



Vertikale Begrünung von Hauswänden

1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis	1
2. Konzept.....	2
3. Dokumentation	5
4. Reflexion.....	12
5. Literaturverzeichnis	15
6. Anhang.....	16

2. Konzept

Die Idee der Projektarbeit war, eine neuartige nachhaltige Wandbegrünung zu entwickeln, die möglichst überall an Hauswänden, besonders in der Stadt, eingesetzt werden kann. Damit kann ein Beitrag geleistet werden, um Städte zu begrünen und klimafreundlicher zu machen, so wie es auch in den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen formuliert ist. [1]

Als Inspiration für das Thema dienten die Arbeiten von Patrick Blanc, von denen wir einige Bilder von begrünten Hausfassaden im Internet gesehen haben. [2]

Vertikale Begrünung ist gerade bei unserer aktuellen Klimaproblematik ein wichtiges Thema. Da zunehmend Grünflächen für Gewerbe, Industrieanlagen und dem Häuserbau in Städten weichen müssen, ist es wichtig, alternative Möglichkeiten für Grünflächen zu finden. Dafür bietet sich die Begrünung von Hauswänden perfekt an. Neben dem Beitrag zum Klimaschutz können Pflanzen die Luftfeuchtigkeit regulieren, Schadstoffe filtern und im Sommer die Hauswände kühlen, damit man auf Klimaanlage verzichten kann. [3]

Gerade in der Zukunft kann die Kühlung von Häusern auch in Deutschland wegen des klimabedingten Temperaturanstiegs eine immer wichtigere Rolle spielen. Hierfür sind Wandbegrünungen durch ihre ständige Wasserverdunstung besonders gut geeignet. Zudem können vertikale Gärten sowohl eine Bereicherung für das Wohlbefinden der Menschen, als auch Lebensgrundlage für Insekten, zum Beispiel Bienen und Schmetterlinge, sein.

Die Grundidee zur Verwirklichung solcher Wandbegrünungen waren Modulkästen mit einer festen, einheitlichen Größe, die wie Bausteine auf einer beliebig großen Wandfläche angebracht werden können.

Durch diesen modularen Aufbau soll ermöglicht werden, dass sie wie Solarpanels beliebig kombiniert und erweitert werden können.

Die bereits existierenden Wandbegrünungen sind in der Regel Maßanfertigungen für die jeweilige Fläche. Somit sind sie sehr teuer und die Konstruktion sehr aufwändig. Ein nachträgliche Änderung oder ein Umbau ist dadurch nur schwer möglich.

Die geplante Modulbauweise ermöglicht ein System, das vielfach eingesetzt werden kann und einfach zu installieren ist. Die Module haben immer eine feste Größe von 50cm · 100cm und eine Tiefe von 14cm. Diese Maße schienen nach einigen Überlegungen als am besten geeignet. Einerseits sollte das Modul genug Volumen für die Wasserspeicherung und das Pflanzenwachstum besitzen, andererseits nicht zu schwer sein, um es ohne größeren Aufwand transportieren und montieren zu können.

Alle Module sollen komplett automatisch bewässert und gedüngt werden, damit sie nach der Installation keine Pflege mehr benötigen. Der Plan war also, rechteckige Kästen zu bauen, die auf der Vorderseite ein Gitter haben, damit die Pflanzen dort herauswachsen können. Die Module sollen mit Erde und anderen umweltfreundlichen Substraten gefüllt werden.

Für die Montage an der Hauswand muss eine Konstruktion entwickelt werden, an der sich die Module beliebig montieren lassen und das Gewicht tragen können.

Da bisherige Konzepte oft auf nicht nachhaltigen Materialien, wie Kunststoff als Baumaterial oder Steinwolle als Füllstoff basieren, war für diese Projektarbeit besonders wichtig, dass die verwendeten Materialien möglichst umweltfreundlich sind, damit das Projekt eine zukunftsweisende Alternative bietet.

Das Füllmaterial der Module spielt eine entscheidende Rolle. Die eingesetzten Materialien müssen einerseits eine gute Wasserspeicherung besitzen und andererseits den Pflanzen ausreichend Halt

bieten können. Hierbei fiel die Wahl auf einen Mix aus Hanffaser, Kokosfasermatte, Blähton und Blumenerde. Die Nährstoffzugabe sollte hauptsächlich über das Bewässerungssystem erfolgen. Ein Maschendrahtgeflecht soll das Füllmaterial im Modul halten.

Für die Pflanzenauswahl gibt es mehrere Kriterien, die zu beachten sind: Es sollen am besten Samen sein, die Pflanzen sollen mehrjährig sein, nicht viel größer als 20cm werden und entweder insektenfreundlich oder essbar sein. Außerdem muss die Bepflanzung dem jeweiligen Standort und mit der einhergehenden Sonneneinstrahlung und den vorherrschenden Temperaturen angepasst werden. Ideal sind Pflanzen, die das ganze Jahr oder zumindest viele Monate grün bleiben.

Die Idee für die automatische Bewässerung und Düngung war, ein System zu entwickeln, mit dem alle Module einzeln, entsprechend ihrem jeweiligen Bedarf, bewässert und zusätzlich noch gedüngt werden können. Umgesetzt werden sollte die Steuerung mit einem Arduino Uno.

Das Konzept des Bewässerungs- und Düngungssystems

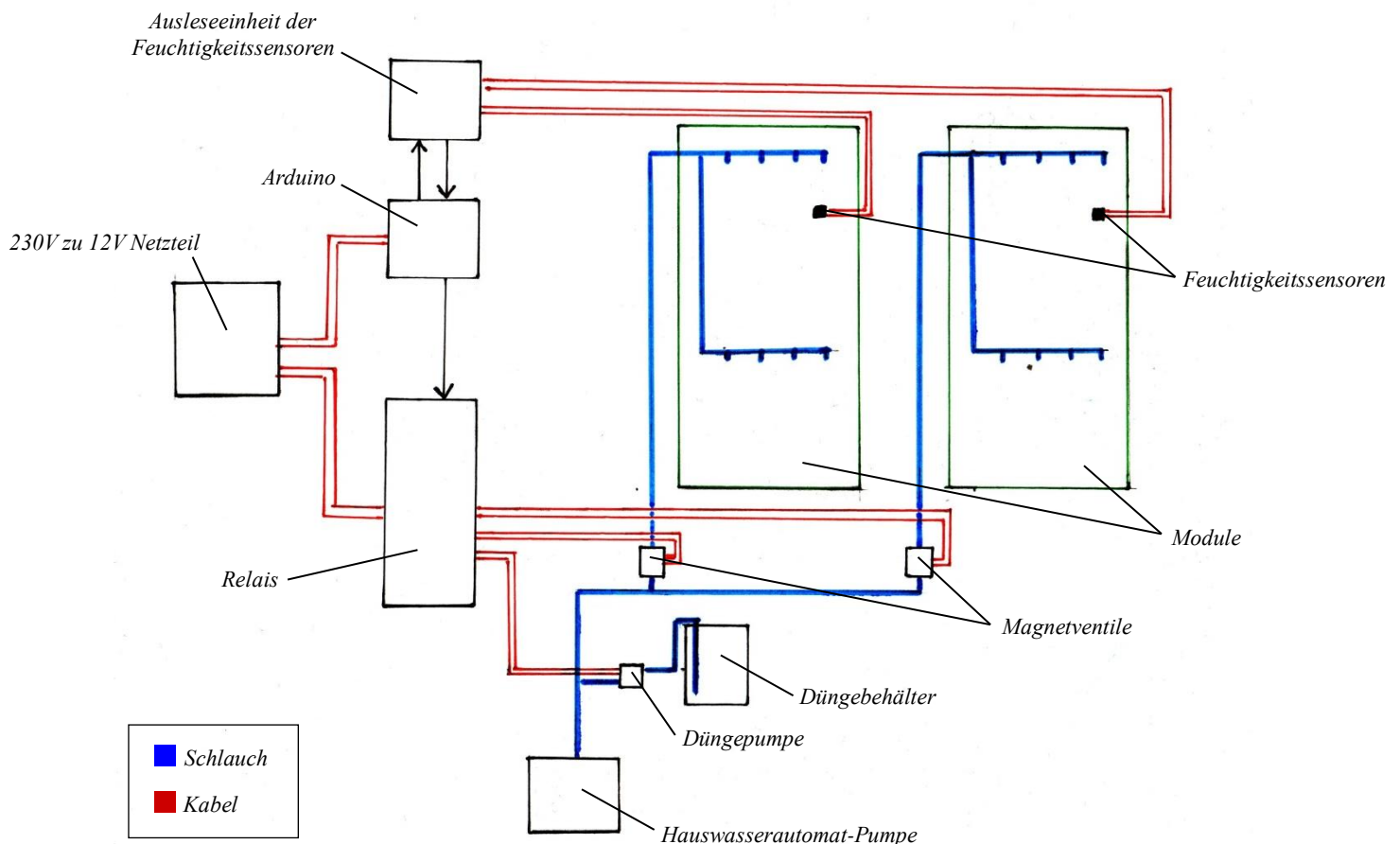


Abbildung 1 Aufbau des Bewässerungs- und Düngungssystems

Abb.: Das Konzept des Bewässerungs- und Düngungssystems

In der Planung für die automatische Bewässerung und Düngung wurden für die spätere Umsetzung folgende Punkte festgelegt:

Die Wasserpumpe soll über ein Schlauchsystem mit den Modulen verbunden sein.

In jedem Modul wird mindestens ein Feuchtigkeitssensor montiert, der die Feuchtigkeit im Modul misst und an den Arduino weiterleitet.

Alle Module können einzeln bewässert und gedüngt werden. Daraus ergab sich die Idee, die Bewässerung über Magnetventile, die an den Modulen sitzen und im Normalzustand geschlossen sind, den Zufluss des Wassers zu steuern.

Da eine Hauswasserautomat-Pumpe benutzt wird, kann der benötigte Druck dauerhaft aufrechterhalten werden, genauso wie bei einer Hauswasseranlage. Da immer Druck auf der Leitung ist, kann durch das Öffnen der Magnetventile direkt die Bewässerung erfolgen. Durch diese Vorgehensweise muss die Pumpe nicht extra angesteuert werden und das Arbeiten mit 230V wird vermieden, da dies kompliziert und nicht ungefährlich ist.

Eine zusätzliche, kleine Düngepumpe ermöglicht über ein T-Stück die Zuführung von Flüssigdünger in den Schlauch der Wasserpumpe. Über den Druck dieser Pumpe, der im Vergleich zur Wasserpumpe niedrig sein soll, kann das Mischverhältnis im T-Stück geregelt werden. Da die Düngepumpe nur in einem festgelegten zeitlichen Abstand laufen soll, muss gesichert sein, dass das Wasser der Bewässerungs-Pumpe nicht über das T-Stück in die Düngepumpe läuft. Dafür muss beim T-Stück an dem Anschluss der Düngepumpe ein Rückschlagventil eingebaut werden.

Die Programmierung

Das Programm muss folgenden Vorgaben entsprechen:

Für die Feuchtigkeit der Module gibt es einen Toleranzbereich. Dabei ist der obere Wert die minimale Feuchtigkeit und der untere Wert die maximale. Das Programm muss die Feuchtigkeit in den Modulen immer zwischen diesen beiden Werten halten.

Die große Bewässerung findet einmal am Tag statt. Dazu wird der Feuchtigkeitswert abgefragt und die Module im Anschluss bis zum unteren Wert des Toleranzbereichs bewässert. Für den Fall, dass ein Modul, zum Beispiel durch Regen, schon sehr feucht ist, darf diese große Bewässerung nicht stattfinden.

Als Schutz gegen enorme Trockenheit zwischen den großen Bewässerungen erfolgt, wenn nötig, stündlich eine kleine Bewässerung, bis die obere Grenze des Toleranzbereichs erreicht ist.

Die Düngung soll alle zwei Tage zusammen mit der großen Bewässerung stattfinden. Dadurch wird der Dünger automatisch verdünnt kann gleichmäßig in die Kästen verteilt werden. Falls die große Bewässerung aufgrund hoher Feuchtigkeit ausfällt, wird trotzdem für eine kurze Zeit gedüngt, wobei dementsprechend auch kurzzeitig Wasser fließen muss.

Das Programm selbst wird am PC geschrieben. Die fertige Software wird vom Computer auf den Arduino Uno übertragen und läuft dann automatisch und ohne Pausen, wenn das System eingeschaltet ist. Nach der Übertragung muss der PC nicht mehr mit dem Arduino verbunden sein.

3. Dokumentation

Nachdem das grobe Konzept fertig war, wurde die Konstruktion für die Module endgültig festgelegt und mit dem Bau begonnen.

Bau der Module: 04.10.19 – 18.10.19

Für die Rechteck-Konstruktion der Module wurden Aluminiumschienen (Aluminium Nut 8 Systemprofile) verwendet. Die Schienen sind über ein 10 cm hohes und 8 mm dickes Alu-Flachmaterial verbunden. Diese Konstruktion erwies sich nach mehreren Versuchen als am stabilsten und mit den vorhandenen Werkzeugen am besten umsetzbar. Außerdem war die Eigenschaft von Aluminium, sehr leicht zu sein, ein weiteres Kriterium dafür, dass die Module nur aus diesem Material gebaut werden konnten, trotz der Probleme von Alu hinsichtlich Herstellung und Umweltbilanz. Auf die Umweltaspekte von Aluminium wird in der Reflexion auf S.14 eingegangen.



Abbildung 2 Die Rechteck-Konstruktion der Module

Vier Module wurden gebaut, die sich vom Aufbau her nicht unterscheiden.

Noch vor den Herbstferien wurde eine Einkaufsliste für die Modul-Konstruktion erstellt und in den Ferien wurden die vier Module gebaut. Gerade am ersten Modul gestaltete sich zunächst die Montage als sehr schwierig. Viele kleinere Planungsfehler konnten erst beim Zusammenbau entdeckt werden. Zusätzlich nahm das Ablängen der Materialien im richtigen Maß und Winkel mehr Zeit in Anspruch als geplant, da alles mit einer einfachen Handsäge bewältigt werden musste, weil kein besseres Werkzeug zur Verfügung stand.

Aufgrund der kleineren Planungsfehler fehlte auch immer wieder Material, welches dann nachbestellt werden musste und so den Zusammenbau der vier Module verzögerte.



Abbildung 3 Fertige Rahmen der Module

Letztendlich nahm der Zusammenbau der Module die gesamten Herbstferien in Anspruch.

Die kompletten Arbeiten für die Module mussten wegen der Jahreszeit drinnen stattfinden. Dafür stand eine Scheune zur Verfügung.

1. Testphase der Module: 17.10.2019 – 28.12.2019

Am 17.10. wurden die ersten zwei Module für den ersten Testversuch in der ausgebauten, beheizten Scheune bepflanzt und mit künstlichem Tageslicht beschienen.

Hierbei wurden die Maschen des Maschendrahtgeflechts variiert. Das Füllmaterial wurde bei allen Modulen gleich aufgebaut (siehe Abb. 4)

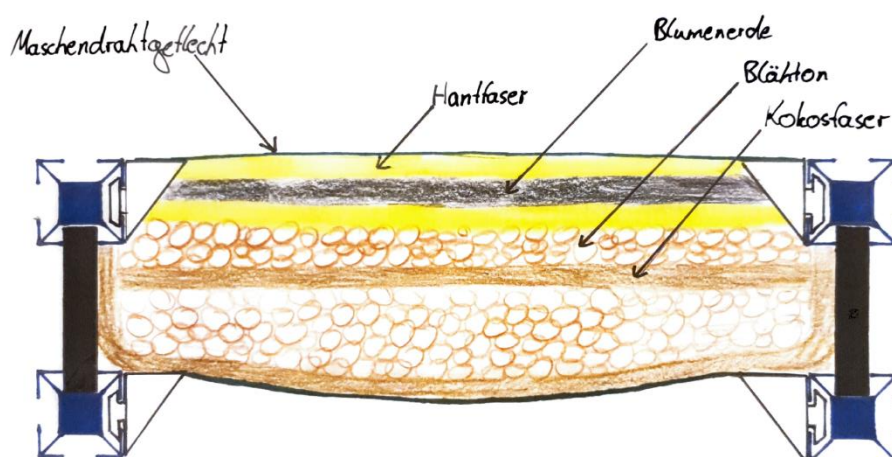


Abbildung 4 Querschnitt der Module mit dem Füllmaterial

Für die Auswahl der Pflanzen gab es viele Kriterien, die zu erfüllen waren, um eine langfristige Begrünung zu gewährleisten:

Die Bepflanzung an der Hauswand sollte nahezu pflegefrei sein und allein über die automatische Bewässerung und Düngung zu regulieren sein. Die Pflanzen müssen mehrjährig sein und einen Mehrwert für die Umwelt bieten. Dabei standen die Bienenfreundlichkeit und die Essbarkeit im Vordergrund. Selbstverständlich haben auch große Temperaturschwankungen an Hauswänden und die unterschiedliche Sonneneinstrahlung Einfluss auf die Bepflanzung.

Nach Internet- [6] und Literaturrecherchen [7,8] gab es im November bei der NABU Geschäftsstelle in Bremen-Vahr ein Gespräch mit der Biologin Jessica Wildner, bei dem sich über die Bepflanzung der Module informiert werden sollte. Geplant war dabei auch die Teilnahme der Pflanzenexpertin, die an diesem Termin aber leider krank war und kurz danach beim NABU aufgehört hat.

Die Auswahl an Saatgut war im Herbst sehr eingeschränkt, sodass nicht alle Ideen zur Pflanzenauswahl umgesetzt werden konnten.

Bepflanzt wurde das erste Modul letztendlich mit einer Nützlingswiese-Saatmischung der Firma Sperli. Das andere Modul wurde mit Lavendel, Bärlauch und Thymian Saatgut bepflanzt.

Beide Module wurden mit einer Hilfskonstruktion aus Holz senkrecht aufgestellt. Dieser Testversuch dauerte etwa bis Ende des Jahres 2019, die Module wurden dabei täglich per Hand bewässert, wöchentlich gedüngt und täglich mit einer Aquariumstagesleuchte ca. 8 Std. künstlich beleuchtet.



Abbildung 6 Die Holzhalterung für die Module



Abbildung 5 Die Bienenwiese nach 14 Tagen

Nach etwa 14 Tagen wurden erste Ansätze der Bepflanzung sichtbar. Zunächst erschien der Testversuch sehr vielversprechend. Besonders die Bienenwiese wuchs anfangs sehr kräftig (siehe Abb. 5).

Im späteren Verlauf verlangsamte sich das Wachstum immer mehr, bis die Bepflanzung gegen Weihnachten ganz abstarb. Die Vermutung ist, dass es hauptsächlich an echtem Sonnenlicht fehlte und die künstliche Beleuchtung diese nicht ersetzen konnte. Aufgrund der Jahreszeit war es aber nicht möglich, den Test im Freien durchzuführen.

Die Konstruktion und Befüllung der Module war ansonsten zufriedenstellend.

Nach dieser ersten Testphase ruhte das Projekt bis zu den Projektmanagement-Tagen.

Projektmanagement-Tage: 27.01.2020 – 29.01.2020

Innerhalb der Projektmanagement-Tagen wurde die weitere Planung ausgearbeitet und feste Ziele für entsprechende Meilensteine geplant. Zusätzlich wurde ein Zeitplan erstellt.

Planung des Bewässerungs- und Düngungssystems (30.01. - 09.02.)

Die Planung war sehr schwierig und langwierig, da am Ende auch alles zusammenspielen musste. Die größte Herausforderung war, den elektrischen Steuerkreis (das Kabelsystem) mit dem Bewässerungs- und Steuerungskreislauf (dem Schlauchsystem) zu verbinden.

Mehrere Planungstreffen fanden statt, in denen das Konzept für die Bewässerung und Düngung entwickelt wurde. Nachdem feststand, wie das gesamte System aufgebaut sein sollte, wurde eine Einkaufsliste erstellt und dann nach und nach das nötige Zubehör bestellt oder bei Conrad Electronic in Bremen-Habenhausen gekauft.

Programmierungsbeginn (ab 24.02. + Osterferien)

Am 24.02 wurde die Arduino IDE, also die Entwicklungsumgebung für den Arduino heruntergeladen und angefangen, sich in das Programm einzuarbeiten.

Programmierung Feuchtigkeitssensor 13.03.

Zu Testzwecken, ob der Arduino als Basis sinnvoll ist, wurden als erstes ein Arduino und ein Feuchtigkeitssensor bestellt. Der Feuchtigkeitssensor wurde an den Arduino angeschlossen und ein erstes kleines Programm geschrieben, mit dem der Sensor ausgelesen werden kann. Der Feuchtigkeitssensor gibt dabei Zahlenwerte von 0 bis ca. 1300 aus. Weil der Sensor den Widerstand zwischen den beiden Spitzen des Sensors misst, ist der Wert niedrig bei starker Feuchtigkeit und hoch bei Trockenheit.

Programmierung Relais 15.03.

Im zweiten Schritt wurde ein inzwischen geliefertes Relais integriert, mit dem die Magnetventile später angesteuert werden sollten. Dieses wurde zuerst mit dem Arduino angesteuert und später über den Feuchtigkeitssensor aktiviert. Es wurde festgelegt, dass das Relais geöffnet wurde, wenn der Wert über 1000 war. Unter dem Wert 1000 blieb das Relais geschlossen.

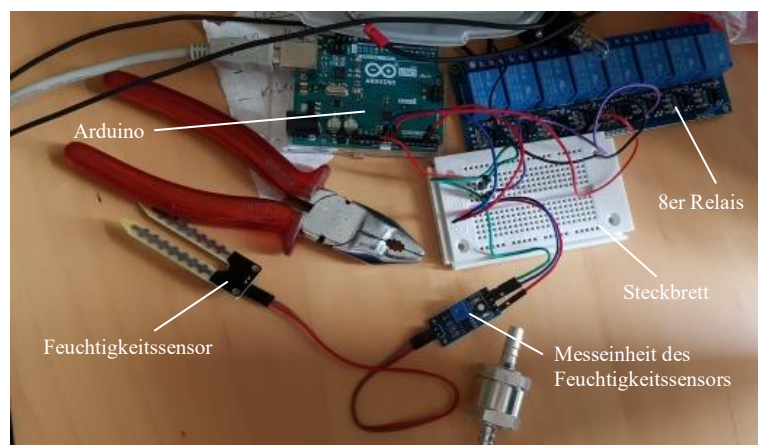


Abbildung 7 Steuerung der Relais mit dem Feuchtigkeitssensor

2. Testphase der Module: ab 21.03.2020

Im März (21.03.) wurde die zweite Testphase begonnen. Es wurde ein Gewächshaus gebaut (siehe Abb. 9), um den Pflanzen natürliches Licht anbieten zu können und so das Wachstum zu beschleunigen. Zusätzlich sind die höheren Temperaturen und der Schutz vor Wind im Gewächshaus günstig. Ebenso wie in der ersten Testphase wurden zwei Module bepflanzt. Diesmal wurde für die Bepflanzung eine Mischung aus getopften Pflanzen und Samen gewählt. Um die Topfpflanzen optimal in das Modul einsetzen zu können, wurden kleiner Löcher in das Maschengeflecht geschnitten.

Ein Modul wurde erneut mit einer bienenfreundlichen Mischung aus Bohnenkraut, Golderdbeere, Strahlenanemone und Ginster bepflanzt, das andere Modul mit Ablegern von eigenen Erdbeerpflanzen.

Anfangs wurde noch per Hand bewässert und gedüngt. Gerade gegen Nachtfröste bei den noch kleinen Pflanzen war das Gewächshaus sehr hilfreich, weshalb die Module erst am 04.04. ins Freie gebracht wurden.

Beide Module wurden in den ersten 14 Tagen waagrecht aufgestellt, um eine bessere Wurzelbildung zu gewährleisten. Sowohl für das Modul mit den Erdbeeren, als auch für das Modul mit der Bienenwiese stellte die spätere senkrechte Aufstellung kein Problem für die Pflanzen dar.

Das Wachstum der Pflanzen war von Anfang an hervorragend. Das echte Sonnenlicht und die zusätzliche Wärme im Gewächshaus brachten entscheidende Vorteile im Vergleich zur ersten Testphase.



Abbildung 8 Die bepflannten Module



Abbildung 9 Das Gewächshaus

Programmierung komplettes Programm: 28.03.2020 – 14.04.2020 (Osterferien)

Während der Programmierung war es notwendig, das Programm laufend zu testen. Auf einer Holzplatte wurden der Arduino, das Relais und sechs LEDs befestigt. Die LEDs ersetzen die Pumpen und Magnetventile im Testbetrieb (siehe Abb. 10).

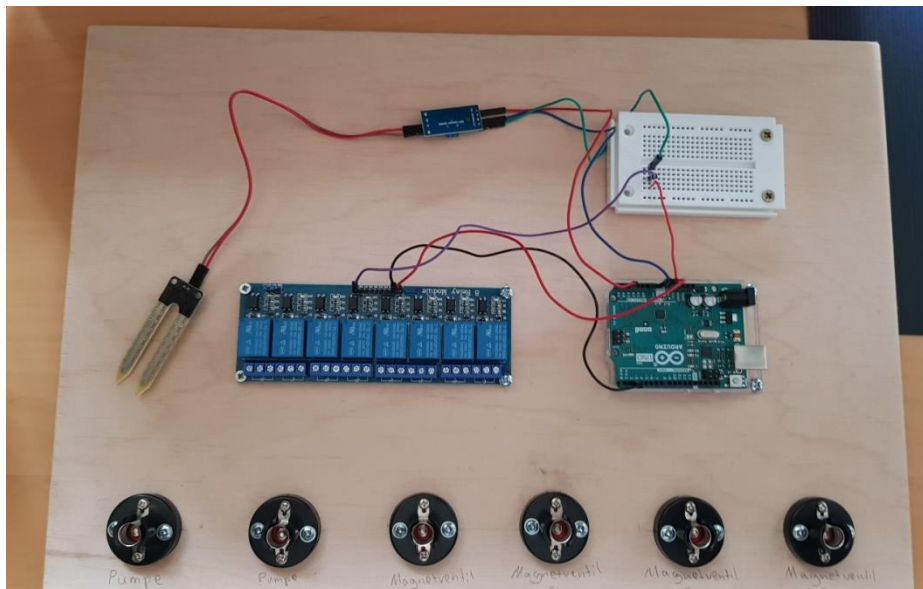


Abbildung 10 Der Aufbau für den Testbetrieb

Der erste Schritt für das richtige Programm war, in regelmäßigen Zeitabständen die Feuchtigkeit zu testen und dann die Module zu bewässern, sprich, das Relais zum Öffnen der Magnetventile zu schalten.

- Das Programm wiederholt sich
 - Das Programm prüft, ob der Feuchtigkeitwert des Sensors 1 kleiner als 700 ist
 - Das Relais für das Magnetventil 1 wird 30 Sekunden geöffnet und wieder geschlossen, wenn die Bedingung oben erfüllt ist
 - Das Programm wartet eine Stunde
- ```

void loop() {
 if(sensorValue1 <= 700){
 digitalWrite(MV1, RELAY_ON);
 delay(30*1000)
 digitalWrite(MV1, RELAY_OFF);
 }
 delay(60L*60L*1000L);
}

```

Das erste Problem ergab sich bei dem Versuch, mehrere Module gleichzeitig zu steuern. Weil der Arduino Prozesse nur hintereinander bearbeiten kann, konnten die Module nicht ohne weiteres gleichzeitig gesteuert werden. Um dieses Problem zu umgehen, wurde eine Schleife programmiert, die alle Module hintereinander testet und ggf. bewässert, solange bis alle Module den festgelegten Toleranzwert erreichen. Wenn ein Modul in der Schleife eine ausreichende Feuchtigkeit besitzt, wird es übersprungen. Die Schleife stoppt erst, wenn das letzte Modul feucht genug ist.

Als nächster Schritt wurde eine Notfallfunktion eingebaut, die bewirkt, dass jede Bewässerung und Düngung nur eine begrenzte Zeit laufen kann. Dies ist wichtig, falls ein Feuchtigkeitssensor nicht mehr richtig funktioniert. Für die Programmierung wurde der Befehl "millis()" benutzt, der die vergangene Zeit seit dem Programmstart beschreibt. Mithilfe dieses Befehls wird ein Zeitpunkt gesetzt, den das Programm regelmäßig abrufen und mit der aktuellen Zeit vergleichen. Ist die Zeitdifferenz größer als die von uns gewählten 2 Minuten, wird die Bewässerung gestoppt.

Bei der Programmierung musste beachtet werden, dass die Abstände zwischen den Bewässerungen sich um die so berechnete Dauer der Bewässerung verkürzen.

## **Test des Programms mit LEDs – Fehler**

Beim ersten Test funktionierte das Programm nicht richtig. Die Fehlersuche zog sich über mehrere Tage, denn das Programm musste mehrfach auf Fehler untersucht werden, indem einzelne Teile testweise aus dem Programm rausgenommen wurden. Letztendlich lag der Fehler darin, dass die Relais so viel Strom gezogen haben, dass der Feuchtigkeitssensor, der über die gleiche Stromversorgung läuft, verfälschte Werte ausgegeben hat. Deshalb hat der Feuchtigkeitswert nicht mehr ausgereicht, um das Programm zur Bewässerung zu schalten. Um den Fehler zu beheben wurde eine externe Stromversorgung für die Relais gekauft, damit die Spannung der Relais unabhängig vom Feuchtigkeitssensor ist.

## **Fertiges Programm (10.04)**

Am 10.04. funktionierte das Programm mit den LEDs genauso, wie es geplant war.

## **Einbau der Steuerung die Module / Verbindung mit dem Bewässerungssystem: 18.04.2020**

Der Arduino und die anderen Bauteile wurden angeschlossen und verkabelt. Nach der Installation lief beim Testen der einzelnen Bauteile alles einwandfrei, aber es wurde festgestellt, dass die Düngepumpe nicht korrekt funktioniert. Die dafür geplante Zahnradpumpe aus dem Modellbau hatte, wie erforderlich, eine geringe Förderleistung, jedoch nicht genug Kraft, um den Gegendruck dauerhaft überwinden zu können und brannte letztendlich nach 5 Minuten durch.

Ein zweiter Testversuch mit einer Benzinpumpe aus dem Kfz-Bereich erschien deutlich vielversprechender, da der Motor kräftiger war und dadurch der Gegendruck kein Problem mehr sein sollte. Stattdessen stellte sich heraus, dass die Förderleistung viel zu groß war und sich ein Mischungsverhältnis mit dem Wasser von ca. 1:5 ergab. Der Flüssigdünger hätte also vorverdünnt werden müssen und der Vorratsbehälter hätte dementsprechend sehr groß sein müssen, weshalb auch 2. Ansatz nicht sinnvoll umsetzbar war.

Eine Pumpe mit geringer Förderleistung (wegen der hohen Konzentration des Flüssigdüngers) und ausreichendem Druck (um gegen den Wasserdruck anzukommen) konnte nicht gefunden werden.

## **Erster Test an den Modulen: 11.05.2020 – 01.06.2020**

Das Programm wurde am 11.05 gestartet, aber die kleine Bewässerung wurde nicht ausgelöst, obwohl die Module trocken waren. Auch die Hauptbewässerung fand nicht statt.

Bei einer Fehlersuche am 21.05 wurden noch einmal alle Komponenten einzeln durchgeprüft, um nachzuvollziehen, ob alles richtig verkabelt war. Da alles einwandfrei lief, wurde das Programm erneut gestartet.

Obwohl die Module trocken waren, wurde am 22.05. wieder nicht bewässert.

Am 01.06. wurde alles noch einmal gründlich getestet.

Als das Programm bei der Fehlersuche, mit zu Testzwecken verkürzter Zeit funktioniere, konnte der Fehler eingegrenzt werden. Durch Recherchen über ähnliche Probleme im Internet, konnte herausgefunden werden, dass beim "delay" der Datentyp "int" verwendet wird, also kleine ganze Zahlen [4]. Da der delay Wert in diesem Fall aber 3.600.000 Millisekunden (eine Stunde) groß war und der int-Bereich nur bis 32.767 geht, brach das Programm bei der Überschreitung ab. Behoben werden konnte der Fehler, indem der Datentyp in einen "long" umgewandelt wurde. Dieser kann Zahlen bis 9.223.372.036.854.775.807 speichern.

## Erster fehlerfrei funktionierender Test

Am 01.06. gelang zum ersten Mal ein erfolgreicher Testbetrieb. Wie vorgesehen läuft das Programm fehlerfrei und bewässert die Module.

Das komplette, fertige Programm ist im Anhang beigefügt (siehe Anhang Programm).

## 4. Reflexion

Bei der ersten Recherche für unser Thema haben wir bemerkt, dass Hauswandbegrünungen in der Regel eher auf Optik, also gutes Aussehen, als auf Nachhaltigkeit ausgerichtet sind. Uns dagegen war sehr wichtig, etwas zu entwickeln, das ohne zusätzlichen Platzbedarf und großen Aufwand gegen den Klimawandel hilft.

Der Großteil des geplanten Konzepts ließ sich gut umsetzen.

Die Module konnten wie geplant gebaut werden, die ökologischen Füllmaterialien haben sich in der Praxis bewährt, die Module konnten verschieden bepflanzt werden und die Bewässerung funktioniert inzwischen fehlerfrei.

Die meisten Probleme gab es bei der Automatisierung des Bewässerungssystems und bei der Düngung.

Die größten Verzögerungen entstanden durch lange Lieferzeiten, insbesondere bei der Elektronik und den Komponenten zur Automatisierung und den Komponenten zur Automatisierung.

Durch den frühzeitigen Beginn des Projekts hatten wir genügend Zeit, unsere vorgenommenen Ziele umzusetzen. In den Projektmanagement-Tagen wurde der weitere Verlauf des Projekts geplant, weitere Ziele gesetzt und ein Zeitplan erstellt. Die Ziele konnten zwar alle umgesetzt werden, aufgrund von Corona musste der Zeitplan allerdings von uns angepasst und verändert werden.

Durch unsere Vorgehensweise hatten wir genügend Zeit, verschiedene Pflanzen zu testen.

Zukünftig könnte man für die nächsten Projekte die Verschriftlichung schon parallel zur Entwicklung des Produkts beginnen. Eine frühzeitige Ausformulierung der Dokumentation hätte den Prozess der schriftlichen Ausarbeitung vereinfacht.

Bis heute konnte die automatisierte Düngung nicht in das System integriert werden. Die Programmierung ist vollständig fertig und der Platz in unserem System eingerichtet. Es scheitert nur daran, eine passende Pumpe in unserem finanziellen Budget für die Düngung zu finden. Zwei Pumpen, die die Düngung eigentlich bewerkstelligen sollten, haben sich als nicht funktionsfähig erwiesen.

Die Gruppenarbeit hat sehr gut geklappt. Wir haben regelmäßig in der Schule über das Projekt geredet und haben uns auch privat oft getroffen um zu planen oder weiterzuarbeiten.

Die Corona-Lockdown-Zeit vom 12.03. bis zum 30.04.2020 haben wir auch sehr gut bewältigt, da wir zu diesem Zeitpunkt soweit waren, dass jeder seine eigenen Aufgaben hatte, an denen er zu Hause arbeiten konnte. Die ganze Zeit haben wir über itslearning Absprache gehalten und auch mehrmals über Microsoft Teams telefoniert.

Die Rollen, die wir bei den Projektmanagement-Tagen festgelegt haben, konnten wir größtenteils erfüllen.

Insgesamt kann jeder viel Erfahrung aus diesem Projekt mitnehmen. Ein Projekt in diesem Umfang und wurde von uns bisher noch nicht durchgeführt. Somit setzte es im Vergleich zu bisherigen Projekten eine viel größere Sorgfalt in der Planungsphase voraus.

Die Recherche für die geeignete Pflanzenauswahl gestaltete sich zunächst schwierig, da die gestellten Bedingungen für die Begrünung sehr hoch waren. Die angewendeten Techniken zur Herstellung der Konstruktion, in erster Linie zur Metallbearbeitung waren größtenteils schon vorher durch diverse ähnliche Arbeiten erlernt worden, konnten aber weiter verfestigt werden.

Die größte Herausforderung war für uns beide, sich über den langen Zeitraum inklusive der Corona-Pause zu motivieren. Trotz der Corona-Kontaktsperre und obwohl wir nicht wussten, wann diese Projektarbeit abgeschlossen werden muss, haben wir so gut wir konnten fortlaufend an dem Projekt weitergearbeitet und versucht, Fehler aufzuspüren und zu verbessern.

## **Ausblick**

Es gibt noch viel Potential für das Projekt, das noch nicht ausgeschöpft wurde:

Für die Düngepumpe muss in Zukunft noch eine funktionierende Pumpe gesucht werden, damit die Pflanzen auch über lange Zeiträume, wie geplant, mit Nährstoffen versorgt werden.

Ein weiterer Punkt, der noch für ein marktreifes Produkt fehlt, ist die Befestigung an der Hauswand. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten:

Eine selbsttragende Konstruktion, bei der die Module aufeinander stehen und keine Last an der Hauswand hängt. Diese Möglichkeit funktioniert aber im Normalfall nur bei Modulen, die übereinander angebracht werden können.

Die zweite Möglichkeit wäre eine Befestigung an Hauswänden zu entwickeln, bei der das Gewicht von der Wand getragen wird. Diese Methode wäre sinnvoll, vor allem wenn zum Beispiel Module über einem Fenster angebracht werden sollen. Dabei muss beachtet werden, dass ein Abstand zwischen den Module und der Wand eingehalten wird, um Schimmel zu vermeiden.

Wir haben in unseren Modulen sehr viel Aluminium benutzt, weil es sehr leicht und langlebig und gut zu bearbeiten ist. Eigentlich ist Aluminium sehr energieaufwändig in der Herstellung und nicht wirklich umweltfreundlich. Alternativ könnte man aber auch Sekundäraluminium benutzen. Dies besteht aus recyceltem Aluminiumschrott, ist immer noch sehr hochwertig und benötigt zur Herstellung nur ein Zehntel der Energie von normalem Aluminium. [5]

Ein weiterer Punkt, bei dem wir noch nicht zufrieden sind, ist die Energieversorgung. Der Arduino läuft im Moment noch Tag und Nacht und auch das Netzteil für den 12V Betrieb wird dauerhaft mit Strom versorgt. Das Netzteil könnte mit einer Zeitschaltuhr reguliert werden. Für den Arduino müsste man sich noch eine andere Methode überlegen, damit das Programm nach einem Ausschalten des Stroms immer wieder neu startet.

Sinnvoll für die Zukunft wäre auch eine Veränderung des Programms, sodass für jedes Modul ein unterschiedlicher Toleranzbereich eingestellt werden kann, falls die Module mit Pflanzen unterschiedlichen Wasserbedarfs bepflanzt sind.

Dieses Feature wäre relativ einfach umsetzbar, wir haben es aber noch nicht in Angriff genommen, da wir für unseren ersten Test Pflanzen in den beiden Modulen haben, die relativ ähnliche Feuchtigkeit benötigen.

Ein wichtiges Detail, das bei unserem Projekt noch fehlt, ist die Speicherung der gemessenen Daten und der ausgeführten Bewässerungen. Um die Bewässerung zu optimieren, ist es wichtig, dass nachvollziehbar ist, wann wieviel bewässert wurde und welche Feuchtigkeit dabei herrschte. Im Moment würde es im Falle eines Misserfolgs der Bepflanzung keine Möglichkeiten geben, Rückschlüsse zu ziehen.

Wir wollen in Zukunft eine solche Speicherung noch ermöglichen. Ein SD-Karten Schreibmodul für den Arduino ist bereits gekauft, nur die Programmierung in unser Programm einzubauen ist noch sehr aufwändig.

Im Optimalfall sollen alle gemessenen Werte zusammen mit der Dauer der Bewässerungen gespeichert werden. So könnte dann auch langfristig herausgefunden werden, welcher Feuchtigkeits-Toleranzbereich sinnvoll für bestimmte Pflanzen ist.



*Abbildung 11 aktueller Stand der beiden Module*

## 5. Literaturverzeichnis

| <b>Webnachweis</b>  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1]                 | United Nations, 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung, <a href="https://www.un.org/sustainabledevelopment/">https://www.un.org/sustainabledevelopment/</a>                                                                                                                                                                                                                  |
| [2]                 | Patrick Blanc, <a href="https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/">https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/</a>                                                                                                                                                                                                                                                       |
| [3]                 | Deutsche Bundesstiftung Umwelt, „Natürliche“ Klimaanlage: Grüne Fassade schützt vor Hitze und Kälte, <a href="https://www.dbu.de/media/2209150334582791.pdf">https://www.dbu.de/media/2209150334582791.pdf</a> , 13.10.2015                                                                                                                                                |
| [4]                 | Forum Arduino, maximum delay() is 32767ms ?, <a href="https://forum.arduino.cc/index.php?topic=46540.0">https://forum.arduino.cc/index.php?topic=46540.0</a>                                                                                                                                                                                                               |
| [5]                 | Forum Nachhaltiges Bauen, Aluminium – Ökobilanz, <a href="https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Aluminium">https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Aluminium</a>                                                                                                                                                                                                         |
| [6]                 | Stefan Brandhorst, Gregor Zorn, Nils van Steenis, Fassadenbegrünung Pflanzenliste für wandgebundene Begrünungen, <a href="https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/gruen/Fassadenbegruenung/basiswissen/Pflanzenliste_wandgeb_arten.pdf">https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/gruen/Fassadenbegruenung/basiswissen/Pflanzenliste_wandgeb_arten.pdf</a> |
| <b>Buchnachweis</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| [7]                 | Gräfe und Unzer Verlag, Quickfinder Was wächst wo? Die richtigen Pflanzen für jeden Standort, Elisabeth Fleuchaus, München 2008                                                                                                                                                                                                                                            |
| [8]                 | BLV Verlagsgesellschaft mbH, Der Biogarten, Marie-Luise Kreuter, München 2001                                                                                                                                                                                                                                                                                              |



## 6. Anhang

### Programm:

```

/*

Abkürzungen:

MV1: Magnetventil im 1. Modul
MV2: Magnetventil im 2. Modul
MV3: Magnetventil im 3. Modul
MV4: Magnetventil im 4. Modul
kP: Düngungspumpe
gP: Wasserpumpe

*/

//da Low und High beim Relay vertauscht sind werden Synonyme eingeführt damit keine Verwirrung entsteht
#define RELAY_ON LOW
#define RELAY_OFF HIGH

int limit1 = 900; //oberer Wert des Toleranzbereichs
int limit2 = 500; //unterer Wert des Toleranzbereichs

boolean a = false;
boolean b = false;
boolean c = false;
boolean d = false;

unsigned long time1;
unsigned long time2;
unsigned long deltatime;

const int MV1 = 2; //Arduino Pin 2
const int MV2 = 3; //Arduino Pin 3
/*
 const int MV3 = 4; //Arduino Pin 4
 const int MV4 = 5; //Arduino Pin 5
*/
const int kP = 6; //Arduino Pin 6
const int gP = 7; //Arduino Pin 7

/*
 MV1: Magnetventil im 1. Modul
 MV2: Magnetventil im 2. Modul
 MV3: Magnetventil im 3. Modul
 MV4: Magnetventil im 4. Modul
 kP: Düngungspumpe
 gP: Wasserpumpe
*/

void setup() {

 //festlegen der Pins als Outputs
 pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
 pinMode(2, OUTPUT);
 pinMode(3, OUTPUT);
 pinMode(6, OUTPUT);
 pinMode(7, OUTPUT);

 //den Standardzustand zu Aus setzen
 digitalWrite(MV1, RELAY_OFF);
 digitalWrite(MV2, RELAY_OFF);

 digitalWrite(kP, RELAY_OFF);

```

```

digitalWrite(gP, RELAY_OFF);

time1 = millis();
time2 = millis();

Serial.begin(9600);
}

void kleineBewaesserung() {

//der Zeitpunkt 1 wird gesetzt
time1 = millis();

int sensorValue1 = analogRead(A3);
int sensorValue2 = analogRead(A4);

//es werden in einer Schleife die Feuchtigkeitssensoren ausgelesen und die Zustände der dazugehörigen Magnetventile angepasst
while(!a || (!b || !c)) && !d){
 a = true;

 if(!b){
 sensorValue1 = analogRead(A3);
 if (sensorValue1 <= limit1) {
 digitalWrite(MV1, RELAY_OFF);
 b = true;
 }
 }
 else{
 digitalWrite(MV1, RELAY_ON);
 }
}

 if(!c){
 sensorValue2 = analogRead(A4);
 if (sensorValue2 <= limit1) {
 digitalWrite(MV2, RELAY_OFF);
 c = true;
 }
 }
 else{
 digitalWrite(MV2, RELAY_ON);
 }
}

//wenn eine bestimmte Zeit überschritten wird, wird eine Notfallfunktion aktiviert, wodurch die Bewässerung gestoppt wird
und eine Alarmlampe aktiviert wird
time2 = millis();
if((time2 - time1) >= 1*60*1000){
 digitalWrite(MV1, RELAY_OFF);
 digitalWrite(MV2, RELAY_OFF);

 digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); //Alarmlampe
 d = true;
}
delay(250);
}

}

void grosseBewaesserung() {

time1 = millis();

int sensorValue1 = analogRead(A3);
int sensorValue2 = analogRead(A4);

//es werden in einer Schleife die Feuchtigkeitssensoren ausgelesen und die Zustände der dazugehörigen Magnetventile angepasst

```

```

while(!a || (!b || !c)) && !d){
 a = true;

 if(!b){
 sensorValue1 = analogRead(A3);
 if (sensorValue1 <= limit2) {
 digitalWrite(MV1, RELAY_OFF);
 b = true;
 }
 else{
 digitalWrite(MV1, RELAY_ON);
 }
 }

 if(!c){
 sensorValue2 = analogRead(A4);
 if (sensorValue2 <= limit2) {
 digitalWrite(MV2, RELAY_OFF);
 c = true;
 }
 else{
 digitalWrite(MV2, RELAY_ON);
 }
 }

 //wenn eine bestimmte Zeit überschritten wird, wird eine Notfallfunktion aktiviert, wodurch die Bewässerung gestoppt wird
 und eine Alarmlampe aktiviert wird
 time2 = millis();
 if((time2 - time1) >= 2*60*1000){
 digitalWrite(MV1, RELAY_OFF);
 digitalWrite(MV2, RELAY_OFF);

 digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); //Alarmlampe
 d = true;
 }
 delay(250);
}

void duengung() {

 digitalWrite(MV1, RELAY_ON);
 digitalWrite(MV2, RELAY_ON);
 digitalWrite(kP, RELAY_ON);
 delay(30 * 1000);
 digitalWrite(kP, RELAY_ON);

 time1 = millis();

 int sensorValue1 = analogRead(A3);
 int sensorValue2 = analogRead(A4);

 //es werden in einer Schleife die Feuchtigkeitssensoren ausgelesen und die Zustände der dazugehörigen Magnetventile angepasst
 while(!a || (!b || !c)) && !d){
 a = true;

 if(!b){
 sensorValue1 = analogRead(A3);
 if (sensorValue1 <= limit2) {
 digitalWrite(MV1, RELAY_OFF);
 b = true;
 }
 else{
 digitalWrite(MV1, RELAY_ON);
 }
 }

 if(!c){

```

```

 sensorValue2 = analogRead(A4);
 if (sensorValue2 <= limit2) {
 digitalWrite(MV2, RELAY_OFF);
 c = true;
 }
 else{
 digitalWrite(MV2, RELAY_ON);
 }
}

//wenn eine bestimmte Zeit überschritten wird, wird eine Notfallfunktion aktiviert, wodurch die Bewässerung gestoppt wird
und eine Alarmlampe aktiviert wird
time2 = millis();
if((time2 - time1) >= 2*60*1000){
 digitalWrite(MV1, RELAY_OFF);
 digitalWrite(MV2, RELAY_OFF);

 digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); //Alarmlampe
 d = true;
}
delay(250);
}

}

void resetVariables(){
 a = false;
 b = false;
 c = false;
 d = false;
}

void loop() {

 for (int i = 1; i < 8; i++) {
 kleineBewaesserung();
 resetVariables();
 delay(60 * 60 * 1000 - (time2 - time1));
 }

 grosseBewaesserung();
 resetVariables();
 delay(60 * 60 * 1000 - (time2 - time1));

 for (int i = 1; i < 17; i++) {
 kleineBewaesserung();
 resetVariables();
 delay(60 * 60 * 1000 - (time2 - time1));
 }

 for (int i = 1; i < 8; i++) {
 kleineBewaesserung();
 resetVariables();
 delay(60 * 60 * 1000 - (time2 - time1));
 }

 duengung();
 resetVariables();
 delay(60 * 60 * 1000 - (time2 - time1));

 for (int i = 1; i < 17; i++) {
 kleineBewaesserung();
 resetVariables();
 delay(60 * 60 * 1000 - (time2 - time1));
 }
}

```