



[REVOLUTION **AIR**]

ENTWICKLUNG EINES EFFIZIENTEN
LUFTREINIGUNGSSYSTEMS AUF BASIS VON UV-LEDS

FACHBEREICH:
ARBEITSWELT

BETREUER:
FABIAN BOTT
DR. MARTIN LÖFFLER

MAXIMILIAN PFANNKUCH
JARO FILIP DOMINIK HEIN

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Kurzfassung	3
Projektidee/ Zielsetzung	3
Bezug zur aktuellen Lage.....	3
Historische Entwicklung und aktueller Stand der Technik.....	3
Theoretische Grundlagen	4
Was ist UVC-Licht?	4
Desinfizierende Wirkungsweise des UVC Lichtes	4
DNA-Schäden	4
Sicherheitsmaßnahmen	4
Bau des ersten Prototyps	5
Ergebnisse	5
Biologische Untersuchungen	6
UV-Durchlässigkeit der Petrischale	6
Ermittlung der benötigten Strahlenbelastung.....	6
Luftkeime als Modellmechanismus.....	6
Bakterien als Modellmechanismus.....	6
Versuch: Bacillus subtilis, Escherichia coli, Micrococcus luteus / UVC-LED.....	7
Ergebnis.....	7
Versuch: Escherichia coli, UVC- LED, neuer Ablauf	8
Erkenntnisgewinn für die Weiterentwicklung	8
Temperatur-Regel-Messmodul.....	9
Materialien:	9
Versuchsaufbau:.....	9
Vorbereitung:	9
Versuche LEDs:	10
UVC LED Nr. 1:.....	10
UVC LED Nr. 4:.....	10
Bau des zweiten Prototyps	10
Elektronik des zweiten Prototyps.....	10
Server Kommunikation	11
Äußere Luftsimulation	12
Messung des Luftstroms	12
Messwerte:.....	12
Informatik	12
Ziel des Geräts und der Sensorik.....	12
Situationserfassung	12
Funktionsweise des Programmcodes.....	13

Datenschutzproblematik	13
Alternative Auswertungsstrategie	14
Durchführung und Auswertung	14
Nutzungsvorhersagen	15
Zusammenfassung/ Fazit	15
Ausblick.....	16
Anhang:.....	17
Weitere Bilder und Veranschaulichungen	17
3D Modell Animation:.....	17
Bilder:.....	17
Messwerte Extinktion UV-Schutzbrille / Sicherheit	18
Thermo Fischer Genesys UV/Vis Spektrometer	18
Tabelle zur maximalen Strahlenbelastung:	18
Diskussion: LEDs im Vergleich zu Quecksilberlampen	19
Vor- und Nachteile UVC- LEDS vs. Leuchtstoffröhren	19
CAD Designs für Projektablauf und 3D Druck.....	20
Bestrahlungsglocke	20
Biologische Experimente	21
Aufbringung der Keime / Anhang	21
Materialien für Bestrahlungstest:	21
Trenneinheiten für Petrischalen	22
Technische Einzelheiten	23
Auflistung der LEDs	23
Verwendete LEDs	24
Elektronische Bauteilliste	25
Luftdesinfektionsgerät	25
Temperatur-Regel-Messmodul.....	25
Bilderkennungsmodul.....	25
AI zur Menschenzählung unter OpenCV.....	26
Vermessung des ersten Prototyps	26
Quellen- und Literaturverzeichnis	27
Informationsquellen:.....	27
Bildquellen:.....	28
Unterstützungsleistungen	28
Authentizitätserklärung	29

Einleitung

Kurzfassung

Eine neue Entwicklung der Halbleiterindustrie ermöglicht es nun, UVC-Licht mithilfe von LEDs zu erzeugen. Diese LEDs haben viele Vorteile im Vergleich zu konventionellen Quecksilberdampf Lampen.

Wir haben ein System entwickelt, welches autonom Luft durch UVC-Licht desinfiziert. Basierend auf ausgiebigen mikrobiologischen Tests konnten wir die Wirksamkeit der LEDs bestätigen und die Daten in unser Produktdesign einfließen lassen. Des Weiteren werden durch künstliche Intelligenz und der Optimierung durch Big Data die Effizienz im Betrieb gesteigert. Diese Daten werden in einer App zusammengeführt, um eine smarte Steuerung zu ermöglichen. Durch Zusammenarbeit mit Bediensteten in einer Krankenhausumgebung kann diese Entwicklung zielorientiert eingesetzt werden.

Projektidee/ Zielsetzung

Luftdesinfektion spielt in allen Bereichen heutzutage eine wichtige Rolle. Wo nur möglich werden reinigende Geräte eingesetzt, um ein sicheren Lebensort oder Arbeitsplatz zu gewährleisten. Doch vor allem in Krankenhäuser, dort wo die Keimbelastung am höchsten ist, ist der Einsatz unerlässlich. Geschützt werden müssen gesunde Patienten vor erkrankten, aber viel wichtiger, Krankenpfleger vor Corona Patienten. An diesem Punkt setzt unsere Arbeit an, denn wir wollen ein Luftreinigungsgerät entwickeln, welches bedeutende Vorteile zur Konkurrenz aufweist. Der Fokus liegt auf der zukunftsweisenden Technologie der UVC LEDs welche viele Vorteile mit sich bringen. Diese LEDs sollen mikrobiologisch untersucht und in ihrer Wirksamkeit bestätigt werden. Zusammen mit intelligenter Software soll ein portables und smartes Gerät gebaut werden, welches überall und von jedem genutzt werden kann.

Bezug zur aktuellen Lage

Aufgrund des Corona Virus (SARS-CoV-2) wurde das öffentliche Interesse und die Notwendigkeit an Hygiene und Desinfektion stark gestärkt. Gerade Erreger, die sich über Aerosole in der Luft verbreiten, stellen ein großes Problem dar.^[19] Als Schüler haben wir wieder festgestellt, dass lüften im Winter keine gute Alternative darstellt. Mithilfe eines Luftdesinfektionssystems, welches die Luft stetig von Verunreinigungen befreit, könnte man regelmäßiges Lüften oder das Tragen eines Mund-Nasenschutzes ersetzen. Zudem würde dies auch die generelle Verbreitung von Krankheitserregern über Aerosole verhindern.

Historische Entwicklung und aktueller Stand der Technik

Im Jahre 1892 entwickelte der Berliner Physiker Martin Leo Arons die erste Quecksilberdampf Lampe.^[18] Diese wurde 1923 auf den Markt gebracht, was den Grundstein für die Desinfektion mit Licht legte. Erst in den 50er Jahren entwickelte sich das Verständnis der DNA und den Einfluss von UV-Licht auf diese. Mit der Entdeckung von Antibiotika und demgegenüber resistenten Keimen bekam die UV-Technik erstmals größeres Interesse.

Mit den 60er Jahren begann die Entwicklung der LEDs. Zuerst konnten nur infrarote LEDs hergestellt werden, doch mit der Zeit konnte die Wellenlänge der Leuchtmittel gesenkt werden. Im Jahre 1992 wurde die erste blaue LED entwickelt, welche zwei Jahre später mit einer Phosphorschicht versehen wurde, um weißes Licht zu erzeugen. Dies war auch die Geburtsstunde der ersten LED im ultravioletten Bereich. Eine weitere Entwicklung sind Bildschirme auf Basis von organischen LEDs (OLED). Diese Technologie wird unter anderem von der Firma Merck seit 2006 vorangetrieben. In den nachfolgenden Jahren hat sich einiges in der Entwicklung der UVC LEDs viel getan, um auf die aktuellen technischen Spezifikationen zu gelangen, doch ob die LED schon die Leuchtröhre ersetzt hat, wird in der nachfolgenden Arbeit weiter erläutert. Eine Auflistung der Vor- und Nachteile des jeweiligen Leuchtmittels, findet sich im Anhang.^{[14][24]}

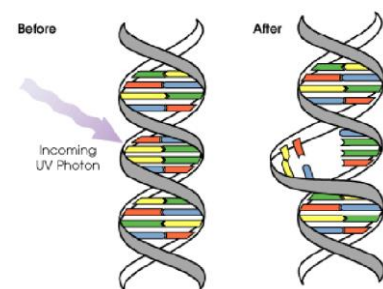


Abbildung 1: Bildung eines Dimers (Quelle: https://www.researchgate.net/figure/UV-radiation-is-one-of-the-most-prominent-causes-of-DNA-damage-Since-UV-radiation-is_fig15_228369112)
abgerufen: 14.01.2021

Theoretische Grundlagen

Was ist UVC-Licht?

„Das elektromagnetische Wellenspektrum ist die Gesamtheit aller elektromagnetischen Wellen verschiedener Wellenlängen.“^[11]

Ein Teil dieses Spektrums ist das sichtbare Licht von 390nm (violett) bis 780nm (rot). Angrenzend findet sich der UV-A Bereich von 315nm bis 380nm. Dieser wird im Allgemeinen als Schwarzlicht bezeichnet und dient beispielsweise als Showeffekt oder zur Bräunung der Haut. Darauf folgt mittelwelliges UV-B Licht im Bereich von 280nm bis 315nm. Dieses wird beispielsweise in der Lichttherapie eingesetzt, um Entzündungsreaktionen und die Zellteilung zu

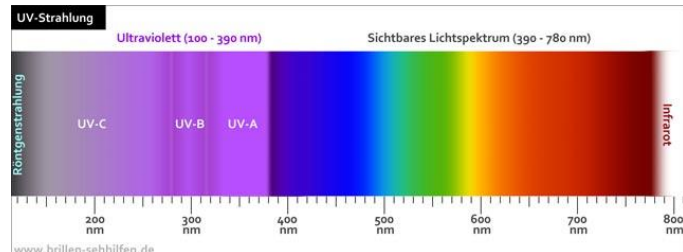


Abbildung 2: Das elektromagnetische Spektrum von 100-780nm

(Quelle: <https://www.brillen-sehhilfen.de/sonnenbrillen/uv-strahlung.php>) abgerufen: 14.01.2021

verlangsamen. Der letzte Teil vor der Röntgenstrahlung ist der UVC Bereich mit 280nm bis 100nm. Dieser wird von dem in der Atmosphäre enthaltenem Ozon nahezu vollständig herausgefiltert. Weiter unterteilt sich der UVC Bereich noch in die VUV Strahlung. Diese existiert nur unter Vakuum und hat keinen genau definierten Bereich. Verschiedene Quellen nennen ihr langwelliges Ende bei ca. 190nm und ihr kurzwelliges Ende zwischen 5nm und 140nm.^[9] Durch die Filterung des UVC-Lichts durch die Ozonschicht haben die Lebewesen auf der Erde keinen Schutzmechanismus entwickelt, um speziell dieser zu widerstehen. Anders sieht das bei UVA+B aus, durch Wachsschichten auf Pflanzen oder Farbpigmenten können sich Organismen gegen die besagte Strahlung schützen. Deshalb dringt der UVC-Anteil nahezu ungehindert in die Zellen ein.

Herausgefunden wurde, dass die meisten Proteine ihr Absorptionsmaximum bei 280nm haben, da die Aminosäure Tryptophan das UV-Licht absorbiert. Das Erbgut, also die DNA, wird am stärksten bei 265nm geschädigt, weshalb sich diese Wellenlänge am effektivsten für die Sterilisation herausgestellt hat.^[9]

Desinfizierende Wirkungsweise des UVC Lichtes

DNA-Schäden

Das Erbgut, also der Bauplan, der meisten Organismen wird in Form von DNA gespeichert. Bei Viren besteht eine Ausnahme, da sie ihre Programme zur Vermehrung und Ausbreitung (Genom) in der RNA oder DNA gespeichert haben, dies hängt vom Erreger ab. In beiden Fällen sind die Informationen in Basen gespeichert, unter anderem in Thymin. Diese Base hat die Eigenschaft unter UV-Licht mit benachbarten Thymin-Basen Dimere zu bilden. Diese Dimere sind Verbindungen zweier gleicher Basen, welche das Ablesen und Vervielfältigen des Erbgutes verhindern. Da aber durch die Evolution Organismen mit Schäden am Erbgut zurechtkommen mussten, entwickelte sich ein Reparaturmechanismus, um solche Fehler zu beseitigen und bestmöglich den Ursprungszustand wiederherzustellen. Des Weiteren hilft die Doppelhelix Struktur gegen solche DNA-Fehler, was aber nicht ausreicht, um UVC-Licht standzuhalten. Diesen Effekt nutzen wir in unserem Projekt, um Keime mit Licht zu sterilisieren.^[9]

Sicherheitsmaßnahmen

Nach unserer Sicherheitsrecherche ist es obligatorisch die maximal verträgliche Strahlendosis der Haut einzuhalten. Laut der „American Conference of Governmental Industrial Hygienists“ (ACGIH) sind Strahlungsintensitäten der Haut bis zu $0,1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ verträglich. Zusammengefasst sind die Werte in einer Tabelle im Anhang:^[4]

Durch die physikalischen Eigenschaften der elektromagnetischen Wellen im UV/Vis Bereich, kann eine Abschirmung vor der Strahlung einfach stattfinden. Am wirksamsten sind möglichst viele Schichten lichtundurchlässiger Kleidung übereinander. An Stellen, welche nicht durch Stoff bedeckbar sind, eignet es sich Sonnencreme mit Schutz im UV-Bereich zu tragen.

Einen besonderen Schutz benötigen die Augen, da diese noch stärker von hochenergetischem Licht betroffen sind als andere Organe. Bei einer zu hohen Dosis an UV-Licht kann die Hornhaut einen Sonnenbrand erleiden

(UV-Keratitis), dies führt zu akuten Schmerzen und kann eine Eintrübung der Hornhaut zur Folge ziehen. Zudem kann sich die Netzhaut degenerieren, was bei längerer Bestrahlung zur Erblindung führt. ^[22] Aus diesem Grund haben wir die vorhandenen Schutzbrillen, welche zur Bedienung des HeroLab notwendig sind, in unserem Photometer des Schullabors analysiert. Ergebnis dessen war, dass die Brille nahezu den gesamten Bereich von 348nm bis 192nm herausfiltert und somit den hinreichenden Schutz für die Augen gewährleistet.

Bau des ersten Prototyps

Zu Beginn unserer Forschung bauten wir den ersten Prototyp aus Holz, welcher der Analyse von Luftströmungen diente. Der Aufbau besteht aus einer Holz-U mit PC-Lüftern in Push/Pull Konfiguration und ein Sichtfenster aus Plexiglas. An den Seiten wurden blaue nicht UVC-LED Leisten montiert, um eine UVC LED zu simulieren und die Strömungen sichtbar zu machen.

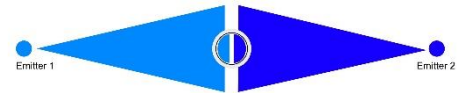


Abbildung 3: Verhinderung der Schattenbildung durch beidseitige Bestrahlung

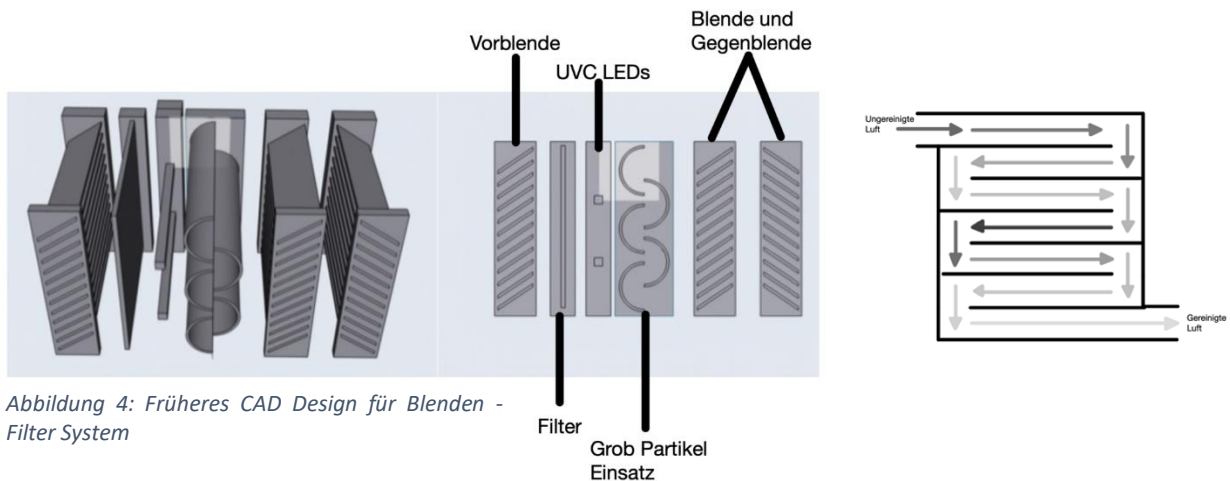


Abbildung 4: Früheres CAD Design für Blenden - Filter System

Ziel dieses Aufbaus war die Untersuchung, ob im Gerät durch den Einbau von Lamellen, eine Verlängerung des Luftweges und eine Verwirbeln des Luftstroms entsteht. Die Lamellen, wie aber auch das ganze Innere, wurde weiß angemalt oder mit Aluminiumklebeband verspiegelt. Dadurch fungierten die Lamellen als Reflektoren und die Schattenbildung im Inneren wurde verringert. ^[20]

Ergebnisse

Mit unserem Aufbau konnten wir die gewünschten Verwirbelungen, sowie die Eliminierung der Beschattung erreichen. Dies wird sichtbar gemacht durch die gezielte Einleitung von Nebel in das System. Zudem verlängert sich die Durchflusszeit der Luft erheblich, da sich die zurückgelegte Strecke verdoppelt. Weiterhin wird der Strömungsdruck durch die Lamellen nur insignifikant erhöht, was sich in einem gleichen Lautstärkeniveau widerspiegelt. Durch die Berechnungen anhand der Messergebnisse konnte eine Durchlaufzeit eines normalen Klassenraums (212,5m³) bei voller Leistung in 4,59 Stunden erreicht werden und bei halber Leistung von 8,86 Stunden. Diese Zeit ist insofern relevant, da als Faustformel gilt, dass der dreifache Luftwechsel in einer Stunde die Keimlast im Raum halbiert.

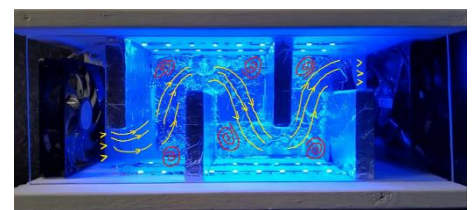


Abbildung 5: Visualisierung des Luftstroms

Biologische Untersuchungen

UV-Durchlässigkeit der Petrischale

Die Frage ob unsere verwendeten Petrischalen UV-durchlässig sind, ist insofern relevant, da es die Grundlage der Experimente beeinflusst. Würde der Kunststoff (Polystyrol) den benötigten Spektralbereich absorbieren,

könnten die Tests nicht bei geschlossenem Deckel durchgeführt werden. Dies hat zur Folge, dass zur Bestrahlung der Deckel abgenommen werden muss. Hierdurch besteht eine weitere Möglichkeit Keime einzuschleppen und das Ergebnis zu verfälschen.

Beantworten konnten wir diese Frage, nachdem wir ein Spektrum mit unserem UV/Vis Spektrophotometer (Thermo Fischer Genesys 140 UV/Vis)^[23] aufgezeichnet haben. Hierbei haben wir eine nahezu vollständige Absorption im Bereich von 265nm. Das bedeutet für uns, dass wir vor jedem Bestrahlen unserer TP den Deckel der Petrischale abnehmen müssen.

Ermittlung der benötigten Strahlenbelastung

Um die Effizienz der Strahlungen auswerten zu können mussten wir einen Weg finden, um lebendige Keime von abgestorbenen zu unterscheiden. Unsere erste Idee war es, die Bewegungen der Keime unter dem Mikroskop auszuwerten und daraus auf ihren Zustand zu schließen. Nach mehreren Versuchen mit verschiedenen Einstellungen konnten keine Lebenszeichen der Bakterien optisch erkannt werden. Zudem erweist sich die Methode als unbrauchbar, da der verwendete Farbstoff die Organismen nach kürzester Zeit absterben lässt. Deshalb sind wir zur Kultivierung von Testkeimen übergegangen.

Luftkeime als Modelmechanismus

Unser erstes mikrobiologisches Experiment bestand aus 12 TP, welche unterschiedlich lange mit einer 3w 265nm UV-Quecksilberlampe bestrahlt wurden. Eingeteilt wurden diese in 3x 30s, 3x 60s und 3x 120s und jeweils eine TP, welche nicht bestrahlt wurde und so als Kontrollansatz diente. Um eine möglichst realitätsnahe Keimzusammensetzung zu erlangen, fiel die Wahl auf eine Fangplatte mit LB-Agar, welche 60 Sekunden lang auf der Fensterbank Luftkeime sammelte. Die nun kontaminierten TP wurden für das vorher definierte Zeitintervall unter die UV-Quecksilberlampe gelegt und ohne Deckel bestrahlt. Daraufhin wurden diese bei 37°C für 24h bebrütet und danach analysiert.

Bei der Analyse kam heraus, dass sich keine Muster oder Regelmäßigkeiten auf den TP widerspiegeln. Die Kontaminationen der TP war so unregelmäßig, dass das Testergebnis nicht weiter ausgewertet wurde. Mögliche Gründe hierfür sind, dass die Testlampe nicht in ausreichender Form UVC Licht emittiert und daher erst nach 120 Sekunden Keime abtötet, oder dass die Luftkeime kein vergleichbares Ergebnis bringen, da sie in unkontrolliertem Maße ungleichmäßig auf die TP kommen. Zudem wäre die Testreihe ohnehin zu klein, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu gewähren.

Nachdem dieses Experiment waren mehr Fragen offen als zuvor, deshalb wurde ein neues Experiment geplant. Zuvor mussten suchen wir nach geeigneten Testkeimen, welche realitätsnahe Ergebnisse liefern.

Bakterien als Modellmechanismus

Trotz der aktuellen Lage, welche von Viren dominiert wird, haben wir für unsere Tests auf Bakterien zurückgegriffen. Die Kultivierung von Viren gehört zu den schwierigeren biologischen Aufgabenfeldern, da sie stets einen Wirtsorganismus benötigt, um sich zu vermehren. Nach einer Recherche kam zudem schnell das Erkenntnis, dass unsere Schule nicht über ein solches Labor (Sicherheitsstufe 3) verfügt, indem Viren des Corona-Stammes gezüchtet werden dürfen.^[5]

Deshalb fiel die Wahl auf verschiedene Bakterienstämme, da durch deren individuellen Eigenschaften, wie der Bildung von Farbstoffen sowie verschiedene Zellmembranen, ein breites Spektrum an Variablen abgebildet wurden. Zudem ist der SARS-CoV-2 Virus durch seine dünne Zellmembran sowie dem Erbgut in Form von RNA empfindlich gegenüber UVC Strahlung und verliert seine Fähigkeit zur Reproduktion schon bei 3-10 J/m² Strahlenbelastung. Dadurch resultiert, dass unsere Modellmechanismen resistenter im Vergleich zu SARS-CoV-2 gegen UVC-Licht sind und somit eine Sterilisation des Virus gewährleistet ist.

Die erste Wahl fiel auf den Heubazillus (*Bacillus subtilis*). Dieser ist ein im Labor allseits bekannter Mikroorganismus, welcher Besonderheiten im Bereich der UV-Toleranz aufweist. Laut einer Studie von „UVECO“ werden für die 90%ige Entkeimung 58,0 J/m² benötigt, jedoch für die Abtötung der Sporen 116 J/m². Dieser Studie nach ist er der zweitresistenteste Keim überhaupt.

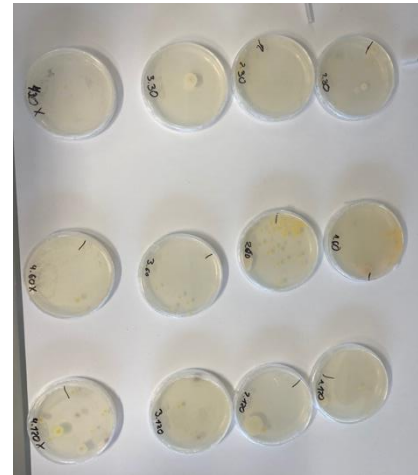


Abbildung 6: Testergebnisse des Versuches zur Ermittlung der groben Strahlenbelastung

Unsere zweite Wahl fiel auf den nicht weniger bekannten Keim, *Escherichia coli* auch bekannt als *E. coli*. Dieses Bakterium, welches zu 1% in unserer Darmflora vorkommt, vertritt die andere große Gattung der Bakterien. Durch seine dünne und spezielle Zellwand, gehört dieser Keim zu den gramnegativen Bakterien. Damit können wir mit nur zwei Arten ein breites Spektrum der Bakterien Klassen abbilden. Des Weiteren hat die dünne Zellwand den Vorteil, leicht UV- Strahlung passieren zu lassen, woraus sich ein abtötender Wert von 30 J/m² ergibt.

Der dritte Testkeim ist der *Micrococcus luteus*, auch bekannt unter dem Namen „gelber Luftkeim“. Dieser ist unter anderem heimisch in der Hautflora der Menschen. Seine Besonderheit liegt in der Produktion von Sarcinaxanthin, einem gelben Farbstoff. Dieser hilft dem Bakterium gegen Umwelteinflüsse, da er unter anderem UV-Strahlung absorbiert.^[3]

Versuch: *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Micrococcus luteus* / UVC-LED

Bei diesem Experiment haben wir 30 vorbereitete TP mit LB Agar und Trenneinheiten verwendet. Die Trenneinheiten bestand aus einem 3D gedruckten Kreuz aus Polycarbonat, welches beim Gießen der Platte in die Petrischale eingelegt wurde. Andere Methoden wie eine gemischte Aufbringung der Keime oder das Stempel der Bakterien erwies sich als nicht praktikabel. Anhang: Aufbringung Testkeime

Zu Beginn des Experiments impfen wir die drei ausgewählten Testkeime (*Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Micrococcus luteus*) in die vorgesehenen Sektoren. Zusätzlich wird ein Feld freigelassen welches als Kontrolle dient. Mithilfe einer Mikropipette werden exakt 0,1 ml in den Sektor gegeben und durch einen sehr kleinen, selbst hergestellten, Drigalskispatel vollständig benetzt. Um eine Verschleppung der Keime zu unterbinden, wird jede Übernachtskultur mit gesondertem Werkzeug verarbeitet. Dieser Prozess wird mit allen verwendeten Platten unter möglichst keimfreier Umgebung (Herolab) durchgeführt.

Diese infizierten TP wurden dann mithilfe unserer UVC LED 4 und der Bestrahlungsglocke über ein Zeitintervall von X Sekunden (10S, 30S, 60S, 120S, 180S, 240S) bestrahlt. Diese LED wurde ausgewählt, da sie aufgrund ihres Datenblattes am vielversprechendsten war. Um ein sichereres Ergebnis zu erhalten haben wir jede Bestrahlungszeit drei Mal angewandt und zudem noch eine Kontrolle durchgeführt. Bei dieser Kontrolle wurde im Ablauf nichts verändert, bis auf, dass die LED über das Zeitintervall X nicht eingeschaltet wurde.

Ergebnis

Bei der Auswertung stellten wir jedoch fest, dass unser Versuchsablauf nicht optimal war. Durch die Trenneinheiten hatten wir viel mit Verschleppungen zu kämpfen, welche die Auswertung erschwerten. Zudem wuchsen teilweise auch Keime auf dem Kontrollfeld, welche durch die Ähnlichkeit der drei Testkeime nicht zugeordnet werden konnten. Das größte Problem war jedoch die zu hohe Keimanzahl in den Feldern, wodurch eine Auszählung nicht möglich war. Dadurch sind die Ergebnisse nur bedingt verwendbar, halfen aber für spätere Experimente, Faktoren wie Bestrahlungszeit besser einschätzen zu können.

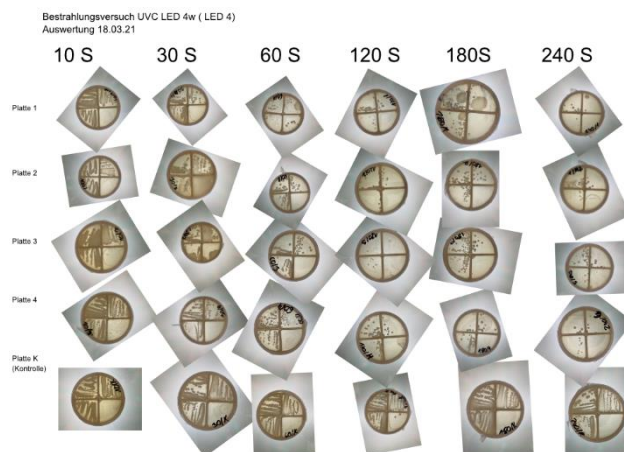


Abbildung 7: Schaublatt Ergebnis des ersten Bestrahlungstest

Versuch: *Escherichia coli*, UVC- LED, neuer Ablauf

Im nächsten Experiment sind wir von LB Agar zu Casein-Sojapepton (CaSo) Agar umgestiegen, da dieser besonders gut geeignet für Luftkeime ist. Diese Fähigkeit wollen wir in zukünftigen Experimenten nutzen und führen daher jetzt schon diesen Agar für alle Tests ein.

Da ein Fehler in unserem ersten Experiment die Verwendung dreier Testkeime in einer Petrischale war, wollten wir uns nun auf einen Testkeim festlegen. Nach einem Ausstrich auf unseren TP konnten wir erkennen, dass *E. coli* am besten auf dem CaSo Agar wuchs. *E. coli* hat runde separierte Kolonien welche leicht auf dem Agar erkennbar waren. Zudem spricht für *E.coli*, dass es ähnliche Resistenzen gegen UVC Licht hat wie das Corona Virus.

Der Fehler der zu hohen Keimanzahl auf den TP konnten wir dadurch eliminieren, dass wir eine Verdünnungsreihe unserer Stammkultur von 10^{-1} bis 10^{-6} erstellten. Durch Applizieren dieser Verdünnungsschritte auf jeweils eine TP haben wir uns auf eine Verdünnung von 10^{-4} festgelegt. In einem zweiten Anlauf der Verdünnungsreihe haben wir kleine Faktoren geändert, wie die Verwendung von sterilem Material und weniger Flüssigkeit, um unsere vorherigen Ergebnisse zu bestätigen und die Fraktionierung noch weiter zu optimieren.

Um nun die zweite große Testreihe zu starten, musste die LED noch optimiert werden. Diesmal wurde die LED auf einem Stativ befestigt und ein Abstand von 36mm gewählt, um eine optimale Ausleuchtung der 90 mm TP zu erlangen. Hierdurch wurde die Bestrahlungsglocke hinfällig und ein weiterer Verschleppungsfaktor entfiel. Da nun alles vorbereitet war konnte das Hauptexperiment gestartet werden. Wieder habe ich am Vortag CaSo TP vorbereitet und zum Experiment eine Verdünnungsreihe erstellt.

Als der Versuchsaufbau desinfiziert war applizierten wir 500µL der 10^{-4} Lösung auf die TP und bestrahlten Sie über X (60,90,120,180) Sekunden. Dies wurde wieder drei Mal durchgeführt und einmal als Kontrolle mit ausgeschalteter LED. Diesmal wurden die Bestrahlungszeiten auf Basis des ersten Experimentes gewählt. Ziel war die Abtötung einer Stufe von log 1, also 90%.

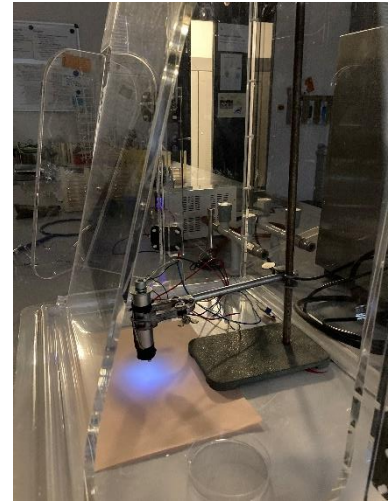


Abbildung 8: Versuchsaufbau im Herolab

Nach einem Tag Inkubation konnten wir freudiger Weise feststellen, dass die vorherigen Fehler nicht erneut begangen wurden.

Auf unseren TP wuchsen die Kolonien sehr fragmentiert und keine Verschleppungen sind aufgetreten. Der einzige Fehler war, dass wir bei der Einstellung der LED nicht die Höhe des Agars bedacht hatten, wodurch der Rand nur unzureichend bestrahlt wurde. Deshalb wuchs dort deutlich mehr als bei einer richtigen Einstellung. Das bedeutet wiederum auch, dass unsere Ergebnisse noch besser wären, wenn wir die LED richtig eingestellt hätten.

Im Vergleich zur Kontroll-TP konnten wir eine deutliche Reduktion der Keime feststellen. Nach 60S waren es 98,27%, bei 90S 98,77%, bei 120S 99,27% und bei 180S 99,71%. Damit konnten wir bestätigen, dass ab 120 Sekunden Bestrahlungszeit mit einer LED die Keimlast um 99,27% reduziert wurde und somit eine Desinfektion der Stufe Log2 stattfand.

Übertragen auf unseren Prototyp wollten wir auf eine Luft- Verweildauer im Gerät unter 10 Sekunden erreichen. Daher haben wir im Gerät 14 UVC LEDs verbaut, um sicher zu gehen.

Erkenntnisgewinn für die Weiterentwicklung

Nachdem bestätigt wurde, dass unsere LEDs funktionieren wollten wir genauere Daten über LED Wellenlänge und deren Temperatur- Arbeitsbereich herausfinden. Hierfür nutzten wir unseren Kontakt zu Heraeus Nobelight GmbH von letztem Jahr und besuchten ihr Testlabor deren Equipment.

Temperatur-Regel-Messmodul

Über UVC-LEDs existieren noch wenig öffentliche Forschungen, deshalb wollten wir den Einfluss von Wärme auf die UVC-LEDs untersuchen. Hierfür haben wir eine Vorrichtung gebaut, welche die Temperatur der LED konstant hält. Wir nutzen ein TEC1 127 05, also ein Peltierelement, da dieses heizen und auch bei umgekehrter Polung Wärme abführen kann. Das Peltierelement könnte theoretisch Temperaturen bis zu $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, bzw. $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, jedoch würden in beiden Fällen die LEDs kaputt gehen, da bei zu kalten Temperaturen die Luft zwischen Linse und Halbleiter kondensieren würde oder bei zu hohen Temperaturen sich die Klebstoffe lösen würden und sich die LED von den Kontakten trennen würde und somit unbrauchbar wäre.

Daher variierten wir lediglich zwischen $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Zum Umpolen des Peltierelements haben wir eine H-Brücke aus vier Transistoren gebaut. Zum Messen der Ist-Temperatur verklebten wir einen Thermistor zwischen Peltierelement und LED. Den Soll-Wert kann man über die Konsole eingeben. Zum Regeln der Temperatur benutzen wir ein Proportional-Integral-Differential-Regler. Dieser funktioniert, indem man die Stellgröße aus der Summe von Proportional-, Integral- und Differentialanteil der Regeldifferenz nimmt.

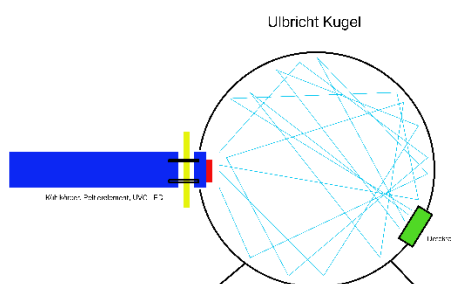


Abbildung 9: LED-Aufbau an Dosimeter und Ulbricht-Kugel

Materialien:

1. Temperatur-Regel-Messmodul zum Kühlen und Heizen der UVC LEDs, um während der Messung reelle Einsatzbedingungen zu simulieren
2. Thermometer zur Kontrolle der Ausgabe des Peltierelements
3. UVC Dosimeter
4. Ulbricht-Kugel
5. Pen-Ray Hg-Röhre mit bekannter Wellenlänge zur Kalibrierung der Ulbricht-Kugel

Versuchsaufbau:



Das Temperatur-Regel-Messmodul mit der LED wird auf einem Stativ vor der Öffnung der Ulbricht-Kugel platziert und eingeschaltet. Die gesamte emittierte Strahlung wird von den Detektoren aufgefangen.

Vorbereitung:

Die UVC LEDs wurden auf dem Temperatur-Regel-Messmodul befestigt. Die Ulbricht-Kugel wurde mit einer Pen-Ray Hg-Röhre mit bekannter Wellenlänge kalibriert, um Messfehler auszuschließen.

Versuche LEDs:

UVC LED Nr. 1:

UVC LED Nr. 1 wurde ohne Einsatz des Temperatur-Regel-Messmodul mithilfe der Ulbricht-Kugel vermessen. Die Auswertung der Daten ist noch nicht abgeschlossen. Ziel war es die vom Hersteller angegebene Wellenlänge zu überprüfen sowie Spektrum, Leistung und Gesamt-Lichtstrom zu ermitteln.

UVC LED Nr. 4:

UVC LED Nr. 4 wurde zunächst ohne Einsatz des Temperatur-Regel-Messmodul in der Ulbricht-Kugel vermessen. Festgestellt wurde dabei eine Wellenlänge von 275 nm. Optimal wären 265 nm, somit erreicht diese LED das 0,9-fache der maximal erreichbaren Effektivität. Außerdem wurde die Abstrahlcharakteristik mithilfe eines UVC Dosimeters festgestellt (vgl. Abb. noch nicht vorhanden). Die festgestellte Abstrahlcharakteristik ist optimal. Zusätzlich wurde UVC LED Nr. 4 bei ungefähr 60 °C bis 65 °C vermessen. Erhitzt wurde sie mithilfe des Temperatur-Regel-Messmodul erhitzt und die vordefinierte Temperatur mit dem Thermometer bestätigt. Die Auswertung der Daten ist noch nicht abgeschlossen. Ziel war es zu ermitteln, wie sich Peak und Spektrum bei Temperaturschwankungen ändern.

Abschließend wurde die LED auf 10 °C heruntergekühlt und vermessen. Die Auswertung der Daten aus dieser Messung sind ebenfalls noch nicht abgeschlossen.

Bau des zweiten Prototyps

Mit den neuen Erkenntnissen konnte der zweite Prototyp, welcher ein wichtiger Fortschritt unseres Projektes ist, gebaut werden. Diese Weiterentwicklung enthält 14 der getesteten UVC LEDs und wurde vollständig von uns gebaut. Der zentrale Bestandteil ist unser LED Core, welcher aus einem Aluminium Kühlkörper mit den LEDs besteht. Diese Komponente ist so angeordnet, dass sie den Luftstrom einerseits zur Kühlung der LEDs ausnutzt und andererseits die Luft so verwirbelt, dass keine Verschattungen entstehen. Dieser LED Core ist auf 3D gedruckten Montageteilen aufgeschraubt, um ihn in das modulare Stangensystem einzubauen.

Elektronik des zweiten Prototyps

Das Luftreinigungssystem wird über 12V Power Delivery Modul (Joy-it COM-ZY12PDN-ST) betrieben. Diese bereitgestellten 12V versorgen die Lüfter und den Spannungsregler für die UVC-LEDs parallel.

Die Lüfter sind 4Pin axial Lüfter, und werden daher über 12V PWM reguliert.

Mit einem Step Down Modul (LM2596S) wird die Spannung von 12V auf 5V herunterreguliert. Dies ist nötig, da die übrigen elektronischen Komponenten 5V Betriebsspannung benötigen.

Im Luftreinigungsgerät ist als zentrale Recheneinheit eine NodeMCU mit einem ESP8266 (Wifi Development Board) verbaut. Der Vorteil der NodeMCU ist die vergleichsweise hohe Rechenleistung, native WLAN-Unterstützung und der geringe Stromverbrauch. An der NodeMCU sind die Sensoren angeschlossen. Ein Thermistor ist in einem eing Bohrten Kanal im Kühlkörper mit Wärmeleitkleber hinter einer LED eingeklebt, um so die Betriebstemperatur zu überwachen und Überhitzung zu erkennen. Der Ky-025 ist ein Kombisensor, welcher Temperatur und Luftfeuchtigkeit misst. Interessant ist die Luftfeuchtigkeit für das Luftdesinfektionsgerät, da bei einer Luftfeuchtigkeit unter 40% die Ansteckungsgefahr von Tröpfcheninfektionen wie zum Beispiel SARS-CoV-2 steigt. Dies bedeutet, dass bei Unterschreitung der 40% die Leistung des Luftdesinfektionsgerätes automatisch ansteigt, um weiterhin höhere Sicherheit gewährleisten zu können. In der nächsten Version ist noch der Einbau eines Ultraschallzerstäubers geplant. [15][19]

Um die UVC-Leds ein- und auszuschalten, benutzen wir ein GE-EL-SM-006, also ein 5V Relay mit Optokoppler. Mit diesem SSR können wir den Strom zum Spannungsregler ein- oder ausschalten. Hier nutzen wir ein "High Level Trigger", was bedeutet, dass die UVC-LEDs nur eingeschaltet sind, wenn die NodeMCU ein Signal an das Relais sendet. Dies ist wichtig, da bei einem Absturz der NodeMCU die UVC-LEDs so nicht leuchten können. Als weitere Sicherheitsmaßnahme benutzen wir einen KY-003. Dies ist ein digitaler Hall-Effekt-Sensor (HES), welcher über den Digitalausgang über einen bistabilen Stromkreis in der Nähe eines starken Magnetfelds die Spannung auf einen Schwellenwert hebt. Der Hall-Effekt-Sensor ist in der Schaltungsleitung für das Solid State Relais. In das Gehäuse des Luftreinigungsgerätes haben wir ein Magnetband geklebt.

Dadurch ist bei geschlossenem Luftreinigungsgerät der Hall-Effekt-Sensor offen, womit die UVC-LEDs geschaltet werden können. Bei einem offenen Gerät ist dies nicht möglich.

Als letztes elektronisches Bauteil ist noch ein WS2812B-Strip verbaut. Dies ist ein Led-Strip, welcher gesondert ansteuerbar ist. Dieser leuchtet indirekt gegen den sichtbaren Teil des Gehäuses des Desinfektionsgerät, dient aber neben der Optik auch als Statusanzeige.

Ein pulsierendes Gelb signalisiert zum Beispiel, dass die NodeMCU nicht mit dem Server verbunden ist, ein dunkles Rot, dass das Gerät nicht geschlossen ist und Orange, dass die Luftqualität im Raum einen kritischen Wert unterschritten hat.

Server Kommunikation

Das Luftdesinfektionsgerät benötigt keine Knöpfe oder Displays. Sowohl Steuerung als auch Informationsanzeige erfolgt über eine Smartphone App. Die Netzwerkverbindung zwischen Server („Broker“) und Client (Luftdesinfektionsgerät oder App) wird mithilfe des MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) Protokolls ermöglicht. MQTT ist ein OASIS-Standard-Messaging-Protokoll für IoT-Geräte. MQTT ermöglicht nicht nur Befehle oder Dateien zu senden, sondern bietet auch ein „publish & subscribe“ System. Damit kann beispielsweise das Luftdesinfektionssystem Daten zu einem „Topic“ (z.B. Temperatur) veröffentlichen („publish“) und Clients, wie Smartphones, können dieses Topic abonnieren („subscribe“) und erhalten dann Daten Updates zu diesem Topic.

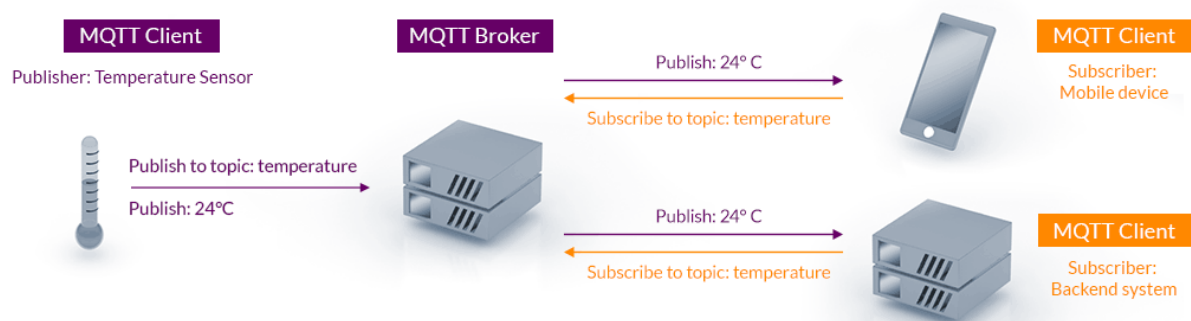


Abbildung 10: Funktionsweise "publish & subscribe" Architektur (Quelle: <https://mqtt.org/>) abgerufen: 14.01.2022

Um neben der Funktion die Optik nicht zu vernachlässigen, wird die Technischeinheit in einem Gehäuse montiert, welches die einfache Montage auf dem Standfuß oder der Decke ermöglicht.



Abbildung: Bauprozess und Link zum interaktiven 3D Modell (<https://p3d.in/65t5m>)

Validierung der Funktionalität des zweiten Prototypen

Nun sind wir an einem Punkt angekommen, an dem wir relativ sicher sind, dass unsere LEDs funktionieren. Nun müssen wir jedoch auch bestätigen, dass unser Gerät gezielt Luftkeime abtöten kann, denn bis jetzt basierten alle

Experimente auf Agarplatten Tests. Der wichtigste Punkt ist die Frage, wie wir aus Bakterien Kolonien Luftkeime erschaffen. Unseren Recherchen nach sind sogenannte Ultraschall- Luftbefeuchter unhygienisch und produzieren eine unglaubliche Anzahl an Keimen in der Luft. Diese prinzipiell negativen Eigenschaften nutzen wir in unserem Experiment und haben dadurch einen Luftkeimgenerator. Als zu vernebelnde Flüssigkeit dient eine E-Coli Übernachtskultur. Dieses Bakterien Aerosol soll anschließend unser Luftdesinfektionsgerät durchlaufen und dadurch desinfiziert werden. Um einen Messwert zu bekommen, wie viele Luftkeime sich in der Luft befinden haben wir uns ein Luftkeimsammler der Firma Merck als Demogerät ausgeliehen. Somit können wir eine definierte Menge an Luft auf eine Agarplatte applizieren und nach einer Inkubation die Keimzahl pro m³ errechnen.

Äußere Luftsimulation

Für die Ströme, wie sich Luft in einem Flur bewegt, haben wir anhand von Nebel die Strömungen visualisieren können. Zusätzlich ist es möglich CFD (Numerische Strömungsmechanik) Simulationen durchzuführen, um genauere Daten zu errechnen. Um unsere Experimente auszuwerten haben wir zuerst einen LiDAR (Light detecting and ranging) System benutzt, um wie in der nebenstehenden Abbildung gezeigt, einen Raum auszumessen. Danach besitzt man ein exaktes 3D Modell, welches für die Ermittlung des optimalen Standortes genutzt wird, indem man Fenster, Türen und das Raumvolumen beachtet.



Abbildung 11: LiDAR Scan unserer Mensa

Messung des Luftstroms

Um die Größe des Volumenstroms zu berechnen, der einen wichtiger Leistungsindikator darstellt, nutzt man in der Ventilatorentechnik die Kontinuitätsgleichung. Sie besagt, dass an jeder Stelle im unverzweigten System der Volumenstrom (bei konstanter Dichte) gleich groß ist.

$$\dot{V} = c * A$$

\dot{V} = Volumenstrom in m³/s

c = Strömungsgeschwindigkeit in m/s

A = durchströmte Fläche in m²

Die Strömungsgeschwindigkeit konnte mithilfe eines Aerometers leicht festgestellt werden. Auch die durchströmte Fläche A konnte mithilfe des Durchmessers des Ventilators gemessen und errechnet werden.

Messwerte:

$$c = 2,27 \text{ m/s}$$

$$d = 0,15 \text{ m}$$

$$A = r^2 \pi = (0,5 * 0,15)^2 \text{ m} * \pi = 0,0177 \text{ m}^2$$

$$\dot{V} = c * A = 2,27 \text{ m/s} * 0,0177 \text{ m}^2 = 0,040 \text{ m}^3/\text{s} \hat{=} 144,41 \text{ m}^3/\text{h}$$

Informatik

Ziel des Geräts und der Sensorik

Das Luftreinigungssystem soll effizient und langlebig sein, weshalb die Zuständigkeit der Sensorik darin liegt, einen möglichst geringen Stromverbrauch und eine möglichst geringe Materialabnutzung zu erzielen. Um einen niedrigen Stromverbrauch zu erreichen, muss das Luftreinigungsgerät optimal vorausschauend auf die Umwelt reagieren und nur mit der minimal benötigten Leistung arbeiten. Des Weiteren ist es auch wichtig, dass keine hohen Leistungspeaks entstehen, wodurch die Temperatur in der LED zu stark ansteigen könnte, wodurch sich wiederum der Wirkungsgrad verringert und die Lebensdauer abnimmt.

Die Temperatur bei den LEDs ist wichtig, da bei einer Zunahme von nur 10°C die Lebensdauer der LEDs um 50% reduziert wird (Herleitung ^[25]).

Bei der Auswahl der Komponenten wurden lediglich stromsparende, passive Bauteile ausgewählt.

Situationserfassung

Um die Raumnutzung zu ermitteln, nutzten wir anfangs einen Bewegungsmelder, diese Idee verwarfen wir allerdings wieder. Grund dafür war die Ungenauigkeit, da der Bewegungsmelder uns lediglich Auskunft über Bewegung im Raum gab, nicht aber über die Menschenanzahl. Um die genaue Anzahl an Menschen in einem Raum zu bestimmen, haben wir eine menschenerkennende KI auf Basis von OpenCV in der Programmiersprache Python entwickelt.

OpenCV (deutsch: offene Bildverarbeitung) ist eine freie Programmbibliothek, welche für die Programmiersprache Python geschrieben wurde und unter der offenen BSD Lizenz frei verfügbar ist.

Die Programmbibliothek OpenCV war ideal, da sie schon umfassende Algorithmen für Gesichts- und Körpererkennung besitzt. Dies vereinfachte und beschleunigte unseren Prozess enorm, da wir so unsere KI nicht mehr selbst trainieren mussten. Des Weiteren benutzten wir die Programmbibliothek NumPy, da diese uns die Handhabung mit Vektoren und größeren mehrdimensionalen Arrays vereinfachte. Außerdem nutzten wir eine Hybridlösung aus Objektverfolgung und Objekterkennung. Wir nutzten unseren Objekterkennungsalgorithmus, um Menschen zu erkennen und danach den Objektverfolgungsalgorithmus, um die erkannte Person weiter zu verfolgen. Dies ist wichtig, wenn wir in einem Flur nicht nur wissen wollen, wie viele Menschen sich dort aufhalten, sondern auch, welche Räume diese betreten.

Funktionsweise des Programmcodes

Zunächst nehmen wir die Begrenzungsrahmen (Bounding Boxes) an, welche uns unser OpenCV HOG (Histogram of Oriented Gradients: Definiert die Größe zusammenhängender Körper) übergibt. Um die neu übergebenen Rahmen zu benennen, geben wir jedem eine eindeutige ID. Danach berechnen wir den euklidischen Abstand zwischen den bestehenden und den potenziell neuen Zentren. Wenn einem bestehenden Zentroid der neue Zentroid zugeteilt wurde, wird dieser mit der ID des alten Zentroids versehen, um so das Objekt weiter als dasselbe tracken zu können. Taucht ein neuer Zentroid auf, welcher aufgrund seines euklidischen Abstands nicht zugeordnet werden konnte, beziehungsweise am geringsten ähnelt, so wird dieser mit einer neuen ID versehen. Bei jedem dieser Schritte wird dann die passende Koordinate des Zentroids seiner ID zugewiesen. Wenn ein Objekt aus dem Bild verschwindet, kann der Zentroid nicht erneut zugeordnet werden und wird gelöscht. Um zu zählen wie viele Personen sich in einem Raum aufhalten, setzt man per Koordinaten eine Linie passend zu dem Eingang der Tür. Überschreitet ein Zentroid die definierte Linie, so wird dies als „down“ (-1) oder „up“ (+1) gewertet. Das heißt, je nach Bewegungsrichtung des Zentroid, kann man daraus schlussfolgern, ob er den Raum betritt oder verlässt.

Um die Anzahl der sich im Raum befindlichen Menschen zu ermitteln, inkrementieren oder dekrementieren wir eine Zahl (Integer), je nach Überquerungsrichtung des Zentroids.

Die Informationen über Zeitpunkt, Ort und Personenzahl werden für spätere Analysen in einer zentralen Datenbank gespeichert.

Der Vorteil an unserer KI ist, dass sie relativ ressourcensparend ist und daher ein Raspberry Pi 4B zur direkten Auswertung des Streams genügt. Ein Vorteil eines Raspberry Pis ist nicht nur, dass er besonders kostengünstig, kompakt und energieeffizient ist, sondern auch, dass man vielseitig auf ihn zugreifen kann. Das heißt wiederum, dass als Kamera die Raspberry Cam genutzt werden kann oder eine normale kostengünstige USB-Kamera.

Es ist dennoch auch möglich, IP-Kameras anzuschließen, da der Raspberry Pi einen Netzwerkanschluss, aber wie auch der Raspberry Pi 4, eine standardmäßig verbaute WLAN-Karte hat. Dadurch besteht die Möglichkeit, schon bestehende IP-Überwachungskameras einzubinden.

Datenschutzproblematik

Wir wollten unseren Raspberry Pi in der Schule aufstellen, um Langzeitdaten zu sammeln. Allerdings untersagte die Schule aus datenschutztechnischen Gründen, dass Kameras in Fluren oder Klassenräumen aufgestellt werden.

Unsere KI zeichnet jedoch nichts auf, sondern speichert lediglich Nicht-Personenbezogene Metadaten. Nach LDSG (Landesdatenschutzgesetz) §21 Videoüberwachung (4) ist keine Einstimmung der jeweiligen Personen erforderlich, um Nicht-Personenbezogene Metadaten zu sammeln.

Unsere Bearbeitung des Videomaterials mit KI ist auch nach LDSG §21 Videoüberwachung (3) legitim, da diese Form von Verarbeitung der Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit dient. Wie uns spätestens seit der Corona-Pandemie bekannt ist, stellen Viren eine Gefahr der öffentlichen Sicherheit dar. Aus diesen genannten Gründen sind die Nutzung und Verarbeitung des Bildmaterials durch unsere KI in öffentlichen Räumen völlig legitim und es bedarf keiner Zustimmung des Einzelnen.

Alternative Auswertungsstrategie

Wenn jedoch aufgrund von Firmenphilosophien oder des Aufwands von der Nutzung einer KI, welche das Videomaterial auswertet, abgesehen wird, gibt es weitere Möglichkeiten, die Nutzung einzelner Räume zu ermitteln.

Als wir keine Erlaubnis zur Nutzung von Kameras, suchten wir nach einer Lösung, die Personenzahl alternativ auszulesen. Da mittlerweile fast jeder ein Smartphone mit sich trägt, können wir über eine Schuleigene API auslesen, wie viele drahtlose Endgeräte an einem Access Point eingeloggt sind.

Wir haben für die Umsetzung dieses Projektes Java und PHP benutzt. PHP brauchten wir für die API, welche auf die Ubiquiti Access Points in unserer Schule zugreifen. Die API basierte auf einem Open Source API-Projekt für UniFi Controller.

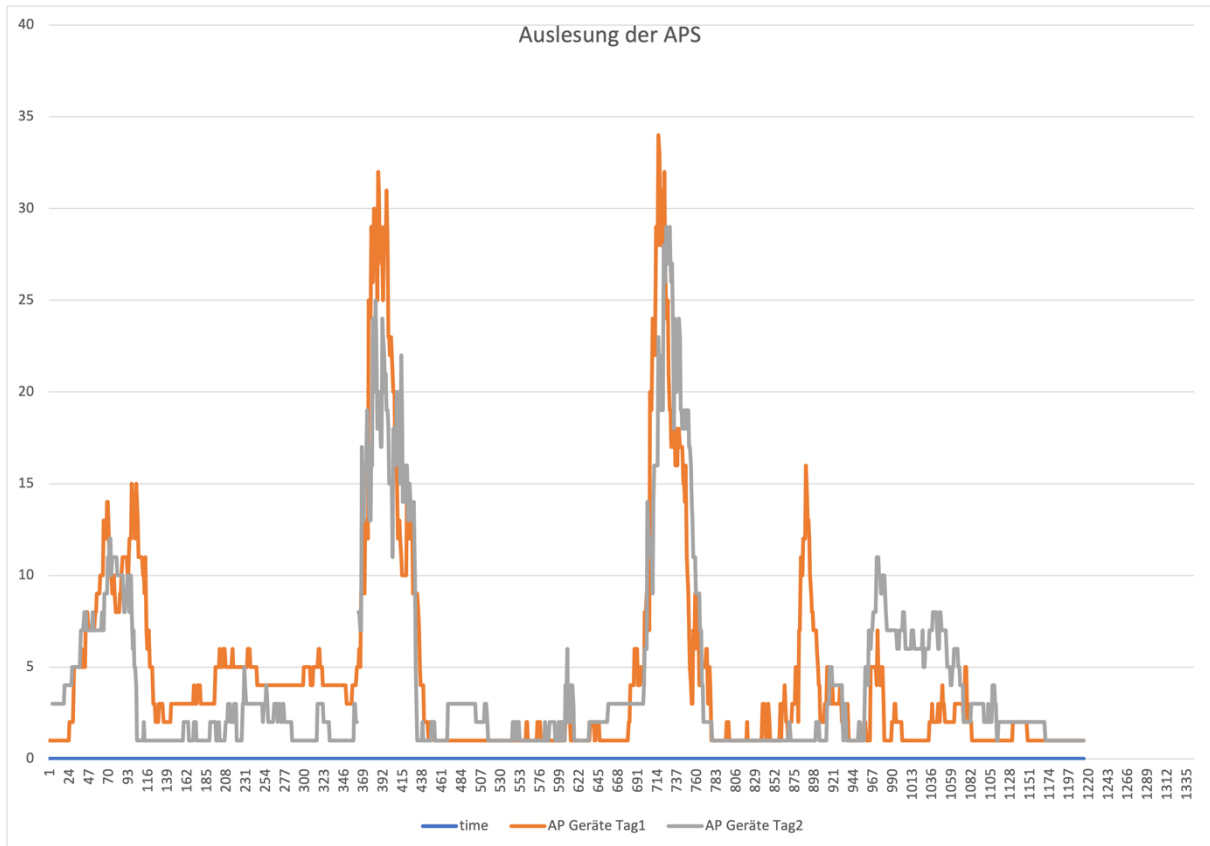
Dann haben wir die Daten übergeben und ein kurzes Java Programm geschrieben, welches jede Minute die Anzahl der eingeloggten Clients in den Access Points abfragt und diese mit dem passenden Zeitstempel loggt. Als Projekt Bibliotheken nutzten wir JDBC, um die Daten in der Datenbank zu speichern.

Vorteilhaft an dieser Methode ist die Frugalität. Durch die geringen benötigten Ressourcen kann man es leicht nebenbei, zum Beispiel auf dem Raspberry Pi, laufen lassen, welcher die Human Counter KI ausführt. Natürlich ist die Grundlage zum Code eine grundlegende Netzwerkstruktur. Die Voraussetzung ist dabei, dass jeder ein Gerät mit sich trägt, welches in das WLAN eingeloggt ist. Nur so sind wir in der Lage dieses verbundene Endgerät als Person zu interpretieren.

Ungenauigkeiten könnten auftreten, wenn eine Person mit mehreren Geräten eingeloggt ist. Das könnte beispielsweise passieren, sobald jemand Laptop, Smartphone und Tablet nutzt. Zudem kommt, dass Personen, die das WLAN nicht nutzen, auch nicht erfasst werden können.

Durchführung und Auswertung

Da dieses Projekt von der Schule genehmigt wurde, haben wir tagelang die Aktivität in der Schulcafeteria über die API der Access Points geloggt.



In dem obigen Graph ist die Nutzungsdauer der Access Points in der Aula verteilt über einen Schultag zu erkennen. Der orangene Graph zeigt die Nutzung für den ersten Tag der Auswertung, der graue Graph die des zweiten Tages. Die Zeiteinheit 1 bis 116 entsprechen etwa der Uhrzeit 7:15 bis 7:45. Um 7:45 Uhr fängt die erste Stunde an, weshalb alle Schüler, die früher gekommen sind und sich in die Aula gesetzt haben, in den Unterricht gehen.

Bis auf ein paar einzelne Schüler, welche vielleicht Entfall haben, und die Mitarbeiter der Mensa sind nun nicht mehr viele dort. Zwischen Zeiteinheit 346 (9:13 Uhr) bis 438 (9:37 Uhr), was ziemlich genau die Dauer der ersten Pause darstellt, sieht man, wie viele Schüler in die Schulcafeteria gehen, um sich etwas zu essen zu holen oder sich an die Tische zu setzen. Was man hier beachten muss, ist, dass die Logs zur Corona-Zeit stattfanden, in der die Sitzplätze um über $\frac{3}{4}$ reduziert sind. Wäre normaler Schulbetrieb, wäre diese Kurve deutlich volatiler. Dessen ungeachtet sieht man starke Trends, aus denen Nutzungsvorhersagen getroffen werden können.

Nutzungsvorhersagen

Peaks sind, wenn möglich, zu vermeiden. Wie man jedoch an der Auswertung der Access Points sehen kann, sind dort enorme Peaks. Daher müssen wir schon vor der Entstehung dieser Peaks wissen, dass diese entstehen, um so die Leistung des Luftreinigungsgeräts anzupassen.

Hierfür benutzen wir künstliche Intelligenz beziehungsweise Machine Learning, um Muster erkennen, kategorisieren und strukturieren zu können. Damit könnten wir vorhersehbare Muster wie die hohe Nutzung in der Pause effektiv vorhersagen.

Da wir die Zuordnung Zeit in WD HH:MM und Nutzung in Personen (bei der AP Variante in Clients) haben, verwenden wir einen Pattern-Recognition-Algorithmus im zweidimensionalen Merkmalsraum. Zum Training des Pattern-Recognition-Algorithmus loggen wir dauerhaft die Daten, wodurch unsere KI immer genauer wird. Durch die deutlich abstrakten Daten und die geringe Komplexität hat die KI nach etwa vier Wochensätzen bereits verwertbare Datenvorhersagen geliefert.

Zusammenfassung/ Fazit

[Revolution AIR] - Entwicklung eines effizienten Luftreinigungssystems auf Basis von UV-LEDs, ist das Thema dieser Projektarbeit. Begonnen hat es mit der Einstellung eine Marktneuheit zu schaffen. Diese Einstellung legte sich schnell, als nach ein paar Monaten Forschung die ersten Artikel zu ähnlichen Geräten veröffentlicht wurden. Zuerst war die Enttäuschung groß, doch dann entwickelte sich als neues Ziel, effizienter, besser und intelligenter Systeme zu bauen als die bisherigen.

Zur Startphase mussten Leuchtmittel verglichen und analysiert werden. Da ein weiteres Ziel war, kostengünstig zu bleiben, entschieden wir uns für LEDs chinesischer Herkunft. Um diese zu analysieren zu können führten wir einige mikrobiologischen und photometrischen Tests durch, um die Effizienz der Leuchtmittel zu bestimmen, ohne sich auf unvollständige Datenblätter verlassen zu müssen.

Nach sichern der Grundlageninfos widmeten wir uns dem Bau des eigentlichen Gerätes. Mit Hilfe von Pattern Recognition und Machine Learning, konnten wir ein intelligentes System entwickeln, welches das Nutzungsverhalten der Menschen erkennt und die Einstellungen des Gerätes optimal anpasst. Aufgrund eines effizienten Designs konnten wir die Bestrahlungsdauer im Gerät verlängern und für mehr Verwirbelungen sorgen, ohne eine Vergrößerung des Gerätes oder der Unterbrechung des Luftstromes. Dieser Prototyp kann jetzt schon in Bussen eingebaut werden oder die Schüler in den Schulen im Winter vor dem Frieren bewahren. Diese beiden Anwendungsfälle sind nur ein winziger Einblick in die Möglichkeiten der UVC-LED Technik und wir sind weiterhin begeistert mit und an ihr zu forschen und entwickeln.

Ausblick

Ein großes Ziel des Projektes war es, ein marktfertiges Gerät zu entwickeln, welches in vielen Situationen verbaut werden kann. Dieser Wunsch bleibt auch nach wie vor auf unserer Agenda, auch wenn es bis dahin noch ein anstrengender Weg wird. Da wir davon ausgehen, dass wir noch nicht die optimale LED gefunden haben, ist der Plan, weitere LEDs zu kaufen und größere noch aussagekräftigere Testreihen durchzuführen. Da evtl. die Leuchtdiode nicht der richtige Weg in Zukunft sein wird, Luft zu desinfizieren, kam die Idee auf, Laser Dioden zu verwenden. Diese könnten eine „Wand“ aus Licht erzeugen, welche jedes Luftmolekül und jeder Luftkeim passieren muss. Zur Durchführung des Projektes mit Laserdioden kam es deshalb nicht, da einzelne Dioden mehrere hundert Euro kosten. Da es aber nur eine Frage der Zeit ist, bis die Laserdioden günstiger werden haben wir schon fest vor, in Zukunft mit diesen ein Projekt durchzuführen. Während den Testreihen ist uns auch vermehrt der Wunsch gekommen selbst zu erforschen, was nun wirklich auf den Nährböden passiert. Hierfür kam die Idee ein ELISA Kit zur Aufspürung von Thymin Dimeren zu verwenden. Dieses Analysetool kann die Anzahl der Thymin Dimere in der Probe anhand von Farbveränderungen aufzeigen und so die Wirkweise von UVC-Licht bestätigen. Durch den geringen Bedarf solcher Testkits war der Preis entsprechen hoch, was unser Budget weit gesprengt hätte. ^[9]

In Zukunft sehen wir auch einen Verwendungszweck der UVC-LEDs in vielfältigen Anwendungen unseres Systems. Durch intensive Nutzung von lernenden Algorithmen (KI), können aus mehreren dezentralen Sensoreinheiten Daten gesammelt und diese in ein Pattern Recognition Backend eingespeist werden. Die gesammelten und aufbereiteten Daten können wir in einem ansprechenden und benutzerfreundlichen Frontend anzeigen, welches den vollen Funktionsumfang unserer Entwicklung nutzbar macht. Zusätzlich soll ein Bakteriensensor entwickelt werden, welcher im Zusammenspiel mit einer Temperaturüberwachung der einzelnen LEDs für die größtmögliche Sicherheit und Langlebigkeit des Gerätes sorgt.

Unser Aktueller Ansatz der Weiterentwicklung beschäftigt sich mit einem konkreten Einsatzgebiet.

Auf Intensivstationen im Krankenhaus wird derzeit viel künstlich beatmet. Über ein Beatmungsgerät wird frische Luft in die Lunge des Patienten gepumpt und verbrauchte Luft wieder herausbefördert. Durch den Kontakt zu Krankenhauspersonal erfuhren wir, dass sämtliches Beatmungsmaterial wie Schläuche, Masken und Luftfilter Einwegmaterial sind. Um an diesem Problem anzusetzen, fokussierten wir uns auf Mehrweg Filtertechniken. Die meisten verwendeten Filter sind Inspirationsfilter (Einatmung) und selten Expirationsfilter (Ausatmung). Unser finales Ziel ist der Bau eines Expirationsfilter welcher die Fähigkeiten der UVC-LEDs komplett ausspielt und in ein Beatmungsgerät integriert werden kann. Dieser soll den Aufenthalt im Krankenhaus für alle viel sicherer machen und gleichzeitig ein Schritt in die Entwicklung eines nachhaltigeren Krankenhauses führen.

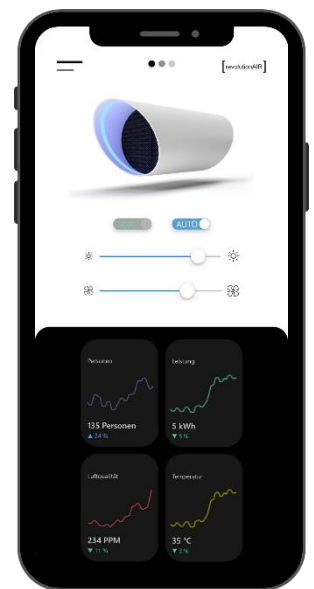


Abbildung 12: Mockup der App

Anhang:

Weitere Bilder und Veranschaulichungen

3D Modell Animation:

<https://p3d.in/65t5m/spin>

Bilder:

3D Druck:

https://lgshueu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/dominik_hein_lgshueu_onmicrosoft_com/Es4xdJqNCHVMm-aEbWfOFccBFsj4KQO2SOC0_DAltUfVg?e=jdHTil

AI:

https://lgshueu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/dominik_hein_lgshueu_onmicrosoft_com/Ein-l3zyqgVFgtJ9hQCFHUBahN6JVr5sVQKiXbGpWrI5g?e=eunjYn

Biologie:

https://lgshueu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/dominik_hein_lgshueu_onmicrosoft_com/EtAYA2G10TFJo6GSohc50DgBrb3vpRZrhDP3BPTcQzGKLA?e=lvyy2Y

Prototyp:

https://lgshueu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/dominik_hein_lgshueu_onmicrosoft_com/ErT_vxUnzQ9BpaoLpyiOmfsBO4o74loHLuS4ZFi-F4PWsA?e=vk6fb5

Renderings:

https://lgshueu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/dominik_hein_lgshueu_onmicrosoft_com/EuDrvA4NSVpKnBaeGhLF-4sBsKCH1vl7eZhvOAllsB7Qtg?e=783Wn2

Technik:

https://lgshueu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/dominik_hein_lgshueu_onmicrosoft_com/EmmdPPAoyH9AuOkVJtJeDGYBo meCzl00Axhr7-SLOW2yaw?e=h3eFUJ

Messwerte Extinktion UV-Schutzbrille / Sicherheit

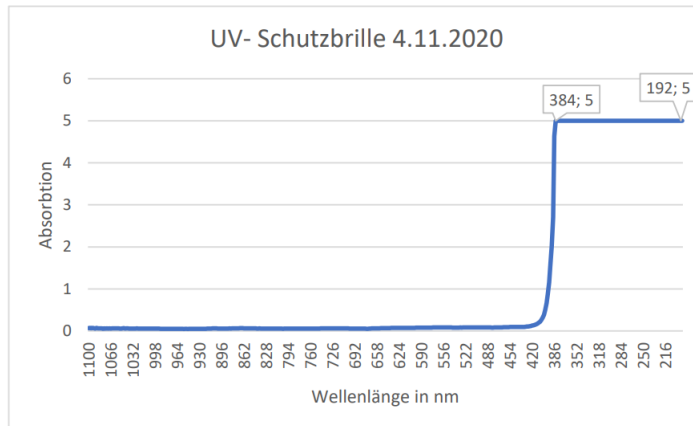


Abbildung 13: Absorption der UV-Schutzbrille gemessen am Genesys 140 UV/Vis

Thermo Fischer Genesys UV/Vis Spektrometer

Der Plan zu Beginn war, die LEDs in unserem Fotometer zu vermessen und so im Vorhinein bestimmen zu können, ob keimtötende Wirkungen zu erwarten sind. Durchgeführt werden sollte dieser Test, indem die Lichtquelle unseres Einstrahlphotometers blockiert wird und unser Leuchtmittel vor die Sensoröffnung platziert wird. Um der Gefahr einer Überlastung des Fotosensors und dem resultierenden Defekt des teuren Laborgerätes aus dem Wege zu gehen, haben wir uns an den Technischen Support von „Thermo Fischer Scientific“ gewandt. Hier bekamen wir die Information, dass der Sensor keinen Schaden davontragen kann. Zusätzlich teilte er uns auch mit, dass das Licht vor dem Erreichen der Probe schon auf die zu untersuchende Wellenlänge eingestellt wird und nicht wie von uns erwartet erst nach der Probe. Somit erkennt der verbaute Sensor nur das Helligkeitslevel Wellenlängenübergreifend. Dadurch konnte das Experiment nicht in dieser Form durchgeführt werden und es musste ein anderer Weg der LED-Vermessung gesucht werden. Dennoch war das Gerät sehr hilfreich in der Spektralen Vermessung der Petrischalen und unserer Schutzausrüstung. ^[23]

Tabelle zur maximalen Strahlenbelastung:

Max. Bestrahlungsdauer pro Tag	Zulässige max. Bestrahlungsstärke in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ bezogen auf Gesamt-UV	Zulässige max. Bestrahlungsstärke in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ @ 254 nm
8 Stunden	0,1	0,2
10 Minuten	5	10
1 Sekunde	30.000	60.000

Quelle: <https://www.auva.at/cdscontent/load?contentid=10008.544590&version=1520427132> (abgerufen: 14.01.2021)

Diskussion: LEDs im Vergleich zu Quecksilberlampen

Ein Ziel unserer Untersuchungen war es herauszufinden, wie sich UVC- LEDs als Desinfektionsmethode eignen. UVC- Röhren haben einige entscheidende Vorteile, wie zum Beispiel die geringen Kosten und die hohe Leistung. Das macht sie zum Marktführer in großen Desinfektionsanlagen im Gesundheits- oder Lebensmittelwesen. Ihr Aufbau hat aber einige Nachteile, wie schon zu Anfang beschrieben wurden.

Dagegen halten LEDs, welche durch ihre Konstruktion robust, mit Niederspannung betrieben werden und viele weitere Vorteile vereinen. Der aktuelle Stand der Technik lässt aber noch keinen direkten Austausch der Lampen zu, da die nötige Leistung fehlt. UVC-LEDs haben derzeit noch nicht das Preis/Leistung Verhältnis von Quecksilber Leuchtmitteln, was eine wirtschaftliche Nutzung der LEDs auf Spezialanwendungen beschränkt. Dies wird sich aber voraussichtlich in den nächsten Jahren ändern, denn denselben Entwicklungsverlauf hatte die blaue LEDs, welche heutzutage in fast jedem Haushalt als Glühbirnenersatz zu finden ist. Zudem ist es sehr gut möglich, dass innerhalb der nächsten Jahre die REACH Verordnung und die RoHS Richtlinie die Benutzung von Quecksilber in Leuchtstoffröhren komplett verbieten. Dadurch würden die UVC-LEDs einen komplett anderen Stellenwert erlangen, was sich positiv auf deren Entwicklung auswirkt. Deshalb muss noch viel Aufwand in die Forschung dieser Halbleiterbausteine gesteckt werden. Wenn man so einen Fortschritt, wie sich bei LED-Lampen und auch LED Displays in den letzten 20 Jahren gezeigt hat auf UV- LEDs überträgt, ist damit zu rechnen, dass sehr bald die UV- LEDs so leistungsfähig sind, dass sie in jedem Desinfektionsgerät verbaut werden können und auf mehreren Ebenen gut für die Umwelt sein werden. ^[17]

Vor- und Nachteile UVC- LEDS vs. Leuchtstoffröhren

Quecksilberdampf Lampe	UVC LED
+ Günstige Leuchtmittel	– Hohe Kosten pro W
+ Hohe Ausgangsleistung	+ Sehr energieeffizient
– Hochspannung erlaubt nur feste Einbauten und trockene Umgebungen	+ Niederspannung ermöglicht einfachere Ansteuerung und den Verbau in feuchten Systemen oder Akkuanwendungen
– Hoher Platzbedarf und begrenzte Einbaumöglichkeiten	+ Geringer Platzbedarf ermöglicht nahezu grenzenlose Einbaumöglichkeiten
– Feste Wellenlänge und breites Spektrum, welches zur Ozonbildung führen kann	+ Wellenlänge ist einstellbar durch Zusammensetzung des Halbleiters
– Hohe Wärmeproduktion von ca. 600°C - 950°C	+ Genaues Emissionsspektrum verhindert die Produktion von unerwünschtem Ozon
– Aufwärmzeit benötigt	+ Leicht ansteuerbar und in technische Entwicklung integrierbar
– Wechsel alle 9.000 Betriebsstunden	+ Langlebig und wartungsfrei
– Beinhaltet hoch giftiges Quecksilber	+ Keine Aufwärmzeit
– Leuchtmittel kann durch Schläge brechen und Quecksilber freisetzen	+ Keine toxischen Schwermetalle (Quecksilber)
– Aufwendige Ansteuerungstechnik	+ Robust gegen Vibration und Schläge
– Dimmbar von 50-100%	+ Dimmbar von 0-100%

[17]

CAD Designs für Projektablauf und 3D Druck

Bestrahlungsglocke

Um möglichst viel Licht der LED nutzbar für unseren Versuch zu machen, benötigten wir eine Apparatur, welche nahezu den größten Anteil des emittierten Lichtes auf die TP bringt. Hierzu fiel die Wahl auf einen 3D gedruckten „Becher“, indem die LED montiert wird, welcher auf die TP gestellt wird. Anforderungen an diesen waren:

- Möglichkeit die LEDs schnell und einfach wechseln zu können, um leicht zwischen den verschiedenen Typen wechseln zu können
- Leicht zu reinigen und desinfizieren, um Verschleppung von Keimen zu minimieren
- Komplette Abschirmung der UV-Strahlung, um Gefahren aus dem Weg zu minimieren
- Möglichst wenig Verlust und eine gleichmäßige Ausleuchtung der TP.

Diese Anforderungen wurden alle in dem 3D Druck erfüllt, indem dieser zusätzlich noch mit Aluminiumklebeband innen ausgekleidet wurde. Um eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Lichtes zu erlangen, ohne eine Optik verbauen zu müssen, wurde die Form des „Bechers“ angepasst. Unsere Überlegung war es die Form, wie eine dreidimensionale Gauß'sche Normalverteilung zu gestalten, um eine gleichmäßige Beleuchtung zu erhalten. Im Zusammenspiel mit den LEDs, welche eine stark divergente Ausstrahlung haben, funktioniert unser Druck optimal.

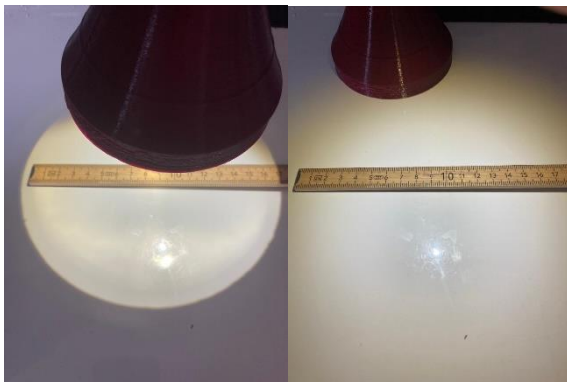


Abbildung 14: Bündelung des Lichtes einer stark divergenten Lichtquelle

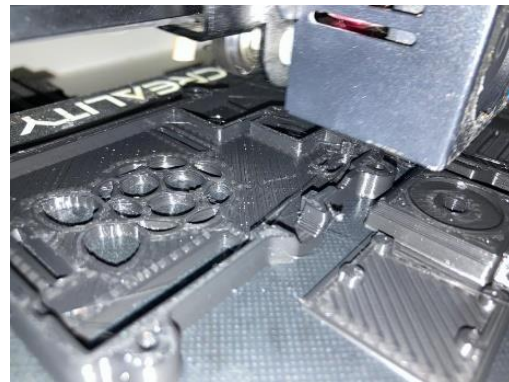


Abbildung 15: 3D Druck in Arbeit

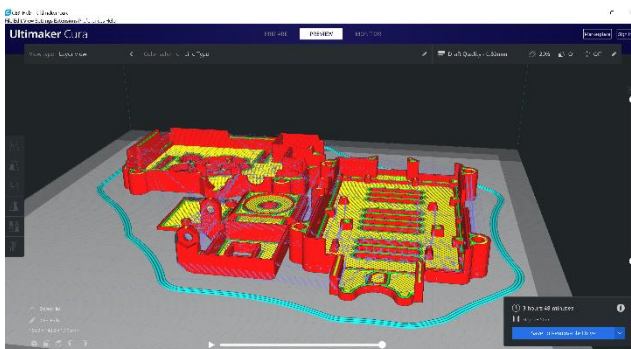


Abbildung 16: Erstellung des G-Codes für das Sensorgehäuse

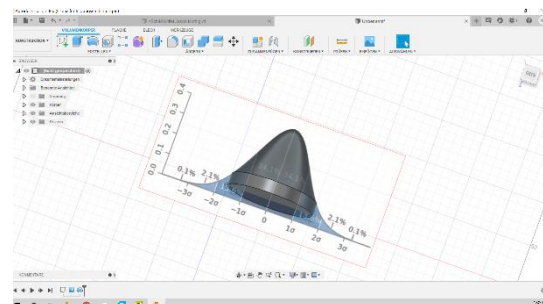


Abbildung 17: CAD Design der Beleuchtungsglocke

Biologische Experimente

Aufbringung der Keime / Anhang

- Ausstrich - Mithilfe einer Impföse werden einzelne Bahnen (*E. coli*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis*) nebeneinander auf die TP (Testplatte bzw. Petrischale) aufgebracht. Dies resultiert in einer Fraktionierung der Kolonien und der Möglichkeit verschiedene Keime auf einer TP zu testen.
- Vermischung der Keime vor der Applikation – Durch das Vermischen der drei Testkeime kann Zeit gespart werden, indem keine einzelnen Sektoren beimpft werden müssen. Notwendig sind aber drei optisch stark unterscheidbare Keime.
- Stempel – Mithilfe eines 3D- gedruckten Stempels können die Keime gleichzeitig aufgebracht werden.
- Sektoren in der Petrischale - Durch eine Trennstruktur können mehrere Sektoren räumlich auf der TP unterteilt werden. Diese wird vor dem Gießen eingelegt und enthält Markierungen zur korrekten Impfung der TP. Eine Mikropipette erlaubt eine gleichbleibende Dosierung der Testkulturen innerhalb der Sektoren.

Materialien für Bestrahlungstest:

Material:	Verbrauchsmaterial:
Spezial Drigalskispatel	Übernachtskultur
Labornetzteil	Eppis
Bestrahlungsglocke	Stammkulturen: <i>Micrococcus Luteus</i> , <i>Escherichia coli</i> K12- DSMZ 1563, <i>Bacillus Subtilis</i>
Micropipette	Ethanol 60%ig
5 UVC-LEDs siehe Quellen	Desinfektionsmittel
Mikroskop	Schutzausrüstung
3D Drucker	LB-Nährmedium
Bechergläser	Petrischalen
Heizplatte	Destilliertes Wasser
	PETG Filament

Trenneinheiten für Petrischalen

Wie in vorherigen Teil beschrieben ergaben unsere Tests eine optimale Funktion der gedruckten Trenneinheiten im Agar Diffusionstest. Erstellt wurden insgesamt zwei Versionen erstellt, die zweite Version enthält Verbesserungen. Grundsätzlich besteht die Unterteilung aus einem Kreuz, welches aus Stabilitätsgründen verbunden ist mit einem Ring. Zusätzlich besteht im ersten Sektor eine kleine Markierung, um keine Verwechslung der Kulturen zu schaffen.



Abbildung 18: Eingegossene Trenneinheit in LB-Agar

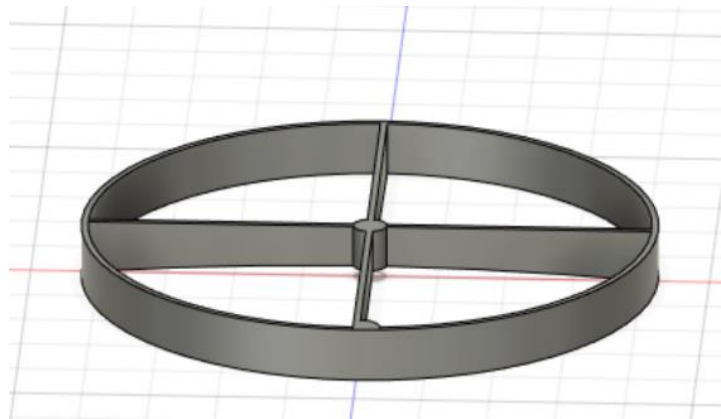


Abbildung 19: Verbesserte Trenneinheit mit Markierung, Anpassung an Petrischalen Boden und Verbindungsring

Technische Einzelheiten

Auflistung der LEDs

LED:	Eigenschaften:
LED 1	LG LED Spannung: 5-9V Strom: 150mA Effektive Strahlungsleistung: 8-10mW Wellenlänge: 265nm Größe: 3,9x3,9mm Kosten: 11,33 €
LED 2	JZ UVLED Spannung: 6V Strom: 100mA Effektive Strahlungsleistung: 12mW Wellenlänge 275nm Größe: 3,6x3,6mm Kosten: 16,23 €
LED 3 (Streifen)	Oobest Spannung: 5V Strom: 600mA Effektive Strahlungsleistung: Keine Angabe im Datenblatt Wellenlänge 253,7nm Größe: LED Band 1M Kosten 6,48 €
LED 4	UVRadi Spannung: 12-14V Strom: 300mA Effektive Strahlungsleistung: 50-60mw Wellenlänge 265-275nm Kosten: 11,47 €
LED 5	UVRadi Spannung: 12-14V Strom: 80mA Effektive Strahlungsleistung: 20-28mW Wellenlänge 265-275nm Kosten: 6,52 €

Alle Angaben beziehen sich auf die Datenblätter des Verkäufers.

Verwendete LEDs

LEDs Aliexpress besucht am 12.01.2020

LED 1	https://de.aliexpress.com/item/4000098174515.html?srcSns=sns_WhatsApp&spreadType=socialShare&bizType=ProductDetail&social_params=60013140460&tt=MG&aff_platform=default&sk=BPkROc&aff_trace_key=9e699ba9a03d41fdad6cbb1595418f85-1610484955419-04296-BPkROc&shareId=60013140460&businessType=ProductDetail&platform=AE&terminal_id=2940e896701347d7803de9b0ad353c00
LED2	https://de.aliexpress.com/item/4000945052203.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.25e214150ZjKwY&algo_pvid=33693db1-c9b1-4a56-8415-8de25b4cf5e4&algo_expid=33693db1-c9b1-4a56-8415-8de25b4cf5e4-12&btsid=0b0a01f816104901955225410e3b04&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_searchweb201603
LED 3	https://de.aliexpress.com/item/33032788373.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.557f51b6Vz4BXs&algo_pvid=34e60857-2dff-4b79-9583-9eae3698967&algo_expid=34e60857-2dff-4b79-9583-9eae3698967-0&btsid=0b0a01f816104901375274698e3b04&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_searchweb201603
LED 4	https://de.aliexpress.com/item/4001000110054.html?srcSns=sns_WhatsApp&spreadType=socialShare&bizType=ProductDetail&social_params=60013012982&tt=MG&aff_platform=default&sk=BOZiU4&aff_trace_key=2aabdcc2dce345d3918039d7979a3de8-1610490076491-04415-BOZiU4&shareId=60013012982&businessType=ProductDetail&platform=AE&terminal_id=2940e896701347d7803de9b0ad353c00
LED 5	https://de.aliexpress.com/item/4001000110054.html?srcSns=sns_WhatsApp&spreadType=socialShare&bizType=ProductDetail&social_params=60013012982&tt=MG&aff_platform=default&sk=BOZiU4&aff_trace_key=2aabdcc2dce345d3918039d7979a3de8-1610490076491-04415-BOZiU4&shareId=60013012982&businessType=ProductDetail&platform=AE&terminal_id=2940e896701347d7803de9b0ad353c00

Elektronische Bauteilliste

Luftdesinfektionsgerät

Bauteile	Nutzen
NodeMCU	Microcontroller
Joy-it COM-ZY12PDN-ST	USB-PD auf 12V fähiges Board
LM2596S	Step down Modul auf 5V
VERGESSEN MUSS NOCH EINGEFÜGT WERDEN	Spannungsregler
GE-EL-SM-006	5V Relais
Ky 003	Hall-Sensor
Ky 028	Thermistormodul
Ky 025	Luftfeuchtigkeit und Temperatur Sensor
ARCTIC F9 PWM PST	12V 4pin Axiallüfter
WS2812B	Einzel ansteuerbare LEDs

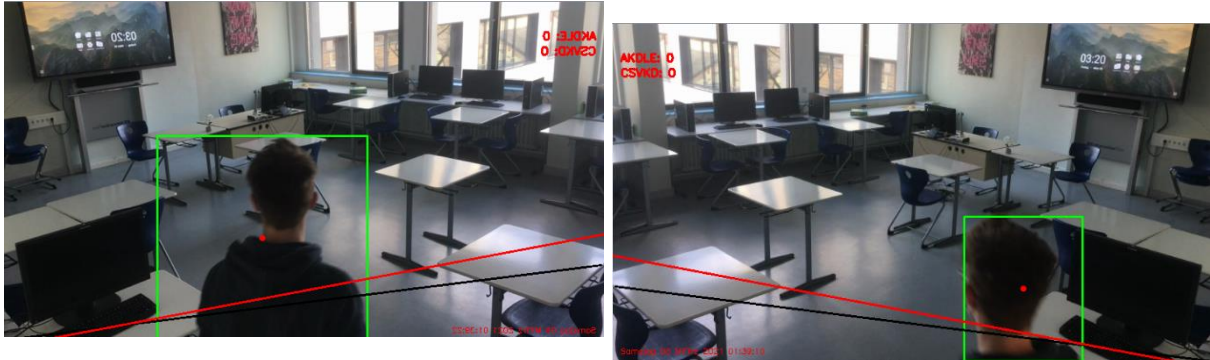
Temperatur-Regel-Messmodul

Bauteile	Nutzen
TEC1 127 05	Peltierelement
KY 028	Thermistormodul
BD438STU	Transistor
NodeMCU	Microcontroller

Bilderkennungsmodul

Bauteil	Nutzen
Raspberry Pi 4	Einplatinencomputer
Raspberry Pi Cam	Kamera

AI zur Menschenzählung unter OpenCV



Vermessung des ersten Prototyps

Zur Messung des Luftstroms ausgehend des Gerätes wurde das Gehäuse Ende in vier Sektoren geteilt. Jeder Sektor wurde zwei Mal mithilfe unseres Anemometers bei 12v und 24v vermessen. Aus diesen Werten wurde der Durchschnitt berechnet.

Werte in m/s bei 24v

Q1: 1,12; 1,2	Q2: 1,16; 2,11
Q3: 1,64; 1,63	Q4: 1,28; 1,88

Werte in m/s bei 12v

Q1: 0,63; 0,81	Q2: 0,73; 1,06
Q3: 1,04; 0,63	Q4: 1,16; 0,90

12v Ø 0,78 m/s

24v Ø 1.5025 m/s

Die Luftaustrittsfläche des Lüfters besteht aus einem zweidimensionalen Torus mit $d = 110\text{mm}$ und $d_i = 35\text{mm}$, somit ist der Flächeninhalt: $A = 8541,20\text{ mm}^2 = 85,4120\text{ cm}^2$

$$A = \pi \times \frac{d^2}{2} - \pi \times \frac{d_i^2}{2}$$

Quellen- und Literaturverzeichnis

Informationsquellen:

- [1] [A.Born, Biologie Oberstufe - Hessen und Nordrhein-Westfalen: Qualifikationsphase – Schülerbuch, 2010, Seite 56]
- [2] [A.Born, Biologie Oberstufe - Hessen und Nordrhein-Westfalen: Qualifikationsphase – Schülerbuch, 2010, Seite 133]
- [3] [A.Renzel, (2016), Desinfektion mit UVC, <https://docplayer.org/amp/7438939-Desinfektion-mit-uv-c.html>]
- [4] [ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, <https://www.acgih.org/publications/>]
- [5] [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, (2013) Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit Biologischen Arbeitsstoffen, https://www.gesetze-im-internet.de/biostoffv_2013/_3.html]
- [6] [C.Nockenmann, UV-Lampen in der Praxis, <https://www.mineralium.de/mineralien-blog/uv-lampen-in-der-praxis>]
- [7] [Europäische Kommission, (2017), UVC-Lampen: Können diese keimabtötenden Geräte auch für den Menschen schädlich sein?, https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/scheer/docs/citizens_uvc_de.pdf]
- [8] [H. Drexler, Umweltrelevante Einwirkungspfade, ecomed Medizin, https://mediendb.ecomed-storck.de/ecomedMedizin/texte/leseprobe/9783609105628_leseprobe_09.pdf] abgerufen: 3.12.2020
- [9] [Hölzel Diagnostika, (2018), Hoch sensitive ELISA für UV-induzierte DNA-Schäden, <https://blog.hoelzel-biotech.com/2018/04/24/hs-elisa-fuer-uv-induzierte-dna-schaeden/>]
- [10] [K. Brieden, (2005), Tödlicher Sonnenbrand für Keime, https://www.heraeus.com/media/media/hng/doc_hng/industries_and_applications_1/uv_technology_1/pdfs_1/Artikel_Packstoffentkeimung.pdf] abgerufen: 10.12.2020
- [11] [L.P.Petersson, (2017), Dekontamination von Oberflächen durch UV-Licht, https://mhh-publikationsserver.gbv.de/servlets/MCRFileNodeServlet/mhh_derivate_00000835/diss-petersson_a.pdf] abgerufen: 5.8.2020
- [12] [LUMITRONICS, UVC LED Module 275nm, (2020), <https://lumstatic.com/un/g1/Xc0pLtDmIKDdku3QNNQ.pdf>] abgerufen 15.1.2021
- [13] [M. Waßmann, (2007), Untersuchungen zur molekularen Anpassungsfähigkeit von Bacillus subtilis an eine erhöhte biologisch wirksame UV-Bestrahlung, <https://elib.dlr.de/51695/>] abgerufen: 10.12.2020
- [14] [Matthias Müller (2011), Strahlungsquellen der Zukunft– AlGaIn UV-LEDs, FH Münster, https://www.fh-muenster.de/ciw/downloads/personal/juestel/juestel/AlGaIn_UV-LEDs_MatthiasMueller_.pdf] abgerufen: 3.12.2020
- [15] [Mouser Electronics, BME680, <https://www.mouser.de/ProductDetail/Bosch-Sensortec/BME680/?qs=v271MhAjFHjo0yA%2FC4OnDQ%3D%3D>] abgerufen:15.1.2021
- [16] [N.Hüber, Advanced UV for Life, UV-LEDs, <https://www.advanced-uv.de/uv-wissensbasis/uv-leds-und-hg-strahler-im-vergleich>]
- [17] [Neumüller, UV-LEDs, -Lampen & -Röhren im Vergleich, <https://www.leds-uv.de/unterschied-uv-led-lampe-roehre/>]
- [18] [P. Immerz, (2018), Stand der Technik und Trends bei UV-Leuchtdioden – ICULTA-2018, <https://www.adlershof.de/news/stand-der-technik-und-trends-bei-uv-leuchtdioden-iculta-2018/>]
- [19] [Robert Koch Institut, COVID-19 (Coronavirus SARS-CoV-2), https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/nCoV.html] abgerufen 14.1.2021
- [20] [S.Luber, Was ist Data Mining?,(2016) , <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-data-mining-a-593421/>] abgerufen: 15.1.2021
- [21] [T. Arnhold, (2020), Coronavirus SARS-CoV-2 breitet sich bei niedriger Luftfeuchtigkeit in Innenräumen stärker aus., <https://idw-online.de/de/news752794>]

- [22] [T. Katz, WIE STARK IST DAS UV-LICHT SCHÄDLICH FÜR DIE AUGEN?, CareVision, <https://www.care-vision.de/blog/wie-gefaehrlich-ist-das-uv-licht-fuer-die-augen/>] abgerufen: 3.12.2020
- [23] [Thermo Fischer Scientific, Thermo Scientific™ GENESYS™ 140/150 VIS- und UV/VIS-Spektralphotometer, <https://www.fishersci.de/shop/products/genesys-140-150-vis-uv-vis-spectrophotometers/15830002>] abgerufen 14.01.2022
- [24] [UV-Klaerer, Die Erfindung der Quecksilberdampflampe, <https://uv-klaerer.de/grundlagen/uv-klarere-etwas-geschichte/die-entdeckung-der-quecksilberdampflampe/#:~:text=Die%20Entdeckung%20der%20Quecksilberdampflampe%20leistete,u nter%20der%20Bezeichnung%20Aronssche%20R%C3%B6hre.&text=Jahrhunderts%2C%20nach%20der%20Entdeckung%20der%20DNA>] abgerufen 14.01.2022
- [25] [W. Wilcoxon, Does a 10°C Increase in Temperature Really Reduce the Life of Electronics by Half?, <https://www.electronics-cooling.com/2017/08/10c-increase-temperature-really-reduce-life-electronics-half/>] abgerufen: 6.3.2021

Bildquellen:

- [1] Streifen Titelbild: [Luminale Frankfurt, Bureau Sandra Doeller, <https://www.luminale.de/startseite/>] abgerufen: 10.1.2021
- [2] Design Logo&Deckblatt [Maximilian Pfannkuch, 10.1.2021]

Unterstützungsleistungen

Ein großes Dankeschön an alle, die uns während der Arbeit unterstützt haben.

Marianne Demuth-Birkert, Rodenbach, Diplom Biologin, hat uns mikrobiologische Fragen beantworten können und mit Mikroorganismen versorgt.

Petra Neumann, Chemie, gab unseren Informatikern die notwendige Sicherheitseinweisung und stand uns bei der Verwendung des Photometers zur Seite.

Janine Christians, Diplom Biologin, hat uns im Thema PCR und Analytik beraten und Fragen zum ELISA Kit beantwortet.

Martin Bachsteffel, Dreieich, Technischer Support bei Thermo Fischer Scientific GmbH, hat uns technische Rückfragen zu unserem Photometer beantworten können.

Nico Pfeifer, Johanna Heck, Hanau, Heraeus Noblelight, haben uns in der Woche nach dem Regionalwettbewerb Informationen zum Stand der Forschung gegeben.

Frau von Merck

Susanne Schadt, M. Se Physik, Hanau, Heraeus Noblelight, hat uns bei der photometrischen Untersuchung begleitet.

Authentizitätserklärung

Hiermit erklären wir,

Maximilian Pfannkuch,

Jaro Filip,

Dominik Hein,

dass wir die hier vorgelegte Arbeit mit dem folgenden Titel

[revolutionAIR] - Entwicklung eines effizienten Luftreinigungssystems auf Basis von UV-LEDs

selbstständig, ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder anderen Quellen, insbesondere dem Internet, entnommen sind, sind als solche eindeutig und wiederauffindbar kenntlich gemacht. Alle diese Quellen sind vollständig und abschließend in einem Literaturverzeichnis angegeben. Die vorliegende Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht veröffentlicht.

Hanau, 09.03.2022

M. Pfannkuch *Jaro Filip* *D. Hein*