

# **FRUGT (Free Urban Garden Tower)**

Ein Projekt von Tim Weber

## **Kurzfassung**

Das Ziel des Projektes ist, ein autarkes, für die breite Gesellschaft leicht zugängliches Pflanzenanbau-System zu entwickeln.

Dafür wurde ein Gehäusesystem aus Beistelltischen und eine Steuerelektronik, die Bewässerung, Belüftung und einen LED-Beleuchtungsbogen steuert, entwickelt.

Bei der Entwicklung lag ein weiterer Schwerpunkt auf die Beeinflussung des Pflanzenwachstums unter suboptimalen Bedingungen. Beispielsweise durch die Beeinflussung der Photomorphogenese.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>3</b>
1.1 Ideenfindung .....	3
1.2 Wie kann so eine Lösung realisiert werden? .....	3
<b>2. Vorgehensweise, Materialien und Methode .....</b>	<b>4</b>
2.1 Entwicklung des Gehäusesystems .....	4
2.2 Überprüfung der Funktion unter natürlichem Sonnenlicht .....	5
2.3 Entwicklung der Steuerelektronik .....	6
2.4 Erster Versuch zur Funktionsfähigkeit unter suboptimalen Bedingungen .....	7
2.5 Bestimmung der Wellenlängen und Beleuchtungsstärke.....	8
2.6 Veränderungen zugunsten der Photomorphogenese .....	10
<b>3. Zweiter Versuch zur Funktionsfähigkeit unter suboptimalen Bedingungen.....</b>	<b>11</b>
<b>4. Ergebnisdiskussion .....</b>	<b>11</b>
<b>5. Zusammenfassung .....</b>	<b>12</b>
<b>6. Quellen- und Literaturverzeichnis.....</b>	<b>12</b>
<b>7. Unterstützungsleistungen .....</b>	<b>12</b>

# **1. Einleitung**

## **1.1 Ideenfindung**

Das Projekt entstand, als ich mich mit dem Nutzpflanzenanbau in Räumen auseinandersetzte und bemerkte, dass es für viele Menschen komplett unmöglich ist, sich genauso zeit- und/oder kostenintensiv mit diesem Thema zu beschäftigen. Der eigene Lebensmittelanbau ist aber gerade heutzutage wichtig, da bei selbst angebauten Lebensmitteln der Ursprung als auch die Behandlung mit z.B. Pestiziden transparent ist. Deshalb sollte das Anbausystem autark, effizient und für die breite Gesellschaft zugänglich sein.

## **1.2 Wie kann so eine Lösung realisiert werden?**

Da nun die Anforderungen gegeben waren, begann ich den ersten Prototypen zu entwickeln und nahm Kontakt zu meiner Schule auf, die mich an das Schülerforschungszentrum in Eningen unter Achalm weiterleitete, weswegen das Projekt im September 2021 dort weitergeführt wurde.

Nutzpflanzenanbausysteme gibt es schon länger auf dem Markt. Diese bedienen aber manche Anforderungen nur sehr wenig oder überhaupt nicht. Sie sind entweder zu teuer, zu ineffizient oder zu wenig autark aufgebaut. Daher versucht FRUGT diese Balance zu erreichen und diese Marktlücke zu schließen.

In meiner Forschungsarbeit möchte ich mich damit beschäftigen, wie das entworfene System seine Funktion in verschiedenen Umgebungen erfüllt, und wie es zugunsten des Pflanzenwachstums und damit der Effizienz verändert werden kann. Dies bildet die Grundlage für das Erreichen des Ziels und alle weiteren Entwicklungen.

Der Schwerpunkt liegt bei der Veränderung elektronischer Systeme und Parameter. Für alle Versuche wurden Gartensalate (*Lactuca sativa*) verwendet.

## 2. Vorgehensweise, Materialien und Methode

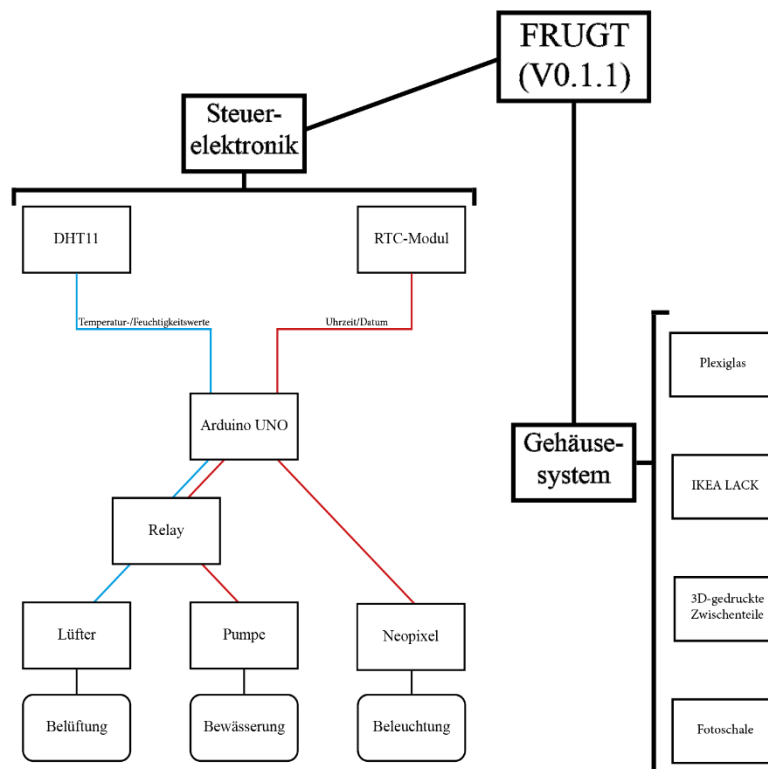


Abbildung 2, 14.01.2022, Veranschaulichung der physischen Komponenten

### 2.1 Entwicklung des Gehäusesystems

Das Gehäusesystem musste also erschwinglich und nicht zu kompliziert sein, da es sonst nicht für die breite Gesellschaft zugänglich wäre. Es sollte außerdem eine abschottende Wirkung haben, um die Umgebung, in der die Pflanze wächst, durch Veränderung der Temperatur oder Luftfeuchtigkeit beeinflussen zu können.

Deshalb entschied ich mich als Grundbaustein einen Beistelltisch {1} (IKEA LACK) zu verwenden, da dieser nicht nur die Anforderungen erfüllt, sondern auch bereits weit verbreitet genutzt wird, was in Hinsicht auf Upcycling praktisch ist.

In den Tisch werden Markierungen {2} und ein Ausschnitt eines Quadrats {3} gefräst, indem eine Fotoschale mit Substrat und den Pflanzen platziert wird.

Um die abschottende Wirkung zu erzielen, nutzt das System Plexi- oder Hobbyglasscheiben {4}, die auf die passenden Maße gefräst sind. Sie dienen ebenfalls als Halterung für die Belüftung {5}.

3D-gedruckte Zwischenteile {6} halten die Plexi-/Hobbyglasscheiben zusammen. Diese halten außerdem die Türen {7} und fungieren als Scharniere für diese. Die Zwischenteile wurden bei dem ersten Prototyp (dem V0.1.1) aus PLA (Polylactid) gedruckt. Bei dem zweiten Prototyp (dem V0.1.2.) wurde PETG (Polyethylenterephthalat) aufgrund der erhöhten UV-Beständigkeit und Bruchfestigkeit (Q2) verwendet.

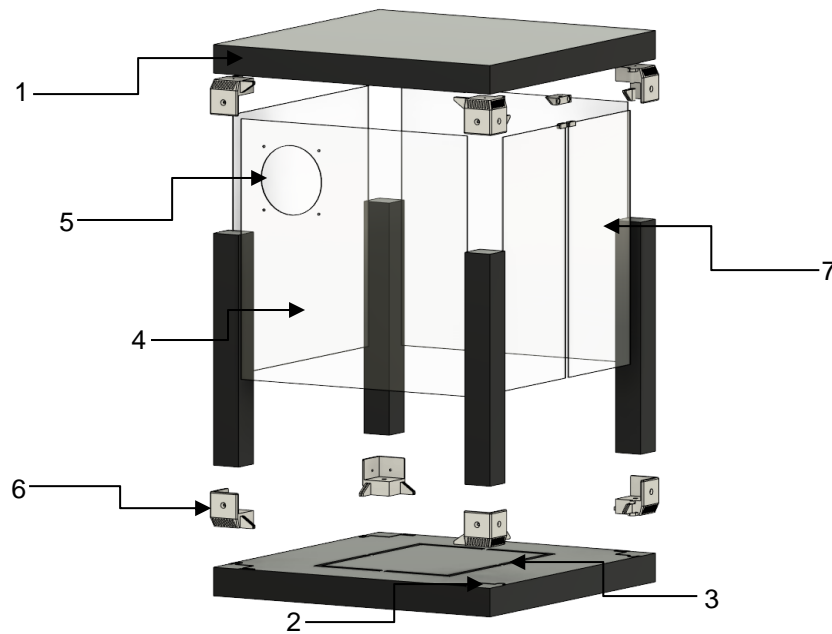


Abbildung 1, 22.12.2021, Explosionsansicht Gehäusesystem

Als das Gehäusesystem des ersten Prototyps aufgebaut wurde, offenbarte sich ein Problem: Die Scharniere der 3D-gedruckten Zwischenteile für die Türen, die in Abbildung 1 zu sehen sind, brachen sehr leicht ab weswegen diese verstärkt (Abbildung 3) wurden und in den zweiten Prototyp verbaut wurden.

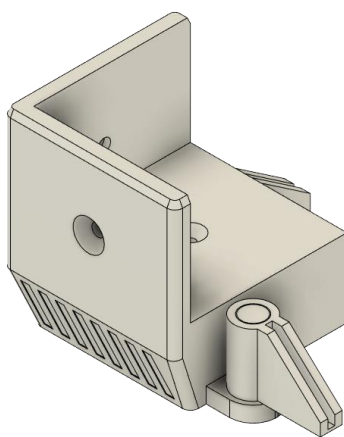


Abbildung 2, 23.12.2021, V0.1.1 Zwischenteil für Tür

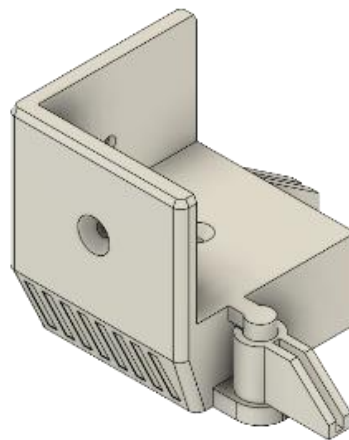


Abbildung 3, 23.12.2021, V0.1.2 Zwischenteil für Tür

## 2.2 Überprüfung der Funktion unter natürlichem Sonnenlicht

Der erste Test erfolgte vom 29.03.2021 bis zum 05.04.2021 und sollte die Funktion des Gehäusesystems testen. Er fand auf visueller Ebene statt.

Mehrere Gartensalat-Setzlinge wurden Draußen in einem Hochbeet und Innen in dem ersten Prototyp gepflanzt. Als Substrat wurde sowohl beim Hochbeet als auch bei dem Prototyp Erde verwendet. Der Prototyp stand mit Raumtemperatur an einer Fensterfront in Südrichtung.

Am Ende der 8 Tage waren die Pflanzen in dem Prototyp bedeutend größer als die Pflanzen in dem Hochbeet. Verantwortlich für diese Entwicklung könnte die erhöhte Temperatur in dem Prototyp gewesen sein. Dies zeigte, dass das System grundsätzlich unter natürlichem Sonnenlicht funktioniert.



Abbildung 4, 05.04.2021, Pflanzen im Hochbeet



Abbildung 5, 05.04.2021, Pflanzen im Prototyp am Fenster

## 2.3 Entwicklung der Steuerelektronik

Die Steuerelektronik des ersten Prototyps, die bei allen Versuchen in den Einsatz kam (V0.1.1) verwendet als Herzstück einen Arduino UNO.

An diesem ist ein DHT11 Sensor angeschlossen, der die Temperatur und Feuchtigkeit der Umgebung innerhalb des Gehäuses misst und anhand dessen die Belüftung an- oder ausschaltet.

Die Belüftung und die Pumpe wird durch einen 2 Channel Relais gesteuert.

Der Arduino verfügt außerdem über ein Real-Time-Clock-Modul, welches durch Zeitmessung die Uhrzeit und die Wochentage bestimmt.

Die Beleuchtung besteht aus einem WS2812B (oder Neopixel) RGB-LED Leuchtstreifen, der zeitgesteuert an oder ausgeschaltet wird.

Die Neopixel werden durch ein step-down Modul, dass die 24V des Netzteils zu 5V herunterregelt, mit Strom versorgt. Sie beleuchten die Pflanzen mit Licht im Wellenlängenbereich zwischen 465 und 630nm.

Die Bewässerung wird durch das bereits erwähnte Relais nach einem Wochenplan, gesteuert.

Die Software benutzt eine Bibliothek zur Ansteuerung des DHT Sensor (Q3), der RTC (Q4) und der Neopixel (Q5), die alle von Adafruit entwickelt worden sind. Sie ist phasenweise aufgebaut (durchläuft also immer wieder). In einer Phase werden Werte kontrolliert und dementsprechend Steuerungselemente (z.B. die Belüftung) aktiviert. Sie dauert je nach Steuerungsmaßnahmen 1 bis 2 Minuten.

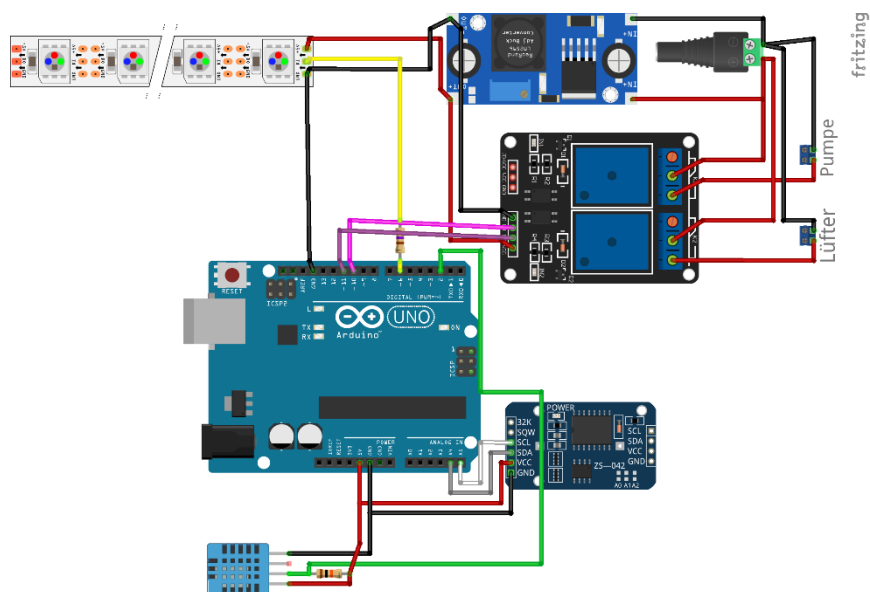


Abbildung 6, 24.12.2021, Schaltplan der Elektronik

## 2.4 Erster Versuch zur Funktionsfähigkeit unter suboptimalen Bedingungen

Dieser Versuch sollte zeigen, wie gut das System suboptimale Bedingungen ausgleichen kann. Hierfür wurde der erste Prototyp in einen Keller mit geringster Lichtzufuhr platziert. Es wurden Gartensalat-Samen in Quelltabletten positioniert, die von Seramis Tongranulat umgeben waren.

Die Steuerelektronik schaltete bei über 22°C oder einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 67% die Belüftung an. Die Photoperiode (die tägliche Belichtungszeit) betrug 18 Stunden. Der Lichtbogen bestand aus einem der Band aus 71 Neopixeln, die an einem 3D-gedrucktem Bogen befestigt wurden. Das Licht wurde nacheinander in einem Farbübergang geändert und bestand aus:

Dauer (sek)	Farbe	RGB-Farbcode (R, G, B)	Verzögerung beim Übergang zwischen den Neopixeln (ms)
10	Rot	(255, 0, 0)	70
10	Orangerot	(255, 69, 0)	70
10	Gelb	(255, 255, 0)	50
10	Grün	(0, 255, 0)	50
10	Magenta	(255, 0, 255)	50
10	Violett	(238, 130, 238)	50
10	Navy Blau	(0, 0, 128)	50
12	Blau	(0, 0, 255)	50

Die Pflanzen wurden jeden Montag, Mittwoch und Freitag von Hand bewässert, da sich der 3D-gedruckte Tank als undicht erwiesen hatte. Das Bewässerungswasser bestand aus Leitungswasser und einer Nährstofflösung, die auf einen Liter Leitungswasser folgende Bestandteile beinhaltete:

- 0,4% gebundener Stickstoff
- 0,3% Phosphat
- 1,1% Kaliumoxid

Da die Luftfeuchtigkeit stetig zu hoch war und die Belüftung die Luftfeuchtigkeit nur punktuell (bzw. außer- und innerhalb des Systems) ändern kann wurde zusätzlich ein Luftentfeuchter in das System platziert. Dadurch blieb die relative Luftfeuchtigkeit fast konstant unter dem Maximalwert von 67%.

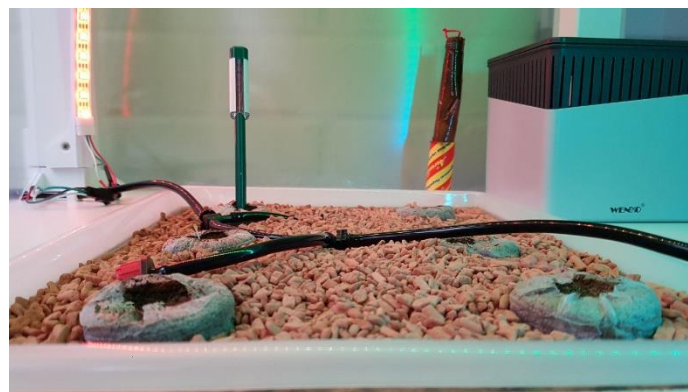


Abbildung 7, 14.09.2021, Versuchsaufbau

Nun begann der Versuch am 12.09.2021 und dauerte bis zum 11.10.2021 an. Am 17.09.2021 waren alle Pflanzen, die an diesem Versuch teilnahmen, gekeimt. Am 27. 09.2021 war das Wachstum bereits bei allen Pflanzen gestoppt und die erste Pflanze ging ein. Am 01.10.2021 begannen die restlichen Pflanzen einzugehen was bis zum 11.10.2021 zu dem Tod aller Pflanzen führte.





Abbildung 8, 01.10.2021, gekeimte Pflanze nach 15 Tagen



Abbildung 9, 11.10.2021, Pflanze kurz vor dem Eingehen nach 25 Tagen

Dieses Ergebnis deutet stark auf Lichtmangel hin, da die Pflanzen Anzeichen auf Etiolierung aufwiesen. Abbildung 11 zeigt zwei Pflanzen: eine etiolierte Pflanze (links) und eine gewöhnliche Pflanze (rechts). Die etiolierte Pflanze in Abbildung 11 weist eine auffallende Ähnlichkeit mit den Pflanzen in Abbildung 10 auf, der Teil des Versuchs waren.



Abbildung 10, 23.09.2021, gekeimte Pflanze nach 7 Tagen

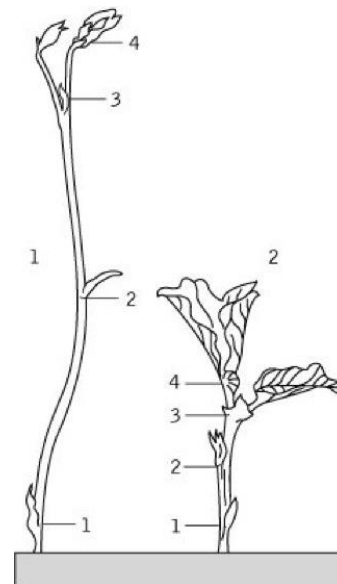


Abbildung 11, (Q6)

## 2.5 Bestimmung der Wellenlängen und Beleuchtungsstärke

Da Etiolierung bei mangelndem Licht auftritt, wurde die Beleuchtungsstärke und das Spektrum des ersten Versuchsaufbaus gemessen.

Hierbei wurde eine durchschnittliche Beleuchtungsstärke von 81 lx vom am weitesten entfernten Punkt zu den Pflanzen von dem Beleuchtungsbogen in einer Phase der Software festgestellt. Der Höchstwert betrug 150 lx. Außerdem hatten verschiedene Farben verschiedene Beleuchtungsstärken was sich auf die RGB-Funktionsweise der Neopixel zurückführen lässt. So hatte Rot den Höchstwert 58 lx, Grün 52 lx und Blau 78 lx.

Ein Sommertag kann mittags in Mitteleuropa 90 000 lx erreichen (Q7). Hierbei sollte man beachten das die Beleuchtungsstärke an das die Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges (die V-Lambda Kurve) angepasst ist.

Dennoch lässt sich vermuten, dass die Beleuchtungsstärke zu niedrig ist, da 90 000 lx das 600-fache des Höchstwerts der Beleuchtungsstärke des ersten Versuchsaufbaus ist.



### Beleuchtungsstärken des ersten Versuchsaufbaus

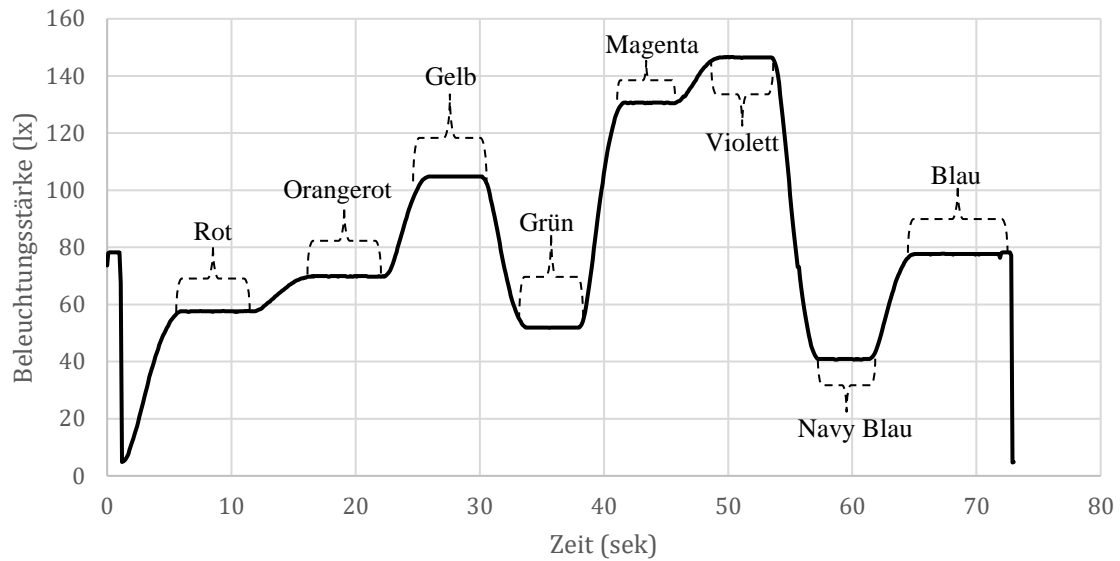


Abbildung 12, Beleuchtungsstärken des ersten Versuchsaufbaus

Da nicht nur eine geringfügige Beleuchtungsstärke, sondern auch nicht vorhandenes Licht mit spezifischer Wellenlänge (Q8) ein Faktor für die Photomorphogenese (also die Formgestaltung einer Pflanze) sein kann wurden die Spektren der Grundfarben der LED-Beleuchtung gemessen.

### Spektrum des ersten Versuchsaufbaus

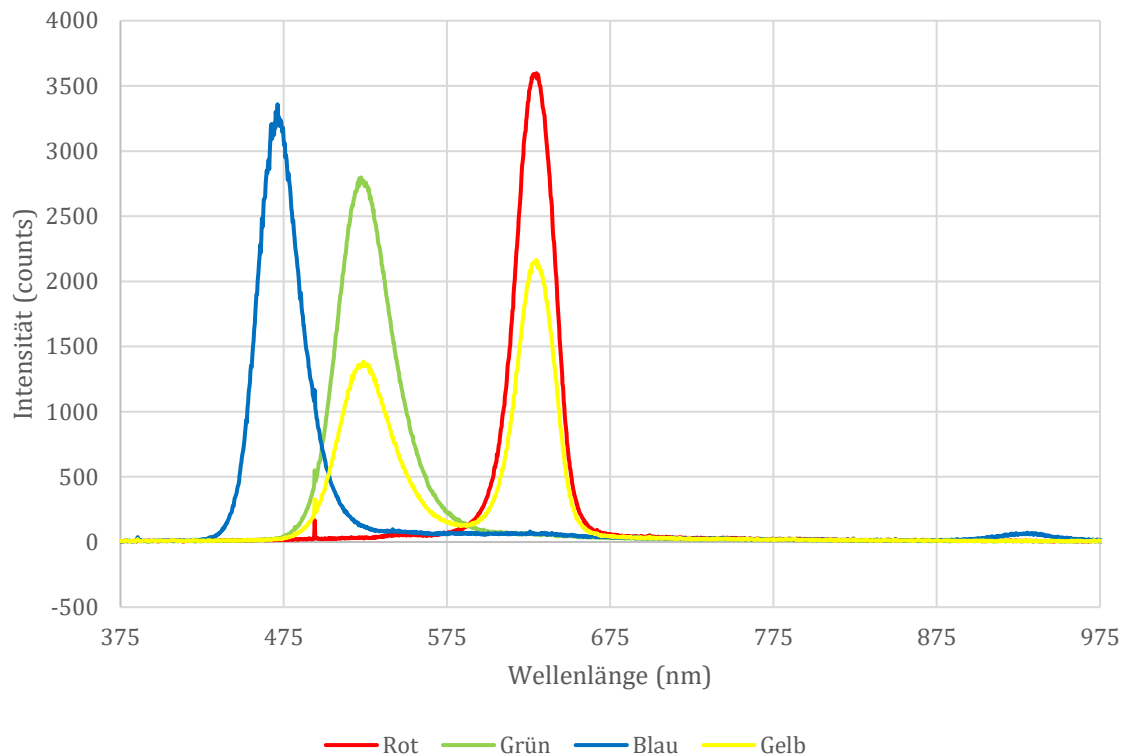


Abbildung 13, Spektrum des ersten Versuchsaufbaus

Das Maximum des Peaks von Rot betrug 629nm, das von Grün 522nm und von blau 471nm. Bei der Farbe Gelb wird Rot und Grün angeschaltet was durch additive Farbmischung zu einem gelben Farbeindruck führt. Das Spektrum ändert sich dadurch jedoch nicht.

Die Wellenlänge von Blau und Rot fällt in den ersten und zweiten Peak des Absorptionsspektrums (welches abhängig vom Lösungsmittel ist) von Chlorophyll b (Q9). Die Wellenlänge von Grün hingegen fällt in das Absorptionsspektrum der weniger auftretenden Carotinoide (Q10). Jedoch absorbiert Chlorophyll a etwas weniger der 3 Wellenlängen, obwohl dieses ein essenzielles Farbpigment für die Photosynthese ist.

## 2.6 Veränderungen zugunsten der Photomorphogenese

Aufgrund des fehlenden Lichts in den Wellenlängen für Chlorophyll a bzw. Fotorezeptoren (Q11) und der zu geringen Beleuchtungsstärke wurde eine UV-Lampe, die für das Trocknen von 3D-Drucken entwickelt worden ist, in den Versuchsaufbau eingebaut. Sie wird durch ein zusätzliches Relais am Anfang einer Phase eingeschaltet.

Zusätzlich wurde die Verzögerung beim Übergang zwischen den Neopixeln von 50 auf 100 Millisekunden erhöht, um möglichen Stress durch den Farbwechsel zu reduzieren und die UV-Lampe in die Phasen integrieren zu können.

Die neuen Beleuchtungsstärken einer Phase und das neu hinzugefügte Spektrum der UV-Lampe wurde gemessen.

Beleuchtungsstärken des zweiten Versuchsaufbaus

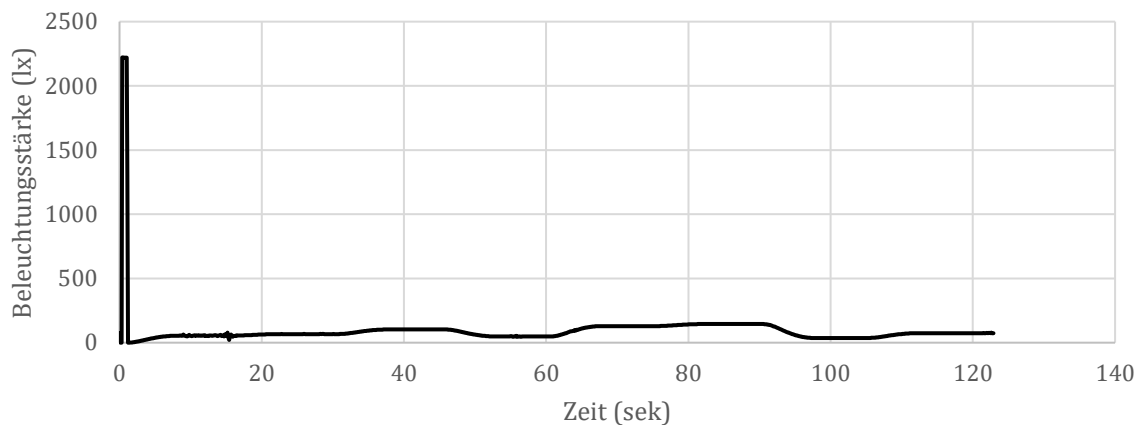


Abbildung 14, Beleuchtungsstärken des zweiten Versuchsaufbaus

Spektrum der UV-Lampe

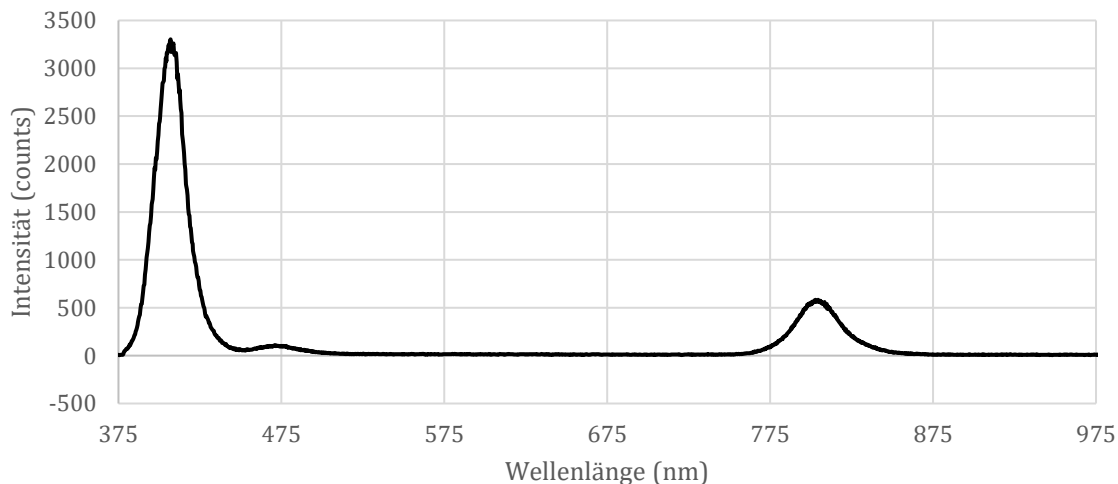


Abbildung 15, Spektrum der UV-Lampe

Die durchschnittliche Beleuchtungsstärke erhöhte sich von 81 lx auf 94 lx. Der Höchstwert der Beleuchtungsstärke erhöhte sich durch den Peak der UV-Lampe von 150 lx auf 2200 lx. Das Spektrum der UV-Lampe zeigte den höchsten Peak bei 406nm und einen bedeutend niedrigeren Peak bei 804nm.

### 3. Zweiter Versuch zur Funktionsfähigkeit unter suboptimalen Bedingungen

Neben den Veränderungen zugunsten der Photomorphogenese, wurde in den zweiten Versuchsaufbau eine Raspberry-Pi Kamera verbaut, die jede 3 Stunden die Pflanzen fotografiert. Der Versuch begann am 03.01.2022 und endete am 14.01.2022. Am 07.01.2022 waren alle Pflanzen, die an diesem Versuch teilnahmen, gekeimt. Am 14.01.2022 endete das Experiment, da das Wachstum bei den meisten Pflanzen bereits gestoppt war.

Die Pflanzen waren in der Formgestaltung, denen im ersten Versuch sehr ähnlich und zeigten ebenfalls Anzeichen auf Etiolierung auf. Abbildung 16 und 17 zeigen die Formgestaltung der Pflanzen in beiden Versuchen 6 Tage nach ihrer Keimung. Hierbei wurde sich auf die 2 größten Pflanzen in beiden Abbildungen bezogen.



Abbildung 16, 13.01.2022, größte Pflanze im neuen Versuchsaufbau nach 6 Tagen



Abbildung 17, 21.09.2021, größte Pflanze im alten Versuchsaufbau nach 6 Tagen

### 4. Ergebnisdiskussion

Es wurde ein Gehäusesystem für den Pflanzenanbau entwickelt, welches erschwinglich ist und eine abschottende Wirkung besitzt.

Es wurde außerdem eine Steuerelektronik entwickelt, die Temperatur, Feuchtigkeit und Beleuchtung erfolgreich steuert.

Bei der Messung der Beleuchtungsstärken und Spektren aufgrund der Anzeichen auf Etiolierung beim ersten Versuch wurde ein Mangel an Licht in Wellenlängen, die von Fotorezeptoren absorbiert werden, festgestellt.

Der Versuch die Photomorphogenese durch eine UV-Lampe positiv zu beeinflussen, brachte eine gleich etiolierte Formgestaltungen der Pflanzen. Dies deutet stark auf eine zu geringe Beleuchtungsstärke hin. Die Neopixel werden in Zukunft von beleuchtungsstärkeren Mitteln ersetzt und überprüft.

## 5. Zusammenfassung

Das entwickelte Gehäusesystem wurde erst auf seine Funktion unter natürlichem Sonnenlicht an einer Fensterfront getestet. Dies zeigte, dass das System grundsätzlich unter natürlichem Sonnenlicht funktioniert.

Als nächstes wurde das Gehäusesystem und die Komponenten der Elektronik unter suboptimalen Bedingungen getestet. Die Pflanzen hatten nun starke Anzeichen auf Etiolierung, weswegen die Beleuchtungsstärke und das Spektrum gemessen wurde.

Hierbei wurde eine durchschnittliche Beleuchtungsstärke von 81 lx und 3 Peaks von Rot: 629nm, Grün: 522nm und blau: 471nm gemessen.

Aufgrund dieser Messwerte wurde eine UV-Lampe installiert, die die Beleuchtungsstärke in einem kurzen Zeitraum stark erhöht und das Spektrum im nahen Ultravioletten und Infraroten Bereich erweitert.

Daraufhin wurden die Elektronik und das Gehäusesystem erneut unter suboptimalen Bedingungen getestet. Dabei zeigten die Pflanzen gleiche Anzeichen auf Etiolierung, was stark auf eine zu geringe Beleuchtungsstärke hindeutet.

Vor weiteren Versuchen muss daher zuerst die Beleuchtungsproblematik gelöst werden. Darüber hinaus gehend sollen in Zukunft andere Möglichkeiten, die dieses System bietet, entwickelt und untersucht werden: Beispielsweise ein simulierter Sonnenzyklus durch den Beleuchtungsbogen im Hybridbetrieb oder ein Peltier-Element-Luftentfeuchter.

## 6. Quellen- und Literaturverzeichnis

- Q1: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1222072/umfrage/anzahl-naturkatastrophen/#professional>,  
22.12.2021 05:36, Statistik Naturkatastrophen von 1980-1999 und 2000-2019.
- Q2: <https://rewex.de/materialien/>,  
23.12.2021 09:37, Materialeigenschaften.
- Q3: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>,  
24.12.2021 16:49, DHT Sensor Bibliothek.
- Q4: <https://github.com/adafruit/RTClib>,  
24.12.2021 16:53, RTC Bibliothek.
- Q5: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_NeoPixel](https://github.com/adafruit/Adafruit_NeoPixel),  
25.12.2021 13:15, Neopixel Bibliothek.
- Q6: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/etiolement/3893>,  
30.12.2021 11:50, Kompaktlexikon der Biologie, Etiolierung.
- Q7: DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen. Teil 2: Grundlagen. Beuth, Berlin 1985.
- Q8: Kendrick, R.E., Photomorphogenesis in Plants
- Q9: <https://www.mpsd.mpg.de/42776/2015-04-chlorophyll-rubio>,  
10.01.2022 06:11, Die wahre Farbe von Chlorophyll.
- Q10: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/carotinoide/12331>,  
10.01.2022 06:16, Lexikon der Biologie, Carotinoide.
- Q11: <https://academic.oup.com/plphys/article/133/4/1437/6103444>,  
14.01.2022 06:49, Oxford Academic, The Red Side of Photomorphogenesis.

## 7. Unterstützungsleistungen

Ein großes Dankeschön an alle, die mich während der Arbeit unterstützt haben. Besonders hervorzuheben sind:

- Dr. Joachim Groß, Lehrer und Leiter des Schülerforschungszentrums in Eningen unter Achalm, Graf-Eberhard-Gymnasium, 72574 Bad Urach, Art der Unterstützung: Finanzielle Regelung und Betreuer
- Stiftung, Baden-Württemberg-Stiftung, 70174 Stuttgart, Art der Unterstützung: Unterstützung durch Forschungsgelder.