

Projektarbeit Systemtechnik

A New Device for the Local Treatment of Cutaneous Leishmaniasis

Autoren	Andreas Bachmann Giæle Quadri
Hauptbetreuung	Dr. Mathias Bonmarin
Datum	22.12.2017

Zusammenfassung

Für die Behandlung der kutanen Leishmaniose werden heutzutage verschiedene Ansätze verfolgt. Neben Medikamenten und chirurgischen Eingriffen werden thermische Therapien eingesetzt, die unter den richtigen Bedingungen die für diese Infektion verantwortlichen Parasiten beheben können. Aufgrund der sehr hohen Kosten sind diese Behandlungen vielerorts Unzugänglich, insbesondere in den ärmsten Ländern, die am stärksten von dieser Krankheit betroffen sind.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Weiterentwicklung eines therapeutischen Verfahrens, das in der Lage ist, die verantwortlichen Parasiten der kutanen Leishmaniose auch in den unteren Hautschichten zu eliminieren. Die Produktion muss kostengünstig sein und die Gerätbedienung soll intuitiv sein.

Nach einer ersten Recherche phase wurde der vorhandene Prototyp analysiert und erste Messungen wurden durchgeführt. Das Konzept der Behandlung von kutanen Leishmaniose mittels heißer Luft wurde aufgrund Nichterfüllung der Anforderungen verworfen. Eine zweite Recherche phase wurde durchgeführt, um die angewandten vorhandenen Wärmetherapien zusammenzufassen und die geeignete für dieses Projekt zu evaluieren. Die Bestrahlung durch Infrarotlicht ist für die Zwecke dieser Arbeit am besten geeignet, da sie in der Lage ist, das Gewebe homogen zu erhitzen und einzudringen. Des Weiteren ist diese Behandlung besonders kostengünstig.

In der darauffolgenden Ausarbeitungsphase wird der neue Prototyp konzipiert. Die Helligkeit der Infrarotlampe wird über einen Arduino Nano gesteuert. Ein Thermopile wird verwendet, um die effektive Temperatur der bestrahlten Oberfläche zu überprüfen. Ein mit Wifi und Bluetooth ausgestatteter ESP32-Mikrocontroller ermöglicht die Kommunikation mit einem mobilen Gerät. Auf diese Weise kann der Benutzer die Hauptparameter, d.h. die Temperatur und die Dauer der Behandlung, einstellen und verwalten. Ein im Prototyp integriertes Display und zwei Tasten ermöglichen eine einfachere Bedienung. Die zugehörige Elektronik und Leiterplatten wurden in eigenständiger Arbeit entwickelt und gefertigt. Mit dieser Massnahme wurde der Platz innerhalb des Geräts optimiert.

Die Homogenität der Wärmestrahlung wird durch einen oktogonalen Lichtleiter, der das Licht reflektiert und dessen Dispersion reduziert, verbessert. Die Konstruktion des Prototyps wurde mit dem CAD-Programm Catia v5 erstellt. Der Prototyp wurde mit dem Ultimaker3+ Drucker unter Verwendung von Schwarz und Weiss ABS hergestellt.

Obwohl dieser Prototyp noch Verbesserungsfähig ist, sind die erzielten Ergebnisse zufriedenstellend und die gestellten Anforderungen konnten erfüllt werden. Abschliessende Tests haben verifiziert, dass der Prototyp ordnungsgemäss funktioniert.

Abstract

Various approaches are adopted for the treatment of cutaneous leishmaniasis. In addition to medicaments and surgical interventions, thermal therapies are employed which, under the right conditions, allow the remediation of the parasites responsible for this infection. Due to their very high cost, these treatments are inaccessible in the poorest and most affected countries.

The purpose of this work is the further development of a therapeutic method that is able to work homogeneously and to eliminate the cutaneous leishmaniasis responsible parasites in the lower layers of the skin. The production must be economic and the device operation has to be intuitive.

After an initial research phase, the existing prototype was analysed and the first measurements were conducted. The concept of treatment of cutaneous leishmaniasis by means of hot air was abandoned due to non-compliance with the requirements. A second research phase was performed to summarize the applied existing thermal therapies and to evaluate the most suitable for this project. Infrared light irradiation was the most appropriate for the purposes of this work, as it is capable of heating and penetrating the tissue. This treatment is particularly cost-effective.

In a subsequent phase, the new prototype is built. The brightness of the infrared lamp is controlled by an Arduino Nano. A thermopile is used to convert the heat energy generated by the lamp into electrical energy to verify the effective temperature of a surface. An ESP32 microcontroller equipped with Wi-fi and Bluetooth modules enables communication with a mobile device. In this way, the user can alter the main parameters adjusting and managing the temperature and duration of treatment. The display and two buttons integrated in the prototype permit a better operability. Printed circuit boards are used to produce compact electronics. With this measure, the space within the device has been optimized.

The homogeneity of the radiation is enhanced by an octagonal light mixing rod, which reflects the light and reduces its dispersion. The models in three dimensions were executed with the CAD program Catia v5. The prototype is manufactured with the Ultimaker3+ printer using black and white ABS.

Although this prototype can be improved, the results obtained are satisfactory and the requirements are achieved and fulfilled. Completed prototype tests show the correct operation.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Zielsetzung	1
2	Überblick Behandlungsmöglichkeiten.....	2
3	Theoretische Grundlagen	3
3.1	Aufbau und Funktion der Haut	3
3.2	Leishmaniose als Infektionskrankheit	3
3.3	Biologische Wirkungen von Strahlungen.....	4
3.3.1	Strahlungstypologien.....	4
3.3.2	Physikalische Relationen.....	4
3.3.3	Strahlenauswirkungen.....	5
4	Verfahren und Methoden.....	7
4.1	Bestehender Prototyp	7
4.1.1	Verfahren	7
4.1.2	Experimente	7
4.2	Weiterentwicklung des Verfahrens und des Prototyps.....	8
4.2.1	Verfahren	8
4.2.2	Infrarot- und Halogenlampen.....	8
4.2.3	Konzept.....	10
4.2.4	Experimente	10
4.2.5	Hardware	11
4.2.6	Software	16
4.3	Verwendetes Messgerät zur Temperaturmessung	20
4.3.1	Optris PI 160 Infrarotkamera und zugehörige Software	20
5	Resultate.....	21
5.1	Homogenität.....	21
5.2	Experimentelle Resultate des bestehenden Prototyps	21
5.3	Experimentelle Resultate zum neuen Verfahren / Prototyp	22
5.3.1	Oktogonaler Lichtleiter zur Verbesserung der Temperaturverteilung	23
5.3.2	Histogrammanalyse der Temperaturverteilung	24
5.4	Neuer Prototyp	25
5.4.1	Hardware	25
5.4.2	Software	26
5.5	Funktionsweise und Konzept des Prototyps	29
6	Marktrecherche	31

7	Ausblick.....	32
8	Verzeichnisse	33
9	Tabellenverzeichnis.....	36
10	Schemen Verzeichnis	36
11	Abbildungsverzeichnis.....	36
12	Anhang	38
12.1	Filter	38
12.2	Zeitplan	39
12.3	Schaltpläne.....	40
12.3.1	Schaltplan «Phasenabschnittdimmer DI 300» von ELV [32]	40
12.3.2	Schaltplan Mikrocontroller.....	41
12.3.3	Schaltplan Hochvolt-Teil	42
12.3.4	Schaltplan OLED und Taster	43
12.4	PCBs.....	44
12.4.1	PCB Mikrocontroller	44
12.4.2	PCB Hochvolt-Teil	45
12.4.3	PCB OLED und Taster	46
12.5	Endprodukt	47

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Extreme Armut, unzureichende Hygiene, Unterernährung und Mangel an finanziellen Ressourcen sind nur einige der Hauptursachen, welche mit den häufigsten Infektionskrankheiten in Verbindung gebracht werden können. Entwicklungsländer werden von grundlegenden landwirtschaftlichen Veränderungen geprägt, die einen starken Einfluss auf die Wirtschaft und das Territorium haben. Diese Umstellungen, wie der Dammbau, die Entwaldung oder die Urbanisierung, stehen in engem Zusammenhang mit der Anwesenheit von infizierten Insekten und demnach zahlreiche Infektionskrankheiten in diesen Gebieten [1]. Global gesehen ist die Leishmaniose heutzutage eine der am häufigsten vorkommenden Infektionskrankheiten [2].

Kryotherapie (gezielter Einsatz von Kälte), Diathermie (gezielter Einsatz von hochfrequentem elektrischem Strom), systemische Behandlungen in Form von Medikamenten oder Infusionen oder chirurgischen Verfahren sind heutzutage nur einige der gängigen Methoden, die versuchen die Leishmaniose zu bekämpfen [3] [4] [5]. Obwohl viele dieser getesteten Behandlungen teilweise einen positiven Effekt haben, sind die mit ihnen verbundenen Kosten noch zu hoch, um die effektive Wirkung dieser Therapien ausführlich nachzuweisen. Ebenfalls erschweren die hohen Kosten eine mögliche therapeutische Umsetzung in Entwicklungsländern.

In den letzten Jahren sind immer mehr Behandlungsverfahren und Geräte entwickelt worden, um die kutane Leishmaniose zu bekämpfen. Die Tabelle auf der nächsten Seite bietet eine Übersicht und einen direkten Vergleich der Behandlungsmöglichkeiten, welche infolge einer Recherche zusammengetragen wurden.

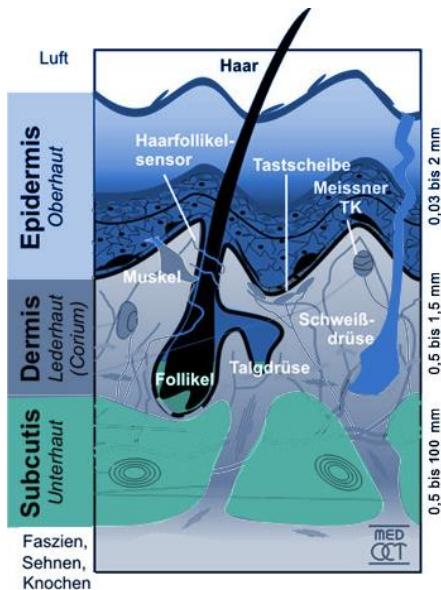
1.2 Zielsetzung

Diese Projektarbeit hat das Ziel die Weiterentwicklung eines therapeutischen Verfahrens gegen die kutane Leishmaniose inklusive des zugehörigen Prototyps. Dabei liegt das Augenmerk sowohl auf der Effizienz der Behandlung als auch auf der kostengünstigen technischen Umsetzung. Weiter soll der Prototyp einfach zu Bedienen und zu Warten sein. Für den Projektablauf wurde ein Zeitplan (Anhang 12.2) erstellt, welcher alle zentrale Arbeitsschritte beherbergt.

2 Überblick Behandlungsmöglichkeiten

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Aufbau und Funktion der Haut



Die Oberhaut (Epidermis) die Lederhaut (Dermis) und die Unterhaut (Subcutis) sind die drei Hauptschichten, aus welchen sich die menschliche Haut zusammensetzt.

Die erste und oberste Schicht wird als Epidermis bezeichnet und schützt die unteren Schichten, Dermis und Subcutis, vor äusseren Einflüssen. Die Dermis liegt zwischen der Epidermis und der Subcutis und besitzt kleine Blutgefäße, die Nährstoffe und Sauerstoff transportieren. Die unterste Schicht ist aus Binde- und Fettgewebe zusammengesetzt und ist dadurch für die Temperaturisolierung und die Energiespeicherung verantwortlich [6] [7]. Die Abbildung 1 zeigt den beschriebenen Aufbau der Haut.

Obwohl dieses Organ für den Körperschutz, die Kommunikation und den Wärmeaustausch zuständig ist, kann es durch viele externe Faktoren beschädigt werden oder auch Erkranken [8] [9].

Abbildung 1: Hauptschichten der Haut, Detail,
www.faltenunterspritzungen.com (11.11.17)

3.2 Leishmaniose als Infektionskrankheit

Die Infektionskrankheiten werden durch Mikroorganismen, beispielsweise Bakterien oder Viren, verursacht. Die Invasion und die Verbreitung der Krankheitserreger erzeugen eine Störung der normalen Körperfunktionen und führen infolgedessen zu Erkrankungen [10] [11].

Leishmaniose erscheint insbesondere in 3 Hauptformen: die viszerale Leishmaniose (VL, innere Leishmaniose), die kutane Leishmaniose (CL, Hautleishmaniose) und die mukokutane Leishmaniose (Schleimhautleishmaniose) [12]. Derzeit ist diese Infektion in 88 Ländern verbreitet und es wird vermutet, dass ungefähr 12 Millionen Menschen betroffen sind [2] [13]. Die kutane Leishmaniose ist mit einem geschätzten Wert von 700'000 bis 1'200'000 neuen Erkrankungsfällen pro Jahr die am meist verbreite Leishmanioseart [1] [14].

Gemäss den von DNDI-Organisation (Drugs for Neglected Diseases initiative, www.dndi.org) gesammelten Daten sind Afghanistan, Algerien, Brasilien, Kolumbien, Iran, Pakistan, Peru, Saudi-Arabien und Syrien die von dieser Infektion am stärksten betroffene Regionen [14].

Die Ansteckung wird durch den Stich der Sandmücke übertragen und der nachfolgende Befall von regionsabhängigen Leishmania-Parasiten kann lokale Hautläsionen und permanente Narbenbildung verursachen [13] [15]. Diese Läsionen schädigen sowohl die Epidermis (Oberhaut) als auch die Dermis (Lederhaut) des Befallenen.

3.3 Biologische Wirkungen von Strahlungen

Verschiedene Studien haben bis heute gezeigt, dass die Leishmania-Parasiten sich bei Temperaturen ab 39°C nicht mehr vermehren [15] [16]. Diese Temperaturempfindlichkeit wird seit einigen Jahren als lokale Behandlungsstrategie ausgenutzt.

3.3.1 Strahlungstypologien

Die Infrarotstrahlungen (IR) mit sichtbaren (VIS) und Ultravioletstrahlungen (UV) bilden die Sonnenstrahlung und werden in dem elektromagnetischen Spektrum mit dem Begriff optische Strahlung gekennzeichnet [17] [18]. Zusätzlich zu dieser natürlichen Quelle existieren auch andere künstliche, optische Strahlenquellen. Insbesondere Lampen, Laser und sonstige künstliche Lichtquellen können in bestimmten Fällen die natürliche Bestrahlung ersetzen, obwohl sie nur in begrenzten Frequenz- und Wellenbereichen arbeiten [18].

Die verlängerte Exposition des menschlichen Körpers durch sowohl natürliche als auch künstliche Strahlungen kann sowohl positive, sowie negative gesundheitliche Folgen hervorrufen.

3.3.2 Physikalische Relationen

Im Vergleich zu UV-Strahlen haben die sichtbaren und die IR-Strahlen grössere Wellenlängen, welche zwischen 400 Nanometer und 1 Millimeter lang sind (Übersicht Tabelle 1).

Ultraviolette Strahlung			Sichtbare Strahlung	Infrarote Strahlung		
UV-C	UV-B	UV-A	VIS	IR-A	IR-B	IR-C
100-280	280-315	315-400	380-780	780-1400	1400-3000	3000-1mm
← Kurzwellen						Langwellen →

Tabelle 1: Vergleich Wellenlänge im optischen Spektrum (Einheiten in Nanometern)

Um die entsprechende Wellenfrequenz von der Wellenlänge herzuleiten, kann der folgende Zusammenhang verwendet werden:

$$\mathbf{c = \lambda \cdot v}$$

\mathbf{c} = Wellengeschwindigkeit [m/s]
 $\mathbf{\lambda}$ = Wellenlänge [m]
 \mathbf{v} = Wellenfrequenz [Hz]

Relation 1: Wellengeschwindigkeit in Funktion der Wellenlänge und der Wellenfrequenz

Für eine konstante Lichtgeschwindigkeit ($c \approx 300'000 \text{ km/s}$) ist die Wellenfrequenz umgekehrt proportional zur Wellenlänge. Daraus folgen für das Lichtspektrum die folgenden Frequenzbereiche:

Ultraviolette Strahlung			Sichtbare Strahlung	Infrarote Strahlung		
UV-C	UV-B	UV-A	VIS	IR-A	IR-B	IR-C
$3 \cdot 1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 0,9 \cdot 10^{15}$	$0,9 \cdot 0,7 \cdot 10^{15}$	$8 \cdot 4 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 2 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{14} \text{ - } 3 \cdot 10^{11}$
← Höhere Frequenzen						Tiefere Frequenzen →

Tabelle 2: Vergleich Wellenfrequenzen im optischen Spektrum (Einheiten in Herz)

Die Wellenfrequenz ist direkt proportional zur Energie der Photonen, die mit der folgenden Relation berechnet werden kann:

$$\mathbf{E = h \cdot v}$$

\mathbf{E} = Energie der Photonen [J]
 \mathbf{h} = Plank-Konstante = $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J \cdot s}$
 \mathbf{v} = Wellenfrequenz [Hz]

Relation 2: Photonenergie in Funktion der Wellenfrequenz

3.3.3 Strahlenauswirkungen

Aus der Relation 1 und der Relation 2 kann man folgende Schlussfolgerung ziehen:

$$\mathbf{E} = \mathbf{h} \cdot \frac{\mathbf{c}}{\lambda}$$

\mathbf{E} = Energie der Photonen [J]

\mathbf{h} = Plank-Konstante = $6,626 \cdot 10^{-34}$ [J·s]

\mathbf{c} = Wellengeschwindigkeit $\approx 3 \cdot 10^8$ [m/s]

λ = Wellenlänge [m]

Relation 3: Photonenenergie in Funktion der Wellenlänge

Die Wellenlängen sind umgekehrt proportional zur Photonenenergien. Je grösser die Wellenlänge, desto tiefer ist die Photonenenergie [19].

Ultraviolette Strahlung			Sichtbare Strahlung	Infrarote Strahlung		
UV-C	UV-B	UV-A	VIS	IR-A	IR-B	IR-C
12,4-4,1	4,1-3,7	3,7-2,9	3,1-1,6	1,6-0,8	0,8-0,4	0,4-0,001
← Höhere Energien						Tiefere Energien →

Tabelle 3: Vergleich Photonenenergien im optischen Spektrum (Einheiten in eV)

Abhängig von ihrer Energie können die Strahlungen vier Lichtphänomene erzeugen: Reflexion, Absorption, Durchdringung und Streuung [20] [21].

Generell werden Langwellen (IR-Strahlen, Mikrowellenstrahlen, ...) mit einer hohen Eindringtiefe charakterisiert. Das heisst die Photonen dringen bis zur untersten Materialschichten vor.

Da die Haut ein nicht homogenes Material ist, wird die Strahleneindringtiefe auch durch die Lichtabsorption beeinflusst. Ein zu hoher Absorptionskoeffizient verunmöglicht die Strahlenübertragung auf die unteren Hautoberflächen [22].

Die Auswirkungen hängen sehr stark von der Photonenenergie ab. Wie in Abbildung 2 dargestellt, sind die UV-Strahlen durch einen hohen Absorptionskoeffizienten und eine hohe Energie (siehe Tabelle 3) gekennzeichnet. Die Photonen bleiben demzufolge in der Oberflächenschicht und deren hohe Energie kann das Gewebe schädigen (von Hauthausschlag oder Verbrennungen bis zur Ionisation). Im Gegensatz dazu ist die Absorption eines Photons durch Hämoglobin (HbO_2) und Melanin im nahen Infrarot und sichtbaren Bereich sehr gering. Das heisst das Licht kann bis zur Lederhaut und Unterhaut übertragen werden und wird für die tiefere VIS- und IR-Energie durch Schwingungen in Wärme umgewandelt [22] [23] [24] [25] [26].

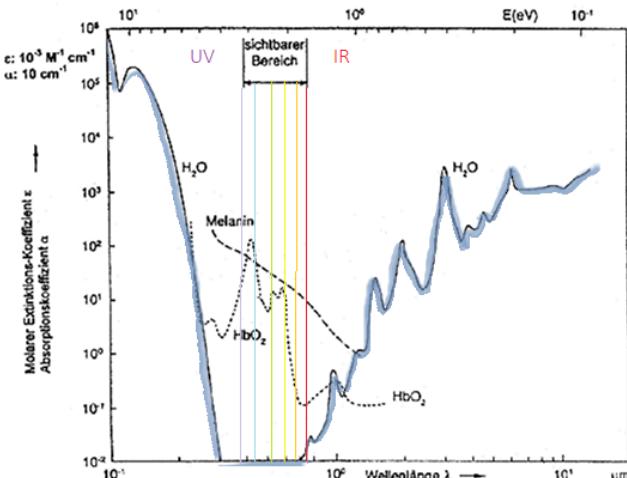


Abbildung 2: Absorptionskoeffizient in Wellenlängenabhängigkeit
<https://www.umwelt-online.de/recht/energie/strahlen/laser2.gif>
(15.11.2017)

Die folgende Abbildung zeigt die Eindringtiefe in Abhängigkeit der Wellenlänge:

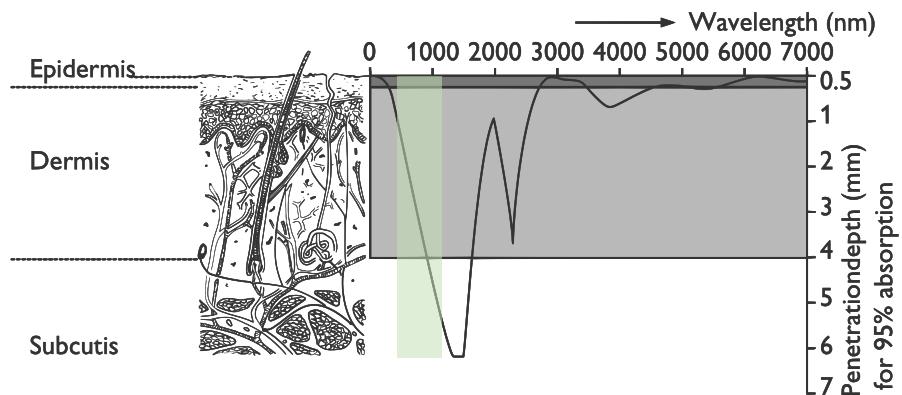


Abbildung 3: Eindringtiefe in Abhängigkeit der Wellenlängen. Sichtbare Strahlung und Infrarotlicht erreichen eine Tiefe von mindestens 3 mm im Gewebe. www.infraphil.info/Philips_Infraphil-PAR38E.pdf(15.11.17)

Aus den gezeigten Gründen sind die VIS- und die nahen IR-Strahlen geeignet, um diese Hautinfektion zu behandeln. Sie können nicht nur tiefer in das Gewebe eindringen, sondern können auch das Gewebe erwärmen und die Leishmania-Parasiten beseitigen.

4 Verfahren und Methoden

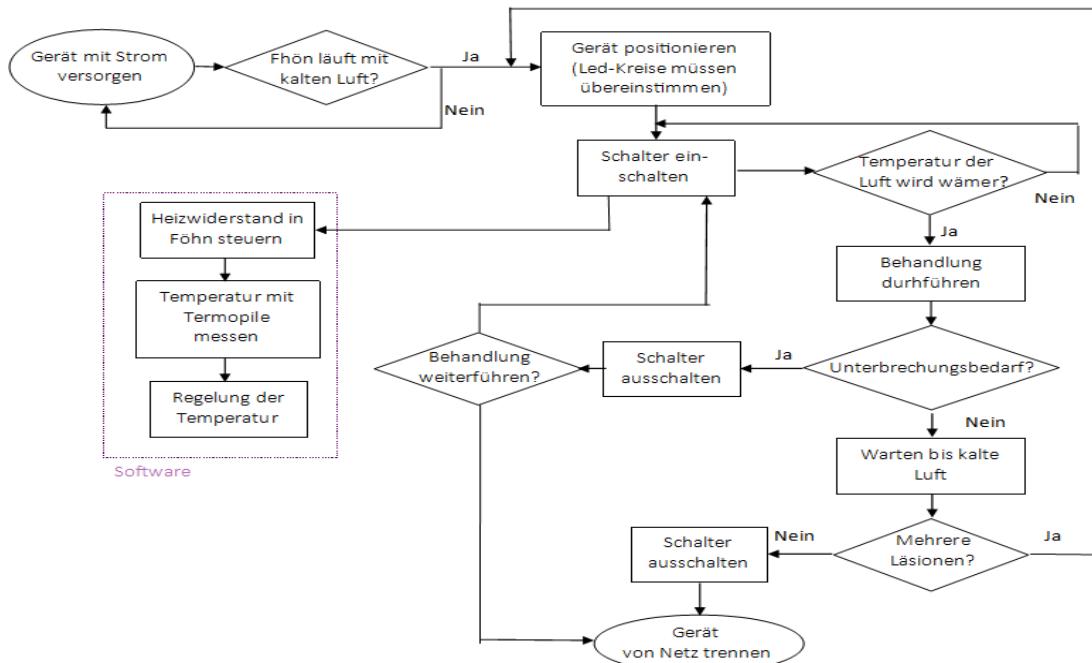
In diesem Kapitel wird das entwickelte Verfahren zur Bekämpfung der kutanen Leishmaniose präsentiert. Ebenfalls sind sämtliche verwendete Geräte und Versuchsaufbauten respektive Experimente beschrieben. Die daraus hervorgehenden Resultate werden im Kapitel 5 aufgezeigt.

4.1 Bestehender Prototyp

Der bestehende Prototyp wurde als Bachelorarbeit von Rivin Edassery in Frühlingssemester 2017 an der ZHAW entwickelt [27].

4.1.1 Verfahren

Das folgende Flussdiagramm zeigt das Verfahren zur Leishmaniose Behandlung mittels Luftströmung:



Schema 1: Flussdiagramm Verfahren mit bestehenden Prototyp

4.1.2 Experimente

Zur Durchführung von Messungen wurde der vorhandene Prototyp an einem Träger befestigt. Die Infrarotlampe wurde ebenfalls auf dem Halter positioniert, um zuverlässige Daten zu erhalten. Die verwendeten Messinstrumente sind im Kapitel 4.3 aufgelistet



Abbildung 4: Bestehenden Prototyp (links) und zugehörige durchgeführte Messungen (rechts)

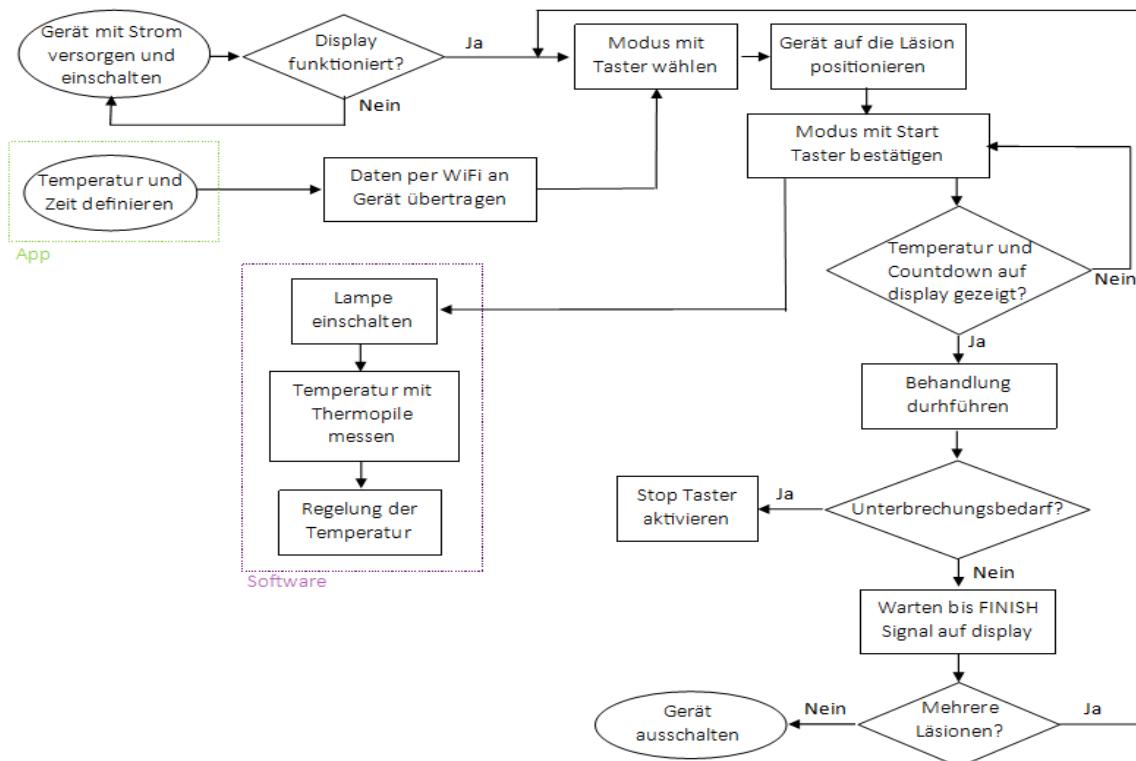
4.2 Weiterentwicklung des Verfahrens und des Prototyps

In diesem Kapitel wird das neu entwickelte Verfahren beschrieben, sowie die neu in Betracht gezogenen Komponenten. Zudem werden die experimentellen Aufbauten erklärt.

Wie im Kapitel 3.3 aufgezeigt, sind die Infrarotstrahlen eine sehr gute Lösung für die Behandlung der Leishmaniose, da ihre Wärmestrahlung auch in das Gewebe eindringt. Deshalb werden beim neuen Verfahren als Heizelement verschiedenen Leuchtmitteltypen verwendet.

4.2.1 Verfahren

Das folgende Flussdiagramm zeigt das neu entwickelte Verfahren zur Behandlung der Leishmaniose mittels IR-Lampen:



Schema 2: Flussdiagramm Verfahren mit Infrarot Lampen

4.2.2 Infrarot- und Halogenlampen

Als künstliche Strahlenquellen werden verschiedene Infrarot- und Halogenlampen getestet. Diese Leuchtmittel weisen bestimmte gemeinsame Eigenschaften, wie zum Beispiel die Dimmbarkeit (Regelung der Helligkeit) und die Nennspannung auf. Die wesentlichen Unterschiede finden sich bei der Leistung und der Abmessung. Die Abbildung 5 stellt die Leistungsverteilung in Funktion der Wellenlänge dar.

Halogen: relative spectral power distribution

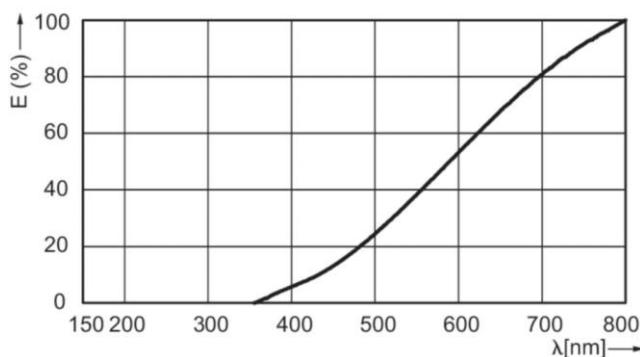


Abbildung 5: Spektrale Leistungsverteilung der Halogenlampen
http://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-and-tubes/halogen-lamps/mv-halogen-with-reflector/halogen-classic-reflector/925714044205_EU/product (12.10.17)

Folgend wird eine Übersicht von verschiedenen in Betracht gezogenen Leuchtmittel aufgezeigt:

Infrared Industrial Heat Incandescent [28]
BR125 IR 250W E27 230-250V Red 1CT/10

Lampeneigenschaften:

Nennspannung	230-250 V	Energieeffizienzklasse	-
Leistung	250 W	Lichtleistung	-
Abstrahlwinkel	-	Gewicht	107,0 g
Nennlebensdauer	5000 h	Lampentemperatur (max)	250 °C
Fassung	E27	Ersteller	Philips
Abmessungen	Abbildung 6		

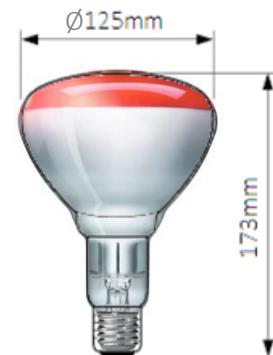


Abbildung 6: Abmessungen
infrarot Lampe, 250W

Infrared Healthcare Heat Incandescent [29]
R95 IR 100W E27 230V Red 1CT/25

Lampeneigenschaften:

Nennspannung	230 V	Energieeffizienzklasse	-
Leistung	100 W	Lichtleistung	-
Abstrahlwinkel	-	Gewicht	53,3 g
Nennlebensdauer	300 h	Lampentemperatur (max)	-
Fassung	E27	Ersteller	Philips
Abmessungen	Abbildung 7		



Abbildung 7: Abmessungen
infrarot Lampe, 100W

Halogen Classic Reflector [30]
EcoClassic 70W E27 R80 25D 1CT/10 SRP

Lampeneigenschaften:

Nennspannung	230 V	Energieeffizienzklasse	D
Leistung	70 W	Lichtleistung	485 lm
Abstrahlwinkel	25°	Gewicht	39,5 g
Nennlebensdauer	2000 h	Lampentemperatur (max)	130 °C
Fassung	E27	Ersteller	Philips
Abmessungen	Abbildung 8	Preis	2.90 CHF

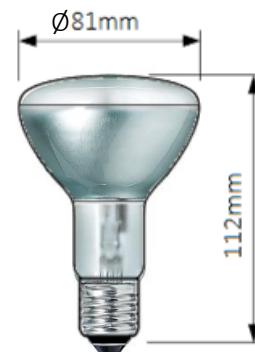


Abbildung 8: Abmessungen
Halogen Lampe, 70W

Halogen Classic Halogen-Reflektorlampe [31]
EcoClassic 42W E14 230V NR50 1CT/10 SRP

Lampeneigenschaften:

Nennspannung	230 V	Energieeffizienzklasse	D
Leistung	42 W	Lichtleistung	250 lm
Abstrahlwinkel	30°	Gewicht	20,8 g
Nennlebensdauer	2000 h	Lampentemperatur (max)	130 °C
Fassung	E14	Ersteller	Philips
Abmessungen	Abbildung 9	Preis	2.90 CHF

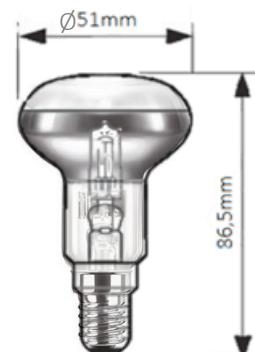


Abbildung 9: Abmessungen
Halogen Lampe, 42W

4.2.3 Konzept

Das Konzept funktioniert wie folgt: Durch Erwärmung der Haut mit Infrarot-Strahlung werden die Parasiten getötet. Damit die aus der Infrarot-Strahlung resultierende Wärme die Haut möglichst nicht schädigt, soll ein Regelkreis die Temperatur auf einen konstanten Wert regeln. Zudem wird ein Filter verwendet, welcher die schädliche emittierte UV-Strahlung blockiert (Die genauen Filterspezifikationen sind im Anhang 12.1 aufgeführt). Als Sensor wird ein Thermopile benutzt um berührungslos die Temperatur zu messen und dem Regelkreis als Rückführgrösse vorzugeben.

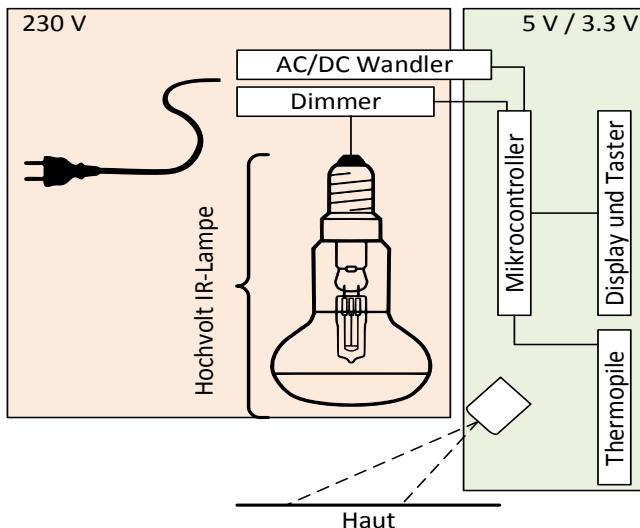


Abbildung 10: Konzept zur Umsetzung des Gerätes mit einer IR-Lampe und einem Regelkreis zur Temperaturregelung

4.2.4 Experimente

Zur Untersuchung der Homogenität der Leuchtmittel wurde die Oberflächentemperaturverteilung mit der Infrarotkamera Opiris PI 160 (Kapitel 4.3.1) aufgenommen. Das aufgebaute Experiment besteht grundsätzlich aus drei Komponenten (Abbildung 11 a.):

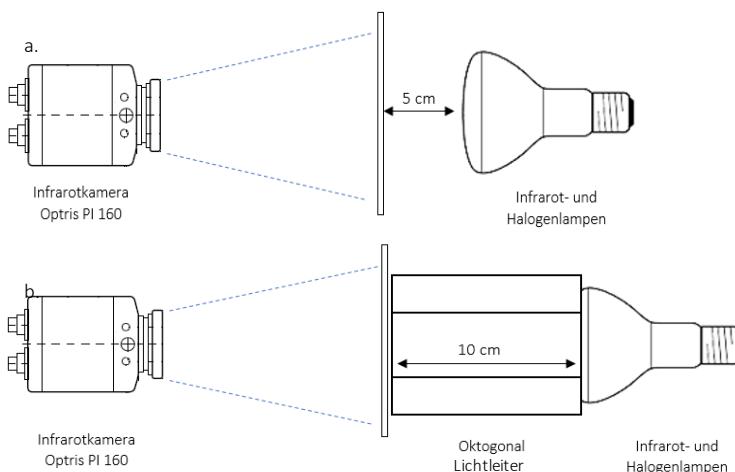


Abbildung 11: a. Messungen der Temperaturverteilung, b. Messungen für die Homogenitätsverbesserung

- Die Infrarotkamera für die Temperaturüberwachung der Messfläche;
- Das Leuchtmittel, das die Strahlungen erzeugt;
- Eine Lichtabsorbierende Fläche.

Die absorbierende Fläche ist aus Papier aufgebaut und wird mit einem Abstand von 5 Zentimetern vor dem Leuchtmittel platziert. Um möglichst viele Informationen über die Bestrahlung der Lichtquelle zu erhalten, wurde eine schwarze Messfläche gewählt. Dies erhöht den Emissionsgrad, so dass ein grosser Teil des Strahlenspektrums absorbiert werden kann.

Ein weiterer experimenteller Aufbau ist in Abbildung 11 b. schematisch dargestellt. Ein oktogonaler Lichtleiter wird zwischen dem Leuchtmittel und der schwarzen Fläche platziert. Untersucht wird in diesem Fall die Temperaturverteilung und die folglich erwartete Verbesserung der Homogenität aufgrund der Verwendung eines Lichtleiters.

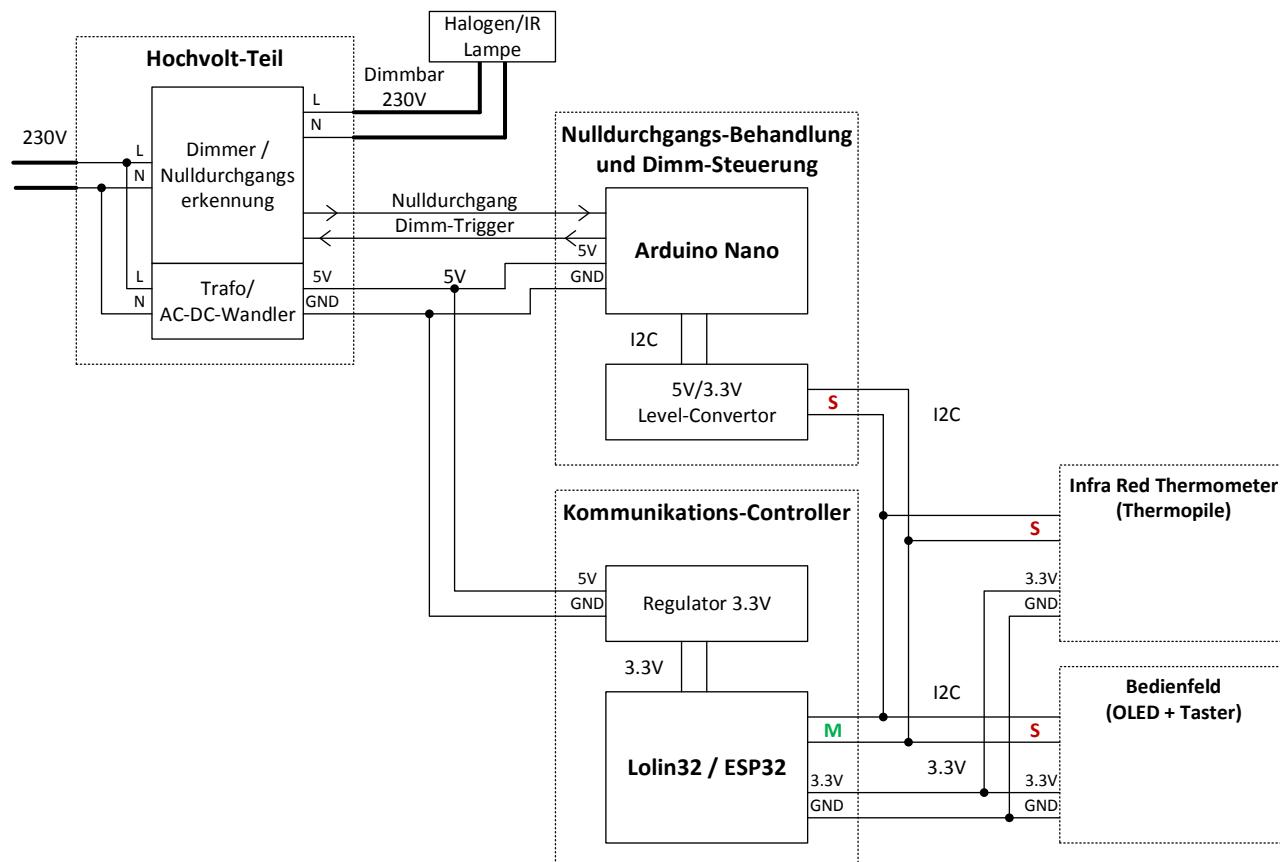
Die Resultate aus den Experimenten und die Beschreibung des Lichtleiters sind im Kapitel 5.3.1 abgehandelt.

4.2.5 Hardware

Die zu entwickelnde Hardware soll in drei Komponenten unterteilt werden:

- Ein Hochvolt-Teil, der die Netzspannung über die Dimmer-Schaltung an die Halogen-Lampe anschliesst. Parallel dazu wird die Netzspannung heruntergewandelt auf 5 Volt und aus Wechselspannung Gleichspannung gemacht.
- Ein Dimm-Controller, der die Nulldurchgänge der Wechselspannung vom Hochvolt-Teil empfängt und je nach Phasenlage die Halogen-Lampe ein- oder ausschaltet.
- Ein Kommunikations-Controller, der Sensoren und Aktoren verbindet. Der Benutzer soll auch Änderungen der Parameter über Bluetooth oder WiFi Parameter machen können.

Wir haben uns für zwei Mikrocontroller entschieden, da sie unabhängig voneinander entwickelt werden können.



Schema 3: Das Technologieschema besteht aus drei Hauptkomponenten «Hochvolt-Teil», «Dimm-Controller», «Kommunikations-Controller» und der dazu verwendeten Peripherie.

4.2.5.1 Hochvolt-Teil mit Dimmer

Die Halogen-Lampe, im Gegensatz zur neusten Entwicklung, der LED-Lampen, produziert sehr viel Infrarot-Strahlung. Diese Infrarot-Strahlung wird nun für das zu entwickelnde Gerät benutzt. Sie ist aber so stark, dass die Haut, die behandelt werden soll, in weniger als 20 Sekunden über 50° C Temperatur liegt. Darum muss eine vorgeschaltete Komponente die Halogen-Lampe je nach Temperatur der Haut herauf- oder herunterregeln um mehr oder weniger Infrarot-Strahlung zu produzieren.

In der Lichttechnik wird diese Dimmer-Komponente viel benutzt und es gibt schon fix fertige Produkte dazu. Es gibt auch sehr viele, meist in der Freizeit von Studenten entwickelte, Schaltpläne, die aber keine Überprüfung auf Verträglichkeit durch Produktion von elektromagnetischen Wellen und Störung von Drittgeräten haben.

Es gibt grundsätzlich vier verschiedene Arten von Dimmern die für unterschiedliche Leuchtmittel geeignet sind und die in der Tabelle 4 zusammenfasst werden:

- Phasenanschnitts-Dimmer
- Phasenabschnitts-Dimmer
- Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)
- Pulsweitenmodulation (PWM)

	Anschmitt	Abschnitt	EVG	PWM
Glühlampen	✓	✓	✗	✗
Hochvolt-Halogenlampen	✓	✓	✗	✗
NV-Halogenlampen mit konv. Trafo	✓	✗	✗	✗
NV-Halogenlampen mit elektr. Trafo	✗	✓	✗	✗
Dimmbare Energiesparlampen	□	□	✗	✗
Energiesparlampen	✗	✗	✗	✗
Leuchtstoffröhren	✗	✗	✓	✗
LED-Lampen (AC)	□	□	✗	✗
LED-Streifen (DC)	✗	✗	✗	✓
Einzelne LEDs (DC)	✗	✗	✗	✓

Tabelle 4: ELV-Ratgeber zu: Dimmer – welchen wofür einsetzen?
<https://www.elv.ch/ratgeber/dimmer-welchen-wofuer-einsetzen.html>

Für eine Hochvolt Halogen-Lampe kommen nur noch zwei Dimmer-Arten in Frage: ein Anschmitts- oder Abschnitts-Dimmer. Alle käuflich erwerblichen Produkte, die gefunden wurden, entsprechen aber nicht den Anforderungen in Bezug auf Kompaktheit und sind für unseren Zweck überdimensioniert. Eine vollständige Eigenentwicklung würde zu viel Zeit in Anspruch nehmen. Ein geeigneter Schaltplan muss gefunden und getestet werden.

Die meisten Hobby-Projekte benutzen einen Phasenabschnitts-Dimmer. Sie benötigen wenige Bauteile und können schnell verbunden werden. Der Nachteil dieses Anschnitts-Dimmers ist die steile Einschalt-Flanke, die entsteht mitten in einer Halbwelle. Diese Flanke verursacht Oberwellen und kann elektromagnetischen Wellen produzieren, die Drittgeräte oder auch die Kommunikation unseres Gerätes stören können.

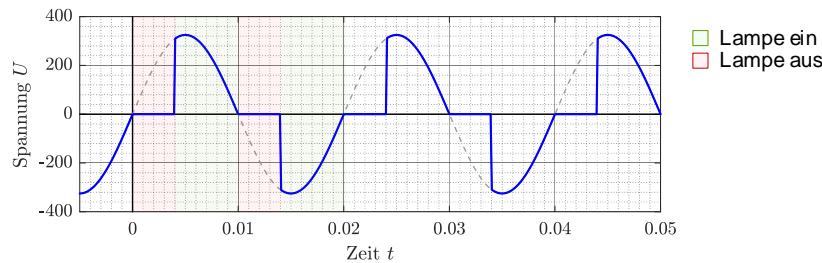


Abbildung 12: Zeitverlauf einer Sinusförmigen Wechselspannung am Verbraucher mit einem Phasenabschnitts-Dimmer

Ein Phasenabschnitts-Dimmer hat diese steilen Einschalt-Flanken nicht. Der Aufbau der Schaltung ist aber komplexer und benötigt mehr Bauteile.

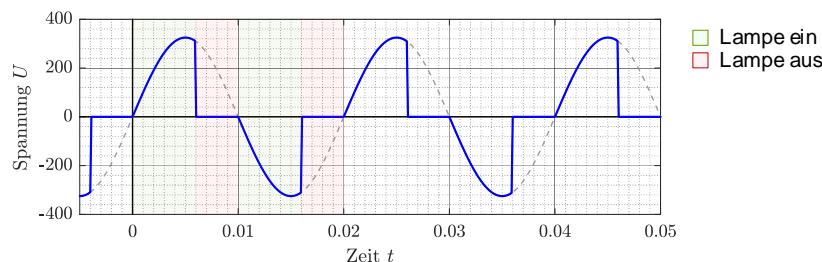


Abbildung 13: Zeitverlauf einer Sinusförmigen Wechselspannung am Verbraucher mit einem Phasenabschnitts-Dimmer

Als Grundlage wurde der Schaltplan vom «Phasenabschnittdimmer DI 300» von ELV [32] benutzt. Die Bauteile dieses Schaltplans sind aber zum Teil nicht mehr verfügbar. Es müssen passende Ersatzbauteile gefunden werden.

Eine galvanische Trennung zwischen Hochvolt- und Niedervolt-Teil ist zwar nicht notwendig, kann aber Problemen vorbeugen. Ein Kurzschluss im Niedervolt-Teil beim Entwickeln des Gerätes würde dann keinen Kurzschluss im Hochvolt-Teil verursachen. Die Programmierung der Mikrocontroller im eingeschalteten Gerät würde auch weniger Probleme verursachen bezüglich gemeinsame Erde. Der verwendete Mikrocontroller im Schaltplan von ELV [32] wird durch einen Arduino Nano ersetzt.

Für die galvanische Trennung werden zwei Optokoppler verwendet. Der eine Optokoppler überträgt das Nulldurchgangssignal vom Hochvolt-Teil in den Niedervolt-Teil und schlussendlich zum Mikrocontroller, der das Signal verarbeitet. Der zweite Optokoppler wird benutzt damit vom Mikrocontroller im Niedervolt-Teil das Triggersignal den MOSFET im Hochvolt-Teil überträgt.

4.2.5.1.1 LED Vorwiderstand für Optokoppler

Für die ersten Tests benutzen wir einen CNY65 Transistor-Ausgangsoptokoppler.

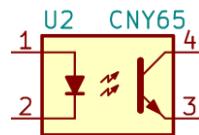


Abbildung 14: Optokoppler CNY65 Schaltzeichen

Wenn ein Strom durch das LED fließt, leuchtet das LED und überträgt das Signal an den galvanisch getrennten Fototransistor als optischer Empfänger.

Dieser Strom, der durch das LED fließt, muss begrenzt sein, sonst zerstört sich das LED selber. Es wurde mit einem Vorwärtsstrom $I_F = 10 \text{ mA}$ gerechnet.

Im Datenblatt vom CNY65 Optokoppler [33] steht: $V_F(1.1 \text{ V}) = 10 \text{ mA} = 0.010 \text{ A}$

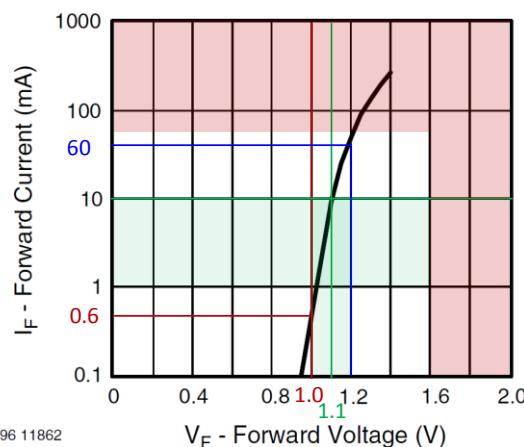


Abbildung 15: Diagramm der Vorwärtsspannung V_F zu Vorwärtsstrom I_F beim Optokoppler CNY65

Für die Zero-Cross-Detection wird noch zusätzlich eine Diode 1N4007 verwendet. Ein LED an einer Wechselspannung kann in Sperrrichtung zur Zerstörung des LEDs führen, worauf diese Diode notwendig ist.

Im Datenblatt von der 1N4007 Diode [33] steht: $V_F(0.67 \text{ V}) = 10 \text{ mA} = 0.010 \text{ A}$

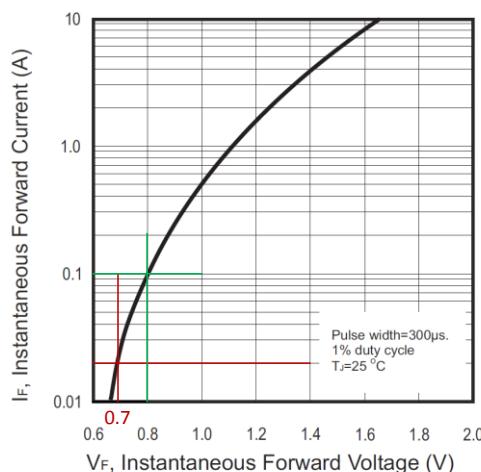


Abbildung 16: Diagramm der Vorwärtsspannung V_F zu Vorwärtsstrom I_F bei der Diode 1N4007

Zur Einfachheit wurde aber die Vorwärtsspannung $V_F = 0.8 V$ verwendet.

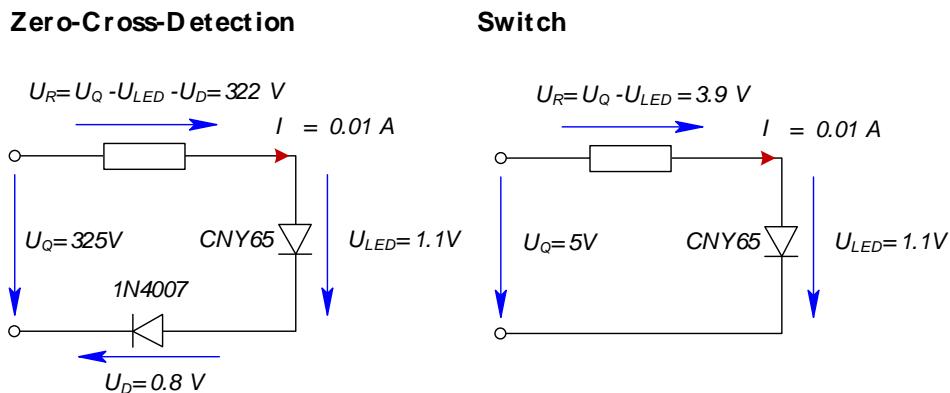


Abbildung 17: Dimensioniert des Vorwiderstandes auf Last- und Steuerverseite

Für die Berechnung der zwei Widerstandswerte erfolgt:

$$\begin{aligned} U_R &= R \cdot I_R \\ R &= \frac{U_R}{I_R} \\ R_{ZCD} &= \frac{322 V}{0.01 A} = 32 k\Omega \\ R_{Switch} &= \frac{3.9 V}{0.01 A} = 390 \Omega \end{aligned}$$

4.2.5.1.2 Zero-Cross-Detection (ZCD)

Damit die Dimmer-Schaltung zum richtigen Zeitpunkt die Lampe einschaltet muss vom letzten Nulldurchgang die Lampe ein- und je nach Dimm-Wert zwischen 0.001 bis 0.01 Sekunden ausgestellt werden.

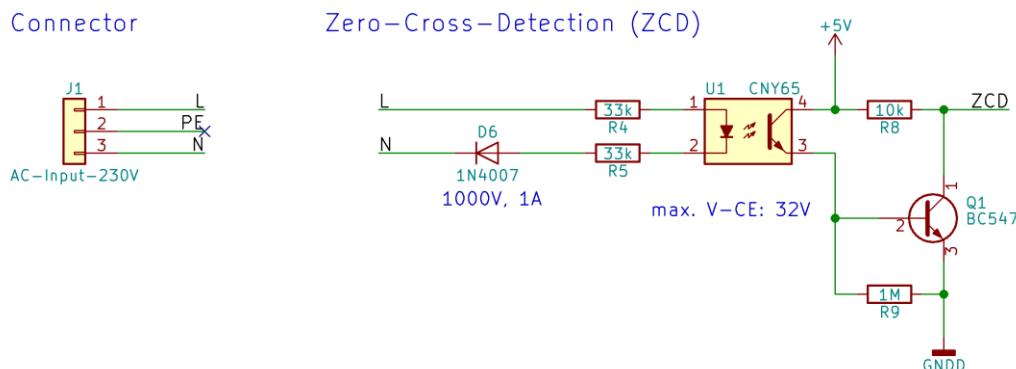


Abbildung 18: Schaltplan der Zero-Cross-Detection

Über eine Darlington-Schaltung soll am Ausgang ZCD das Signal wie in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Abbildung 19 zu sehen sein.

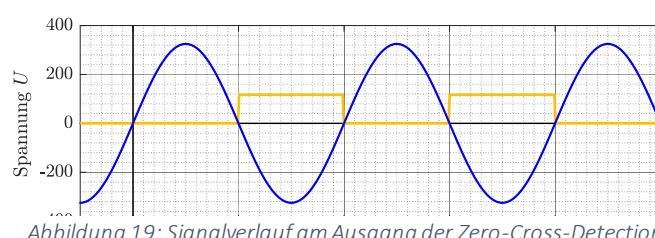


Abbildung 19: Signalverlauf am Ausgang der Zero-Cross-Detection

4.2.6 Software

4.2.6.1 PlatformIO

Die Mikrocontroller können beiden mit der Arduino IDE programmiert werden. Die Arduino IDE [34] kann von Haus aus den Arduino Nano programmieren, da das Compiler schon integriert sind. Für ESP32-Arduino [35] muss noch über das Board Manager ein anderer Compiler dazu installiert werden. Für einfache Sketches genügt die Arduino IDE. Für komplexere Applikationen mit vielen verschiedenen Dateien im gleichen Projekt ist die Arduino IDE aber umständlich. Wir haben uns darum für PlatformIO [36] entschieden. Beide Plattformen werden unterstützt, es können beliebig viele Dateien ins Projekt geladen werden und der frei verfügbare Editor Atom [37] ist viel ausgereifter als die Arduino IDE.

PlatformIO ist modular aufgebaut und integriert verschiedene Plattformen, deren Compiler und dazugehörigen Frameworks.

Plattformen
Atmel AVR
Atmel SAM
Espressif 32
Espressif 8266
ST STM32
TI TIVA

Tabelle 5: Auszug von verschiedenen Plattformen
<http://docs.platformio.org/en/latest/platforms/index.html>

Eine Plattform kann ein oder mehrere Frameworks beinhalten.

Atmel AVR Frameworks
Arduino
Simba

Tabelle 6: Frameworks zu Atmel AVR Plattform
<http://docs.platformio.org/en/latest/platforms/atmelavr.html>

Espressif32 Frameworks
Arduino
ESP-IDF
Pumbaa
Simba

Tabelle 7: Frameworks zu Espressif32 Plattform
<http://docs.platformio.org/en/latest/platforms/espressif32.html>

Bei einem neuen Projekt muss neben der Plattform und dem Framework zusätzlich noch das dazugehörige Board ausgewählt werden.

Atmel AVR Boards	
ID	Name
uno	Arduino Uno
nanoatmega328	Arduino Nano

Tabelle 8: Auszug von Boards zur Atmel AVR Plattform
<http://docs.platformio.org/en/latest/platforms/atmelavr.html>

Espressif32 Boards	
ID	Name
esp-wrover-kit	Espressif ESP-WROVER-KIT
lolin32	WEMOS LOLIN32

Tabelle 9: Auszug von Boards zur Espressif32 Plattform
<http://docs.platformio.org/en/latest/platforms/espressif32.html>

Daraus entstehen die platformio.ini Dateien der zwei PlatformIO Projekte.

platformio.ini zu Arduino Nano Projekt

```
[env:nanoatmega328]
platform      = atmelavr
board        = nanoatmega328
framework    = arduino
```

Datei 1: platformio.ini zu Arduino Nano Projekt

platformio.ini zu Lolin32 Projekt

```
[env:lolin32]
Platform      = espressif32
board        = lolin32
framework    = arduino
build_flags = -D POSIX_THREADS -D GLIBCXX_USE_C99 -fexceptions
```

Datei 2: platformio.ini zu Arduino Nano Projekt

PlatformIO hat zu jeder Plattform und zu jedem Framework eine interne Versionsnummer, die nichts mit der ursprünglichen Framework-Version zu tun hat

Frameworks	PlatformIO Version Nr.	Version Nr.
framework-arduinoavr	1.10619.0	1.6.19
framework-arduinoespressif32	1.2.0	0.0.1

Tabelle 10: PlatformIO interne Versionsnummer

Das framework-arduinoespressif32, also ESP32-Arduino [35], ist noch in reger Entwicklung und besitzt eigentlich noch keine eigene Versions Nummer. PlatformIO macht alle paar Monate einen Snapshot vom aktuellen GitHub Repository von ESP32-Arduino [35] und benutzt seine eigene PlatformIO Versions Nummer. Es kann durchaus sein, dass sich ESP32-Arduino [35] so stark ändert, dass unser Projekt-SourceCode auf neueren Versionen nicht mehr kompilierbar sein wird!

Die Installation von Atom und PlatformIO wird hier nicht weiter besprochen [38].

4.2.6.2 Arduino Nano

Der Arduino Nano ist nur für die Dimm-Schaltung gedacht. Das ZCD-Signal wird im Arduino Nano verarbeitet und je nach Phasenlage der Schalter zur Lampe ein- oder ausgeschaltet.

Das ZCD-Signal soll über einen externen Interrupt-Pin vom laufenden Programmfluss unterbrochen und das ZCD-Signal so schnell wie möglich verarbeitet werden.

Einer der internen Timer soll im Abstand von einer Millisekunde eine Interrupt Service Routine aufrufen und den Schalter SWITCH je nach Dimm-Wert zwischen 1 bis 10 Millisekunden ein- oder ausschalten. Der SWITCH-Pin kann als einfacher GPIO-Pin verwendet werden.

Über I2C soll der Dimm-Wert vom zweiten Mikrocontroller Lolin32 an den Arduino Nano gesendet werden.

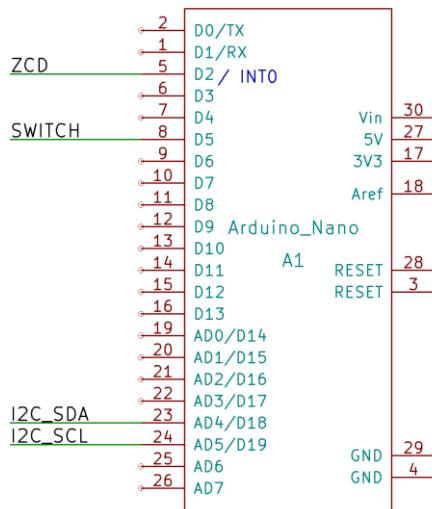


Abbildung 20: Signalverbindungen zu Arduino Nano

Folgende Librariers werden zusätzlich verwendet:

- TimeOne Library [39]

4.2.6.3 Lolin32 / ESP32

Der Lolin32 Mikrocontroller benutzt verschiedene Peripherie. Über I2C wird der Thermopile, das OLED-Display und der Arduino Nano als Slave verwendet. Nur die Taster SW1 und SW2 werden dedizierte GPIO-Pins benutzt. Die Parameter Temperatur und die Bestrahlungsdauer sollen über einen internen Web-Server geändert werden.

Folgende Librariers werden zusätzlich verwendet:

- Adafruit MLX90614 Library [40]
- Neil Kolban's Codeschnipsel [41]
- SSD1306 OLED Display Library [42]
- SPIFFS library for ESP32 Arduino [43]

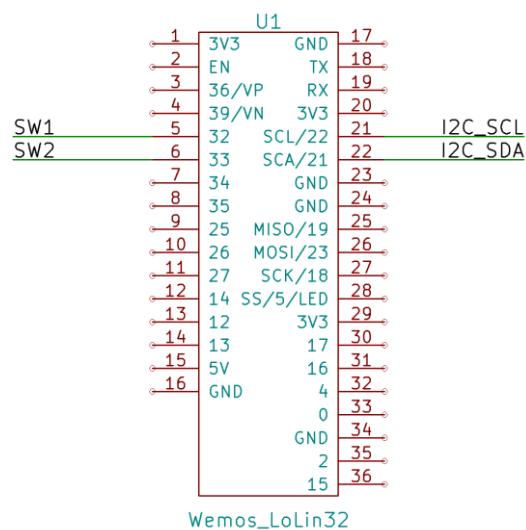


Abbildung 21: Signalverbindungen zu Lolin32

4.3 Verwendetes Messgerät zur Temperaturmessung

4.3.1 Optris PI 160 Infrarotkamera und zugehörige Software

Um die Temperaturverteilung und die Homogenität zu überprüfen wird eine Optris PI 160 Infrarotkamera verwendet. Diese Kamera hat die folgenden Spezifikationen:

Optische Auflösung	160 x 120 Pixel	Abmessungen	45 x 45 x 62 mm
Bildwiederholungsfrequenz	120 Hz	Schutzklasse	IP 67
Thermische Empfindlichkeit	0,1 K (0,1°C)	Gewicht	195 g
Spektralbereiche	7,5-13 µm	Ersteller	Optris
Optiken	41° x 31° FOV		http://www.optris.de/infrarot-kamera-pi160

Tabelle 11: Spezifikationen Optris Pi 160 Infrarotkamera

Ein USB Kabel ermöglicht der Datenübertragung von der Kamera zu dem Computer. Mit Hilfe der Optris PI Connect Software können die Daten in Echtzeit mit verschiedenen Funktionen analysiert und ausgewertet werden. Die Wärmebilder werden mit einer Falschfarbenkodierung dargestellt. Die Verwendung dieser Kodierung ermöglicht einen ausreichenden Kontrast zwischen den verschiedenen Temperaturabstufungen.

Die folgenden Funktionen werden für die Datenbearbeitung und für eine optimale Wärmebilddarstellung angewendet und sind in Abbildung 22 dargestellt:

1. Mittlere Temperatur von der gesamten Fläche
2. Messfelder oder Messpunkte für die Temperaturüberwachung von begrenzten Bereichen
3. Referenzbalken als Temperaturskala
4. Temperaturprofile
5. Manuelle oder automatische Einstellung des Kontrasts
 - a. 3 sigma Kontrast
 - b. Manueller Kontrast

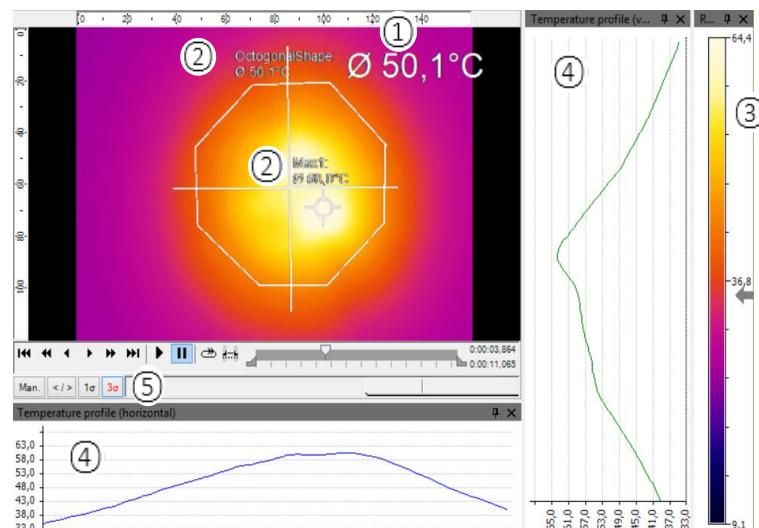


Abbildung 22: Hauptfunktionen des Optris PI Connect Software

Es werden die Wärmebildvideosequenzen und die einzelnen Wärmebilder in Form von Textdateien für Analysen (.csv), von Bildern (.tiff) und von Video-Sequenzen (.ravi) exportiert [44].

5 Resultate

5.1 Homogenität

Ein wichtiger Aspekt dieser Arbeit beinhaltet die Beurteilung der Bestrahlungshomogenität. Dies bedeutet, dass die Temperaturverteilung über die betrachtete Fläche gleichmäßig sein soll. Dies hat den Grund, dass eine Läsion auf ihrer gesamten Oberfläche gleichmäßig behandelt werden soll.

Die Abbildung 23 stellt eine homogene und eine inhomogene Bestrahlungsverteilung schematisch dar. Auf die linke Seite hat das ganze Gebiet die gleiche Temperatur. Rechts dagegen konzentriert sich die Bestrahlung nur in der Mitte der Fläche.

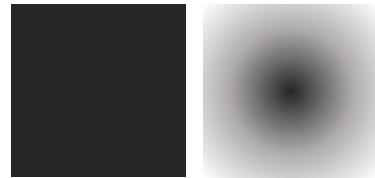


Abbildung 23: Homogene Temperaturverteilung (links) und inhomogene Bestrahlung mit einer Temperaturkonzentration in der Mitte (rechts)

5.2 Experimentelle Resultate des bestehenden Prototyps

Die Daten aus den experimentellen Messungen (siehe Kapitel 4.1.2), welche mit dem bestehenden Prototyp durchgeführt worden sind, werden analysiert und ausgewertet. In der Abbildung 24 kann man die Temperaturverteilung erkennen. Umso heller die Farben aus dieser Falschfarbendarstellung sind, desto höher ist die Temperatur auf der Messfläche. Die Abbildung 25 rekonstruiert die Temperaturabstufungen, die aus der Software exportiert wurden, als dreidimensionales Temperaturprofil.

→ Quanto è la differenza di temperatura

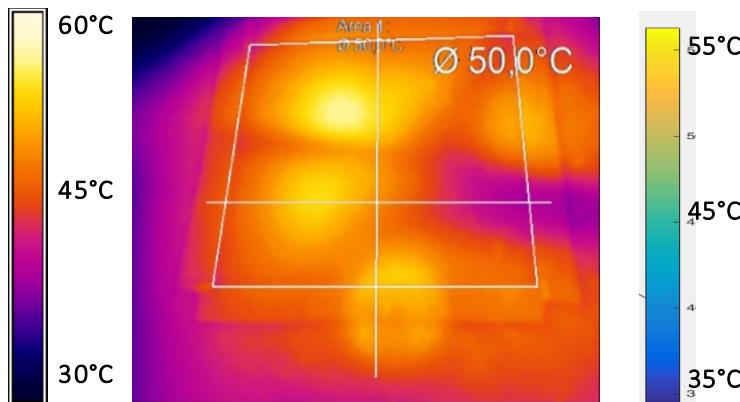


Abbildung 24: Falschfarbendarstellung des Wärmebildes für den bestehenden Prototyp, Kontrast 3sigma

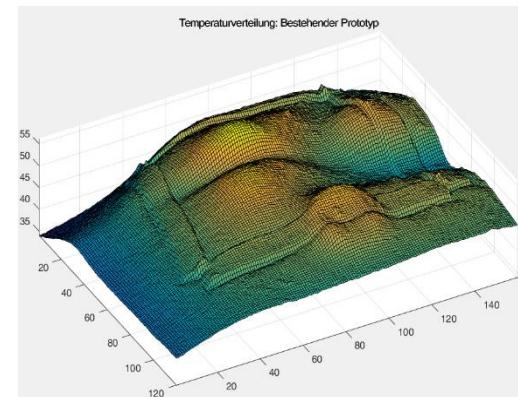


Abbildung 25: Wärmeverteilung Rekonstruktion mit Matlab

Sowohl im Wärmebild als auch in der dreidimensionalen Matlab-Rekonstruktion werden vier Regionen durch hellere Farben gekennzeichnet. Die beiden Abbildungen zeigen deutlich, dass in diesen Bereichen die Bestrahlungen eine höhere Konzentration aufweist.

Die Erwärmung des Gewebes kann mittels eines heißen Luftstroms nur die Oberfläche beeinflussen und ist daher nicht in der Lage, alle in der Haut vorhandenen Parasiten zu beseitigen. Zudem weist diese Art der Erwärmung eine starke Inhomogenität in der Temperaturverteilung auf. Dies ist ein weiterer Faktor welcher sich negativ auf die Beseitigung der Parasiten auswirkt. Ebenfalls erschwert sich dadurch eine exakte Regelung der Oberflächentemperatur.

5.3 Experimentelle Resultate zum neuen Verfahren / Prototyp

Das in dieser Arbeit verwendete Behandlungsverfahren basiert auf der lokalen Erwärmung der Läsion einer von Leishmaniose betroffenen Person. Dazu werden Leuchtmitteln verwendet welche Infrarotstrahlen emittieren. Ein ähnlicher Prozess wurde zwischen 1983 und 1984 im Iraq getestet [45].

Um die Wirksamkeit dieser Behandlung zu testen, wurde die Oberflächentemperaturverteilung mit der Optis PI 160 Infrarotkamera analysiert.

Die Abbildung 26 und die Abbildung 27 zeigen die Bestrahlungskonzentration anhand der Falschfarbenbilder. Um einen Vergleich der Temperaturverteilung zu ermöglichen, wurden alle Bilder mit einer Durchschnittstemperatur von 60°C aufgezeichnet.

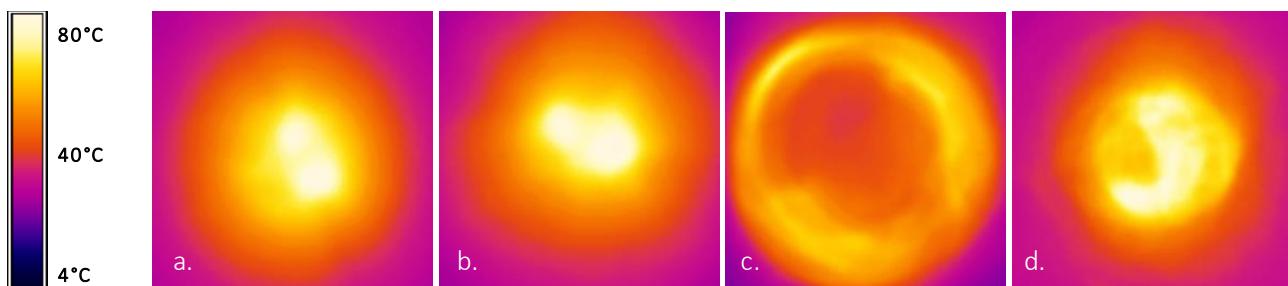


Abbildung 26: Falschfarbendarstellung des Wärmebildes für den neuen Verfahren mit Infrarotstrahlungen, Kontrast 3sigma.
Von links nach rechts a. Halogenlampe 42W, b. Halogenlampe 70W, c. Infrarotlampe 100W, d. Infrarotlampe 250W.

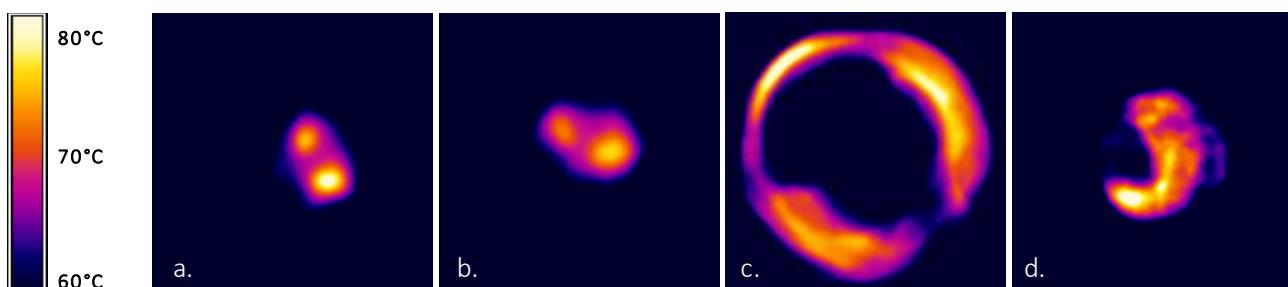


Abbildung 27: Manuelle Einstellung der Kontrast in Falschfarbdarstellung, um die Temperaturspitzen herauszustellen
Von links nach rechts a. Halogenlampe 42W, b. Halogenlampe 70W, c. Infrarotlampe 100W, d. Infrarotlampe 250W.

Die Abbildung 27 zeigt den maximalen Temperaturwert jedes Bildes mit einem höheren Kontrast, das heißt nur die Temperaturspitzen werden dargestellt. Unerwartet ist die Differenz von 20°C zwischen der Durchschnittstemperatur und dem maximalen Wert (von 80°C). Auch dieses Verfahren weist für alle getesteten Leuchtmittel eine inhomogene Temperaturverteilung auf. Jedoch ist diese weniger ausgeprägt wie bei einer Anregung mittels Luftströmung.

Der Prototyp muss deshalb derart weiterentwickelt werden, so dass die Temperaturdifferenz vermindert wird und die Homogenität der gemessenen Oberfläche verbessert wird. Die Daten im folgenden Kapitel zeigen die Ergebnisse der Messungen mit einem Lichtleiter. Diese Messungen werden aus den folgenden Gründen nur mit der Halogenlampe 42W durchgeführt: die ersten zwei Bilder in Abbildung 27 (a. Messung mit Halogenlampe 42W, b. Messung mit Halogenlampe 70W) sehen sehr ähnlich aus. Beide weisen zwei Temperaturspitzen auf, die in der Mitte des Bildes 80°C erreichen. Die Abbildung 27 c. (Messung mit der Infrarotlampe 100W) zeigt eine homogene Bestrahlung in der Mitte des Bildes und eine inhomogene Temperaturverteilung am Rand. Die Messungen mit der Infrarotlampe 250W (Abbildung 27 d.) ist von einer inhomogenen Temperaturverteilung auf die ganze Fläche gekennzeichnet. Obwohl die erste Halogenlampe eine niedrigere Leistung von 42W hat, kann sie die Temperatur von 50°C erreichen und weist im Gegensatz zu den anderen Lampen eine kleinere Abmessung auf. Aus diesen Gründen eignet sich diese Lampe am besten für den Prototyp.

5.3.1 Oktogonaler Lichtleiter zur Verbesserung der Temperaturverteilung

Wie im Kapitel 3.3.1 erwähnt, sind die Infrarotbestrahlungen Teil der optischen Strahlung. Ein Vorteil dieser Art von Strahlung ist, dass sie leicht unter Verwendung optischer Mittel manipuliert werden kann [46]. Das bedeutet, dass die Strahlen, die sich während des Lampenbetriebs ausbreiten, in einem reflektierten Lichtleiter kanalisiert werden können. Der Zweck dieses Leiters besteht darin, eine inhomogene Lichtquelle in einer homogenen Lichtstrahlung umzuwandeln [47]. Damit das Licht reflektiert wird, wurden Alu-Klebebandfolien an den Innenwänden des Lichtleiters befestigt.

Zahlreiche Faktoren, wie die räumliche Verteilung, die Strahlenintensität, beeinflussen das resultierende Strahlungsverhalten. Insbesondere haben unterschiedliche Studien ([47], [48]) gezeigt, dass die Form des Lichtleiters die Homogenität deutlich beeinflusst.

Die folgenden Abbildungen zeigen Falschfarbenbilder mit zwei verschiedenen Kontraste. Die durchgeführten Messungen untersuchen die Temperaturverteilung mit der zusätzlichen Verwendung des oktogonalen Lichtleiters und der Halogenlampe 42W als Lichtquelle.

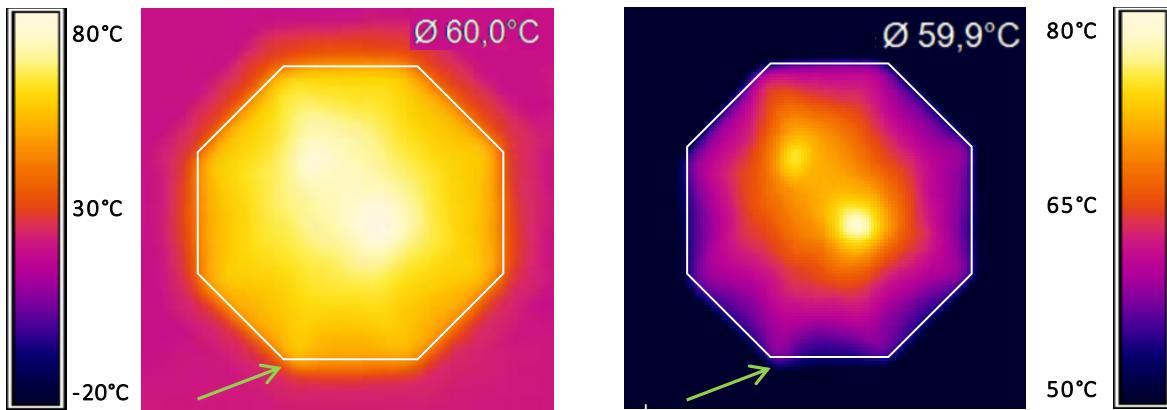


Abbildung 28: a. Falschfarbendarstellung des Wärmebildes mit Kontrast 3sigma. b. Falschfarbendarstellung des Wärmebildes mit manuellen Kontrast. Reflexionsphänomene sehr gut erkennbar und mit grünen Pfeilen markiert.

Die Abbildung 28 zeigt deutlich, wie die von der Lampe emittierte Strahlung im Inneren des Lichtleiters reflektiert wird. Im Vergleich zum Experiment ohne Lichtleiter werden die gesamten Strahlen nur auf eine beschränkte Oberfläche konzentriert. Dieses Phänomen und die Verbesserung der Temperaturverteilung ist als dreidimensionale Rekonstruktion in der Abbildung 29 dargestellt.

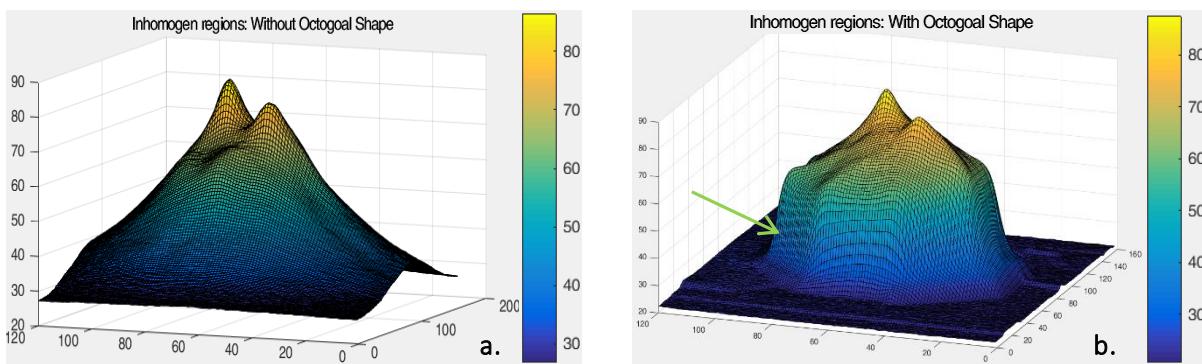


Abbildung 29: Dreidimensionale Matlab-Rekonstruktion der Strahlendiffusion der Messungen ohne oktogonalen Lichtleiter (a.) und mit oktogonalen Lichtleiter (b.).

Die grünen Pfeile markieren die Reflexionsphänomene, die durch den oktogonalen Lichtleiter verursacht werden. Dabei lässt sich erkennen, dass durch die Verwendung des oktogonalen Lichtleiters die Inhomogenität der Oberflächentemperatur drastisch reduziert werden konnte. Die einzelnen Temperaturspitzen sind nach wie vor vorhanden.

5.3.2 Histogrammanalyse der Temperaturverteilung

Um die Strahlenverteilung zu beschreiben, wurden Histogramme erstellt. Diese Balkendiagramme beschreiben die Strahlenunterteilung auf der gemessenen Fläche anhand der dazugehörigen Farbwertehäufigkeitsverteilung. Da diese Analyse auf einem 8-bit Graustufen-Bild basiert, werden die Farbenwerte durch ihre Helligkeit visualisiert. Je höher die Temperatur ist, desto heller wird das Bild repräsentiert.

Das erwartete Ergebnis für eine begrenzte homogene Oberfläche ist eine Aufteilung der Spalten des Histogramms in zwei Hauptsektoren, d.h. das Histogramm soll bimodal sein. Die hohen Anteile des Histogramms sollen das Innere und das Äußere der Messfläche bezüglich der Lichtleiter darstellen und sollen gut erkennbar sein.

Das Histogramm der Abbildung 30 weist drei Hauptfarbbereiche auf, die häufig in den Resultaten des Experiments ohne Lichtleiter vorkommen:

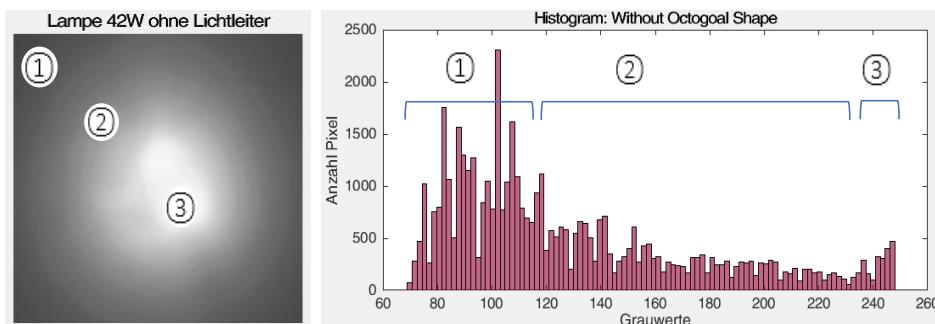
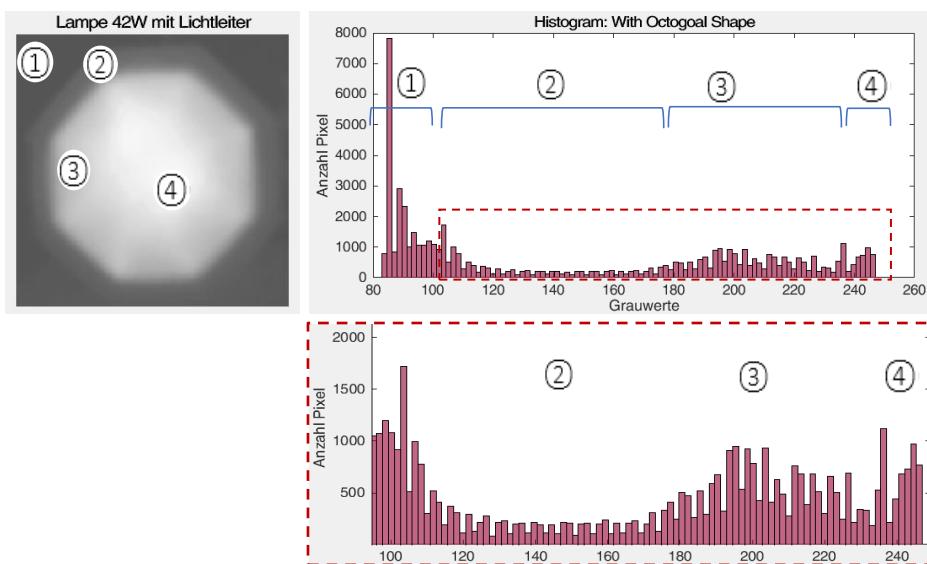


Abbildung 30: Evaluation der Temperaturdiffusion von Messungen ohne oktogonalen Lichtleiter. Histogramm ermöglicht die Übersicht von Helligkeit.

1. Grauwerte 70-110 (Dunkelgrau) stellen den Hintergrund dar
2. Grauwerte 110-230 (Dunkelgrau → Hellgrau) stellen die Temperaturdiffusion dar
3. Grauwerte 230-250 (Hellgrau/Weiss) stellen die Temperaturspitzen dar

Dieses erste Ergebnis zeigt, dass die meisten Pixel sich im linken Teil des Histogramms befinden. Dies zeigt deutlich die zugrundeliegende Inhomogenität des Farbverlaufs, respektive der Temperaturverteilung.

Das Histogramm der Abbildung 31 weist vier Hauptfarbwerte auf, welche häufig in den Resultaten des Experiments mit dem Lichtleiter vorkommen:



1. Grauwerte 80-100 (Dunkelgrau) stellen den Hintergrund dar
2. Grauwerte 100-180 (Dunkelgrau) stellen die Temperatur des oktogonalen Lichtleiters dar
3. Grauwerte 180-230 (Hellgrau) stellen die Temperaturdiffusion dar
4. Grauwerte 230-250 (Hellgrau/Weiss) stellen die Temperaturspitzen und das Reflexionsphänomen dar

Abbildung 31: Evaluation der Temperaturdiffusion von Messungen mit oktogonalen Lichtleiter. Histogramm ermöglicht die Übersicht von Helligkeit.

Obwohl die Homogenität der gemessenen Oberfläche noch nicht perfekt ist, ist eine markante Verbesserung der Temperaturdiffusion im Vergleich zu den Tests ohne Lichtleiter festzustellen.

5.4 Neuer Prototyp

5.4.1 Hardware

Die Schaltpläne und PCB Designs sind im Anhang 12.3 und 12.4 zu finden. Beim Entwickeln der Hardware wurde erst zu spät bemerkt, dass Hardware-Probleme aufgetreten waren, unter anderem nachdem Platinen bestellt wurden. Diese Probleme konnten wir aber vollständig lösen.

5.4.1.1 Zero-Cross-Detection (ZCD)

Eines der Hauptprobleme war, was wir die ZCD alleine aufgebaut hatten, ohne den Brückengleichrichter zu verwenden. Im Hochvolt-Teil wurde die ZCD integriert, aber nach dem Brückengleichrichter. Mit Hilfe von Daniel Fehr vom Institute of Computational Physics (ICP) konnte das Problem schnell gelöst werden. Wie in Abbildung 32 zu erkennen, wurde die ZCD zum einen durch den MOSFET kurzgeschlossen, zum anderen wäre die meiste Last über der Lampe abgefallen und hätte die LED beim Optokoppler nicht zum Leuchten gebracht.

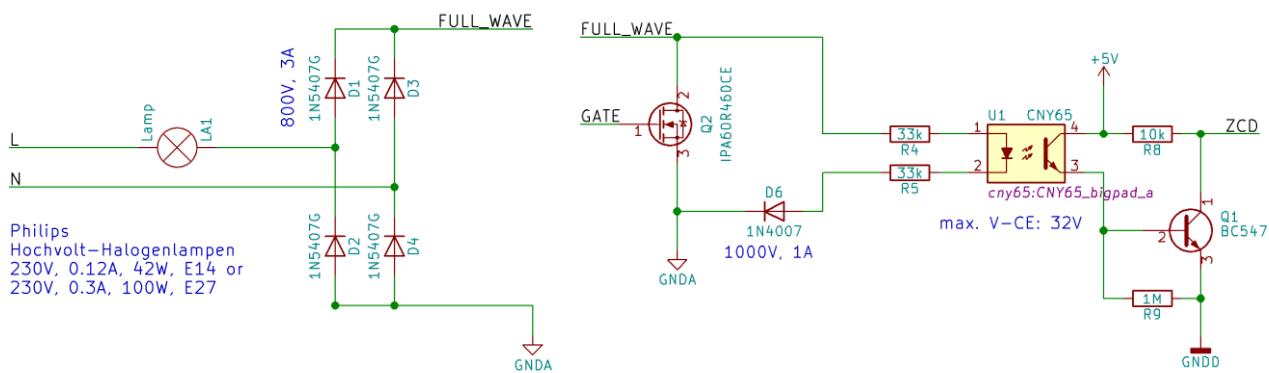


Abbildung 32: Schaltplan der Zero-Cross-Detection integriert im Hochvolt-Teil

Die ZCD konnte aber direkt an der Wechselspannung (L und N) anhängen werden. Nach reichlichem Testen nur mit der Zero-Cross-Detection ist das Signal wie erwartet in der Netzfrequenz von 50 Hertz (Abbildung 33). Erst später wurde bemerkt, dass das ZCD Signal zeitverschoben ist mit der Wechselstrom-Sinus-Spannung (Abbildung 34). Im Abschnitt 5.4.2.1 wurde diese in Software nachkorrigiert.

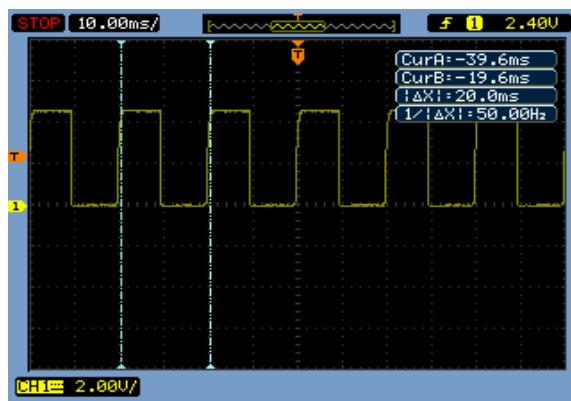


Abbildung 33: Oszilloskop Screenshot der Zero-Cross-Detection ohne Wechselstrom-Sinus-Spannung

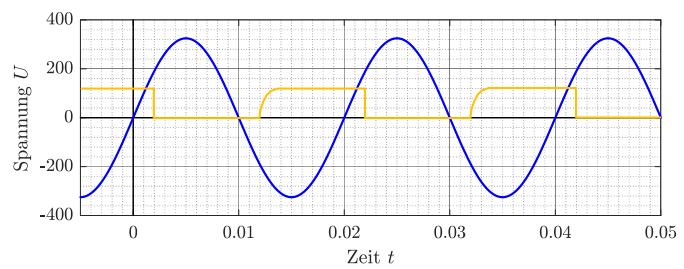


Abbildung 34: Zero-Cross-Detection mit Wechselstrom-Sinus-Spannung

5.4.2 Software

5.4.2.1 Dimmer-Steuerung

Der Interrupt-Basierte Lösungsansatz konnte nicht realisiert werden. Der Timer-Interrupt ist gegenüber dem externen Interrupt vom ZCD mit einer variablen Zeit-Drift versehen. Mit einer Polling-Basierten Lösung wurde die Software umgestellt.

Wie im Abschnitt 5.4.1.1 entdeckt, ist das ZCD-Signal etwas zeitverzögert, was zu einer Verzerrung der Phasenlage führt. Das Einschalter der Lampe ist nun nicht mehr am Nulldurchgang, sondern zeitverzögert, was zu Oberwellen und einer Produktion von elektromagnetischen Wellen führen kann.

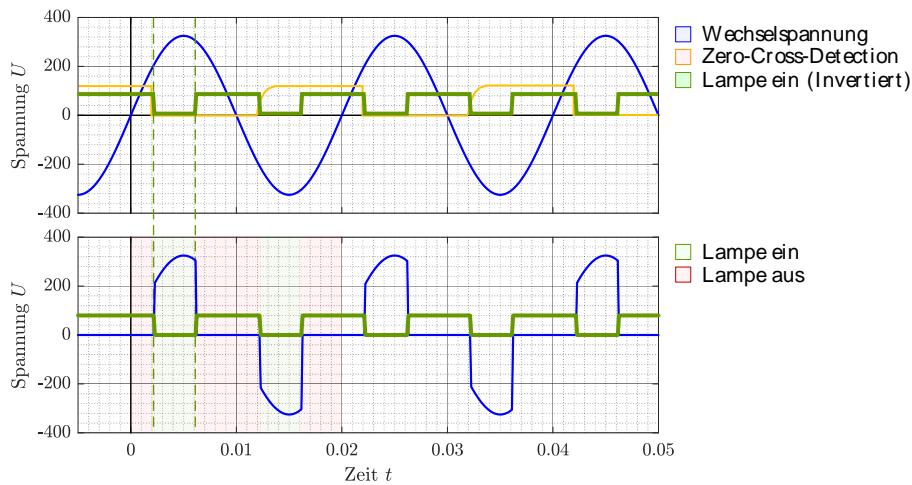


Abbildung 35: Verzerrte Phasenlage

In der Software kann diese Verzögerung nun aber korrigiert werden. Das letzte ZCD-Signal wird genommen um das nächste Schalt-Signal für die Lampe zu berechnen.

$$\begin{aligned}
 t_e &= t_{AC} - t_d \\
 t_{AC} &= 0.020 \text{ s} \\
 t_d &= 0.001 \text{ s} \\
 t_e &= 0.020 \text{ s} - 0.001 \text{ s} = 0.019 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Ab dem Zeitpunkt der steigenden und fallenden Flanke vom ZCD-Signal bis zum Einschalten der Lampe vergeht die Zeit t_e .

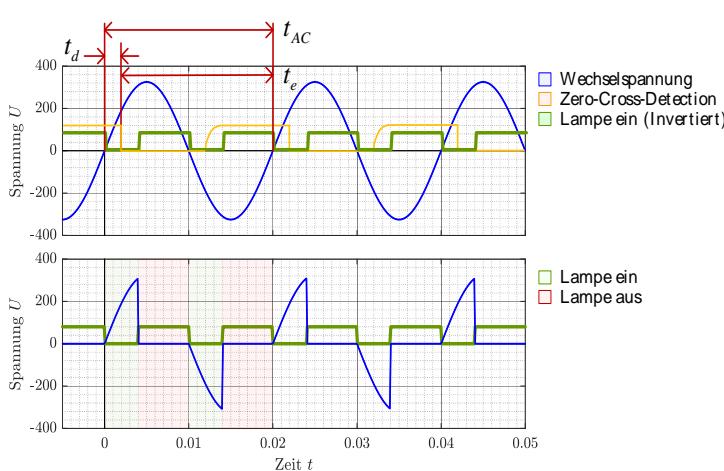


Abbildung 36: Korrektur der Phasenlage in Software

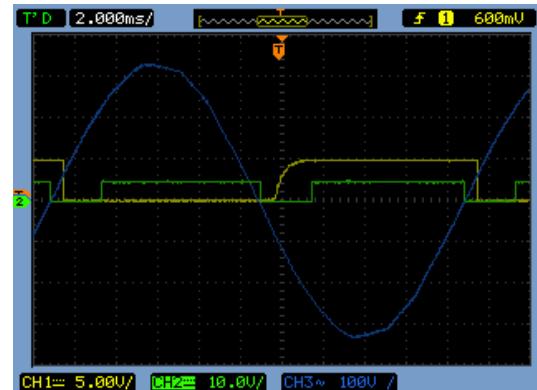


Abbildung 37: Verbessertes Testresultat nach der Korrektur in Software.

5.4.2.2 Regler

Ein sehr einfacher Regler wurde implementiert, der um die Soll-Temperatur herum die aktuelle Temperatur regelt. Dabei pulsiert der Regler, setzt also die Intensität der Lampe kurzzeitig herunter. Die Wirksamkeit dieser pulsierenden Intensität wurde aber nicht getestet.

5.4.2.3 OLED Display und Taster

Ein wichtiges Ziel der Projektarbeit ist die benutzerfreundliche Bedienung des Gerätes. Dafür wurden zwei Taster und ein OLED Display verwendet um alle wichtigen Informationen zur Behandlung und den aktuellen Einstellungen darzustellen. Die Menüführung des OLED Displays ist in Abbildung 38 zu sehen.

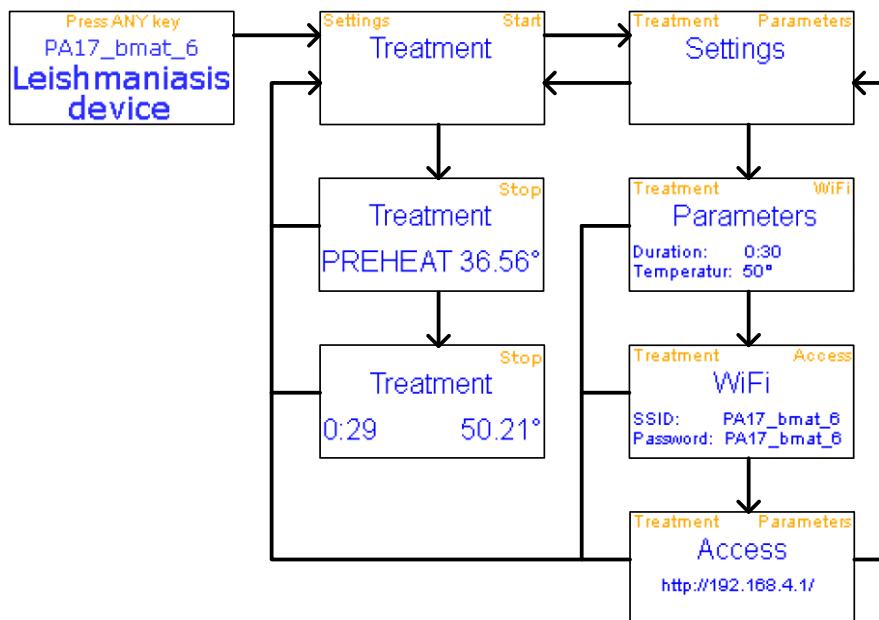


Abbildung 38: Menüführung des OLED Displays

5.4.2.4 HTTP Server

Für die Änderung der Parameter wurde das interne Wifi-Modul von Lolin32 benutzt. Der Hersteller des ESP32 Mikrocontrollers stellt das ESP-IDF Framework [49] zur Verfügung, das die Grundlage für den Aufbau der Arduino-Variante von ESP32 darstellt. Das Betriebssystem und die Socket-Strukturen, die hinter der Arduino-Plattform versteckt seinen Dienst tun, werden nun für die Instanziierung eines HTTP-Servers benutzt. Um nicht selber einen eigenen HTTP-Server zu programmieren, wird ein kleiner HTTP-Server von Neil Kolban's Codeschnipsel [41] verwendet. Dieser Code ist eigentlich nicht für Arduino sondern für ESP-IDF gedacht, kann und wurde aber für Arduino verwendet.

Ein erster Versuch wurde gemacht um die Website in einem SPI Flash File System (SPIFFS) zu hinterlegen. Da sich ESP32-Arduino [35] momentan stark ändert, kann SPIFFS für diese Projektarbeit nicht verwendet werden. Es wurde stattdessen eine durch den Arduino-Code erstellte Website benutzt.

Abbildung 39: Hauptseite mit den zwei Parametern Behandlungsdauer und Temperatur

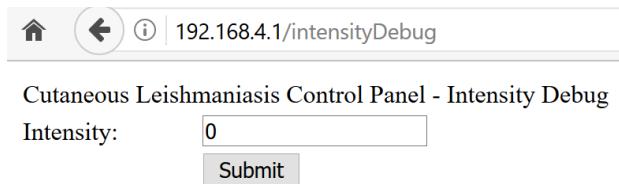


Abbildung 40: Zu Testzwecken kann die Intensität der Lampe manuell eingestellt werden

Ein beliebiges Betriebssystem kann über Wifi Verbindung mit dem Gerät herstellen und ein dazu passender Browser öffnet die Hauptseite. Änderungen können vorgenommen und per POST-Request an den HTTP-Server zurückgeschickt werden. Der Packetverlauf ist in Abbildung 41 und der POST-Request in Abbildung 42 zu sehen.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.4.2	192.168.4.1	HTTP	410	GET / HTTP/1.1
3	0.198161	192.168.4.1	192.168.4.2	HTTP	1185	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
4	23.658567	192.168.4.2	192.168.4.1	HTTP	510	POST / HTTP/1.1 (application/x-www-form-urlencoded)
6	23.941665	192.168.4.1	192.168.4.2	HTTP	1184	HTTP/1.1 200 OK (text/html)

Abbildung 41: Packetverlauf vom Browser (HTTP-Client), der einen Request absetzt und dem HTTP-Server, der den Request verarbeitet und als Response zurückschickt.

```

▼ Hypertext Transfer Protocol
  > POST / HTTP/1.1\r\n
    Host: 192.168.4.1\r\n
    User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64; rv:52.0) Gecko/20100101 Firefox/52.0\r\n
    Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,*/*;q=0.8\r\n
    Accept-Language: de,en-US;q=0.7,en;q=0.3\r\n
    Accept-Encoding: gzip, deflate\r\n
    Referer: http://192.168.4.1/\r\n
    Connection: keep-alive\r\n
    Upgrade-Insecure-Requests: 1\r\n
    Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\r\n
  > Content-Length: 26\r\n
  \r\n
  [Full request URI: http://192.168.4.1/]
  [HTTP request 1/1]
  [Response in frame: 6]
  File Data: 26 bytes
  ▼ HTML Form URL Encoded: application/x-www-form-urlencoded
    > Form item: "duration" = "30"
    > Form item: "temperature" = "52"

```

Abbildung 42: Der POST-Request, der vom Browser an den HTTP-Server geschickt wird.

5.5 Funktionsweise und Konzept des Prototyps

Der Entwurf und die Herstellung dieses Geräts wurde mit dem Programm Catia v5 durchgeführt.

Obwohl dieses Gerät aus sechs verschiedenen Teilen (ohne Elektronik) besteht, die komplett zerlegbar und austauschbar sind, ist es in zwei Hauptelemente (Abbildung 43) gegliedert.

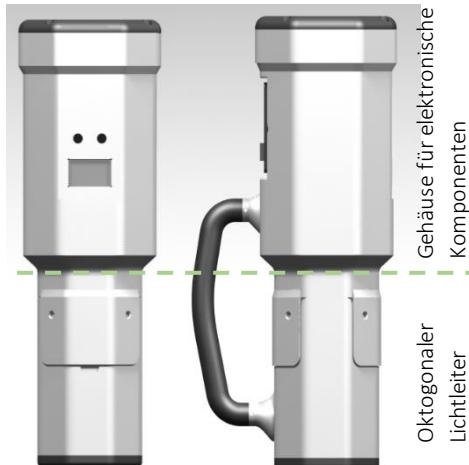


Abbildung 43: Hauptelemente der neue Prototyp unterteilt in oktagonalen Lichtleiter und Gehäuse für elektronische Komponenten.

Der obere Teil besteht aus einem Gehäuse, das die Elektronik zur Steuerung und Bedienung des Geräts enthält. Dieser Teil wurde so konzipiert, um die Stromversorgung und Inbetriebnahme zu erleichtern. Außerdem ist die Bedienung benutzerfreundlich, da es zwei Tasten und ein Display gibt, welche Interaktionen mit dem Benutzer ermöglichen. Das Display wird durch eine Plexiglas-Scheibe geschützt.

Der oktagonale Leiter befindet sich in der Unterseite des Geräts. Der in Kapitel 5.3.1 beschriebene Lichtleiter ermöglicht die Reflexion der Strahlung über eine Länge von 100 mm und ist praktisch direkt in Kontakt mit dem Gewebe und der Läsion des Patienten positioniert.

Die Verbindung der Komponenten im Unter- und Oberteil ist mit Hilfe von Kabeln, welche durch den Griff verlaufen, möglich.

Die Anordnung der Bauteile innerhalb des Gehäuses ist schematisch in der Abbildung 44 dargestellt. Der Raum wurde maximal ausgenutzt, um ein Gerät mit möglichst kompakten Abmessungen zu erhalten.

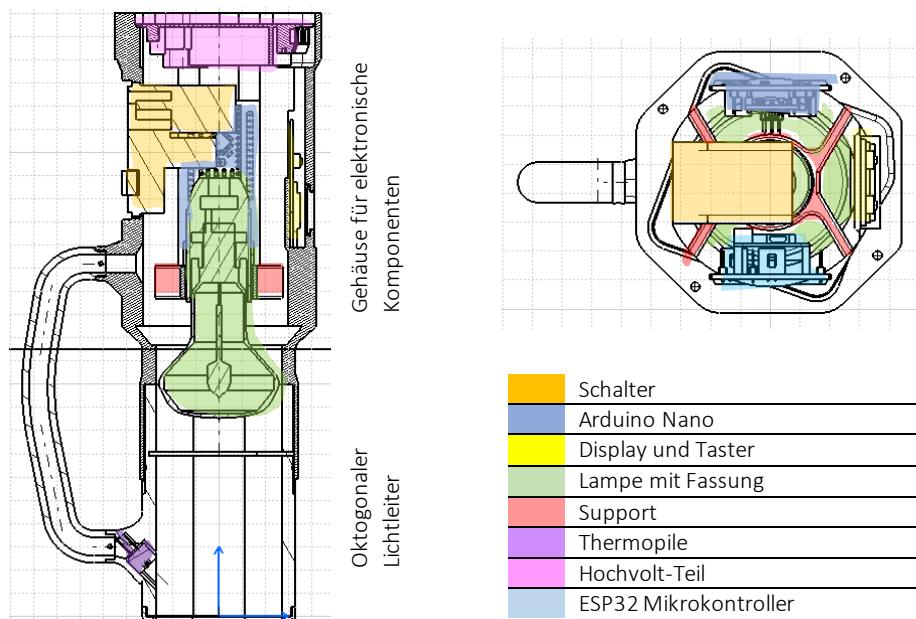


Abbildung 44: Querschnittsansicht und Draufsicht mit der Anordnung der Komponenten innerhalb des Gehäuses. Die Darstellung mit den Farben erlaubt es, die Form und die Position der Komponenten innerhalb der Struktur besser zu unterscheiden

Wie zuvor erwähnt, kann das gesamte Gerät in 6 Teile unterteilt werden. Der Lichteiter und der obere Teil des Gerätes sind mit 4 Schrauben verbunden. Auf diese Weise kann sehr einfach und schnell die Lampe im Bedarfsfall ausgetauscht werden. Ein Deckel befindet sich auf der Oberseite und ermöglicht einen einfachen Zugang zu den Elektronikkomponenten. Der letzte Teil des Lichteiters ist mit einer austauschbaren Halterung verschraubt, welche für jeden Patienten gewechselt und desinfiziert werden kann. Die Kabel, die den Temperatursensor mit der Elektronik verbinden, sind durch den Griff geführt.

Um die Temperatur des Gewebes zu messen und zu kontrollieren, muss ein Sensor innerhalb der Wände des Lichteiters platziert werden. Der Sensor darf nur die Temperatur der Haut messen und darf nicht durch die Temperatur der Lichteiterwände beeinflusst werden. Aus diesem Grund wurde die Position sorgfältig unter Berücksichtigung der Sensoröffnung gewählt. Die folgende Abbildung zeigt die Eigenschaften und die Platzierung des Thermopiles auf.

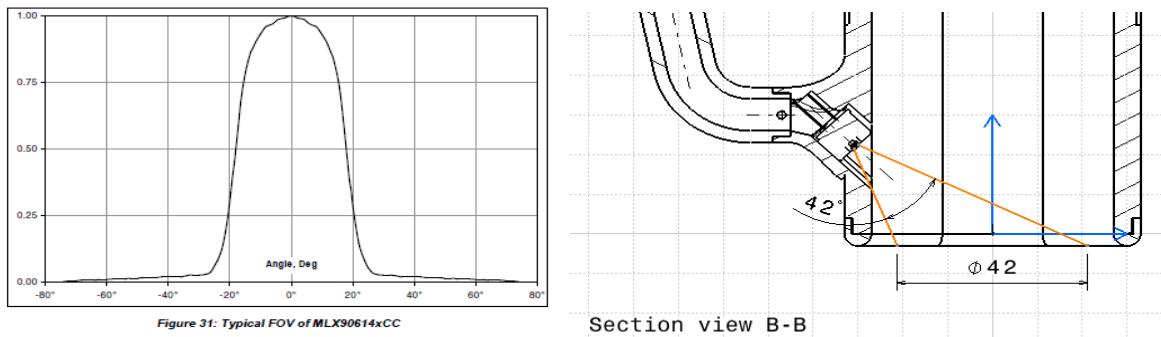


Abbildung 45: Links das Sichtfeld des Thermopiles (<http://www.e-mole.cz/system/files/molebox/mlx90614.pdf>) und rechts die Platzierung, um die Messungen ohne Störungen durchzuführen

Die Abbildung 46 stellt die Explosionszeichnung dar:

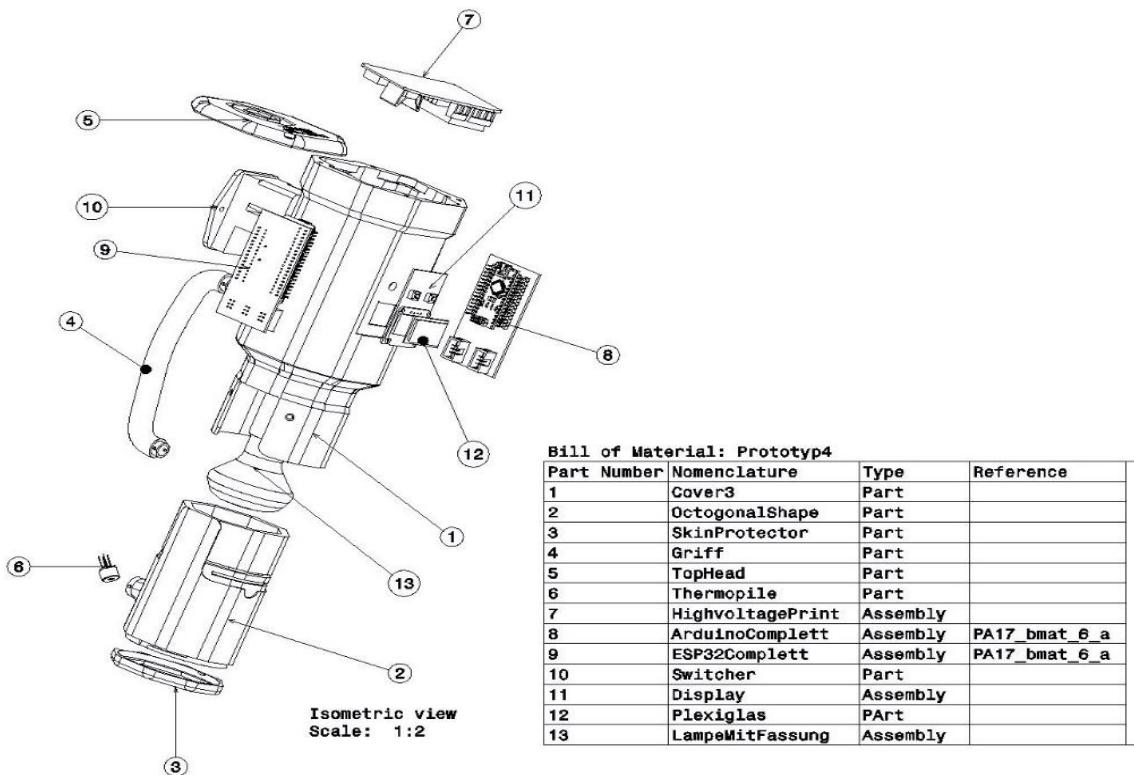


Abbildung 46: Explosionszeichnung von neuen Prototyp mit Infrarotlampe. Die Hauptteile werden durch Zahlen ausgezeichnet. Die Tabelle berichtet die dazugehörige Beschreibung

6 Marktrecherche

Bestehenden Prototyp [27].

Bauteil	Lieferant	Anzahl Bauteile	Preis pro Bauteil	Kosten
Inotec 2200W	Aldi	1	70 CHF	70 CHF
PIC16F1826	Disterlec	1	1.56 CHF	1.56 CHF
2 LEDs 5mm grün	Disterlec	2	0.86 CHF	1.72 CHF
Thermopile	Mouser	1	18.50 CHF	18.50 CHF
OP Verstärker	Mouser	1	4.41 CHF	4.41 CHF
Optokoppler	Mouser	1	0.81 CHF	0.81 CHF
Triac	Disterlec	1	0.86 CHF	0.86 CHF
Print	Intern	-	-	-
3D Druck	Intern	-	-	-
Total				97.85 CHF

Tabelle 12: Herstellungskosten für das Verfahren mit heißer Luft

Neuer Prototyp:

Bauteil	Lieferant	Anzahl Bauteile	Preis pro Bauteil	Kosten
Halogenlampe 42W	Philips	1	3.00 CHF	3.00 CHF
Thermopile	MLX90614ESF-BCC	1	19.93 CHF	19.93 CHF
Optokoppler	CNY65	2	2.31 CHF	4.62 CHF
MOSFET	IPA60R460CE	1	2.38 CHF	2.38 CHF
MOSFET	BSS138L	3	0.15 CHF	0.45 CHF
Anschlussblock	PT 1.5/3-5.0-H	1	0.60 CHF	0.60 CHF
Anschlussblock	PT 1.5/2-5.0-H	1	0.40 CHF	0.40 CHF
Pin Header	2.54mm	4	1.50 CHF	6.00 CHF
Bipolartransistoren	BC848	1	0.10 CHF	0.10 CHF
Allzweck-Diode	1N4148	1	0.04 CHF	0.04 CHF
Zener-Dioden	1N4740A	1	0.30 CHF	0.30 CHF
Gleichrichter Diode	1N4007	1	0.10 CHF	0.10 CHF
Gleichrichter Diode	1N5407G	4	0.30 CHF	1.20 CHF
AC/DC-Wandler	RAC04-05SC	1	18.70 CHF	18.70 CHF
Varistor	Metalloxid-Varistor	1	0.40 CHF	0.40 CHF
Kondensatoren	Elektrolytk	2	0.10 CHF	0.20 CHF
Federleiste	DIN 41651 6P	6	1.70 CHF	10.20 CHF
Stiftleiste	DIN 41651 6P	6	1.60 CHF	9.60 CHF
Arduino Nano	AliExpress	1	3.00 CHF	3.00 CHF
Wemos Lolin32	AliExpress	1	7.00 CHF	7.00 CHF
Mikrocontroller Platinen	Elecrow	1	10.00 CHF	10.00 CHF
Hochvolt und Control Panel Platinen	Elecrow	1	10.00 CHF	10.00 CHF
3D Druck	Intern	-	-	-
Total				108.22 CHF

Tabelle 13: Herstellungskosten für das Verfahren mit Infrarotstrahlen

Wie die Tabellen zeigen, sind die Herstellungskosten für die beiden Prototypen vergleichbar.

7 Ausblick

Die Resultate und die Histogrammanalysen der Temperaturverteilung des neuen Prototyps (siehe Kapitel 5.3.1 und 5.3.2) weisen zwei Temperaturspitzen auf. Obwohl durch die gegenwärtige Konstruktion des Prototyps keine perfekte Homogenität auf der Messfläche erreicht wird, wurden durch den Einsatz von Lampen und dem oktogonalen Lichtleiter (anstelle des Haartrockners) erhebliche Verbesserungen der Temperaturverteilung erzielt.

Die sorgfältige Auswahl der elektronischen Komponenten und die Fertigung des Prototyps mittels dem Rapiide Prototyping Verfahren ermöglichen eine kostengünstige und effiziente Herstellung.

Der Aufbau des Gerätes und die Regelung der Temperatur sind die Aspekte, welche noch Verbesserungspotential bieten. Eine weitere Optimierung der Temperaturverteilung könnte durch eine Verlängerung des Lichtleiters oder durch eine weitere Formveränderung erreicht werden. Laut einer Studie von W. Cassarly, kann die Homogenität, die am Lichtleiterausgang erzielt wird, durch die Leiterform und durch das richtige Verhältnis von Länge und Breite wesentlich beeinflusst werden [48].

Weitere Messungen müssen durchgeführt werden, um den korrekten Betrieb des Temperatursensors sicherzustellen.

8 Verzeichnisse

- [1] WHO, «Leishmaniasis,» 04 2017. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs375/en/>. [Zugriff am 02 Oktober 2017].
- [2] Infoplease, «Common Infectious Diseases Worldwide,» 2000-2017. [Online]. Available: <https://www.infoplease.com/science-health/health/common-infectious-diseases-worldwide>. [Zugriff am 30 September 2017].
- [3] Wikipedia, «Kryotherapie,» 09 2017. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kryotherapie>. [Zugriff am 21 Oktober 2017].
- [4] Wikipedia, «Diathermie,» 01 2015. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Diathermie>. [Zugriff am 23 Oktober 2017].
- [5] Beobachter, «Kutane Leishmaniose,» [Online]. Available: <https://www.beobachter.ch/gesundheit/krankheit/kutane-leishmaniose>. [Zugriff am 30 Oktober 2017].
- [6] Faltenuntersitzungen.com, «Aufbau und Funktionsweise der Haut,» [Online]. Available: <http://www.faltenuntersitzungen.com/aufbau-funktionsweise-haut.php>. [Zugriff am 30 Oktober 2017].
- [7] Biologie-schuke.de, «Haut,» [Online]. Available: <http://www.biologie-schule.de/haut.php>. [Zugriff am 21 Oktober 2017].
- [8] LernHelper, «Behandlung von Hautschädigungen,» 2010. [Online]. Available: <https://www.lernhelper.de/schuelerlexikon/biologie/artikel/behandlung-von-hautschaedigungen>. [Zugriff am 25 Oktober 2017].
- [9] H. Hinghofer-Szalkay, «Physiologie der Haut,» [Online]. Available: <http://physiologie.cc/XVIII.8.htm>. [Zugriff am 26 Oktober 2017].
- [10] P. G. K. M. G. Wandeler, «Infektionskrankheiten,» 2012. [Online]. Available: <https://boris.unibe.ch/15874/1/Infektionskrankheiten.pdf>. [Zugriff am 30 September 2017].
- [11] o.V., «Infektionskrankheiten,» o.J.. [Online]. Available: <http://www.fb06.uni-mainz.de/ze/efach/med/inf.pdf>. [Zugriff am 30 September 2017].
- [12] Wikipedia, «Leishmaniasis,» 09 2017. [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Leishmaniose#Formen_der_menschlichen_Leishmaniose. [Zugriff am 02 Oktober 2017].
- [13] «Leishmania major/tropica,» [Online]. Available: http://www.infektionsbiologie.ch/seiten/modellparasiten/seiten/leishmania/steckbrief_leish.html. [Zugriff am 02 Oktober 2017].
- [14] DNDI, «About Leishmaniasis,» [Online]. Available: <https://www.dndi.org/diseases-projects/leishmaniasis/>. [Zugriff am 02 Oktober 2017].

- [15] D. R. R. W. AM. Douglas, «Thermotherapy Device for Treatment of Cutaneous Leishmaniasis,» 2010. [Online]. Available: <http://www2.tulane.edu/asvpr/upload/Douglas-A-abstract-2010.pdf>. [Zugriff am 07 Oktober 2017].
- [16] M. R. M. V. I. V. L. López, «Thermotherapy. An alternative for the treatment of American cutaneous leishmaniasis,» 2012. [Online]. Available: https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=4&SID=T2vGPoZLxn7yZYGzdh0&page=1&doc=7&cacheurlFromRightClick=no. [Zugriff am 28 September 2017].
- [17] Leifi Physik, «Elektromagnetisches Spektrum,» [Online]. Available: <https://www.leifiphysik.de/optik/elektromagnetisches-spektrum#Infrarot>. [Zugriff am 28 Oktober 2017].
- [18] Bundesamt für Strahlenschutz, «Optische Strahlungen,» 2017. [Online]. Available: http://www.bfs.de/DE/themen/opt/ir/einfuehrung/einfuehrung_node.html. [Zugriff am 26 Oktober 2017].
- [19] K. Grünwald, «Funktionen der Haut,» in *Theorie der medizinischen Fussbehandlung*, Dachau, Verlag Neuer Merkur, 2002, pp. 38-43.
- [20] L. Fodor, «Light Tissue Interactions,» in *Aesthetic Applications of Intense Pulsed Light*, London, Springer-Verlag, 2011, pp. 11-20.
- [21] Clinuvel Pharmaceuticals, «Light and skin interaction,» 2017. [Online]. Available: <http://clinuvel.com/science-of-skin/skin-sun/skin-light-interaction>. [Zugriff am 26 November 2017].
- [22] R. Kramme, «Biophysikalische Wirkungen auf Gewebe,» in *Medizintechnik, Verfahren Systeme Informationsverarbeitung*, Heidelberg, Springer Medizin Verlag, 2007, pp. 413-416.
- [23] umwelt-online, «Gefahren bei Laseranwendung an der menschlichen Haut,» 03 2015. [Online]. Available: <https://www.umwelt-online.de/recht/energie/strahlen/laser2.htm>. [Zugriff am 15 November 2017].
- [24] S. K. C. Raulin, «Laser Gewebe Wechselwirkung,» in *Lasertherapie der Haut*, Berlin Heidelberg, Springer Verlag, 2013, pp. 26-31.
- [25] H. M. B. Meffert, «Optische Strahlung und ihre Wirkungen auf die Haut,» 2000. [Online]. Available: <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/14158/295itGCDrvs.pdf?sequence=1>. [Zugriff am 26 November 2017].
- [26] P. G. B. P. R. Dummer, «Lasertherapie von vaskulären und pigmentierten Hautveränderungen,» in *Physikalische Therapiemassnahmen in der Dermatologie*, Darmstadt, Steinkopff Verlag, 2005, pp. 75-76.
- [27] R. Edassery, «A new device for the local treatment of,» 2017.
- [28] Philips, «Infrared Industrial Heat Incandescent 250W,» [Online]. Available: http://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-and-tubes/special-lamps/infrared/infrared-industrial-heat-incandescent/923212043801_EU/product. [Zugriff am 12 Oktober 2017].

- [29] Philips, «Infrared Healthcare Heat Incandescent 100W,» [Online]. Available: http://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-and-tubes/special-lamps/infrared/infrared-healthcare-heat-incandescent/923244244208_EU/product. [Zugriff am 12 Oktober 2017].
- [30] Philips, «Halogen Classic Reflector,» [Online]. Available: http://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-and-tubes/halogen-lamps/mv-halogen-with-reflector/halogen-classic-reflector/925645544205_EU/product. [Zugriff am 12 Oktober 2017].
- [31] Philips, «Halogen Classic Halogen Reflektorlampe 42W,» [Online]. Available: http://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-and-tubes/halogen-lamps/mv-halogen-with-reflector/halogen-classic-reflector/925714044205_EU/product. [Zugriff am 12 Oktober 2017].
- [32] «Phasenabschnittdimmer DI 300,» ELV Elektronik AG, 2003.
- [33] «CNY65 Optocoupler, Phototransistor Output,» Vishay Semiconductors, 2011.
- [34] «Arduino IDE,» [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.
- [35] «Arduino core for the ESP32,» [Online]. Available: <https://github.com/espressif/arduino-esp32/>.
- [36] «PlatformIO,» [Online]. Available: <http://platformio.org/>.
- [37] «Atom Editor,» [Online]. Available: <https://atom.io/>.
- [38] «PlatformIO IDE for Atom,» [Online]. Available: <http://docs.platformio.org/en/latest/ide/atom.html>.
- [39] «TimerOne & TimerThree Libraries,» [Online]. Available: https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_TimerOne.html.
- [40] «Adafruit MLX90614 Library,» [Online]. Available: <https://github.com/adafruit/Adafruit-MLX90614-Library>.
- [41] «Neil Kolban's ESP32 Snippets,» [Online]. Available: <https://github.com/nkolban/esp32-snippets>.
- [42] «SSD1306 OLED Display Library,» [Online]. Available: <https://github.com/squix78/esp8266-oled-ssd1306>.
- [43] «SPIFFS library for ESP32 Arduino,» [Online]. Available: <https://github.com/copercini/arduino-esp32-SPIFFS/>.
- [44] Optris, «Optris PI Connect,» [Online]. Available: <http://www.optris.de/pi-connect>. [Zugriff am 28 November 2017].
- [45] A. Junaid, «Treatment of cutaneous leishmaniasis with infrared heat,» 1986. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3771049>. [Zugriff am 26 September 2017].
- [46] N. S. B. U. M. B. R. S. K.D. Resch, «Therapie mit Infrarotstrahlen - Teil 2: Wirkungen künstlich erzeugter Infrarotstrahlung auf den Menschen,» in *Naturheilverfahren und Unkonventionelle Medizinische Richtungen*, Berlin Heidelberg, Springer Verlag , 2003, pp. 5-7.

- [47] T. L. R. D. William J. Cassarly, «Non-rotationally symmetric mixing rods,» in *International Optical Design Conference*, Pasadena, 2006,.
- [48] W. Cassarly, «Nonimaging optics: concentration and illumination,» in *Handbook of optics III, Classical Optics, Vision Optics, X-Ray Optics*, The McGraw-Hill Companies, 2000, pp. 2.28-2.33.
- [49] «Espressif IoT Development Framework,» [Online]. Available: <https://github.com/espressif/esp-idf>.

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich Wellenlänge im optischen Spektrum (Einheiten in Nanometern)	4
Tabelle 2: Vergleich Wellenfrequenzen im optischen Spektrum (Einheiten in Herz)	4
Tabelle 3: Vergleich Photonenergien im optischen Spektrum (Einheiten in eV)	5
Tabelle 4: ELV-Ratgeber zu: Dimmer – welchen wofür einsetzen?	12
Tabelle 5: Auszug von verschiedenen Plattformen	16
Tabelle 6: Frameworks zu Atmel AVR Plattform	16
Tabelle 7: Frameworks zu Espressif 32 Plattform	16
Tabelle 8: Auszug von Boards zur Atmel AVR Plattform.....	16
Tabelle 9: Auszug von Boards zur Espressif 32 Plattform	16
Tabelle 10: PlatformIO interne Versionsnummer	17
Tabelle 11: Spezifikationen Optris Pi 160 Infrarotkamera	20
Tabelle 12: Herstellungskosten für das Verfahren mit heißer Luft	31
Tabelle 13: Herstellungskosten für das Verfahren mit Infrarotstrahlen	31

10 Schemen Verzeichnis

Schema 1: Flussdiagramm Verfahren mit bestehenden Prototyp	7
Schema 2: Flussdiagramm Verfahren mit Infrarot Lampen	8
Schema 3: Das Technologieschema besteht aus drei Hauptkomponenten «Hochvolt-Teil», «Dimm-Controller», «Kommunikations-Controller» und der dazu verwendeten Peripherie	11

11 Abbildungsverzeichnis

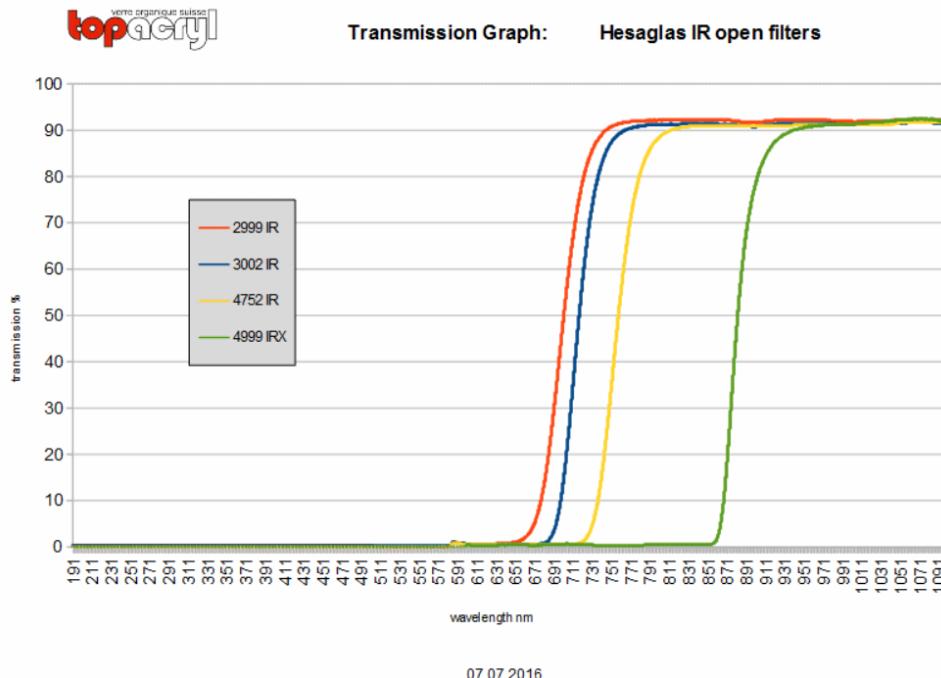
Abbildung 1: Hauptschichten der Haut, Detail	3
Abbildung 2: Absorptionskoeffizient in Wellenlängenabhängigkeit	5
Abbildung 3: Eindringtiefe in Abhängigkeit der Wellenlängen. Sichtbare Strahlung und Infrarotlicht erreichen eine Tiefe von mindestens 3 mm im Gewebe	6
Abbildung 4: Bestehenden Prototyp (links) und zugehörige durchgeführte Messungen (rechts)	7
Abbildung 5: Spektrale Leistungsverteilung der Halogenlampen	8
Abbildung 6: Abmessungen infrarot Lampe, 250W	9
Abbildung 7: Abmessungen infrarot Lampe, 100W	9
Abbildung 8: Abmessungen Halogen Lampe, 70W	9
Abbildung 9: Abmessungen Halogen Lampe, 42W	9
Abbildung 10: Konzept zur Umsetzung des Gerätes mit einer IR-Lampe und einem Regelkreis zur Temperaturregelung	10
Abbildung 11: a. Messungen der Temperaturverteilung, b. Messungen für die Homogenitätsverbesserung	10
Abbildung 12: Zeitverlauf einer Sinusförmigen Wechselspannung am Verbraucher mit einem Phasenanschnitts-Dimmer.....	13

Abbildung 13: Zeitverlauf einer Sinusförmigen Wechselspannung am Verbraucher mit einem Phasenabschnitts-Dimmer.....	13
Abbildung 14: Optokoppler CNY65 Schaltzeichen	14
Abbildung 15: Diagramm der Vorwärtsspannung <i>VF</i> zu Vorwärtstrom <i>IF</i> beim Optokoppler CNY65	14
Abbildung 16: Diagramm der Vorwärtsspannung <i>VF</i> zu Vorwärtstrom <i>IF</i> bei der Diode 1N4007.....	14
Abbildung 17: Dimensioniert des Vorwiderstandes auf Last- und Steuerseite	15
Abbildung 18: Schaltplan der Zero-Cross-Detection	15
Abbildung 19: Signalverlauf am Ausgang der Zero-Cross-Detection	15
Abbildung 20: Signalverbindungen zu Arduino Nano	18
Abbildung 21: Signalverbindungen zu Lolin32	19
Abbildung 22: Hauptfunktionen des Optris PI Connect Software	20
Abbildung 23: Homogene Temperaturverteilung (links) und inhomogene Bestrahlung mit einer Temperaturkonzentration in der Mitte (rechts)	21
Abbildung 24: Falschfarbendarstellung des Wärmebildes für den bestehenden Prototyp, Kontrast 3sigma	21
Abbildung 25: Wärmeverteilung Rekonstruktion mit Matlab	21
Abbildung 26: Falschfarbendarstellung des Wärmebildes für den neuen Verfahren mit Infrarotstrahlungen, Kontrast 3sigma.	22
Abbildung 27: Manuelle Einstellung der Kontrast in Falschfarbendarstellung, um die Temperaturspitzen herauszustellen	22
Abbildung 28: a. Falschfarbendarstellung des Wärmebildes mit Kontrast 3sigma. b. Falschfarbendarstellung des Wärmebildes mit manuellen Kontrast.	23
Abbildung 29: Dreidimensionale Matlab-Rekonstruktion der Strahlendiffusion der Messungen ohne oktogonalen Lichtleiter (a.) und mit oktogonalen Lichtleiter (b.)	23
Abbildung 30: Evaluation der Temperaturdiffusion von Messungen ohne oktogonal Lichtleiter. Histogramm ermöglicht die Übersicht von Helligkeit.....	24
Abbildung 31: Evaluation der Temperaturdiffusion von Messungen mit oktogonal Lichtleiter. Histogramm ermöglicht die Übersicht von Helligkeit.....	24
Abbildung 32: Schaltplan der Zero-Cross-Detection integriert im Hochvolt-Teil.....	25
Abbildung 33: Oszilloskop Screenshot der Zero-Cross-Detection ohne Wechselstrom-Sinus-Spannung	25
Abbildung 34: Zero-Cross-Detection mit Wechselstrom-Sinus-Spannung.....	25
Abbildung 35: Verzerrte Phasenlage	26
Abbildung 36: Korrektur der Phasenlage in Software	26
Abbildung 37: Verbessertes Testresultat nach der Korrektur in Software.....	26
Abbildung 38: Menüführung des OLED Displays	27
Abbildung 39: Hauptseite mit den zwei Parametern Behandlungsdauer und Temperatur	27
Abbildung 40: Zu Testzwecken kann die Intensität der Lampe manuell eingestellt werden	28
Abbildung 41: Packetverlauf vom Browser (HTTP-Client), der einen Request absetzt und dem HTTP-Server, der den Request verarbeitet und als Response zurückschickt.	28
Abbildung 42: Der POST-Request, der vom Browser an den HTTP-Server geschickt wird.	28
Abbildung 43: Hauptelemente der neue Prototyp unterteilt in oktogonalen Lichtleiter und Gehäuse für elektronische Komponenten.....	29
Abbildung 44: Querschnittsansicht und Draufsicht mit der Anordnung der Komponenten innerhalb des Gehäuses. Die Darstellung mit den Farben erlaubt es, die Form und die Position der Komponenten innerhalb der Struktur besser zu unterscheiden	29
Abbildung 45: Links das Sichtfeld des Thermopiles und rechts die Platzierung, um die Messungen ohne Störungen durchzuführen	30
Abbildung 46: Explosionszeichnung von neuen Prototyp mit Infrarotlampe. Die Hauptteile werden durch Zahlen ausgezeichnet. Die Tabelle berichtet die dazugehörige Beschreibung	30

12 Anhang

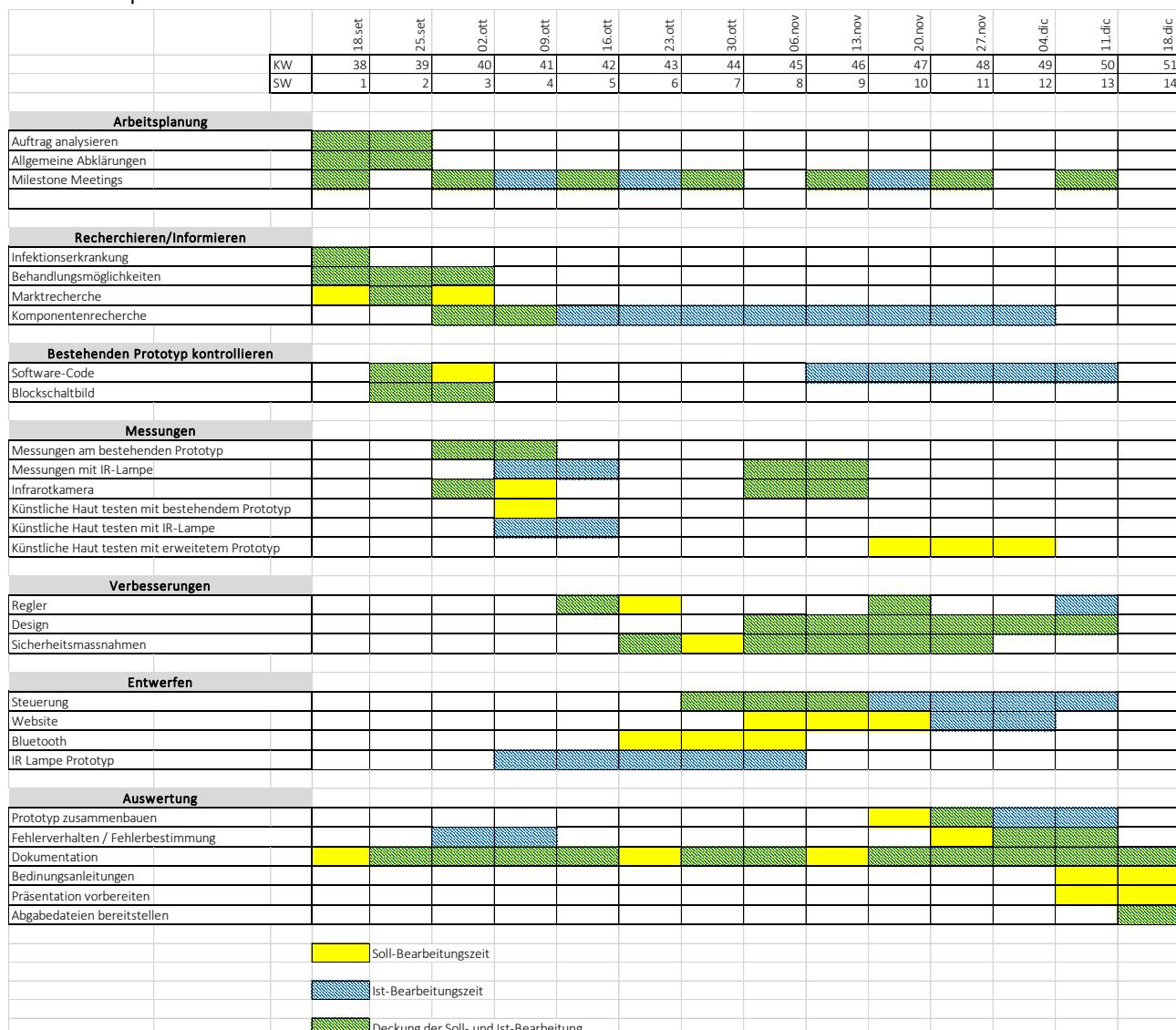
12.1 Filter

Die folgenden Kurven zeigen die Transmission in Funktion der Wellenlänge. Das Filter 2999 IR würde für diese Arbeit bestellt.



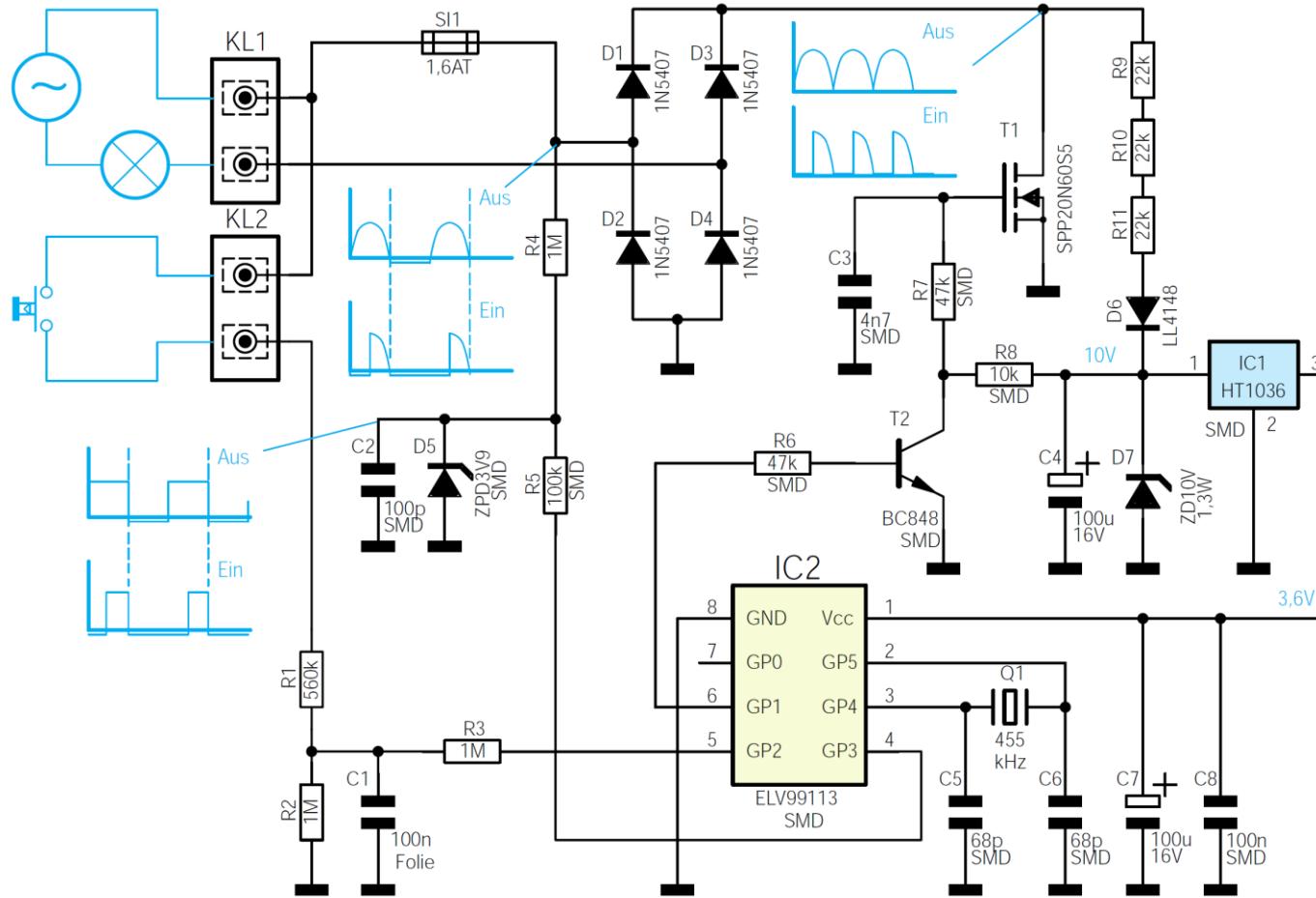
Andere Informationen und Spezifikationen können auf der Website
www.topacryl.ch/english/farben_en.html

12.2 Zeitplan



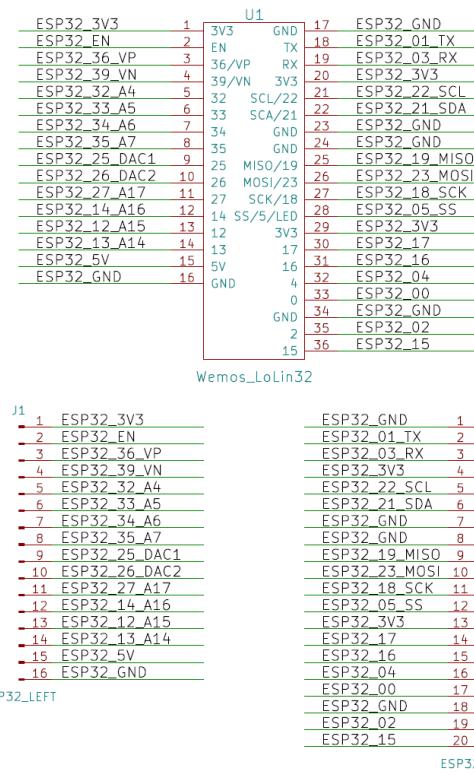
12.3 Schaltpläne

12.3.1 Schaltplan «Phasenabschnittdimmer DI 300» von ELV [32]

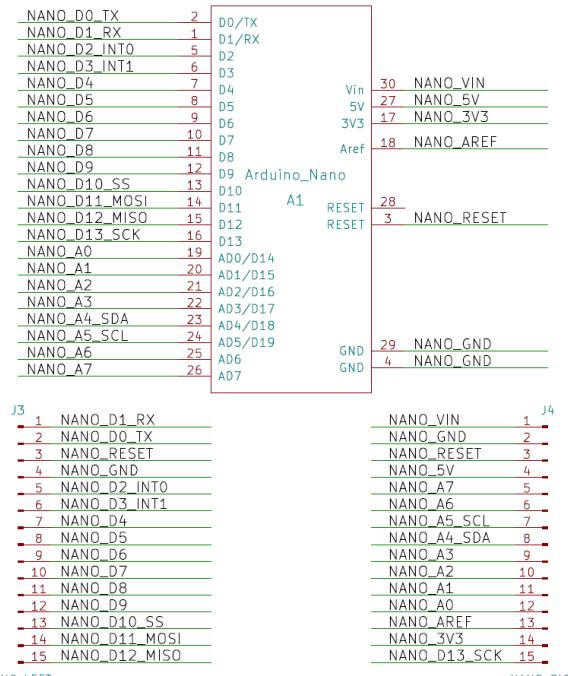


12.3.2 Schaltplan Mikrocontroller

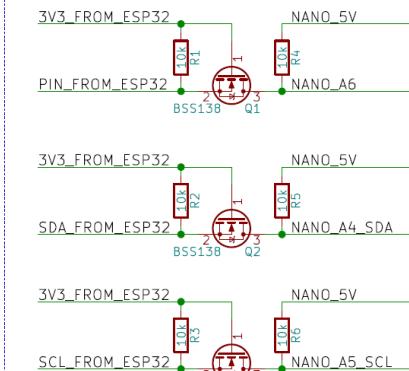
WeMos Lolin32 (ESP32)



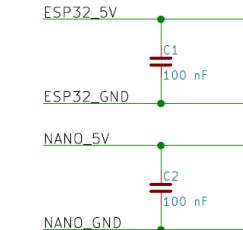
Arduino Nano (ATmega328)



Level Shifter (3.3V – 5V)



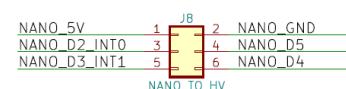
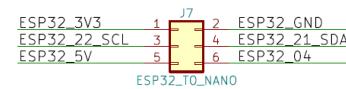
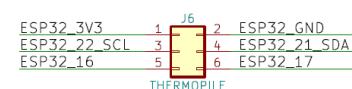
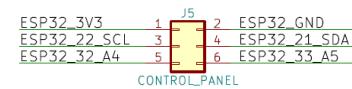
Voltage Stabilizing Capacitor



Support Pole

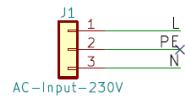


Box Header Connector

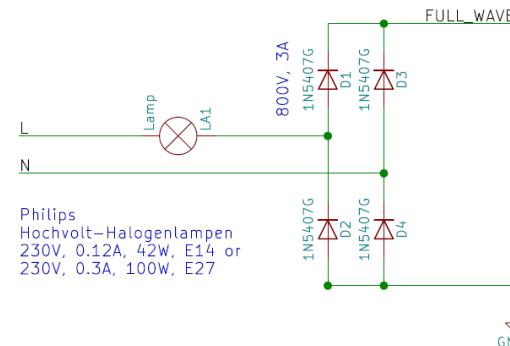


12.3.3 Schaltplan Hochvolt-Teil

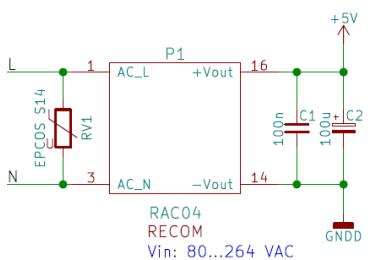
Connector



Lamp + Bridge Rectifier

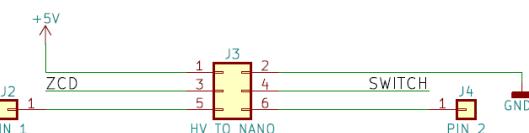
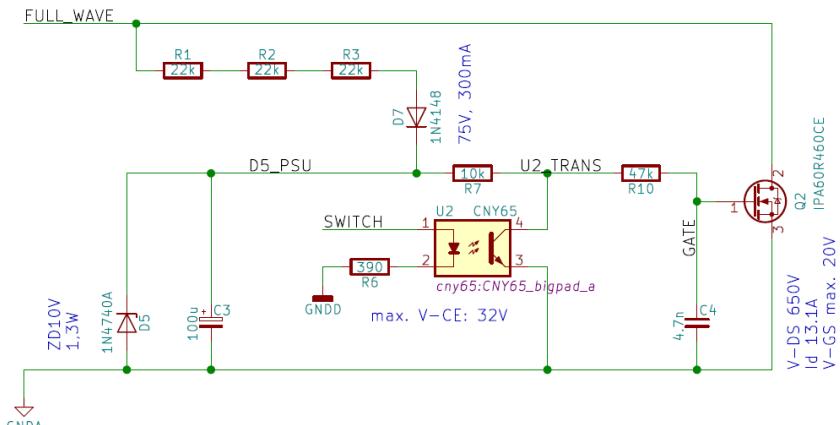


AC/DC Convertor

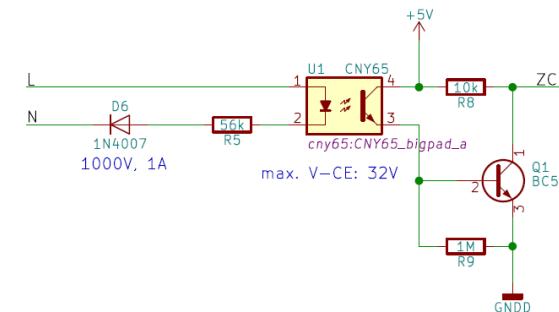


Varistor / MOS:
 EPCOS Series S14
 B72214-S 321-K101
 POV: 320V
 VDC: 420V

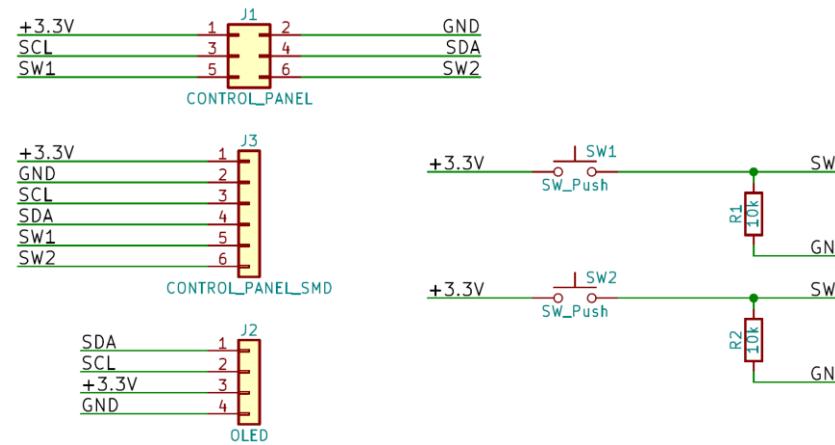
Processing ZCD → Switch Dimmer

Trailing-Edge Phase Dimmer
Phasenabschnitts Dimmer

Zero-Cross-Detection (ZCD)

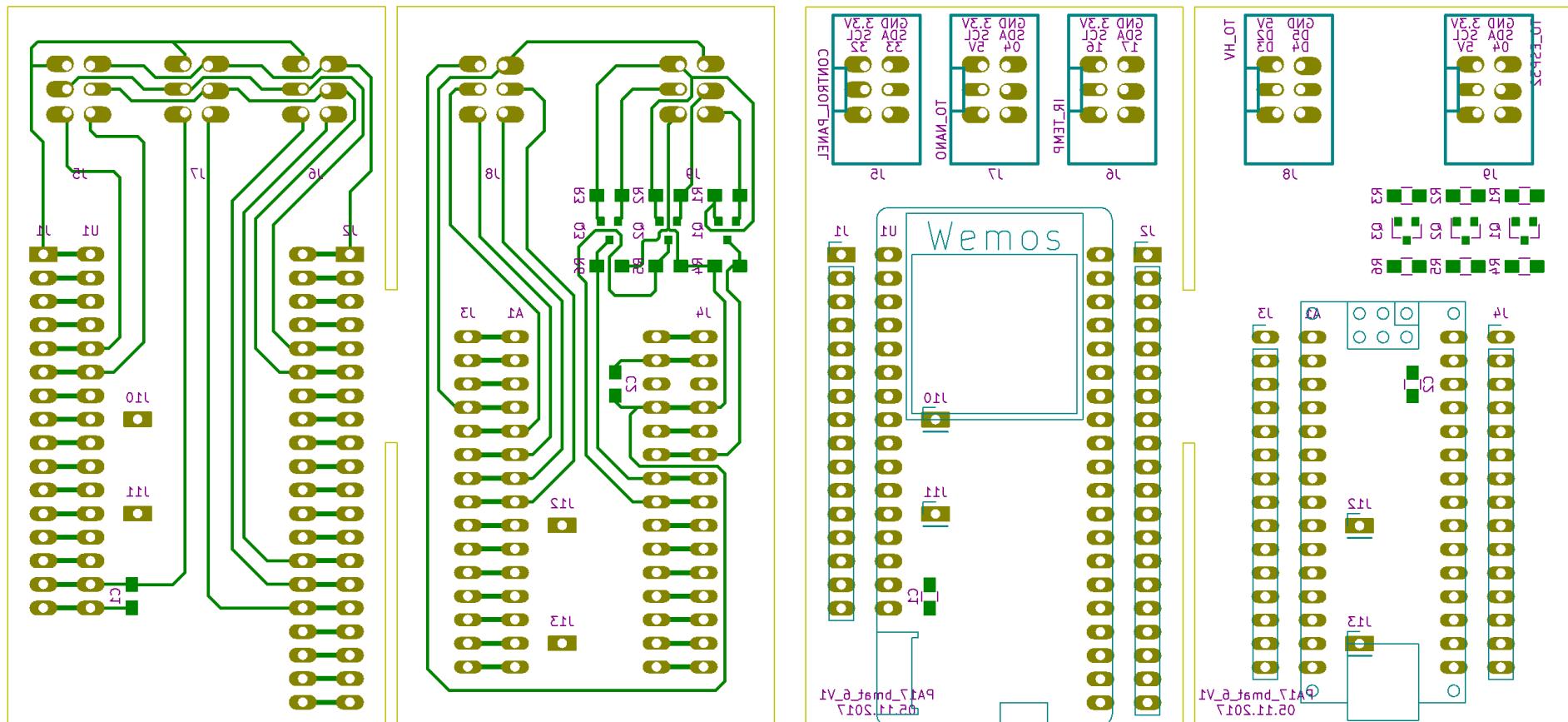


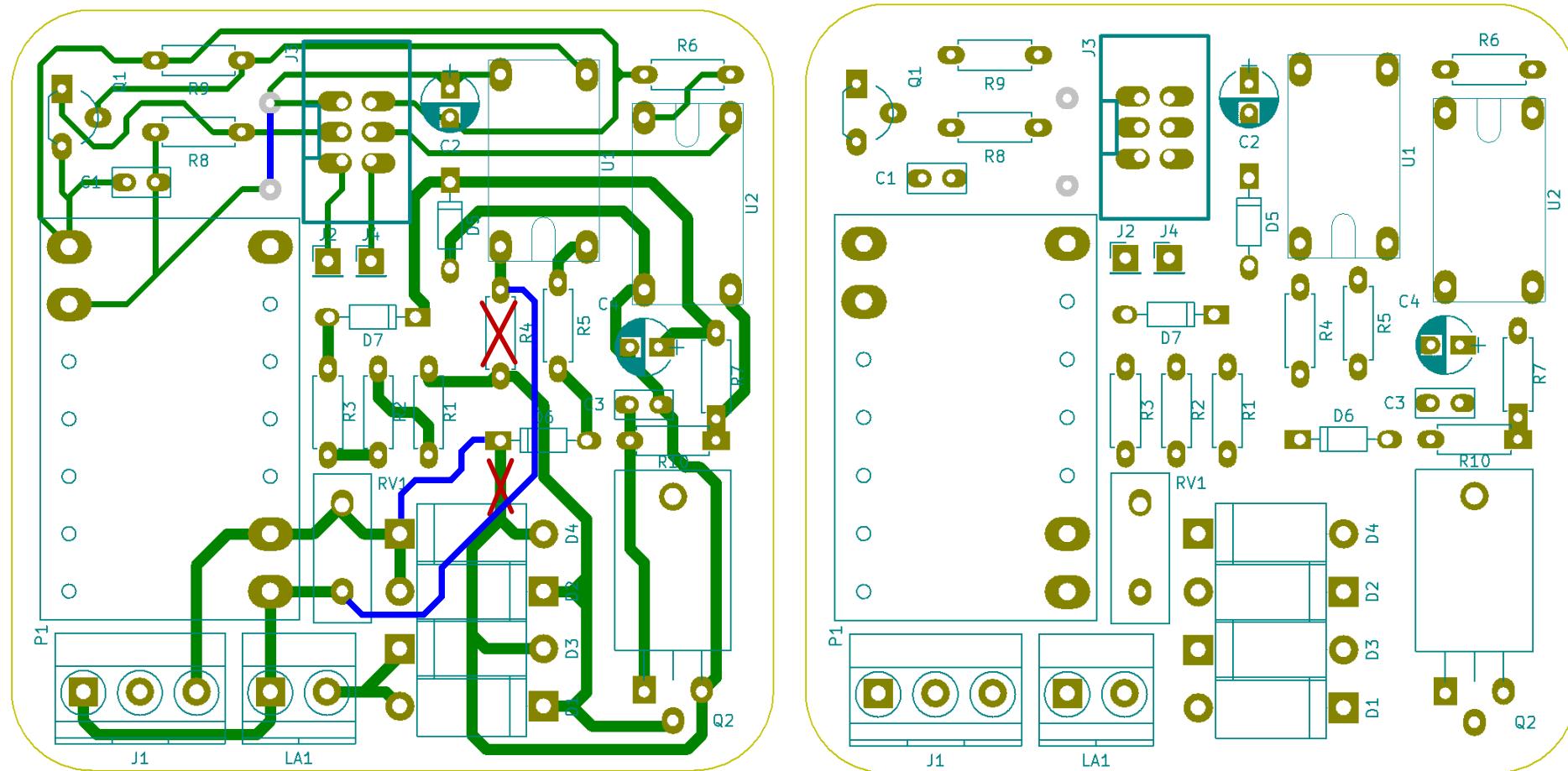
12.3.4 Schaltplan OLED und Taster

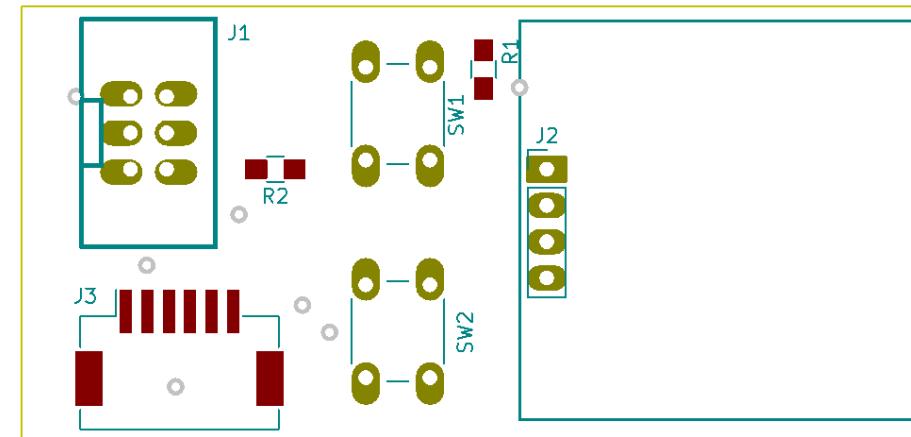
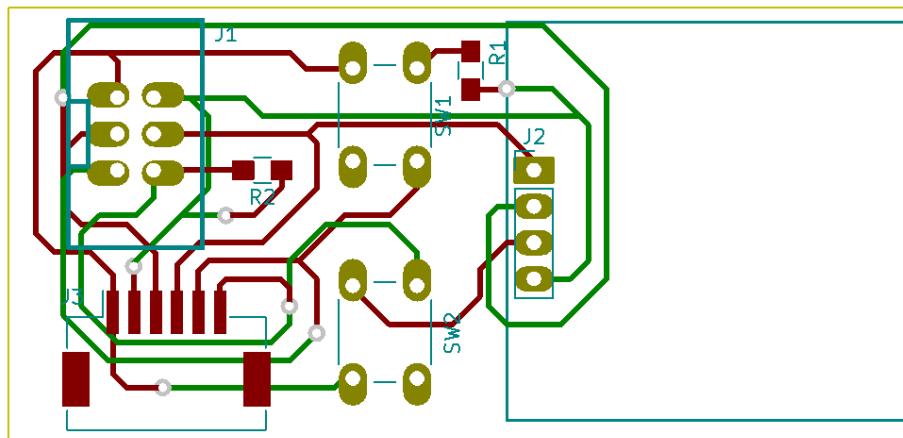
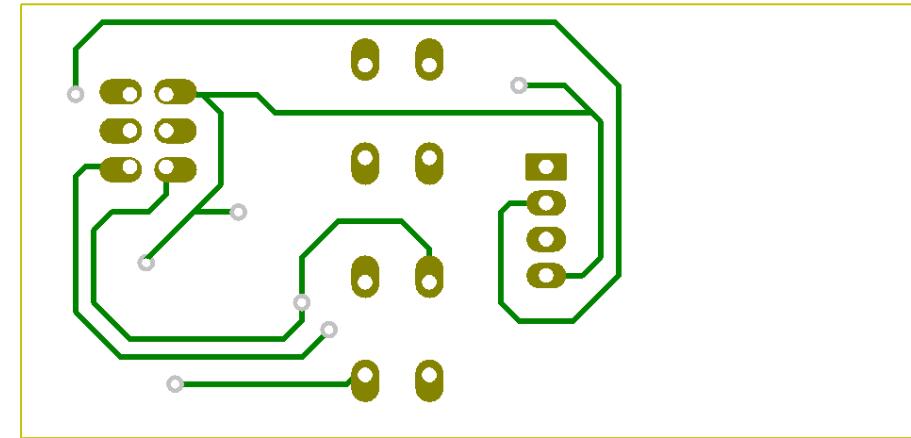
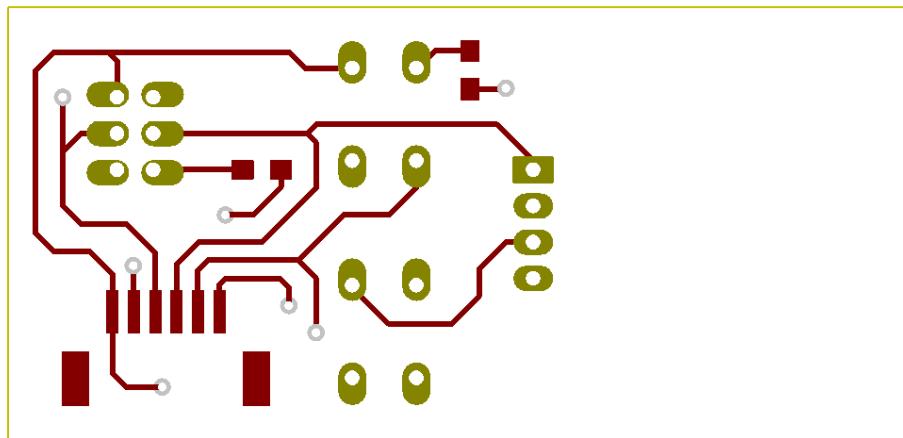


12.4 PCBs

12.4.1 PCB Mikrocontroller







12.5 Endprodukt

