine Störung von EMG durch dimmbare LED-Felder möglich ist. Insgesamt sind acht Geräte untersucht worden, wovon bei vier von fünf Pulsoximeter Fehlfunktionen aufgetreten sind.

Generell kann von einer Störung aller Geräte, die ähnliche Messverfahren wie ein Pulsoximeter anwenden, ausgegangen werden. Immer dann, wenn Licht mit Hilfe von Dioden emittiert wird und ein verändertes Signal (z. B. nach Durchleuchten von Gewebe) mit einem Sensor gemessen wird.

Zwei Bedingungen müssen erfüllt sein, damit es zu einer Beeinflussung kommt:

1. Die von den Leuchtdioden emittierte Wellenlänge muss mit der Wellenlänge bei der die Sensoren der Geräte arbeiten, übereinstimmen;
2. Die Modulationsfrequenz muss sich im Bereich der Abtastfrequenz des EMG befinden;

In welchem Rahmen sich das Ausmaß der Störungen zeigt, hängt vom Gerät, den Leuchtdioden und weiteren Faktoren, wie dem radialen Abstand des Geräts zum Leuchtmittel, der Form und Positionierung des Fingerclips, sowie den Fingerabmessungen der Probanden ab.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Winder, S.: *Power supplies for LED driving*.: Elsevier (2008)
- [2] Strahlenschutzkommission (SSK): *Moderne Lichtquellen, Stellungnahme der SSK* (2010)
- [3] "LED-Spezial: Die Lichtquelle LED," *licht.wissen*, 17: 18 - 21
- [4] Schubert, E. F.: *light-emitting diodes*, second edition ed. (2006)
- [5] (Abrufdatum: 20.07.2015) Led-Info [Online]. www.led-info.de
- [6] AUVA Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, *Safe LED Gesundheitsrisiken durch neuartige Hochleistungs-Leuchtdioden (LED)*, AUVA Report Nr.51 (2010)
- [7] Udovicic, L., Mainusch, F., Janßen, M., Nowack, D., Ott, G.: *Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED)*, Projekt F 2115 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2013)
- [8] (Abrufdatum: 03.04.2015) Uni Düsseldorf. [Online] http://www.uni-duesseldorf.de/MathNat/Biologie/Didaktik/Fotosynthese_neu/dateien/licht/bilder/licht.jpg
- [9] OÖ Energiesparverband, *Gute und effiziente Beleuchtung für Betriebe*, (Abrufdatum: 23.12.2014)
- [10] (Abrufdatum: 03.04.2015) Spektrum Lexikon. [Online] www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/augenempfindlichkeit/1098
- [11] Witt, C., *Netzurückwirkungen durch LED Beleuchtung* (2008)
- [12] Trilux-Lenze GmbH + Co KG, *"Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen nach DIN EN 12464-1 und weiteren DIN-Normen und Regelwerken der Beleuchtung"* (2004)
- [13] EN 12464-1 *Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen* (2011)
- [14] EN 12464-1 *Tabelle 3 - Lichtfarbengruppen von Lampen* (2011)
- [15] *Delegierte Verordnung (EU) Nr. 874/2012, 12.07.2012.*
- [16] EN 61347-1 *Geräte für Lampen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Sicherheitsanforderungen* (2013)
- [17] EN 62031 *LED-Module für Allgemeinbeleuchtung - Sicherheitsanforderungen* (2006)
- [18] Levicom, *PFC (Power Factor Corecction) Leistungsfaktor-Korrektur*

- [19] Hartl, H., Krasser, E., Pribyl, W., Söser, P., Winkler, G.: *Elektronische Schaltungstechnik*, Pearson Studium (2008)
- [20] (Abrufdatum: 20.07.2015) Led-Treiber [Online]. <http://www.led-treiber.org/>
- [21] (Abrufdatum: 11.05.2015) LEIFlphysik Schulprojekt der Joachim Herz Stiftung [Online] <http://www.leiflphysik.de/themenbereiche/quantenobjekt-photon/versuche>
- [22] Elektro-Material AG & Elevite: LED - leicht erklärt (2015)
- [23] "LED-Spezial: Betriebs- und Steuergeräte" *licht.wissen*, 17: 40 - 41
- [24] ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie (Fachverband Licht) Informationen zum Dimmen von LED-Lichtquellen (2014)
- [25] Wir sind heller (Abrufdatum: 20.07.2015) [Online] www.wirsindheller.de/Phasenanschnitt-Phasenabschnitt.139.0.html
- [26] Spektrum, Akademischer Verlag (2000) [Online] www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/flimmerverschmelzungsfrequenz/4211
- [27] Bacon, R. (Abrufdatum: 16.04.2015) Elektroniknet [Online] www.elektroniknet.de/optoelektronik/ledlighting/artikel/81342/
- [28] Poplawski, M., Biery, E.: "Dimming LED sources," Pacific Northwest National Laboratory (2012)
- [29] DALI AG, Digital adressable lighting interface (2002)
- [30] Maik, S. A.: In vivo Validierung eines neuen Verfahrens zur Pulsoxymetrie im niedrigen Sauerstoffsättigungsbereich (2008)
- [31] Couronne, R.: Erfassung der Pulswelle am Unterarm mittels optisch-transmissiver Plethysmographie (2011)
- [32] Himpel, K.: Evaluation eines transkutanen Bilirubinometers (2012).
- [33] Grebe, M.: Untersuchung von Ansteuer- und Analysverfahren für Pulsoximetriesensoren (2010)
- [34] Kreuzer, J.: Alltagstaugliche Sensorik: Kontinuierliches Monitoring von Körperkerntemperatur und Sauerstoffsättigung (2009)
- [35] Ongena, W. (2011) Energie und Technik [Online] www.energie-und-technik.de/smart-energy/artikel/82503/
- [36] Herr, J. (Abrufdatum: 18.05.2015) energie.ch. [Online] www.energie.ch/harmonische-oberschwingungen-netzqualitaet

- [37] Energy Star, Qualifying Criteria for Integral LED Lamps Version 1.3 (2010)
- [38] Strahlenschutzkommission (SSK), Elektromagnetische Felder neuer Technologien, Statusbericht der SSK (2013)
- [39] ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie (Fachverbände Elektroleuchten und elektrische Lampen), LED - Gesetzliche und normative Anforderungen (2008)
- [40] (Abrufdatum: 17.07.2015) PflegeWiki [Online]
<http://www.pflegewiki.de/wiki/Blutgasanalyse>
- [41] Rick, W.: *Klinische Chemie und Mikroskopie: Eine Einführung*, Springer (2013)
- [42] (Abrufdatum: 17.07.2015) Management & Krankenhaus [Online]
<http://www.management-krankenhaus.de/whitepaper/automatisierte-analyse-der-blutkoerperchensenkungsgeschwindigkeit>
- [43] (Abrufdatum: 17.07.2015) DochCheck Flexikon [Online]
<http://flexikon.doccheck.com/de/Blutzuckermessger%C3%A4t>
- [44] (Abrufdatum: 17.07.2015) Auf dem Weg zur künstlichen Bauchspeicheldrüse [Online]
<http://www.roche.com>
- [45] (Abrufdatum: 17.07.2015) Refraktometer.net [Online]
<http://refraktometer.net/refraktometer-funktionsweise/>
- [46] Radenhauser, M.: "4-MHz-Radiofrequenz-Therapie in der Dermatologie" *Ästhetische Dermatologie* 2011, 3: 23 - 24
- [47] Enraf-Nonius. (Abrufdatum: 17.07.2015) Nieder- und mittelfrequente Elektrotherapie
www.enraf-nonius.com.
- [48] Hesse, M., Meier, H., Zeech, B.: *Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie*, 7th ed, Georg Thieme (2005)
- [49] "Warm und kuschelig" *Laborjournal* 2012, 6
- [50] (Abrufdatum: 17.07.2015) Uni Bielefeld [Online] <http://www.uni-bielefeld.de/chemie/lehre/basispc/media/Spektrometer/>
- [51] Messtechnik Schaffhausen GmbH (Abrufdatum: 08.06.2015) Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung, www.mts.ch.
- [52] (Abrufdatum: 17.07.2015) DocMedicus [Online]
<http://www.gesundheits-lexikon.com/Vorsorge-Diagnostik/Herz-Kreislauf-Gefaesse/Photoplethysmographie-PPG-.html>

- [53] (Abrufdatum: 17.07.2015) Deutsche Gesellschaft für Phlebologie [Online]
<http://www.phlebology.de/leitlinien-der-dgp-mainmenu/92-leitlinie-zur-venoesen-diagnostik-mit-der-licht-reflexions-rheographie-photoplethysmographie>
- [54] (Abrufdatum: 17.07.2015) gesundheit.de [Online]
<http://www.gesundheit.de/lexika/medizin-lexikon/haemoxymeter>
- [55] Diaglobal GmbH, Vario Photometer Bedienungsanleitung
- [56] Wigger-Alberti, W., "Fluoreszenz im Wood-Licht," *Hautarzt* 1997, 48:523-527, Issue 8
- [57] (Abrufdatum: 17.07.2015) Fitness Modern [Online]<http://fitnessmodern.de/pulsuhren-ohne-brustgurt-und-pulsarmbaender-test-vergleich-und-ratgeber/>
- [58] Schlebusch, H.: Nichtinvasive Analytik. In: *POCT - Patientennahe Labordiagnostik*, Springer: ch. 14, 168-170 (2012)
- [59] Erwin, P., Schöller, B.: "Verfahren und Vorrichtung zur Messung eines physiologischen Parameters" DE102006041013 A1, März 15, 2007
- [60] Härter, H. (Abrufdatum: 07.06.2015) Elektronikpraxis [Online]
<http://www.elektronikpraxis.vogel.de/opto/articles/404899/>
- [61] AUVA Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Optische Strahlung
Sicherheitsbeurteilung von LEDs (2010)
- [62] Datenblatt Nellcor NPB-40
- [63] (Abrufdatum: 09.04.2015) Wikipedia Mischkristalle Farben [Online]
http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode#Farben_und_Technologie
- [64] (Abrufdatum: 31.03.2015) Elektronik Kompendium [Online]
<http://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0201111.htm>
- [65] (Aufrufdatum: 24.06.2015) Mikrocontroller Transimpedanzverstärker [Online]
http://www.mikrocontroller.net/articles/Lichtsensor/_/_Helligkeitssensor

9 Anhang

wichtige Anmerkungen

Wenn in dieser Arbeit von „Patienten“ gesprochen wird, so ist dieser Begriff als geschlechtsneutral aufzufassen.

Die Messungen sind fast ausschließlich an einer weiblichen Person durchgeführt worden, weshalb immer von einer „Probandin“ gesprochen wird. Zur Kontrolle wurden einige Messungen mit männlichen Personen durchgeführt. Diese Kontrollmessungen sollen zeigen, dass die Form der Finger ein wichtiger Einflussfaktor ist.

Tabellen und Geräteverzeichnis

Tabelle 9.1 Verwendete Mischkristalle

Mischkristall	Abkürzung	Farbe	λ [nm]
Galliumarsenid	GaAs	Infrarot	$\lambda > 760$
Aluminiumgalliumarsenid	AlGaAs	Infrarot Rot	$\lambda > 760$ $610 < \lambda < 760$
Galliumarsenidphosphid	GaAsP	Rot Orange Gelb Grün	$610 < \lambda < 760$ $590 < \lambda < 610$ $570 < \lambda < 590$ $500 < \lambda < 570$
Galliumphosphid	GaP	Rot Orange Gelb Grün	$610 < \lambda < 760$ $590 < \lambda < 610$ $570 < \lambda < 590$ $500 < \lambda < 570$
Aluminiumgalliumindiumphosphid	AlGaInP	Rot Orange Gelb Grün	$610 < \lambda < 760$ $590 < \lambda < 610$ $570 < \lambda < 590$ $500 < \lambda < 570$
Galliumnitrid	GaN	Grün	$500 < \lambda < 570$
Aluminiumgalliumphosphid	AlGaP	Grün	$500 < \lambda < 570$
Galliumindiumnitrid	GaInN	Grün Blau Violett	$500 < \lambda < 570$ $450 < \lambda < 500$ $400 < \lambda < 450$
Zinkselen	ZnSe	Blau	$450 < \lambda < 500$
Siliziumcarbid	SiC	Blau	$450 < \lambda < 500$
Aluminiumgalliumnitrid	AlGaN	Ultraviolett	$230 < \lambda < 400$
Aluminiumnitrid	AlN	Ultraviolett	$230 < \lambda < 400$

Quelle: [63] [64]

Tabelle 9.2 Herstellerliste

Name	L ⁹	B ₁₀	T ¹¹	M ₁₂	Website
NICHIA	✓	-	-	-	http://www.nichia.co.jp/en/about_nichia/index.html
Müller Licht	✓	-	-	-	http://www.mueller-licht.de/
Osram	✓	✓	-	-	http://www.osram.at/osram_at/
Philips (lumiled)	✓	✓	-	-	http://www.lighting.philips.at/lightcommunity/trends/led/
Zumtobel	✓	✓	-	-	http://www.zumtobel.com/be-de/
Delock lighting	✓	-	-	-	http://www.delock-lighting.de/
Excelsys	-	✓	-	-	http://www.excelsys.com/
Mean Well	-	✓	-	-	http://www.meanwell.com/
Goobay / Wentronic	✓	-	-	-	https://www.wentronic.com/de-de/index/categorie/Lichttechnik-11?q=
Greenled	✓	-	-	-	http://www.greenled.de/
Heitronic	✓	-	-	-	https://www.heitronic.de/startseite/
Ledon	✓	-	-	-	http://www.ledon-lamp.com/
Bioledex	✓	-	-	-	http://www.bioledex.de/
Toshiba	✓	-	-	-	https://www.toshiba.eu/lighting/de
Züblin	✓	-	-	-	http://www.zublin.at/productOverview.aspx
Radium	✓	-	-	✓	http://www.radium.de/de
Gira	-	✓	-	-	http://www.gira.de/gebaeudetechnik/produkte/dimmenden.html
Merten	-	✓	-	-	http://www.merten.de/LEDOTRON.945.0.html
Jung	-	✓	-	-	http://www.jung.de/
Feller	-	-	-	-	http://www.feller.ch/de
RECOM	-	✓	-	-	http://www.recom-international.com/de/railway
Brumberg	✓	✓	-	✓	http://www.brumberg.com/
LedExchange	✓	-	-	-	http://www.led-ex.de/home.html
Insta	✓	✓	-	-	http://www.insta.de/index.php
Gewiss	✓	-	-	-	http://www.gewiss.de/irj/portal
Tridonic	✓	✓	-	-	http://www.tridonic.com/com/en/index.asp
Paulmann	✓	-	-	-	http://www.paulmann.com/de/de/
NARVA	✓	-	-	✓	http://www.narva-bel.de/de/Home_10.html
LT Elektronik Gera	-	✓	-	✓	http://www.lt-elektronik.de/
Elektra	✓	-	-	-	http://www.elektra.de/de/unternehmen/
BLV	✓	✓	-	-	http://www.blv-licht.com/
Hadler	✓	✓	-	-	http://www.hadler-gmbh.de/hadler/
Holophane	✓	-	-	-	http://www.holophane.de/_by_application.htm
DigitalLicht	✓	✓	-	-	http://digitallicht.de/
VS lighting solutions	✓	✓	-	✓	https://www.vossloh-schwabe.com/home.html
Seoul Semiconductors	-	-	-	-	http://www.seoulsemicon.com/en/html/main/
Citizen	-	-	-	-	http://ce.citizen.co.jp/lighting_led/en/
Toyoda Gosei	✓	-	-	-	http://www.toyoda-gosei.com/seihin/
Everlight	-	-	-	-	http://www.everlight.com/Index.aspx?lang=en
Kingbright	-	-	-	-	http://www.kingbright.com/
Avago Technologies	-	-	-	-	http://www.avagotech.com/pages/home/
Cree	✓	✓	-	✓	http://www.cree.com/
Stanley Electronic Components	-	-	-	-	http://www.stanley-components.com/en/
Sharp	-	-	-	-	http://www.sharpleds.com/index.html

⁹ L ... Lampen¹⁰ B ... Betriebsgeräte¹¹ T ... Treiber¹² M ... Module

Name	L	B	T	M	Website
Diodes	-	-	✓	-	http://diodes.com/
Dialight	✓	-	-	-	http://www.dialight.com/
Luxeon	-	✓	-	✓	http://www.luxeonstar.com/
Fairchild	-	-	✓	-	https://www.fairchildsemi.com/
Infineon	✓	✓	-	-	http://www.infineon.com/cms/en/applications/lighting/
ISSI	-	-	✓	-	http://www.issi.com/US/Index.shtml
GE Lighting	-	-	✓	-	http://www.gelighting.com/LightingWeb/na/solutions/technologies/ballasts-and-drivers/ge-lighttech-led-drivers.jsp
Linear	-	-	✓	-	http://www.linear.com/products/LED_Driver_ICs
ON Semiconductors	-	-	✓	-	http://www.onsemi.com/
ST	-	-	✓	-	http://www.st.com/web/en/home.html
Texas Instruments	-	-	✓	-	http://www.ti.com/lscds/ti/power-management/led-lighting-overview.page
Samsung	-	-	✓	-	http://www.samsung.com/global/business/led/
Lumitronix	✓	-	-	-	http://www.leds.de/LED-Lampen-Leuchtmittel/
LG Innotek	✓	-	-	-	http://www.lg.com/de/led-lampen
I-save	✓	-	-	-	http://www.i-save-energy.com/
iimag	✓	-	-	-	http://www.iimag.de/lumimax.html
Ansorg	✓	-	-	-	http://www.ansorg.com/lighting-solutions-for-retail.html
Apollo Light	✓	-	-	-	http://www.apollo-light.de/
Auer Lighting	✓	-	-	-	http://www.auer-lighting.com/site/en/385/led-optics.html
PowerIntegrations	-	-	✓	-	http://led-driver.power.com/
Bridgelux	✓	-	-	✓	http://www.bridgelux.com/
Code Mercenaries	-	✓	-	-	http://shop.codemerccs.com/
Dilitronics	-	✓	✓	-	http://www.dilitronics.com/de/startseite/

Quelle: Homepages der Firmen

Tabelle 9.3 Recherche beeinflussbarer Geräte

Hersteller	Typ	Name	Bemerkung, f_A , λ
MIR Medical International Research	PO	Spirodoc ® Oxi	Sampling: 400Hz
Huntleigh	PO	Smartsigns MP1 & MP1R	R steht für rechargeable
	PM	Smartsigns Compact 1000 & 750	-
Schiller	PO	ARGUS OXM C & OXM plus & VS-100	-
	PM	ARGUS LCM plus & LCX & VS-100	-
Solaris Medical Technologies	PO	NT1 & 1A & 1B	-
	PM	NT3A & 3B & 3C & 3E & 3F	-
HUM Systems for Life	PO	AeroCheck ®	-
Taidoc	PO	TD-8201 & TD-8250	-
APEX	PO	SA210	-
VCOMIN	PO	PO-50C	-
Bionics	PO	PalmCare plus	-
	PM	BPM-1200 & -1010 & -1000 & -770 & -190	-
Advanced Instrumentations	PO	PO-100B	-
	PO	PM-1000M+ & -2000A & -2000A Pro & -2000XL & -2000XL Pro	-
MEK	PO	MP 570T & 110P & 111	-
	PM	MP1300 & 1000NTP & 800(C)	-
Bionet	PO	Oxy9wave	-
	PM	PM 1 & 3 & 5 & 7	-
MEDIANA	PO	P30 & 10	-
ChoiceMMed	PO	C15D & 18 & 59 & 2A & 20	-
Sinohero	PO	SM80	-
Henry Schein	PO	900-8275	-
MES	PO	Oxy Test 250 & 500 & 2000 & 2000M	-
Fraunhofer Institut	PO	OxiSENS	200Hz, Kommunikation mit ZigBee → Dimminfo auch mit ZigBee
Weinmann medical technology	PO	ChipOx	Pulsoximodul, 300Hz, Abtastrate ist aber einstellbar → 75Hz
Acutronic Medical Systems GmbH	PO FC	OxiPen + verschiedene Finger oder Ohrclips	extra Schutz gegen Lichteinfall
Nonin	PO	WirstOx2, Modell 3150	-
Medlab	PO Sensor	Pearl 5 & 8 & 10 & 100L & Nanox10 & 10C & P-OX100L & VITROmap	Speicher: ein Wertepaar alle 6 Sekunden, keine Abtastrate
Masimo	PO Sensor	iSpO2 & Rad5 & 8 & 57 & 87 & Pronto & Pronto 7 & Root	-

Hersteller	Typ	Name	Bemerkung, f_A , λ
Envitec	PO Sensor	MySignS & OxiPen & viele Sensoren	verschiedene Fingerclips aufgelistet
Konica Minolta	PO Sensor	Tru Sat PO & Tuff Sat Oxi- meter & 300 & 300i	665&880nm
	BRM	Biliblitz	-
Philips Medical	PO PM	GO2 PO	660&910nm bei GO2, 500-1000nm bei PM; 10-2000Hz, Auflösung 10Hz
	BRM	BiliChek	strahlt weißes Licht ein und misst Veränderung der Wellenlänge, Bili- rubin absorbiert bei 460nm
Mindray	PO PM	PM50 & 60	660&905nm oder 660&940nm
Bluepoint-medical	PO Sensor	Oxy True S & A & SC & SCW & FC & SF	keine Angabe über Abtastfrequenz oder Wellenlänge
Dräger	BRM	JM-102 & 103 & 105	450 & 550nm, Xenonblitzlampe
MBR Optical Sys- tems	Häm	HaemoSpect	500 - 1000nm
	BRM	BiliSpect	360 - 800nm
Medela Medizin- technik	BRM	BiliCheck	emittiert weißes Licht mit Wolfram- lampe
Medick	BRM	Bilimed	-
Syner Med	IRT	VeraTemp	-
Braun	IRT	Thermoscan IRT 4020 & 4520 & 6020 & NTF 3000	4520&4020 Messung im Innenohr -> nicht relevant
Medisana	IRT	FTN	-
	BZMG	MediTouch & 2 & GlucoDock	-
Tristar	IRT	TH-4654	-
Nufer Medical Ag	BRM	BiliCare	grüne & blaue LED
DermoPro	WL	Wood-Lampe	340-450nm
Waldmann	WL	DHL 109 M	-
Dr. Höhnle	WL	Dermalight 80	eigentlich UV-Lichtkamm, der unter anderem WOODlight Funktion hat
Elcat	D-PPG LRR	vasoquant 1000 D-PPG	940nm
	D-PPG	vasoquant 2000	940nm
LEA Medizintechnik	PPG LRR	O2C	450 - 850nm
Medis medizinische Messtechnik	D-PPG LRR	VenoScreen	-
	PPG LRR IPG	VasoScreen	LRR: 950nm & 0 - 10Hz PPG: 950nm & 0.2 - 25Hz
	PPG LRR	RheoScreen	LRR: 950nm & 0 - 10Hz PPG: 950nm & 0.2 - 25Hz
Hokanson	PPG	MD6RP	-
	PPG	EC&	-
Sonotechnik Austria	PPG LRR	AngE Phlebo	950nm & Samplingrate: 100Hz Impulsfrequenz: 2kHz
Nellcor	PO	Oximax N600x	660 & 900nm
Bayer	BZMG	Contour XT & NEXT & TS	-

Quelle: Homepages bzw. Datenblätter der Hersteller

Tabelle 9.4 Auflistung Sensoren & Dioden

Hersteller	Typ	Name	Bemerkung, f_A , I
First Sensor	Photodiode	rote Diode	635 & 800nm
	Photodiode	rote Diode	635 & 800 & 900nm
	Photodiode	Infrarot	632 & 900nm
	Photodiode	blaugrün	410 & 550nm
Sensirion	Massenflusssensoren für Flüssigkeiten		Durchflusssensoren, CMOSens ist ein Thermosensor
Honeywell	IR-Sensor	SMD2420	880nm
	transmissive sensor	HOA1882	hat keine spezifische Wellenlänge
	transmissive sensor	HOA1879	hat keine spezifische Wellenlänge
	transmissive sensor	HOA1870	hat keine spezifische Wellenlänge
	transmissive sensor	HOA088X	hat keine spezifische Wellenlänge
AMS	IR-Sensor	TSL267 IR	940nm, $f = 10, 100, 1000\text{Hz}$
	light sensor	TSL267	428 & 470 & 565 & 645nm $f = 10, 100, 1.000\text{Hz}$
	light sensor	RGB Sensor	470 & 524 & 640nm, $f = 1\text{kHz (noise)}$
Fairchild Semiconductor	Photodiode	QSD2030F	700 - 1.100nm, $\lambda_p^{13} = 880\text{nm}$
	Photosensor	QSE259	880nm, $f = 10\text{kHz}$
Hamamatsu	Photodiode	S1226series	190 - 1.000 & 320 - 1.000nm, $\lambda_p = 720\text{nm}$
	Photodiode	S1087	320 - 730 & 320 - 1.000 & 320 - 1.100nm $\lambda_p = 560 & 720 & 960\text{nm}$
Texas Instruments	light sensor	opt3001	550nm
	light sensor	opt101	650nm
	light sensor	opt301	650nm
	signal processing	ivc102	-

Quelle: Homepages bzw. Datenblätter der Hersteller

13 λ_p = Peak Sensitivity wavelength

Geräteverzeichnis

Leuchtmittel:

- Philips Tornado Energiesparlampe 1350lm, warm weiß, 220-240V, 97W
- kleine Glühlampe 12V, 1A
- Glühlampe Osram 40W, 220-230V
- Leuchtstoffröhre
- LED-Feld:
 - DALI Steuerung von Philips Xitanium 75W 0.12-0.40A 215V TD 230V
 - 4 LED-Module mit insgesamt 192 COB-LED

Messgeräte:

- AvaSoft 7.5.1 + Lichtwellenleiter + Kosinuskorrektor
- Silicon PIN Photodiode BPW34 von Vishay
- Frequenzgenerator Inventar-Nr.: 0139993
- Digitales Speicheroszilloskop Rigol DS1104B Inventar-Nr.: 0096906
- Digitales Speicheroszilloskop Tektronix TDS2024B Inventar-Nr.: 0040758
- 1:10 Tastkopf
- Netzgerät: hp Hewlett Packard E3631A (eingestellt: 12V, Eingänge: + 25V) (für die Schaltung)
- Netzgerät TTI Thurlby Thandar instruments, Inventar-Nr.: 0090172
- Transimpedanzverstärker-Schaltung
- IR-Filter: 840 - 1050nm
- Spitzenberger Spies Leistungsverstärker + SPS Signal Manager 3.2

zu prüfende Geräte:

- IP: Braun, Infusomat, Nr.: 15008 (Abbildung 9.2)
- IP: Argus Medical, Argus 200, N4415 (Abbildung 9.2)
- IP: MSB Medizintechnik GmbH, Intramat 2000ml (Abbildung 9.2)
- PO: Criticare Systems Inc., 504-US, Inventar-Nr.: 0090162 (Abbildung 9.3)
- PO: Datex, CapnomacULTIMA Inventar-Nr.: 00090149 (Abbildung 9.3)
- PO: medlab, NANOXeco (Abbildung 9.4)
- PO: Nellcor Puritan Bennett, NPB-40 (Abbildung 9.4)
- PO: Beijing Choice Electronic Tech. Co.,Ltd., MD300C2 (Abbildung 9.4)
- IRT: Medisana, ecomed (Abbildung 9.5)

Transimpedanzverstärkerschaltung

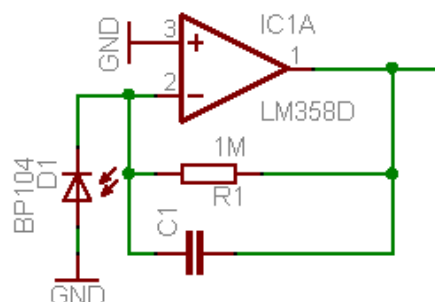


Abbildung 9.1 Transimpedanzverstärker-Schaltung [65]



Abbildung 9.2 Infusionspumpen Argus 200 und Intramat



Abbildung 9.3 Pulsoximeter CapnomacULTIMA und 504-US



Abbildung 9.4 Pulsoximeter NPB-40, MD300C2 und NANOXeco



Abbildung 9.5 IR-Fieberthermometer ecomed

Tabelle 9.5 Störversuche 504-US

f [Hz]	PWV	Abstand	Sst. ¹⁴	Probleme	Bemerkung
420	25/75	10,50cm	0 & 90°	keine	-
440	25/75	60cm	schräg	PFr:170, eig.: 85	seitlich; direkt unterm Feld wird Puls wieder normal
460	25/75	50,150cm	leicht schräg	PFr:>180, eig.: 85	ca. 70cm seitlich vom Feld eher Beeinflussung; Unterm Feld bis 150cm, direkt unterm Feld auch bei 90°
480	25/75	40,50, 100cm	leicht schräg	PFr:117, eig.: 82 (40cm)	je weiter man nach unten geht, desto weniger wird der Sensor gestört, aber auch in 1m Entfernung gibt es noch Probleme
500	25/75	100cm	leicht schräg n.o. ¹⁵	PFr:172, eig.: 82	-
520	25/75	50cm	leicht schräg	PFr:174, eig.: 87	-
540	25/75	-	-	-	keine Beeinflussung
560	25/75	10-50cm	leicht schräg	leichte Messschwierigkeiten	könnte aber auch Gerätefehler sein
580	25/75	40cm	leicht schräg n.u. ¹⁶	PFr:170, eig.: 85	bei 60cm nicht mehr
420	30/70	-	-	-	keine Beeinflussung
440	30/70	10 - 30cm	leicht schräg	PO stockt	ab ca. 50cm keine Beeinflussung mehr
460	30/70	70cm	leicht schräg	PFr:170, eig.: 81	bei 50cm stockt PO
480	30/70	10cm	leicht schräg	stockt	leichte Messschwierigkeiten
500	30/70	bis 100cm	leicht schräg n.u.	stockt, Kurve sehr gezackt	bei 150cm keine Störung mehr
520	30/70	bei 45cm	sehr schräg	stockt kurz,	ab 50cm wieder normal
540	30/70	10-20cm	unterschiedlich	Kurvenform wird deformiert	Messung stimmt mit anderem PO überein, weil letzter Wert gespeichert wird?
560	30/70	30cm	leicht schräg	Kurvenform wird deformiert	bei 50cm wieder normal
580	30/70	50,90cm	leicht schräg	PFr: 175, eig.: 81 (bei 90cm)	darüber Kurvenform sehr gezackt und Gerät stockt
420	40/60	50cm	leicht schräg	Kurvenform leicht verändert	aber korrekte Messwerte
440	40/60	50cm	leicht schräg	Kurvenform etwas gezackt	aber korrekte Messwerte
460	40/60	100cm	leicht schräg	PFr:110, eig. 72	Kurvenform stark gezackt, stockt u misst zu hoch
480	40/60	50cm	leicht schräg	Kurvenform leicht verändert	aber korrekte Messwerte
500	40/60	bis 150cm	leicht schräg	Kurvenform komplett verzerrt	stockt, misst falsch, Kurvenform stark gezackt bis komplett verzerrt, auch seitlich zum Feld Beeinflussung
520	40/60	10-40cm	leicht schräg	Kurvenform gezackt, stockt	ab 50cm kann wieder Signal gemessen werden
540	40/60	10cm	leicht schräg	Kurvenform etw. verändert	aber korrekte Messwerte
560	40/60	50cm	leicht schräg	Kurvenform etw. verändert	aber korrekte Messwerte
580	40/60	50cm	leicht schräg	Kurvenform etw. gezackt	aber korrekte Messwerte

¹⁴ Sst. ... Sensorstellung¹⁵ n.o. ... nach oben¹⁶ n.u. ... nach unten

f [Hz]	PWV	Abstand	Sst.	Probleme	Bemerkung
420	50/50	-	-	-	keine Beeinflussung
440	50/50	10cm	leicht schräg n.o.	Kurvenform gezackt, PFr:162, eig.: 100	(gerade vom Motorrad runter)
460	50/50	10,70cm	leicht schräg n.o.	Kurvenform gezackt, misst falsch	bei 10cm stark verzerrtes Signal, stockt; bei 70cm gezacktes Signal und ansteigendes Signal (bei 125 abgebrochen)
480	50/50	20cm	leicht schräg	Kurvenform etwas verändert	aber korrekte Messwerte
500	50/50	50cm	leicht schräg	Kurvenform gezackt, stockt	ab ca. 70cm wieder normal
520	50/50	30cm	leicht schräg	Kurvenform gezackt, PFr:155, eig.: 105	bei 50cm wieder normal
420	60/40	20cm	leicht schräg	Kurvenform etwas verändert	aber korrekte Messwerte
440	60/40	25cm	leicht schräg	Kurvenform gezackt, PFr:160, eig.: 100	darunter Kurvenverlauf gezackt aber wieder bessere Messergebnisse
460	60/40	50,70cm	leicht schräg	Kurvenform stark gezackt, stockt	bei 70cm nur mehr sehr leichte Beeinflussung, gezackte Kurvenform
480	60/40	20cm	leicht schräg	Kurvenform etwas verändert	aber korrekte Messwerte
500	60/40	50cm	leicht schräg	Kurvenform stark gezackt, stockt	bei 70cm nur mehr sehr leichte Beeinflussung, gezackte Kurvenform
520	60/40	50cm	leicht schräg	Kurvenform leicht gezackt	aber korrekte Messwerte
540	60/40	50cm	leicht schräg	Kurvenform leicht verändert	aber korrekte Messwerte
560	60/40	50cm	leicht schräg	Kurvenform leicht verändert	aber korrekte Messwerte
420	75/25	-	-	-	keine Beeinflussung
440	75/25	10cm	leicht schräg	Kurvenform leicht gezackt	aber korrekte Messwerte
460	75/25	30cm	leicht schräg	Kurvenform gezackt, PFr:150, eig.: 100	darunter Kurvenverlauf gezackt aber wieder bessere Messergebnisse
480	75/25	20cm	leicht schräg	Kurvenform leicht verändert	aber korrekte Messwerte
500	75/25	60cm	leicht schräg	Kurvenform gezackt, PFr:160, eig.: 105	darunter Kurvenverlauf gezackt aber wieder bessere Messergebnisse
520	75/25	10cm	leicht schräg	Kurvenform leicht gezackt	aber korrekte Messwerte
560	75/25	15cm	leicht schräg	Kurvenform leicht verändert	aber korrekte Messwerte
420	85/15	15cm	leicht schräg	Kurvenform leicht verändert	aber korrekte Messwerte
440	85/15	10cm	leicht schräg	Kurvenform leicht gezackt	aber korrekte Messwerte
480	85/15	-	-	-	nur ganz minimal gezackter Kurvenverlauf
500	85/15	50cm	leicht schräg	Kurvenform gezackt, PFr:160, eig.: 105	darunter Kurvenverlauf gezackt aber wieder bessere Messergebnisse
520	85/15	20cm	leicht schräg	Kurvenform leicht gezackt	aber korrekte Messwerte
540	85/15	20cm	leicht schräg	Kurvenform leicht verändert	aber korrekte Messwerte
560	85/15	-	-	-	keine Beeinflussung

Tabelle 9.6 Störversuche CapnomacULITMA

f [Hz]	PWV	Abstand	Sst.	Probleme	Bemerkung
280	25/75	50cm	leicht schräg	Signalform verzerrt	aber korrekte Messwerte
300	25/75	40cm	leicht schräg	Signalform verzerrt	aber korrekte Messwerte
320	25/75	20cm	90°	Signalform verzerrt	aber korrekte Messwerte
330	25/75	20cm	90°	Signalform verzerrt	aber korrekte Messwerte
360	25/75	20cm	leicht schräg	Signalform verzerrt	aber korrekte Messwerte
280	30/70	10,50cm	schräg	PFr & SpO ₂ leicht verfälscht bei 10cm	nur dann diese Beeinflussung, wenn Finger etwas vom Sensor frei lässt; bei 50cm nur verzerrtes Signal
330	30/70	10,50cm	schräg	PFr:142, SpO ₂ :68; eig.: PFr:76, SpO ₂ :97	nur dann diese Beeinflussung, wenn Finger etwas vom Sensor frei lässt; bei 50cm nur verzerrtes Signal
330	50/50	50,100cm	schräg	Signalform verzerrt, PFr:165, SpO ₂ :80, eig.: PFr:71, SpO ₂ :97	nur dann diese Beeinflussung, wenn Finger etwas vom Sensor frei lässt; bei 100cm nur mehr Signalverzerrung
380	50/50	50cm	leicht schräg	Signalform verzerrt	aber korrekte Messwerte
330	75/25	10,50cm	schräg	Signalform verzerrt	keine weitere Beeinflussung, trotz etwas freiliegendem Sensor
150	85/15	10cm	leicht schräg	Kurvenform verzerrt	keine weitere Störung
320	85/15	20cm	leicht schräg	PFr:185, SpO ₂ :80; eig.: PFr:75, SpO ₂ :97	nur dann diese Beeinflussung, wenn Finger etwas vom Sensor frei lässt; sonst nur Beeinflussung indem Signal verzerrt wird
330	85/15	20cm	leicht schräg	PFr:175, SpO ₂ :71; eig.: PFr:75, SpO ₂ :96	nur dann diese Beeinflussung, wenn Finger etwas vom Sensor frei lässt; sonst nur Beeinflussung indem Signal verzerrt wird
340	85/15	20cm	leicht schräg	PFr:142, SpO ₂ :47; eig.: PFr:80, SpO ₂ :97	gleich wie vorher, aber wenn man weiter runter geht (ca. 80cm) dann misst er zwar etwas beeinträchtigt aber sehr genau am richtigen Wert
450	85/15	10cm	leicht schräg	Messschwierigkeiten	PFr & SpO ₂ leicht verfälscht bzw. teilweise Ausfall
550	85/15	10cm	leicht schräg	Kurvenform verzerrt	manchmal kleine Störung, könnte aber auch von Bewegung sein

Tabelle 9.7 Störversuche MD300C2

f [Hz]	PWV	Abstand	Sst.	Probleme	Bemerkung
80	25/75	10cm	schräg n.u.	PFr:135, SpO ₂ :91, eig.: SpO ₂ :99, PFr:86	-
80	25/75	50cm	schräg n.u.	PFr: 50, SpO ₂ :99, eig.: SpO ₂ :98, PFr:80	-
90	25/75	50,100cm	schräg (90°)	PFr:224, SpO ₂ :98, eig.: SpO ₂ :98, PFr:75	bei 100cm keine Beeinflussung mehr
100	25/75	10,50cm	schräg n.u., 90°	-	keine Beeinflussung
110	25/75	20,50,100cm	schräg	PFr:171, SpO ₂ :98, eig.: SpO ₂ :98, PFr:76	Störung bei 20&50cm massiv, bei 100cm zeigt er SpO ₂ :93 statt 98 an, PFr passt aber, Pulsanzeige flackert
120	25/75	10cm	90°	PFr:51, SpO ₂ :94, eig.: SpO ₂ :98, PFr:86	-
130	25/75	10,50cm	90°	-	keine Beeinflussung
80	40/60	20,50cm	leicht schräg n.u.	-	keine Beeinflussung
90	40/60	20cm	leicht schräg	PFr:117, SpO ₂ :99, eig.: SpO ₂ :97, PFr:86	Pulskurve war sehr gezackt
100	40/60	20,50cm	leicht schräg	-	keine Beeinflussung
110	40/60	20,50cm	leicht schräg	PFr:179, SpO ₂ :97, eig.: SpO ₂ :97, PFr:96	bei 50cm springt PFr zwischen 80 und 130, eig.: 93; Pulskurve ist bei beiden Abständen verzerrt bzw. gezackt
120	40/60	20,50cm	leicht schräg	-	keine Beeinflussung
130	40/60	20,50cm	leicht schräg	-	keine Beeinflussung
80	50/50	10,50cm	90°	-	keine Beeinflussung
90	50/50	20cm	leicht schräg n.u., 90°	PFr:168, SpO ₂ :93, eig.: SpO ₂ :97, PFr:76	-
100	50/50	20,50cm	90°	-	keine Beeinflussung
110	50/50	50cm	leicht schräg n.u.	PFr:235, SpO ₂ :97, eig.: SpO ₂ :97, PFr:76	-
120	50/50	20,50cm	leicht schräg n.u.	PFr:117, SpO ₂ :92, eig.: SpO ₂ :97, PFr:87	bei 50cm keine Beeinflussung mehr
130	50/50	50cm	90°	PFr:147, SpO ₂ :97, eig.: SpO ₂ :98, PFr:75	-
80	75/25	20,50cm	leicht schräg n.u., 90°	-	keine Beeinflussung
90	75/25	50cm	leicht schräg n.u.	PFr:177, SpO ₂ :99, eig.: SpO ₂ :98, PFr:106	bei 100cm keine Beeinflussung mehr
100	75/25	20cm	leicht schräg n.u., 90°	-	nur die Pulskurve ist leicht verändert, misst aber normal
110	75/25	20,50cm	leicht schräg n.u.	PFr zuerst 47, dann 111, eig.: 96	bei 50cm Kurvenform deformiert bzw. nur mehr Dauerpegel, bei 20cm springt Puls hin und her
120	75/25	20,50cm	leicht schräg n.u.	Puls weicht etwas ab: 71 eig.: 96	Signal ist komplett verändert, misst nicht so richtig bzw. stockt teilweise
130	75/25	30cm	leicht schräg n.u.	PFr:138, SpO ₂ :100, eig.: SpO ₂ :97, PFr:106	Störung stellt sich erst nach einigen Sekunden warten ein, zuerst nur stocken

f [Hz]	PWV	Abstand	Sst.	Probleme	Bemerkung
80	85/15	20,50cm	leicht schräg	-	keine Beeinflussung
90	85/15	30cm	90°	PFr:217, SpO ₂ :100, eig.: SpO ₂ :97, PFr:96	weiter nach unten immer weniger Beeinflussung
100	85/15	20,50cm	90°	-	keine Beeinflussung
110	85/15	30cm	leicht schräg n.u.	PFr springt zwischen 75 und 119, eig.:86	auch bei 50cm merkt man noch Messfehler
120	85/15	20,50cm	leicht schräg	-	keine Beeinflussung
130	85/15	20cm	leicht schräg n.u., 90°	Puls springt herum, max 117, SpO ₂ :100, eig.: Pfr:97	Beeinflussung ist gegeben, aber manifestiert sich nicht so schön wie sonst
210	85/15	20,30cm	leicht schräg, 90°	Kurvenform gezackt	Messungen sind aber nicht wirklich beeinträchtigt

Tabelle 9.8 Störversuche NPB-40

f [Hz]	PWV	Abstand	Sst.	Probleme	Bemerkung
100	25/75	10,50,100cm	0,90°	Ausfall	bei 10cm fällt er bei 0 & 90° aus, bei 50cm nur mehr bei 90° und bei 100cm nur mehr sehr geringe bis keine Beeinflussung
200	25/75	10,50cm	90°	-	keine Beeinflussung
300	25/75	10,50,100cm	0,90°	Ausfall	bei 10cm fällt er bei 0 & 90° aus, bei 50cm nur mehr bei 90° und bei 100cm nur mehr sehr geringe bis keine Beeinflussung
350	25/75	10,50cm	90°	-	keine Beeinflussung
400	25/75	10,50,100,150cm	0,90°	Ausfall	bei 10cm fällt er bei 0 & 90° aus, bei 50&100cm nur mehr bei 90° und bei 150cm nur mehr sehr geringe bis keine Beeinflussung
450	25/75	10,50cm	90°	-	keine Beeinflussung
500	25/75	10,50,100,150cm	0,90°	Ausfall	bei 10cm fällt er bei 0 & 90° aus, bei 50,100&150cm nur mehr bei 90°
550	25/75	10,50cm	90°	-	keine Beeinflussung
100	50/50	10,50cm	0,90°	Ausfall bei 10cm	wenn man Sensor gerade hält keine Beeinflussung, bei schräg und Finger ganz normal aber schon; Bei 50cm nur mehr sehr geringe Messschwierigkeiten
200	50/50	-	-	-	keine Beeinflussung
250	50/50	-	-	-	keine Beeinflussung
300	50/50	50,100,150cm	90°	Ausfall bis 100cm	bei 150cm war dann nur mehr sehr geringe Beeinflussung
350	50/50	10cm	Schräg	SpO ₂ fällt auf 80	Gerät gibt Alarm
400	50/50	10,50cm	schräg	-	keine Beeinflussung
500	50/50	50,100,150cm	Schräg	Ausfall	Ausfall bis zu 150cm
550	50/50	10,50cm	Schräg	-	keine Beeinflussung
100	85/15	-	-	-	keine Beeinflussung
200	85/15	10, 50cm	0, 90°	Ausfall bei 90°&10cm	sobald der Sensor wieder gerade gedreht wird oder der Abstand vergrößert wird, findet er wieder ein Signal
300	85/15	50,100cm	90°	Ausfall bei 90°&50cm	darunter findet er wieder Signal
350	85/15	10,50cm	90°	-	keine Beeinflussung
400	85/15	10cm	0, 90°	-	keine Beeinflussung
500	85/15	50,100,150cm	0, 90°	Ausfall	sogar bis zu 150cm hinunter kann er nicht ordentlich messen, bei 10cm kann er sogar bei 0° nichts messen, weiter unten jedoch schon
600	85/15	10,20cm	90°	stockt manchmal	kann auch von der Bewegung sein, nur sehr schwache Beeinflussung
250	85/15	10,20,50cm	0,90°	bis 20cm Ausfall	bei 90° und 20cm kommt es zum Ausfall, bei 0° keine Störung & auch wenn man den Abstand vergrößert

Tabelle 9.9 Störversuche NANOXeco

f [Hz]	PWV	Abstand	Sst.	Probleme	Bemerkung
80	25/75	10cm	-	-	keine Beeinflussung
100	25/75	10cm	-	-	keine Beeinflussung
120	25/75	10cm	-	-	keine Beeinflussung
140	25/75	10cm	-	-	keine Beeinflussung
160	25/75	10cm	-	-	keine Beeinflussung
200	25/75	10cm	-	-	keine Beeinflussung
300	25/75	10cm	schräg n.u.	kurze Aussetzer	Gerät war für mehrere Sekunden nicht funktionstüchtig, eventuell Störung des Geräts, war nicht wirklich reproduzierbar, unregelmäßige Aussetzer
800	25/75	10cm	-	-	keine Beeinflussung
60	50/50	10cm	-	-	keine Beeinflussung
80	50/50	10cm	-	-	keine Beeinflussung
100	50/50	10cm	-	-	keine Beeinflussung
120	50/50	10cm	-	-	keine Beeinflussung
250	50/50	10cm	-	-	keine Beeinflussung
80	85/15	10cm	-	-	keine Beeinflussung
100	85/15	10cm	-	-	keine Beeinflussung
120	85/15	10cm	schräg n.u	kurze Aussetzer	nicht sicher ob wirklich Störung durch Feld, unregelmäßige Aussetzer
140	85/15	10cm	schräg n.u	kurze Aussetzer	nicht sicher ob wirklich Störung durch Feld, unregelmäßige Aussetzer
160	85/15	10cm	schräg n.u	kurze Aussetzer	nicht sicher ob wirklich Störung durch Feld, unregelmäßige Aussetzer
200	85/15	10cm	schräg n.u	kurze Aussetzer	nicht sicher ob wirklich Störung durch Feld, unregelmäßige Aussetzer

Tabelle 9.10 Störversuche mit Abdeckung

Gerät	f [Hz]	PWV	Abstand	Sst.	Probleme ohne Abdeckung	Probleme mit Abdeckung
NANOX	120	85/15	10cm	schräg n.u.	kurze Aussetzer	minimale Aussetzer
NANOX	140	85/15	10cm	schräg n.u.	kurze Aussetzer	keine Beeinflussung
NANOX	160	85/15	10cm	schräg n.u.	kurze Aussetzer	keine Beeinflussung
NANOX	200	85/15	10cm	schräg n.u.	kurze Aussetzer	keine Beeinflussung
504-US	460	25/75	50,150cm	leicht schräg	PFr:>180, eig.: 85	komplett verzerrtes Signal
504-US	580	25/75	40cm	leicht schräg n.u.	PFr:170, eig.: 85	komplett verzerrtes Signal
504-US	460	30/70	70cm	leicht schräg	PFr:170, eig.: 81	PFr steigt auf 138, stockt ständig, Störungen bis zum Boden
504-US	580	30/70	50,90cm	leicht schräg	PFr steigt rasant auf 175, eig.: 81 (bei 90cm);	PFr steigt auf über 178 in ca. 60cm Entfernung, darüber überhaupt kein Signal mehr, nur mehr wildes Flimmern
504-US	500	40/60	bis 150cm	leicht schräg	Kurvenform komplett verzerrt	Signal komplett verzerrt, Störungen bis zum Boden hinunter
504-US	440	60/40	25cm	leicht schräg	Kurvenform gezackt, PFr:160, eig.: 100	keine Pulserhöhung, aber gezackte Kurvenform und Gerät stockt
Capnomac	330	30/70	10,50cm	schräg	PFr:142, SpO ₂ :68, eig.: PFr:76, SpO ₂ :97	PFr:183, Spo ₂ :68; auch noch bei ca. 50cm Entfernung verzerrtes Signal
Capnomac	330	50/50	50, 100cm	schräg	Signalform verzerrt, PFr:165, SpO ₂ :80, eig.: PFr:71, SpO ₂ :97	PFr steigt auf 140 in ca. 50cm Entfernung, drunter starke Signalverzerrung
Capnomac	330	85/15	20cm	leicht schräg	PFr:175, SpO ₂ :71, eig.: PFr:75, SpO ₂ :96	PFr steigt auf 179 in ca. 50cm Entfernung
Capnomac	340	85/15	20cm	leicht schräg	PFr:142, SpO ₂ :47, eig.: PFr:80, SpO ₂ :97	Keine Pulserhöhung, aber das Signal ist komplett verzerrt, erst in ca. 100cm Entfernung wieder normal
MD300C2	80	25/75	10cm	schräg n.u.	PFr:135, SpO ₂ :91, eig.: SpO ₂ :99, PFr:86	keine Pulserhöhung, aber Signal verändert
MD300C2	90	25/75	50, 100cm	schräg (90°)	PFr:224, SpO ₂ :98, eig.: SpO ₂ :98, PFr:75	Puls springt bei ca. 50cm Abstand zwischen 54 und 158
MD300C2	130	50/50	50cm	90°	PFr:147, SpO ₂ :97, eig.: SpO ₂ :98, PFr:75	keine Pulserhöhung, Signal leicht verändert ab und zu Sprung, aber im normalen Bereich
MD300C2	130	75/25	30cm	leicht schräg n.u.	PFr:138, SpO ₂ :100, eig.: SpO ₂ :97, PFr:106	PFr steigt auf 203 bei ca. 10cm zur Abdeckung
MD300C2	90	85/15	30cm	90°	PFr:217, SpO ₂ :100, eig.: SpO ₂ :97, PFr:96	PFr steigt auf 195 in ca. 15cm Entfernung zur Abdeckung