

HET ONDERHOUDEN VAN KAMERPLANTEN AUTOMATISEREN



Eindproject voorgedragen door:

Eduard Smet
6TW

Mentoren: M. Deleu, H. Van Havermaet, S. Wesemael

Juryleden: C. Vanderheyden, A. De Cock

Schooljaar: 2022-2023

Inhoudstafel

Inhoudstafel	III
Lijst van figuren	V
Lijst van grafieken	VI
Voorwoord	VII
1 Inleiding	1
2 Het probleem	2
3 Oplossingen voor het probleem	4
3.1 Huidige Methoden	4
3.1.1 Manuele verzorging	4
3.1.2 Doe-het-zelf-methoden	5
3.1.3 Verzorging in plantenwinkels	5
3.1.4 Overzicht	6
3.2 De voorgestelde meetmethode	6
4 Theorie	7
4.1 De plant	7
4.1.1 De opbouw en werking	7
4.1.1.1 De opbouw met het blote oog	9
4.1.1.2 Op cellulair niveau	12
4.1.1.2.1 Fotosynthese	13
4.1.1.2.2 Celademhaling	14
4.1.2 De meetbare en reageerbare factoren	15
4.1.2.1 De ideale waarden	16
5 De Praktische proef	18
5.1 De gekozen planten	19
5.1.1 Plant 1	19
5.1.2 Plant 2	20
5.1.3 Plant 3	21
5.2 Het meten en reageren	21
5.2.1 De computer	22
5.2.1.1 Arduino	23
5.2.1.2 Raspberry Pi	24
5.2.1.3 De keuze	25

5.2.2	De sensoren	26
5.2.2.1	Temperatuur en luchtvochtigheid.....	26
5.2.2.2	Bodemvochtigheid.....	27
5.2.3	De reactiemethode	29
5.2.4	De code	31
5.2.4.1	Het interview.....	32
5.3	Het monitoren	33
5.3.1.1	Data transfer methode.....	33
5.3.1.2	De website.....	34
5.4	GitHub	37
5.5	Overzicht.....	38
6	Resultaten	40
7	Besluit	43
8	Reflectie	45
8.1	Reflectie op het werkdocument	45
8.2	Reflectie op de praktische proef	45
9	Toekomstig werk	46
9.1	Verbeterde sensortechnologie	46
9.2	Uitbreiding van functionaliteit	46
9.3	Integratie van slimme assistenten en IoT.....	46
9.4	Schaalbaarheid en grootschalige implementatie	46
9.5	Kostenverlaging.....	47
Bibliografie.....		IX

Lijst van figuren

Figuur 1: Een deels verwelkte plant.....	2
Figuur 2: Het manueel wateren van een plant.....	5
Figuur 3: Een doe-het-zelf-methode voor het wateren van een plant	5
Figuur 4: Een geautomatiseerd irrigatiesysteem voor het wateren van planten ..	6
Figuur 5: Een bladplant van de praktische proef	7
Figuur 6: Een bloeiende plant.....	8
Figuur 7: Een bladplant	8
Figuur 8: Een palm van de praktische proef	8
Figuur 9: Een klimplant	9
Figuur 10: De wortels van een plant.....	10
Figuur 11: De stengels van een plant	10
Figuur 12: De blad van een plant.....	11
Figuur 13: De bloem van een plant	11
Figuur 14: De plantaardige cel.....	12
Figuur 15: De reactievergelijking van fotosynthese	13
Figuur 16: De reactievergelijking van celademhaling	14
Figuur 17: De flowchart van de praktische proef.....	18
Figuur 18: Plant 1 van de praktische proef: Een Palm: Een Goudpalm.....	19
Figuur 19: Plant 2 van de praktische proef: Een bladplant: Een Syngonium	20
Figuur 20: Plant 3 van de praktische proef: Een bladplant: Een Vredeslelie.....	21
Figuur 21: Een Fritzting circuit van de opstelling van de praktische proef.....	22
Figuur 22: Een Arduino Uno micro-controller.....	23
Figuur 23: Een Raspberry Pi 4 B single-board computer.....	24
Figuur 24: Het WPSE342 combo-bord	26
Figuur 25: De capacitieve bodemvochtigheidssensor	27
Figuur 26: De ADS1015 ADC (foute benaming op het bordje zelf)	27
Figuur 27: De bodemvochtigheidssensor in toepassing	28
Figuur 28: De 12V waterpomp.....	29
Figuur 29: De relais	29
Figuur 30: Het watervat	30
Figuur 31: Het geautomatiseerde watersysteem in toepassing op plant 1	30
Figuur 32: Het logo van Python	31
Figuur 33: Het logo van Flask.....	33
Figuur 34: Het logo van React	34
Figuur 35: Een screenshot van de 'Info' modal op de website	35
Figuur 36: Een screenshot van de website (zonder data)	36
Figuur 37: Een screenshot van de website (met data)	36
Figuur 38: Het logo van Git.....	37
Figuur 39: Het logo van GitHub	37
Figuur 40: Een foto van de complete praktische proef	38

Lijst van grafieken

Grafiek 1: De bodemvochtigheid van plant 1.....	40
Grafiek 2: De bodemvochtigheid van plant 2.....	40
Grafiek 3: De temperatuur.....	41
Grafiek 4: De luchtvochtigheid	41
Grafiek 5: De bodemvochtigheid van plant 3.....	42

Voorwoord

In mijn vijfde jaar ben ik blijven zitten in de richting Industriële Wetenschappen, een richting die mij eigenlijk niet zo interesseerde. Dus hierna nam ik de beslissing om niet verder te gaan in deze richting maar in de plaats iets te zoeken dat mij meer interesseerde. Wat ik later wou doen, wist ik nog altijd niet maar ik ben altijd al geïnteresseerd geweest in technologie en wetenschappen. Daardoor kwam ik tot de conclusie dat Techniek Wetenschappen wel iets beter voor mij moest zijn. Dit was inderdaad iets dat al meer de goede kant op ging, maar pas een jaar later zou ik beseffen dat mijn echte interesses bij informatica en specifiek het programmeren ligt. Iets waar ik mij vanaf volgend jaar nog verder zou in willen verdiepen (software development).

Ik heb het onderwerp "Het onderhouden van kamerplanten automatiseren" gekozen omdat dit de mogelijkheid bood om wat ik de leukste dingen van Techniek Wetenschappen vond te kunnen combineren met waar mijn interesses lagen. Mijn plan met dit project is om data te meten, dit dan door te sturen naar een website waar dit verwerkt wordt. Zodat je deze data dan op een aanvankelijke manier kan monitoren en dat er automatisch gereageerd wordt op deze data. Dit zorgt voor de combinatie van biologie (planten) en fysica (Raspberry pi) met programmeren (website development).

Als eerst wil ik mijn ouders bedanken voor hun vele steun doorheen de jaren. Ook wil mijn klasgenoten Torsten Goosens en Aaron De Baere bedanken voor de tips en support die zij mij hebben gegeven de afgelopen twee jaar. Daarnaast bedank ik natuurlijk ook mijn mentoren, Sam Wesemael voor het delen van zijn kennis en ervaring in vele vlakken verbonden met dit project. Manuella Deleu voor de vele dingen dat zij mij heeft bijgeleerd in verband met chemie. Tot slot wil ik ook Heleen Van Havermaat de motivatie en info die ze mij gaf voor dit project.

1 Inleiding

"There's a lot of automation that can happen that isn't a replacement of humans, but of mind-numbing behavior."

- Stewart Butterfield

Kamerplanten zijn een essentieel onderdeel van ons dagelijks leven. Ze zuiveren de lucht, bieden schaduw en dragen bij aan ons welzijn. Echter, niet iedereen kan altijd zorgdragen voor hun planten, zoals mensen die afwezig zijn of fysieke beperkingen hebben. Daarom is er een behoefte aan een oplossing die planten automatisch kan verzorgen.

Dit eindproject richt zich op de ontwikkeling van een geautomatiseerd meetsysteem voor planten. In het tweede hoofdstuk van dit project zal het probleem van het automatisch verzorgen van planten worden besproken. Daarna in het derde hoofdstuk zullen de huidige methoden om dit probleem op te lossen bekeken worden samen met de nieuwe voorgestelde methode. Vervolgens in het vierde hoofdstuk zal er dieper worden ingegaan op de theorie achter plant zelf en de diverse meetbare en reageerbare factoren die van invloed zijn op de gezondheid van de plant.

In het vijfde hoofdstuk wordt de praktische proef beschreven, waarbij gebruik wordt gemaakt van een computer, sensoren en een website. In dit hoofdstuk worden deze componenten ook gedetailleerder besproken en wordt uitgelegd hoe ze worden ingezet om de gezondheid van planten te meten en te verbeteren.

De resultaten van de praktische proef worden gepresenteerd in hoofdstuk zes. Gevolgd door het besluit en reflectie op het werkdocument en de praktische proef in hoofdstuk zeven en acht. Ten slotte biedt hoofdstuk negen aanbevelingen voor toekomstig onderzoek.

Het uiteindelijke doel van dit eindproject is het bieden van een verbeterde oplossing voor het automatisch verzorgen van kamerplanten, zodat iedereen kan genieten van de voordelen die kamerplanten bieden. Verder wil dit document een goede neerslag bieden zodat anderen dit kunnen gebruiken als basis voor hun eigen projecten.

2 Het probleem

Het onderhouden van kamerplanten is een complexe taak die verder reikt dan alleen het geven van water. Verschillende factoren, zoals temperatuur, luchtvochtigheid, bodemvochtigheid en lichtniveaus, zijn essentieel voor het behouden van een gezonde groeiomgeving voor planten ((Dorn, z.d.), (Temperature and Humidity for Indoor Plants | University of Maryland Extension, z.d.), (Caring for Houseplants, 2022)).

Onvoldoende beheer van deze factoren kan leiden tot problemen zoals uitdroging, overmatige vochtigheid, gebrek aan licht of ongeschikte temperaturomstandigheden, wat de groei van kamerplanten negatief beïnvloedt. Deze problemen kunnen leiden tot verwelking, vergeling of zelfs het afsterven van de plant.



Figuur 1: Een deels verwelkte plant

Mensen met een drukke levensstijl kunnen moeite hebben om regelmatig de conditie van hun planten te controleren en actie te ondernemen om een gezonde omgeving te behouden. Het ontbreekt hen vaak aan tijd om de planten water te geven of om de omgevingsomstandigheden aan te passen. Dit resulteert vaak in verwaarlozing en een kortere levensduur van de kamerplanten.

Daarnaast kunnen mensen met beperkte fysieke mogelijkheden, zoals ouderen of mensen met een handicap, moeite hebben om de benodigde handelingen uit te

voeren voor een optimale verzorging van de planten. Het tillen van zware gieters, bukken om de bodemvochtigheid te controleren of het aanpassen van de verlichting kan fysiek uitdagend zijn. Dit kan leiden tot frustratie en het opgeven van het hebben van kamerplanten ((Department of Health & Human Services, z.d.), (Gardening with a disability / RHS Gardening, z.d.)).

Bovendien is regelmatige afwezigheid een andere factor. Mensen gaan op vakantie, maken zakenreizen of zijn om andere redenen tijdelijk niet in staat om voor hun planten te zorgen. Hoewel ze misschien anderen vragen om voor de planten te zorgen, is dit geen duurzame oplossing. Op de lange termijn kan het gebrek aan regelmatige verzorging de gezondheid en het welzijn van de planten negatief beïnvloeden.

Deze uitdagingen benadrukken de behoefte aan een oplossing die het onderhoud van kamerplanten vereenvoudigt en automatiseert, zodat iedereen, ongeacht hun levensstijl, fysieke mogelijkheden of afwezigheid, kan genieten van de voordelen van kamerplanten.

Dit alles leidt tot de onderzoeksvraag: Wat is een betere methode om kamerplanten te monitoren? Hoe kan het onderhouden van kamerplanten verbeterd worden ten opzichte van de huidige gekende methoden?

3 Oplossingen voor het probleem

Er zijn verschillende methoden om kamerplanten te verzorgen, maar de meeste ervan lossen niet alle problemen op een bevredigende manier op. Elke methode heeft zijn eigen beperkingen en bij het proberen op te lossen van deze beperkingen kunnen nieuwe problemen ontstaan. Dit leidt tot voortdurende zoektocht naar nieuwe methoden die effectiever werken.

3.1 Huidige Methoden

De verzamelde informatie voor dit project zal gericht zijn op de methoden die de primaire doelgroep vertegenwoordigen, namelijk handmatige verzorging en plantenwinkels. Door informatie van het internet te verkrijgen, kan inzicht worden verkregen in de specifieke uitdagingen die deze methoden met zich meebrengen en kan er een oplossing worden ontworpen die hierop aansluit. Het is ook mogelijk om informatie te verkrijgen over andere methoden, zoals doe-het-zelf-methoden en grootschalige fabrieken, om een breder perspectief op het onderwerp te verkrijgen.

3.1.1 Manuele verzorging

Manuele verzorging wordt algemeen beschouwd als de standaardmethode voor het verzorgen van kamerplanten. Bij deze methode wordt water aan de planten gegeven op basis van een vast tijdsinterval of wanneer men de behoefte aan water visueel waarneemt. Het kan echter lastig zijn om de juiste waterbehoefte te bepalen, wat kan leiden tot zowel onder- als overbewatering. Bovendien wordt de omgevingstemperatuur niet specifiek afgestemd op de behoeften van de planten. Het belang van mineralen in de grond en de voeding voor de planten wordt vaak over het hoofd gezien, wat de groei en ontwikkeling van de planten kan beïnvloeden. De luchtkwaliteit, inclusief de niveaus van CO₂ en O₂, kan eenvoudig op peil worden gehouden door regelmatige ventilatie van de ruimte. Hoewel een hogere luchtvochtigheid ideaal is voor planten, wordt dit vaak niet gerealiseerd omdat de omgeving ook door mensen wordt gebruikt en een te hoge luchtvochtigheid ongewenst is. Over het algemeen is manuele verzorging geen optimale methode voor het onderhouden van kamerplanten, en het ontbreekt aan precisie, waardoor fouten in de verzorging vaak voorkomen ((Dorn, z.d.), (Temperature and Humidity for Indoor Plants | University of Maryland Extension, z.d.), (Caring for Houseplants, 2022)).



Figuur 2: Het manueel wateren van een plant

3.1.2 Doe-het-zelf-methoden

Doe-het-zelf-methoden worden vaak toegepast bij het verzorgen van kamerplanten. Deze methoden omvatten het gebruik van zelfgemaakte irrigatiesystemen, zoals druppelaars of capillaire matjes, om water aan de planten te leveren. Deze systemen kunnen handig zijn om een consistente watertoevoer te bieden, maar het blijft een uitdaging om de juiste hoeveelheid water te geven, vooral wanneer de planten verschillende behoeften hebben. Bovendien is het vaak niet mogelijk om handmatig andere factoren aan te passen, zoals temperatuur en luchtvochtigheid, bij doe-het-zelf-methoden ((greensens, z.d.), (Pollard, 2022)).



Figuur 3: Een doe-het-zelf-methode voor het wateren van een plant

3.1.3 Verzorging in plantenwinkels

In plantenwinkels worden diverse methoden toegepast om kamerplanten te verzorgen. Vaak worden geautomatiseerde irrigatiesystemen gebruikt, waarbij water aan de planten wordt geleverd op basis van een vooraf ingesteld schema. Hoewel dit handig kan zijn voor winkels met veel planten, kan het nog steeds moeilijk zijn om rekening te houden met de individuele behoeften van elke plant. Bovendien kunnen andere factoren zoals temperatuur, luchtvochtigheid en voedingsstoffen mogelijk niet optimaal worden geregeld in de winkelomgeving (Admin, 2017).



Figuur 4: Een geautomatiseerd irrigatiesysteem voor het wateren van planten

3.1.4 Overzicht

Het huidige overzicht van de methoden voor het verzorgen van kamerplanten laat zien dat elke methode zijn beperkingen heeft. Manuele verzorging vereist oplettendheid en kan leiden tot fouten bij de watergift en andere essentiële factoren. Doe-het-zelf-methoden bieden flexibiliteit, maar kunnen uitdagingen met zich meebrengen bij het handhaven van de juiste omgevingscondities. In plantenwinkels worden geautomatiseerde systemen gebruikt, maar deze zijn mogelijk niet perfect afgestemd op de individuele behoeften van elke plant. Hierdoor is er behoefte aan een meer geavanceerde en gepersonaliseerde aanpak om de groei en gezondheid van kamerplanten optimaal te kunnen bevorderen.

3.2 De voorgestelde meetmethode

Voor het project wordt een geautomatiseerd kamerplantensysteem ontworpen dat gebruikmaakt van sensoren om belangrijke factoren zoals bodemvochtigheid, temperatuur en luchtvochtigheid te meten. De verzamelde gegevens worden geanalyseerd om een beter inzicht te krijgen in de behoeften van de planten en om nauwkeurige aanpassingen te maken aan de omgevingscondities.

Het systeem maakt gebruik van geavanceerde algoritmen om de verzamelde gegevens te interpreteren en om aanpassingen te doen in watergift, temperatuurregeling en luchtvochtigheid. Hierdoor wordt een optimale groeiomgeving gecreëerd voor elke individuele plant, met aandacht voor hun specifieke behoeften.

Een web gebaseerd dashboard wordt ontwikkeld waar gebruikers de status van hun planten kunnen bekijken. Dit stelt gebruikers in staat om de groei en gezondheid van hun planten effectief te monitoren en te beheren.

Met de voorgestelde meetmethode wordt gestreefd naar een geavanceerde en gepersonaliseerde aanpak voor het onderhouden van kamerplanten, waarbij rekening wordt gehouden met individuele behoeften en wordt gezorgd voor een optimale groeiomgeving.

4 Theorie

4.1 De plant

Om een beter begrip te krijgen van kamerplanten en hun functioneren, is het belangrijk om de structuur, werking en verscheidenheid ervan te bestuderen. In dit hoofdstuk zal de opbouw, werking en diversiteit van kamerplanten worden verkend.



Figuur 5: Een bladplant van de praktische proef

4.1.1 De opbouw en werking

Bij het bestuderen van kamerplanten kan de opbouw en werking ervan op verschillende niveaus worden onderverdeeld. Op het macroscopische niveau zijn de verschillende delen van een kamerplant waarneembaar, zoals wortels, stengels, bladeren en bloemen. Elk van deze delen heeft een specifieke structuur en functie die bijdraagt aan de groei en werking van de plant.

Daarnaast is het begrijpen van de verschillende soorten kamerplanten van belang. Kamerplanten kunnen worden ingedeeld in verschillende categorieën op basis van hun uiterlijk en kenmerken. Enkele veelvoorkomende categorieën zijn:

- Bloeiende planten: Deze planten kenmerken zich door kleurrijke of opvallende bloemen, waardoor ze kleur en schoonheid toevoegen aan binnenruimtes.



Figuur 6: Een bloeiende plant

- Bladplanten: Deze planten worden gekozen vanwege hun opvallende bladvorm, kleur of tekening, die decoratief zijn.



Figuur 7: Een bladplant

- Palmen: Palmen geven een exotische uitstraling aan binnenruimtes, met hun lange en elegante bladeren die een tropische sfeer creëren.



Figuur 8: Een palm van de praktische proef

- Klim- en hangplanten: Deze planten hebben lange ranken waarmee ze kunnen klimmen, kruipen of hangen, en zijn ideaal voor het decoreren van muren, hekken of het ophangen in manden.



Figuur 9: Een klimplant

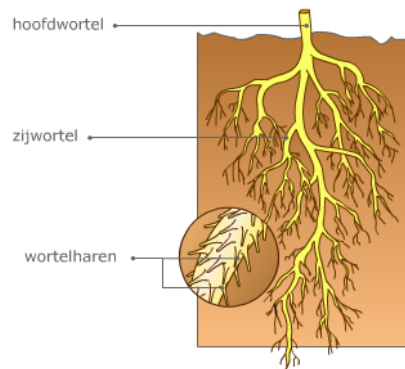
Het is belangrijk op te merken dat voor dit project specifieke keuzes zijn gemaakt met betrekking tot de plantensoorten die zullen worden gebruikt. Succulenten en cactussen, die speciale verzorging vereisen vanwege hun minimale waterbehoefte, zijn niet opgenomen in de praktische proef. In plaats daarvan richten we ons op andere kamerplanten die representatief zijn voor de eerdergenoemde categorieën.

Door een beter begrip te krijgen van de opbouw, werking en diversiteit van kamerplanten kunnen we de behoeften van elke plantensoort beter begrijpen en effectievere methoden ontwikkelen voor verzorging en onderhoud. Dit zal bijdragen aan het succes van het automatiseren van het onderhoud van kamerplanten, waarop later in dit document nader zal worden ingegaan (Wikipedia-bijdragers, 2023).

4.1.1.1 De opbouw met het blote oog

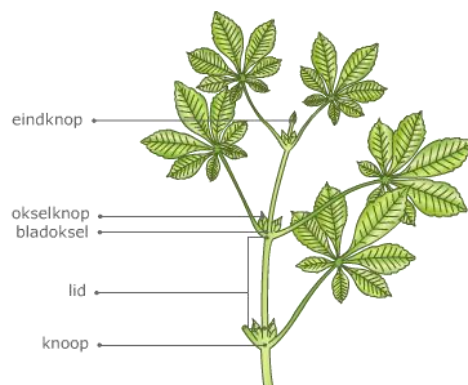
Om kamerplanten beter te begrijpen, is het belangrijk om de opbouw van de planten met het blote oog te bestuderen. Op deze manier kunnen we de belangrijkste delen van een kamerplant observeren:

- Wortels: De wortels bevinden zich ondergronds en nemen water en voedingsstoffen op uit de bodem. Ze zorgen voor stabiliteit en fungeren als anker voor de plant.



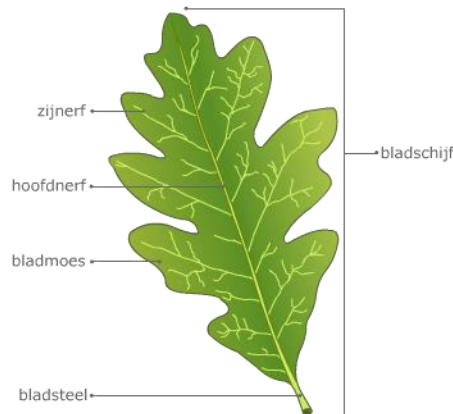
Figuur 10: De wortels van een plant

- Stengels: De stengels bevinden zich bovengronds en bieden ondersteuning aan de bladeren en bloemen. Ze transporteren ook water en voedingsstoffen van de wortels naar andere delen van de plant.



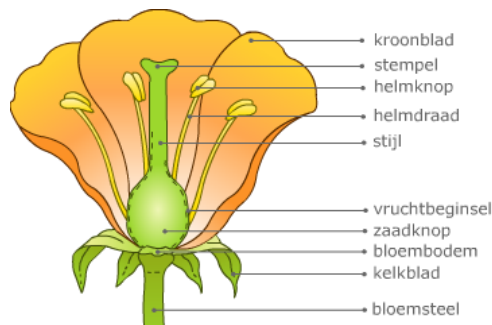
Figuur 11: De stengels van een plant

- **Bladeren:** Bladeren zijn opvallende kenmerken van een kamerplant. Ze voeren fotosynthese uit, waarbij zonlicht wordt omgezet in energie voor de plant. Bladeren spelen ook een rol bij gasuitwisseling met de omgeving (via de huidmondjes).



Figuur 12: De blad van een plant

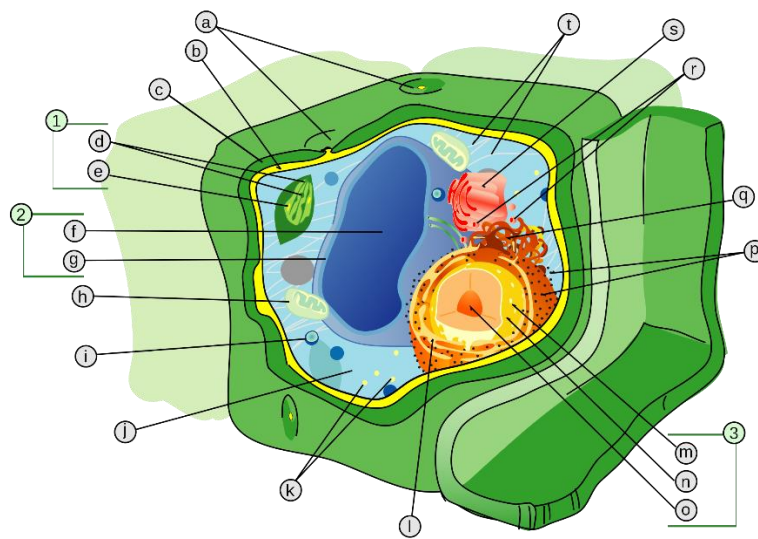
- **Bloemen (vermelding):** Hoewel bloemen niet relevant zijn voor dit project, is het vermeldenswaardig dat sommige kamerplanten bloemen kunnen produceren. Bloemen zijn betrokken bij de voortplanting van planten door middel van bestuiving.



Figuur 13: De bloem van een plant

Het begrijpen van de opbouw van kamerplanten met het blote oog stelt ons in staat om de verschillende functies van elk onderdeel te waarderen. Dit inzicht is waardevol bij het ontwikkelen van een geautomatiseerd systeem om de gezondheid en groei van kamerplanten te monitoren en te verbeteren (Bouw zaadplanten – Wikiwijs Maken, z.d.).

4.1.1.2 Op cellulair niveau



Figuur 14: De plantaardige cel

Op cellulair niveau vertonen kamerplanten verschillende speciale celorganellen en structuren die een cruciale rol spelen in belangrijke processen zoals fotosynthese en celademhaling. Voordat er specifiek wordt ingegaan op de plantencelorganellen, moet worden opgemerkt dat er enige verschillen zijn tussen plantencellen en dierlijke cellen.

Plantencellen hebben een unieke structuur die wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een celwand, chloroplasten en vacuolen. Deze kenmerken onderscheiden plantencellen van dierlijke cellen en stellen planten in staat om specifieke taken uit te voeren, zoals het produceren van voedsel via fotosynthese.

Binnen de plantencel spelen specifieke celorganellen een belangrijke rol in fotosynthese en celademhaling. Hieronder worden enkele van deze belangrijke componenten besproken:

- **Chloroplasten:** Chloroplasten zijn celorganellen die aanwezig zijn in plantencellen en verantwoordelijk zijn voor fotosynthese. Ze bevatten chlorofyl, het pigment dat lichtenergie absorbeert en gebruikt om koolstofdioxide en water om te zetten in glucose en zuurstof.

Nummer 1 op de tekening.

- **Vacuolen:** Vacuolen zijn grote met vocht gevulde blaasjes binnenin plantencellen. Ze spelen een rol bij het handhaven van de turgordruk, wat

de stevigheid en structuur van de plantencellen bevordert. Vacuolen zijn ook betrokken bij de opslag van water, voedingsstoffen, afvalstoffen en pigmenten.

Nummer 2 op de tekening.

- Celwand: De celwand is een stevige buitenlaag die de plantencel omgeeft. Het biedt structurele ondersteuning en bescherming aan de cel en helpt de vorm en integriteit van de plant te behouden. De celwand bestaat voornamelijk uit cellulose, een complexe koolhydraatverbinding.

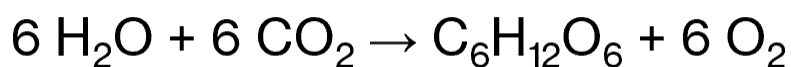
Letter c op de tekening.

- Plasmodesmata: Plasmodesmata zijn kleine openingen in de celwand die plantencellen met elkaar verbinden. Ze stellen de cellen in staat om water, voedingsstoffen en signalen met elkaar te delen, waardoor een coördinatie en communicatie tussen cellen mogelijk wordt.

Letter a op de tekening.

Deze specifieke celorganellen en structuren zijn van vitaal belang voor het functioneren van plantencellen en beïnvloeden direct de processen van fotosynthese en celademhaling. Het begrijpen van deze mechanismen op cellulair niveau helpt bij het identificeren van de factoren die de gezondheid en groei van kamerplanten beïnvloeden. Door de kennis van de celstructuur en -functie te combineren met de eerder besproken meetbare en reageerbare factoren, kunnen effectieve strategieën worden ontwikkeld om het onderhoud van kamerplanten te verbeteren en te automatiseren (Wikipedia contributors, 2023).

4.1.1.2.1 Fotosynthese



Figuur 15: De reactievergelijking van fotosynthese

Fotosynthese is een cruciaal proces voor planten, waarbij lichtenergie wordt gebruikt om koolstofdioxide en water om te zetten in glucose en zuurstof. Dit proces vindt plaats in de chloroplasten, de specifieke celorganellen die eerder werden genoemd.

Chloroplasten bevatten het pigment chlorofyl, dat lichtenergie absorbeert. Via fotosynthese kunnen planten deze lichtenergie omzetten in chemische energie in de vorm van glucose. Glucose fungeert als brandstof voor de plant en wordt gebruikt voor groei, ontwikkeling en andere metabolische processen.

Fotosynthese produceert niet alleen glucose, maar ook zuurstof. Tijdens het proces wordt water gesplitst, waarbij zuurstof vrijkomt als bijproduct. Deze vrijgekomen zuurstof wordt uitgestoten in de atmosfeer en is essentieel voor het ademhalingsproces van dieren, inclusief de mens.

Fotosynthese speelt een essentiële rol voor planten, omdat het de basis vormt van hun voedselproductie. Glucose, geproduceerd door fotosynthese, wordt gebruikt als energiebron voor celademhaling, waarbij de opgeslagen energie vrijkomt en wordt gebruikt om verschillende functies in de plant uit te voeren.

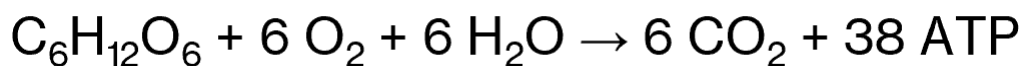
Fotosynthese van planten wordt beïnvloed door verschillende meetbare factoren, zoals lichtintensiteit, lichtkwaliteit, koolstofdioxideconcentratie en waterbeschikbaarheid. Een optimale balans van deze factoren is cruciaal voor een efficiënte fotosynthese en gezonde plantengroei.

Het begrijpen van fotosynthese en de factoren die het beïnvloeden, stelt ons in staat strategieën te ontwikkelen om de groeiomstandigheden van kamerplanten te verbeteren. Door bijvoorbeeld de lichtniveaus, waterbeschikbaarheid en koolstofdioxideconcentratie nauwlettend te monitoren en indien nodig aan te passen, kunnen we ervoor zorgen dat planten voldoende energie produceren en gezond blijven.

Fotosynthese van planten staat in nauwe relatie tot de eerder besproken meetbare factoren, zoals lichtintensiteit, temperatuur en bodemvochtigheid. Het monitoren en beheersen van deze factoren kan directe invloed hebben op de fotosynthetische activiteit van planten en daarmee op hun gezondheid en groei.

Het begrijpen van fotosynthese en de samenhang met meetbare en reageerbare factoren stelt ons in staat een betere methode te ontwikkelen om kamerplanten te monitoren en de groeiomstandigheden te optimaliseren (Wikipedia-bijdragers, 2023).

4.1.1.2.2 Celademhaling



Figuur 16: De reactievergelijking van celademhaling

Celademhaling is het proces waarbij cellen energie produceren door glucose en zuurstof om te zetten in koolstofdioxide, water en adenosinetrifosfaat (ATP). Dit proces vindt plaats in de mitochondriën, een speciaal celorganel dat betrokken is bij energieproductie.

Na fotosynthese, waarbij planten glucose produceren met behulp van lichtenergie, wordt glucose omgezet in energie tijdens celademhaling. Dit proces is essentieel voor de groei en het metabolisme van planten. Het heeft ook een verband met het volgende hoofdstuk over meetbare en reageerbare factoren.

Bij celademhaling wordt zuurstof uit de omgeving opgenomen en koolstofdioxide afgegeven. Over het algemeen worden de CO₂-concentratie en de zuurstofniveaus voldoende geleverd door de natuurlijke omgeving en de ademhaling van mensen in huiselijke omstandigheden. Specifieke metingen of beheer van deze factoren zijn meestal niet nodig bij het verzorgen van kamerplanten, omdat ze meestal al voldoen aan de behoeften van de planten.

De connectie tussen celademhaling en de meetbare en reageerbare factoren ligt in het belang van een goede bodemvochtigheid. Tijdens celademhaling hebben planten water nodig om glucose af te breken en energie vrij te maken. Een evenwichtige watertoevoer, beïnvloed door de bodemvochtigheid, zorgt ervoor dat planten voldoende water hebben voor een goed verloop van dit proces.

Met deze kennis begrijpen we dat het monitoren en beheersen van de bodemvochtigheid niet alleen van invloed is op de fotosynthetische activiteit van planten, maar ook op hun celademhaling. Een goede balans in de bodemvochtigheid zorgt voor efficiënte opname van water en voedingsstoffen, wat essentieel is voor energieproductie en gezonde groei van kamerplanten.

Door de meetbare en reageerbare factoren in samenhang te begrijpen, kunnen we een effectieve strategie ontwikkelen voor het verzorgen van kamerplanten en het bevorderen van optimale groei en gezondheid in een binnenomgeving (Wikipedia-bijdragers, 2023).

4.1.2 De meetbare en reageerbare factoren

Om kamerplanten goed te verzorgen, moeten verschillende meetbare en reageerbare factoren in overweging worden genomen. Deze inzichten zijn afgeleid van de theorieën van fotosynthese en celademhaling, waaruit de volgende conclusies naar voren komen.

Fotosynthese en celademhaling van planten hebben een nauwe relatie met de eerdergenoemde meetbare factoren, zoals lichtintensiteit, temperatuur, luchtkwaliteit (CO₂ en O₂), luchtvochtigheid en bodemvochtigheid. Het monitoren en beheersen van deze factoren kan directe invloed hebben op de fotosynthetische en celademhalingsactiviteit van de planten, en daarmee op hun gezondheid en groei.

Het is belangrijk op te merken dat deze inzichten over het algemeen gelden voor de meeste kamerplanten in huiselijke omgevingen. Er zijn echter plantensoorten,

zoals succulenten en cactussen, die buiten de scope van dit project vallen vanwege hun specifieke verzorgingsbehoeften en de complexiteit die ze met zich meebrengen.

Meetbare factoren:

- **Temperatuur:** Omgevingstemperatuur speelt een cruciale rol in de groei van kamerplanten. Elke plantensoort heeft een eigen optimaal temperatuurbereik waarin ze gedijen. Temperatuur beïnvloedt ook de wateropslagcapaciteit van planten. Hogere temperaturen leiden tot snellere verdamping van water in de plant, wat kan resulteren in een verhoogde waterbehoefte.
- **Luchtvochtigheid:** De hoeveelheid waterdamp in de lucht, oftewel luchtvochtigheid, beïnvloedt de gezondheid van kamerplanten. Sommige planten gedijen beter in vochtige omstandigheden, terwijl andere beter gedijen in drogere omgevingen. Luchtvochtigheid beïnvloedt ook de opname van water door de bladeren van planten.
- **Bodemvochtigheid:** De hoeveelheid water in de bodem waarin de plant groeit, beïnvloedt de beschikbaarheid van water en voedingsstoffen voor de wortels. Het handhaven van een geschikte bodemvochtigheid is belangrijk om uitdroging of wateroverlast te voorkomen. Bodemvochtigheid speelt een essentiële rol in de wateropname van planten en heeft directe invloed op hun wateropslagcapaciteit.

Reageerbare factor:

De bodemvochtigheid blijft de meest cruciale reageerbare factor die specifieke aandacht vereist bij kamerplanten. Door de bodemvochtigheid te monitoren en erop te reageren, kan ervoor worden gezorgd dat kamerplanten de juiste hoeveelheid water ontvangen om een gezonde groei te bevorderen. Een evenwichtige watertoevoer voorkomt uitdroging of overbewatering, wat schadelijk kan zijn voor de planten.

Met deze inzichten kan een verbeterde methode worden ontwikkeld om kamerplanten te monitoren en te verzorgen. Het automatiseren van het bewateringsproces kan bijvoorbeeld helpen om de juiste bodemvochtigheid te handhaven en planten te voorzien van de benodigde waterbehoefte. Hierdoor kunnen kamerplanten optimaal groeien en gedijen in een binnenomgeving.

4.1.2.1 De ideale waarden

Het handhaven van een geschikte bodemvochtigheid is essentieel voor de gezondheid en groei van kamerplanten. Over het algemeen wordt geadviseerd om

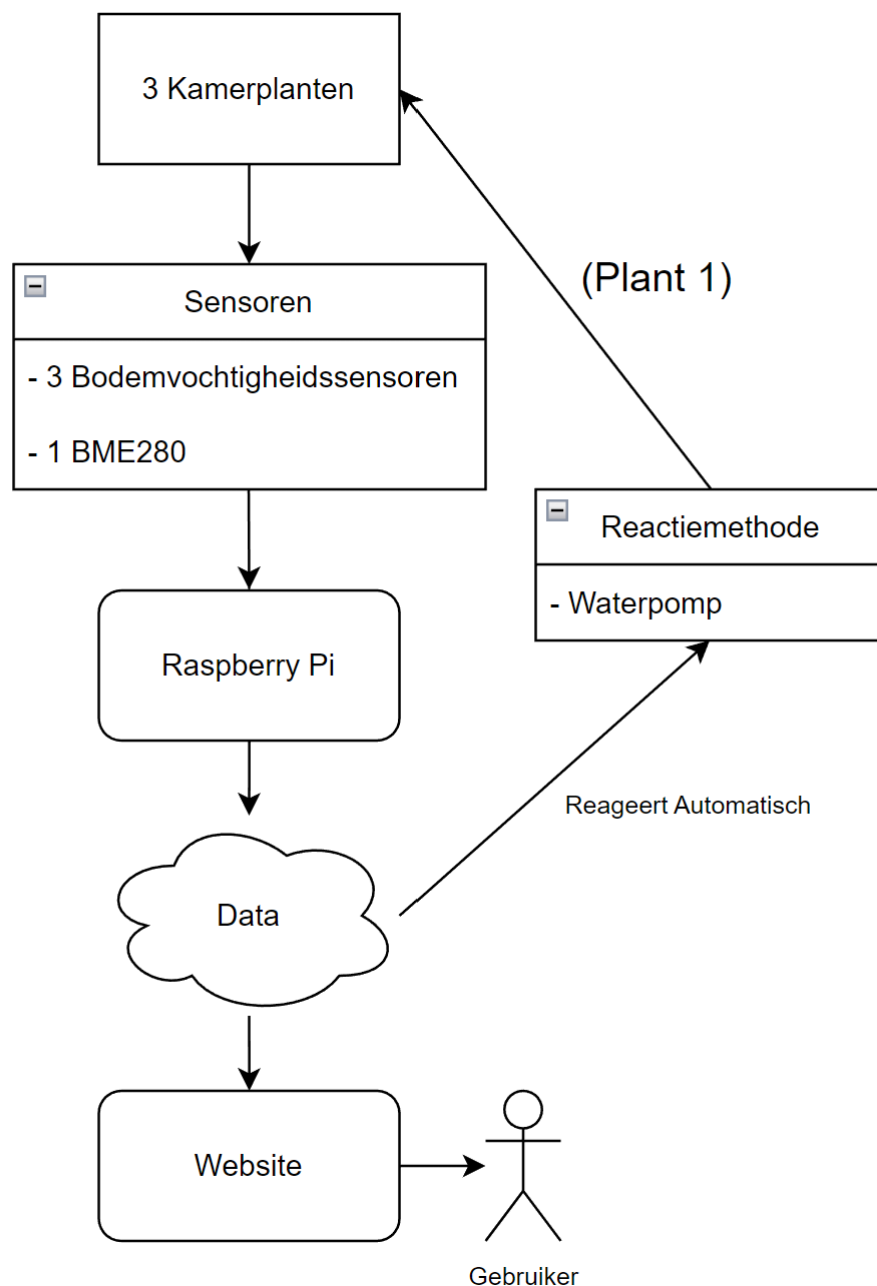
een bodemvochtigheid van ongeveer 50% tot 70% aan te houden, hoewel de ideale waarden kunnen variëren afhankelijk van de specifieke plantensoort. Het is belangrijk om te voorkomen dat de bodemvochtigheid constant boven 70% blijft, aangezien dit problemen zoals wortelrot en schimmelgroei kan veroorzaken.

Aan de andere kant kan een bodemvochtigheid onder 50% leiden tot uitdroging van de wortels en groeiproblemen. Langdurige blootstelling aan lage bodemvochtigheid kan zelfs leiden tot het afsterven van de plant.

Het regelmatig monitoren van de bodemvochtigheid en het aanpassen van de watergift op basis van de behoeften van de planten is daarom belangrijk. Visuele inspectie blijft een waardevolle methode om de conditie van de bodem en de planten te beoordelen. Door te streven naar een evenwichtige bodemvochtigheid binnen het aanbevolen bereik, kunnen kamerplanten gedijen in een optimale groeiomgeving en gezond blijven ((Irrigatiesturing: wanneer hoeveel water geven? | ccbt, 2023), (Lieuwe, 2022)).

5 De Praktische proef

Dit hoofdstuk bespreekt de praktische proef die is uitgevoerd om het meten, reageren en monitoren van kamerplanten mogelijk te maken. Er wordt een flowchart gepresenteerd om een overzicht te geven van de verschillende stappen in het proces. Vervolgens worden de gebruikte technologieën en sensoren besproken voor het meten en reageren, gevolgd door de creatie van een website om de verzamelde informatie te visualiseren. Tot slot wordt het gebruik van GitHub voor efficiënte samenwerking en het delen van de code met anderen besproken.



Figuur 17: De flowchart van de praktische proef

5.1 De gekozen planten

Voor dit project zijn er drie specifieke planten geselecteerd om te worden opgenomen in het geautomatiseerde verzorgingssysteem. Elk van deze planten vertegenwoordigt verschillende soorten en vereisten, waardoor een breed scala aan behoeften kan worden behandeld en getest.

5.1.1 Plant 1

Een Palm: Een Goudpalm



Figuur 18: Plant 1 van de praktische proef: Een Palm: Een Goudpalm

De Goudpalm is gekozen vanwege zijn populaire aanwezigheid in kamerplantcollecties en zijn vermogen om binnenshuis te gedijen. Deze palm staat bekend om zijn lange, slanke bladeren en sierlijke uitstraling. Het is een plant die goed gedijt bij gematigd licht en matige tot hoge luchtvochtigheid. Door de Goudpalm op te nemen in het geautomatiseerde systeem, kunnen we de effectiviteit van de verzorgingsmethode voor een palm evalueren.

5.1.2 Plant 2

Een bladplant: Een Syngonium



Figuur 19: Plant 2 van de praktische proef: Een bladplant: Een Syngonium

De Syngonium, ook wel bekend als de pijlwortelplant, is gekozen als vertegenwoordiger van de bladplanten. Deze plant staat bekend om zijn aantrekkelijke bladeren in verschillende vormen en kleuren. Het gedijt goed in licht tot halfschaduw en heeft matige luchtvochtigheid nodig. De Syngonium biedt de mogelijkheid om de verzorgingsmethode te testen en aan te passen aan de specifieke behoeften van bladplanten.

5.1.3 Plant 3

Een bladplant: Een Vredeslelie



Figuur 20: Plant 3 van de praktische proef: Een bladplant: Een Vredeslelie

De Vredeslelie, ook wel bekend als de *Spathiphyllum*, is een andere bladplant die is opgenomen in het geautomatiseerde verzorgingssysteem. Deze plant staat bekend om zijn groenblijvende bladeren en witte bloemen. Het gedijt goed in schaduwrijke omstandigheden en vereist een hoge luchtvochtigheid. Door de Vredeslelie op te nemen in het systeem, kunnen we de geschiktheid van de verzorgingsmethode voor deze specifieke bladplant evalueren.

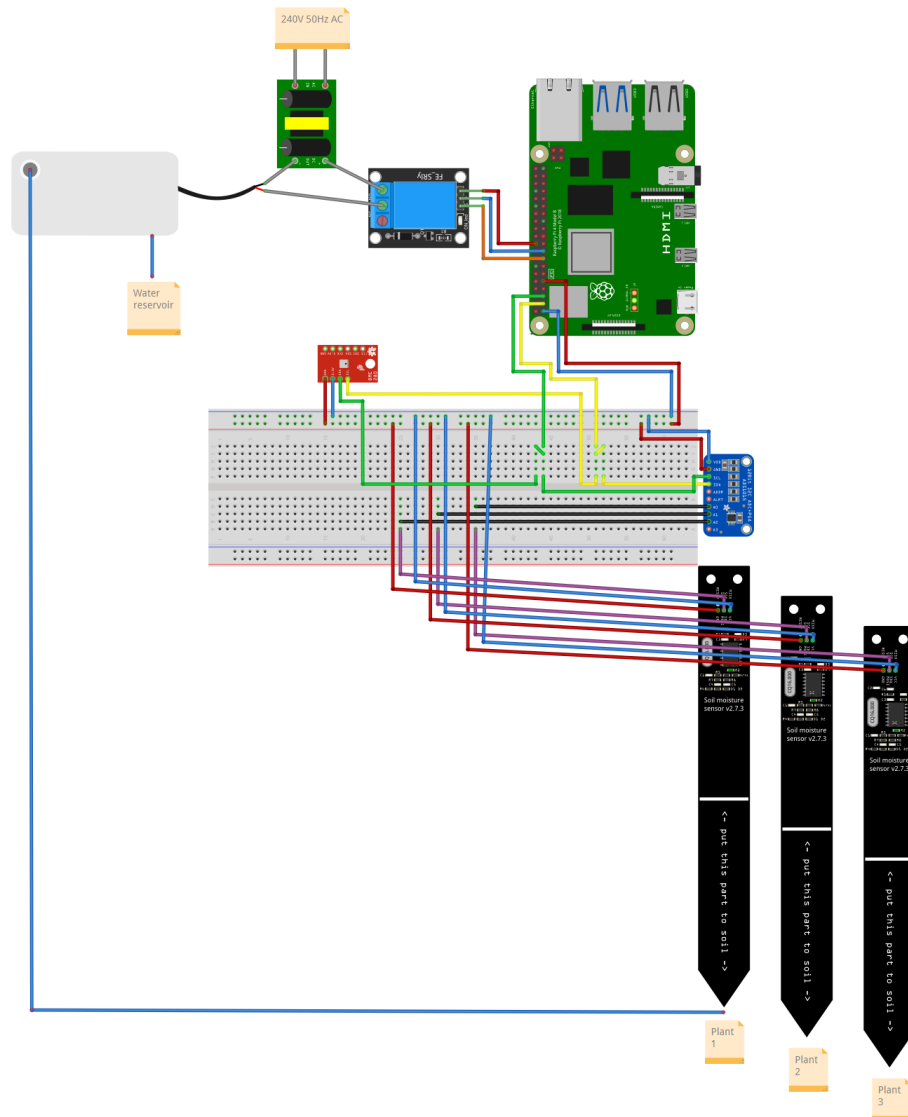
5.2 Het meten en reageren

In dit hoofdstuk wordt de nadruk gelegd op het meten en reageren op verschillende factoren die de gezondheid en groei van kamerplanten beïnvloeden. Dit vormt de basis voor het optimaliseren van het onderhoudsproces van de planten. Allereerst wordt de meet- en reageermethode besproken, gevolgd door de beschrijving van de sensoren die worden gebruikt.

Het meten van belangrijke factoren is essentieel om inzicht te krijgen in de conditie van de planten en de omgevingsomstandigheden waarin ze groeien.

Verschillende sensoren worden gebruikt om deze factoren te meten, namelijk temperatuur, luchtvochtigheid en bodemvochtigheid.

Hieronder staat er een Fritzing circuit van de volledige praktische proef. In de volgende hoofdstukken zal ieder component afzonderlijk besproken worden.



Figuur 21: Een Fritzing circuit van de opstelling van de praktische proef

5.2.1 De computer

Voor het meten en reageren op de factoren is een computer nodig om de gegevens te verwerken en de benodigde acties uit te voeren. Er zijn verschillende opties beschikbaar, zoals single-board computers en microcontrollers.

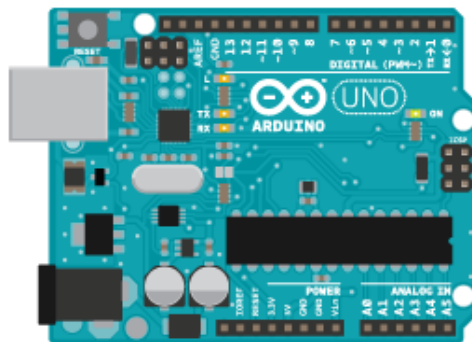
Een single-board computer is een volwaardige computer op een enkel printplaat. Het biedt meer rekenkracht en mogelijkheden dan een microcontroller, maar kan

ook duurder zijn. Single-board computers zoals de Raspberry Pi hebben diverse toepassingen en ondersteunen verschillende besturingssystemen.

Een microcontroller is een compacte computer op een chip die geoptimaliseerd is voor het aansturen van elektronische apparaten en het verwerken van real-time gegevens. Microcontrollers zoals de Arduino zijn populair vanwege hun eenvoudige programmering en brede ondersteuning van sensoren en actuatoren.

In het volgende hoofdstuk zal specifieke informatie worden gegeven over het gebruik van Arduino en Raspberry Pi in dit project, inclusief hun voor- en nadelen. Op basis hiervan kan een weloverwogen keuze worden gemaakt voor de computer die wordt gebruikt.

5.2.1.1 Arduino



Figuur 22: Een Arduino Uno micro-controller

Een van de mogelijke opties voor het gebruik van een computer in de praktische proef is het gebruik van Arduino. Arduino is een open-source microcontrollerplatform dat bekend staat om zijn eenvoudige programmeermogelijkheden en brede ondersteuning van sensoren en actuatoren.

Een voordeel van Arduino is de kosteneffectiviteit. Arduino-boards zijn relatief goedkoop en gemakkelijk verkrijgbaar, waardoor ze toegankelijk zijn voor zowel beginners als ervaren gebruikers die willen experimenteren met het meten en reageren op verschillende factoren bij kamerplanten.

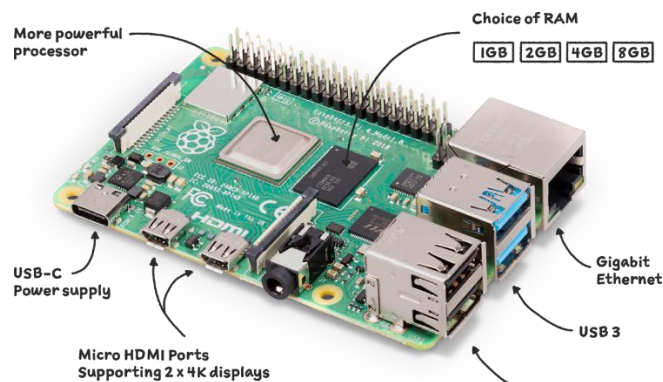
Een ander voordeel van Arduino is de grote gemeenschap en de overvloed aan beschikbare code en projecten online. Er zijn talloze voorbeelden en tutorials beschikbaar die kunnen dienen als referentie bij het programmeren van Arduino voor specifieke toepassingen. Dit maakt het leren en ontwikkelen met Arduino relatief eenvoudig en gebruiksvriendelijk.

Een mogelijke beperking van Arduino is het ontbreken van ingebouwde internetondersteuning. Standaard Arduino-boards hebben geen directe toegang

tot internet, waardoor extra componenten en configuraties nodig kunnen zijn om verbinding te maken met onlineservices of om gegevens naar een externe server te verzenden. Dit kan extra complexiteit met zich meebrengen en de algehele implementatie bemoeilijken.

Ondanks deze beperkingen biedt Arduino nog steeds een krachtig platform voor het meten en reageren op factoren bij kamerplanten. Met de juiste sensoren, actuatoren en programmeervaardigheden kan Arduino effectief worden gebruikt om gegevens te verzamelen, beslissingen te nemen op basis van die gegevens en acties uit te voeren om de omgeving van de planten te optimaliseren (What is Arduino? | Arduino Documentation, z.d.).

5.2.1.2 Raspberry Pi



Figuur 23: Een Raspberry Pi 4 B single-board computer

Een andere mogelijke optie voor het gebruik van een computer in de praktische proef is de Raspberry Pi. De Raspberry Pi is een single-board computer die wordt gewaardeerd om zijn veelzijdigheid en brede ondersteuning van verschillende toepassingen.

Een groot voordeel van de Raspberry Pi is de ingebouwde internetondersteuning. In tegenstelling tot Arduino heeft de Raspberry Pi standaard toegang tot het internet, waardoor directe communicatie met onlineservices en het verzenden van gegevens naar externe servers mogelijk is. Dit opent de deur naar geavanceerdere toepassingen en biedt meer flexibiliteit bij het verzamelen en verwerken van gegevens.

Een ander voordeel van de Raspberry Pi is de krachtige hardware en de mogelijkheid om verschillende programmeertalen te gebruiken, zoals Python, C++ en Java. Hierdoor is het gemakkelijker om complexere taken uit te voeren en gegevens te verwerken op de Raspberry Pi.

Een mogelijke beperking van de Raspberry Pi is de beschikbaarheid en prijs. Vanwege de populariteit van de Raspberry Pi kan het soms moeilijk zijn om een exemplaar te vinden, vooral tijdens periodes van hoge vraag. Daarnaast kan de prijs van een Raspberry Pi-board hoger zijn dan die van een Arduino-board, wat een factor kan zijn om rekening mee te houden bij het plannen van het projectbudget.

Ondanks deze beperkingen biedt de Raspberry Pi een krachtig platform voor het meten en reageren op factoren bij kamerplanten, met name vanwege de ingebouwde internetondersteuning. Met de Raspberry Pi kunnen gegevens worden verzameld, verwerkt en gedeeld met behulp van onlineservices, en kunnen geavanceerdere toepassingen worden ontwikkeld voor het beheren van kamerplanten.

In het volgende hoofdstuk zal de keuze tussen Arduino en Raspberry Pi verder worden besproken en zal worden uitgelegd waarom er is gekozen voor de Raspberry Pi als computerplatform voor dit project (Wikipedia-bijdragers, 2023).

5.2.1.3 De keuze

Na zorgvuldige afweging is besloten om te kiezen voor de Raspberry Pi als computerplatform voor dit project. Deze keuze is gebaseerd op verschillende factoren, zoals persoonlijke voorkeur en projectvereisten.

Een belangrijke reden voor deze keuze is de persoonlijke voorkeur voor de Raspberry Pi, gebaseerd op eerdere ervaringen en vertrouwdheid met het platform. Deze bekendheid vergemakkelijkt de uitvoering van het project en het oplossen van eventuele problemen.

Een ander belangrijk aspect is de ingebouwde internetondersteuning van de Raspberry Pi. Hierdoor is directe toegang tot het internet mogelijk en kunnen online services worden gebruikt zonder extra configuraties of toevoegingen. Dit vergemakkelijkt de communicatie en gegevensoverdracht tussen de Raspberry Pi en externe servers, wat van essentieel belang is voor het monitoren en beheren van kamerplanten.

Bovendien biedt de Raspberry Pi brede ondersteuning voor programmeertalen zoals Python, C++ en Java. Hierdoor kan de benodigde code worden geschreven in een vertrouwde taal die geschikt is voor het uitvoeren van geavanceerde taken en het verwerken van gegevens op de Raspberry Pi.

Hoewel de Raspberry Pi mogelijk een hogere prijs heeft en soms moeilijker verkrijgbaar is vanwege de populariteit, wegen de voordelen van het platform zwaarder door. De persoonlijke keuze, in combinatie met de ingebouwde internetondersteuning en brede programmeerondersteuning, maakt de Raspberry

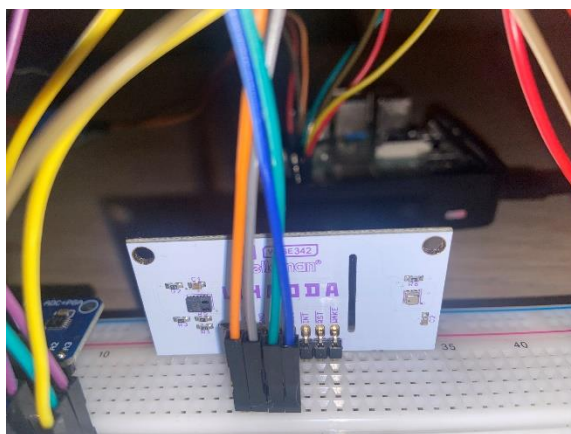
Pi de ideale keuze voor dit project en biedt mogelijkheden voor toekomstige projecten.

In het vervolg van dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de sensoren die worden gebruikt om de meetbare factoren te meten en hoe deze worden geïntegreerd met de Raspberry Pi voor het meten en reageren op de omgeving van de planten (Pounder, 2020).

5.2.2 De sensoren

Om de meetbare factoren van de kamerplanten te meten, worden verschillende sensoren gebruikt. Deze sensoren maken het mogelijk om nauwkeurige metingen te doen van de omgevingsomstandigheden en de bodemvochtigheid. Hieronder worden de specifieke sensoren besproken die gebruikt zullen worden.

5.2.2.1 Temperatuur en luchtvochtigheid



Figuur 24: Het WPSE342 combo-bord

Voor het meten van de temperatuur en luchtvochtigheid worden verschillende sensoren gebruikt. De WPSE342 is het combo-bord dat wordt gebruikt. Het combo-bord bevat twee belangrijke IC's, namelijk de CCS811 en de BME280, waarmee een breed scala aan omgevingsgegevens kan worden gemeten, zoals luchtdruk, vochtigheid en temperatuur.

De CCS811-sensor is specifiek ontworpen voor het meten van de luchtkwaliteit en kan informatie verstrekken over Total Volatile Organic Compounds (TVOC's) en equivalente CO₂-niveaus (eCO₂) in de omgeving. Tijdens de praktische proef werd echter vastgesteld dat het CCS811-gedeelte van de sensor niet goed functioneerde. Aangezien de metingen van TVOC's en eCO₂ niet essentieel waren voor het project, werd de focus gelegd op de andere functionaliteiten van het combo-bord.

De BME280-sensor op het combo-bord meet de temperatuur, luchtvochtigheid en luchtdruk. Deze sensor levert nauwkeurige metingen van de omgevingstemperatuur en luchtvochtigheid rondom de kamerplanten. Het maakt gebruik van het I2C-communicatieprotocol om gemakkelijk te communiceren met de computer en de verzamelde gegevens door te geven voor verdere verwerking.

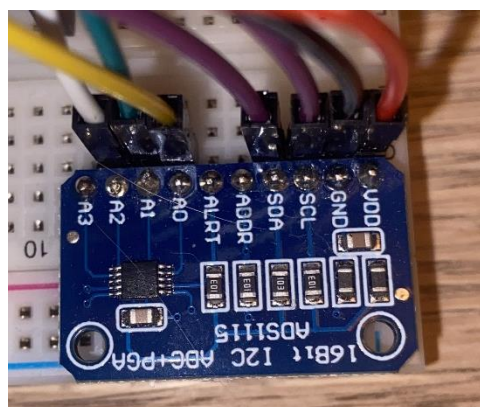
Met behulp van de WPSE342 kunnen betrouwbare metingen worden gedaan van de temperatuur en luchtvochtigheid, wat essentieel is voor het creëren van optimale groeiomstandigheden voor de kamerplanten. Ondanks het niet goed functioneren van het CCS811-gedeelte, bleven de metingen van temperatuur en luchtvochtigheid waardevol voor het project (AIR QUALITY SENSOR COMBO BOARD - Whadda, 2023).

5.2.2.2 Bodemvochtigheid



Figuur 25: De capacatieve bodemvochtigheidssensor

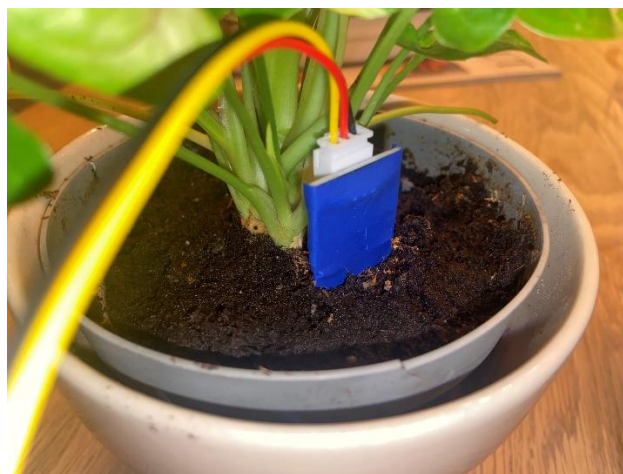
Voor het meten van de bodemvochtigheid wordt een capacatieve bodemvochtigheidssensor gebruikt. Deze sensor maakt gebruik van de capaciteit van de bodem om het vochtgehalte te meten. Het is belangrijk op te merken dat de sensor analoge metingen levert en dat deze omgezet moet worden naar digitale waarden met behulp van een ADC (analoog-naar-digitaal converter) genaamd ADS1015 voor verdere verwerking.



Figuur 26: De ADS1015 ADC (foute benaming op het bordje zelf)

Een essentiële stap in het proces is het kalibreren van de bodemvochtigheidssensor. Hierdoor kunnen de metingen worden aangepast aan de specifieke eigenschappen van de bodem en de te monitoren planten. Dit draagt bij aan nauwkeurigere en betrouwbaardere resultaten.

Het moet echter worden opgemerkt dat tijdens de praktische proef bleek dat de bodemvochtigheidssensor zeer onbetrouwbaar was. 50% van de ontvangen sensoren functioneerde niet correct, zonder enige fysieke schade. Dit had ook invloed op een deel van de verkregen resultaten. Bovendien bevinden de componenten van de sensor zich in het open op het sensorplaatje, ondanks dat ze in contact komen met vochtige bodem. Om dit probleem aan te pakken, zijn de componenten van de sensor afgetaped met elektrische tape om mogelijke storingen te minimaliseren.



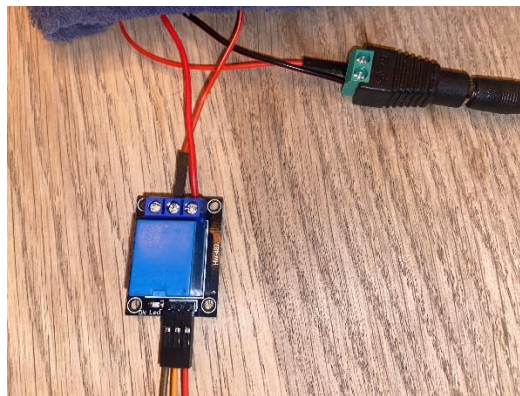
Figuur 27: De bodemvochtigheidssensor in toepassing

Ondanks de uitdagingen en beperkingen met betrekking tot de bodemvochtigheidssensor, is er toch geprobeerd zo nauwkeurig mogelijke metingen te verkrijgen en deze te integreren in het geautomatiseerde systeem voor het beheer van kamerplanten ((Piddler, 2020), (Piddler, 2021), (Placidi et al., 2020)).

5.2.3 De reactiemethode



Figuur 28: De 12V waterpomp



Figuur 29: De relais

Voor Plant 1 is een specifieke reactiemethode toegepast om de bodemvochtigheid te reguleren. Een 12V waterpompje is gekoppeld aan deze plant en wordt geactiveerd wanneer de bodemvochtigheid onder een bepaald drempelniveau daalt.

Om deze reactie mogelijk te maken, is een relais gebruikt om de Raspberry Pi te verbinden met het waterpompje. Hierdoor kan de Raspberry Pi het pompje aansturen en water naar de plant pompen wanneer dat nodig is.

Het waterpompje is verbonden met een groot watervat, zodat er voldoende water beschikbaar is voor de plant. Buisjes met een diameter van 8 mm zijn gebruikt om het water nauwkeurig naar de plant te leiden, met de punt van de buisjes geplaatst op de overgang van stengels naar wortels in de bodem. Hierdoor wordt het water direct bij de wortels afgeleverd, wat optimale bewatering van de plant mogelijk maakt.



Figuur 30: Het watervat

Deze specifieke reactiemethode is alleen toegepast op Plant 1 om de complexiteit van het project niet onnodig te verhogen. Voor de andere planten is een andere benadering gekozen om de bodemvochtigheid te reguleren. Zo is Plant 2 handmatig bewaterd en is Plant 3 bewust uitgedroogd. Op deze manier konden duidelijke vergelijkingen worden gemaakt tussen de verschillende methoden.



Figuur 31: Het geautomatiseerde watersysteem in toepassing op plant 1

Door deze aanpak te hanteren, kon de focus specifiek worden gelegd op het meten en reageren op de bodemvochtigheid van Plant 1, terwijl de andere planten op conventionele wijze werden verzorgd.

Hierdoor was het mogelijk om de belangrijkste aspecten van het project te verkennen en de functionaliteit van het geautomatiseerde systeem te demonstreren zonder onnodige complexiteit toe te voegen.

Het aanpassen van de reactiemethode aan de individuele behoeften van elke plant is een belangrijk aspect van het project. Hierdoor kunnen duidelijke vergelijkingen worden gemaakt tussen de verschillende methoden en hun effect op de groei en gezondheid van de planten (Constantino, 2021).

5.2.4 De code



Figuur 32: Het logo van Python

De implementatie van de functionaliteiten in het project is gebaseerd op Python-code die op de Raspberry Pi wordt uitgevoerd. De code maakt gebruik van verschillende componentbibliotheken om de benodigde functionaliteit te realiseren.

Bij het starten van de code wordt de I2C-bus geïnitieerd en worden de sensoren aangesloten, waaronder de bodemvochtigheidssensoren en de BME280-sensor voor temperatuur en luchtvochtigheid. Vervolgens wordt de Flask-app opgezet, waarmee gegevens kunnen worden gehost en toegankelijk zijn via een webinterface.

Een kalibratiebestand speelt een belangrijke rol in de code. Dit bestand bevat de kalibratiegegevens van de sensoren. Als het kalibratiebestand beschikbaar is, worden de gegevens geladen. Als het kalibratiebestand niet gevonden wordt, wordt het kalibratieproces gestart om de sensoren te kalibreren.

De kernfunctionaliteit van de code bevindt zich in een oneindige while-lus. Binnen deze lus worden de sensoren uitgelezen en wordt de bodemvochtigheid berekend op basis van de kalibratiegegevens. Vervolgens worden de gegevens gelogd en wordt er gecontroleerd of de bodemvochtigheid onder een bepaalde drempelwaarde ligt. Indien dit het geval is, wordt het waterpompje geactiveerd om water naar de plant te pompen.

Om de gegevens toegankelijk te maken via een webinterface, wordt er een aparte thread gebruikt om de Flask-app te laten draaien. Hierdoor kunnen gebruikers de sensorgegevens ophalen en de status van de planten controleren via een webbrowser.

De bovenstaande beschrijving biedt een beknopt overzicht van de code-implementatie en de functionaliteit ervan. De daadwerkelijke code omvat meer gedetailleerde stappen en functies die worden uitgevoerd om het meten, reageren en loggen van gegevens mogelijk te maken ((Piddler, 2020), (Piddler, 2021), (Constantino, 2021)).

5.2.4.1 Het interview

Er is ook een interview van een programmeur die zelf applicaties ontwikkeld in Python:

Q: Gebruik je zelf Python?

A: Ja, ik maak AI met Python.

Q: Voordelen van Python ten opzichte van andere talen?

A: Eenvoudige syntax, grote gemeenschap, brede scala aan bibliotheken en frameworks.

Q: Waarvoor is Python bekend?

A: Python is bekend voor zijn veelzijdigheid in verschillende domeinen zoals webontwikkeling, data-analyse en machine learning.

Q: Andere toepassingen van Python?

A: Webontwikkeling, data-analyse, automatisering, machine learning, kunstmatige intelligentie.

Q: Waarom is Python de beste optie voor het werken met sensoren via een Raspberry Pi?

A: Python is de meest gebruikte taal voor het programmeren met sensoren op een Raspberry Pi.

Q: Bijdrage van Python aan werken met sensoren via Raspberry Pi?

A: Speciale bibliotheken zoals RPi.GPIO en Adafruit CircuitPython voor eenvoudige communicatie met sensoren en elektronische componenten.

Q: Wat is het voordeel van het automatiseren van taken zoals plantverzorging?

A: Het automatiseren van taken zoals plantverzorging bespaart tijd, minimaliseert fouten en maakt afstandsmonitoring en -aanpassingen mogelijk.

Q: Zou het huidige project nog kunnen worden uitgebreid?

A: Ja, het project kan worden uitgebreid met extra sensoren, geavanceerde algoritmen en integratie met spraak gestuurde assistenten.

5.3 Het monitoren

Bij het monitoren van de gegevens in het kamerplantenproject is gekeken naar bestaande methoden en is overwogen welke het meest efficiënt en effectief zouden zijn. Er is rekening gehouden met enkele andere mogelijkheden, zoals visueel monitoren door naar de bodem te kijken en op gevoel de behoefte aan water of andere verzorging in te schatten.

Hoewel deze benadering traditioneel en intuïtief is, bleek deze in de praktijk inefficiënt te zijn. Het is moeilijk om nauwkeurige metingen te verkrijgen en het vereist constante observatie en interpretatie. Daarom is besloten om een meer geavanceerde en betrouwbare methode te gebruiken voor het monitoren van de gegevens.

In plaats daarvan is gekozen voor het gebruik van het internet en een website om de gegevens te monitoren. Dit biedt verschillende voordelen ten opzichte van de andere methoden. Door de gegevens online beschikbaar te maken, kunnen ze op een gestructureerde en toegankelijke manier worden gepresenteerd. Gebruikers kunnen de gegevens op afstand en in real-time bekijken, wat zorgt voor een efficiëntere en gemakkelijkere monitoring van de planten.

Het internet biedt ook de mogelijkheid om gegevens te centraliseren en te analyseren. De verzamelde gegevens kunnen worden opgeslagen, trends kunnen worden geïdentificeerd en inzichten kunnen worden verkregen in de groei en gezondheid van de planten. Dit maakt het mogelijk om op basis van objectieve gegevens de verzorging van de planten te optimaliseren en eventuele problemen snel te detecteren en aan te pakken ((React, z.d.), (Create React App, z.d.)).

5.3.1.1 Data transfer methode



Figuur 33: Het logo van Flask

Voor het monitoren van de plantgegevens is gebruik gemaakt van een data transfer methode die gebaseerd is op het hosten van een Flask-applicatie over het internet. De Flask-applicatie fungeert als een host voor de verzamelde gegevens.

In de implementatie wordt de verzamelde data opgeslagen in een array in de Flask-applicatie. Om de gegevens beschikbaar te maken voor externe systemen of applicaties, wordt gebruik gemaakt van HTTP-requests.

Externe systemen of applicaties kunnen een GET-request sturen naar de Flask-applicatie om de gegevens op te halen. De Flask-applicatie reageert op deze requests door de gegevens te verzenden als een reactie op het GET-request.

Het gebruik van GET-requests maakt het mogelijk om de gegevens op te halen vanaf elke gewenste locatie. Dit biedt flexibiliteit en maakt integratie met andere systemen mogelijk (Welcome to Flask — Flask Documentation (2.3.x), z.d.).

In het volgende hoofdstuk zal dieper ingegaan worden op het ontwerp en de ontwikkeling van de website, waarbij de gegevens van de Flask-applicatie gebruikt worden om een mooie, snelle en interactieve interface te creëren voor het monitoren van de plantgegevens.

5.3.1.2 De website



Figuur 34: Het logo van React

Voor het monitoren van de plantgegevens is een website ontwikkeld met behulp van React, een populaire JavaScript-bibliotheek voor het bouwen van gebruikersinterfaces.

De website is ontworpen als een single-page applicatie, waardoor de pagina niet elke keer opnieuw geladen hoeft te worden bij het ophalen van nieuwe gegevens. Dit zorgt voor een snelle en vloeiende gebruikerservaring.

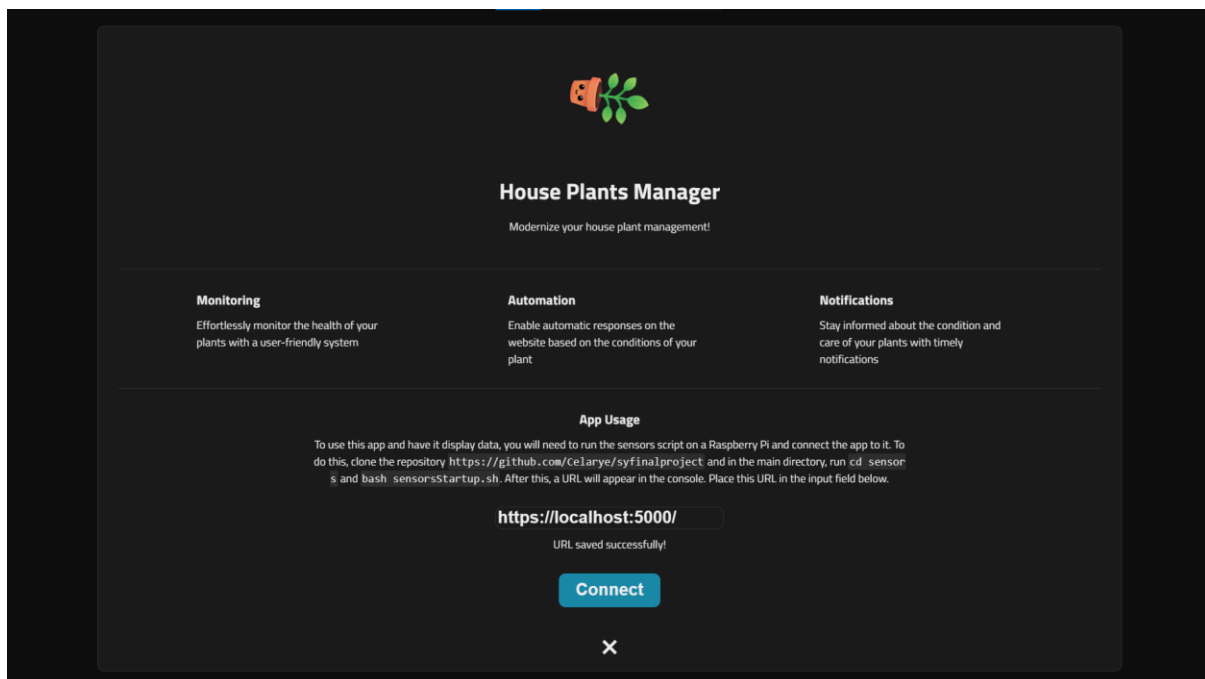
De website heeft een eenvoudige en intuïtieve interface. Gebruikers kunnen gemakkelijk de plantgegevens bekijken en de status van elke plant controleren. De gegevens worden overzichtelijk weergegeven in tabellen, wat gebruikers snel inzicht geeft in de groei en gezondheid van de planten.

Een belangrijk kenmerk van de website is de aanpasbaarheid voor gebruikers. Gebruikers hebben de mogelijkheid om de fetch-URL aan te passen, waardoor ze de gegevens kunnen integreren in hun eigen scripts of applicaties. Het is echter belangrijk op te merken dat het aangepaste script vergelijkbaar moet zijn met het originele script om correcte resultaten te garanderen.

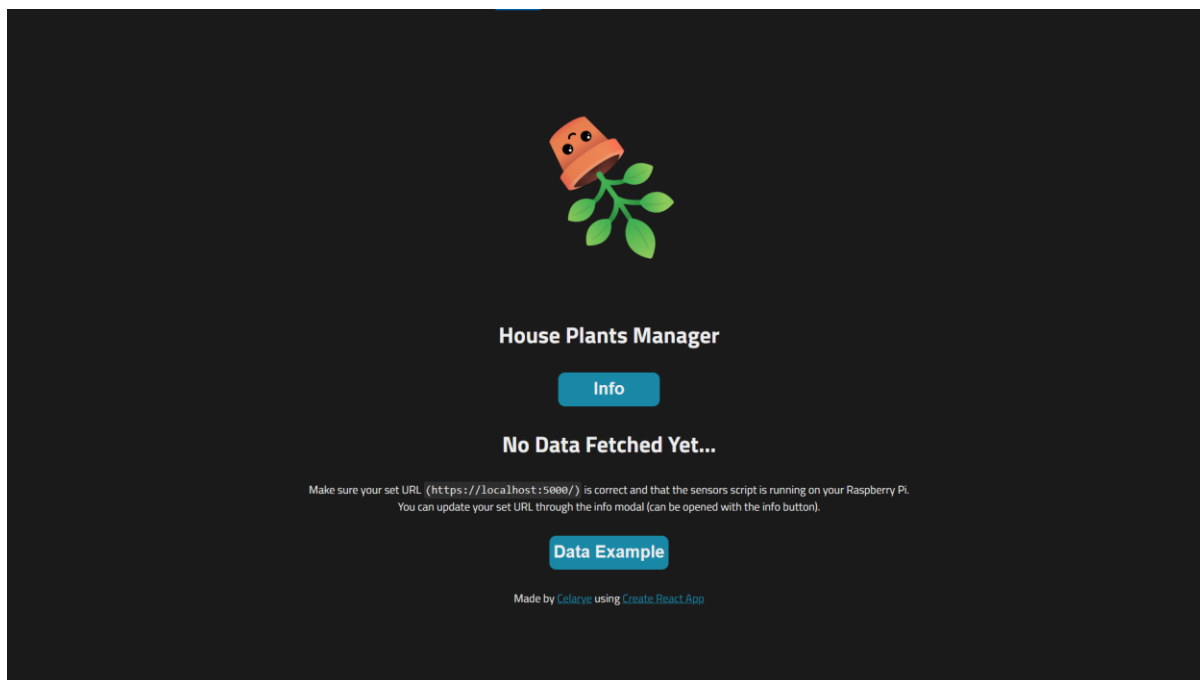
Daarnaast fungeert de website ook als een gids en voorbeeld voor het project. Instructies en documentatie zijn toegevoegd om gebruikers te begeleiden bij het opzetten en implementeren van hun eigen geautomatiseerd kamerplantensysteem. Hierdoor kunnen andere geïnteresseerden profiteren van de ervaringen en lessen die zijn geleerd tijdens het project.

Kortom, de website biedt een intuïtieve gebruikerservaring, een duidelijk overzicht van de plantgegevens en ondersteuning voor aanpasbaarheid tussen gebruikers. Het is een handig hulpmiddel voor het monitoren van de planten en biedt tevens inspiratie en begeleiding voor anderen die geïnteresseerd zijn in het bouwen van een vergelijkbaar systeem.

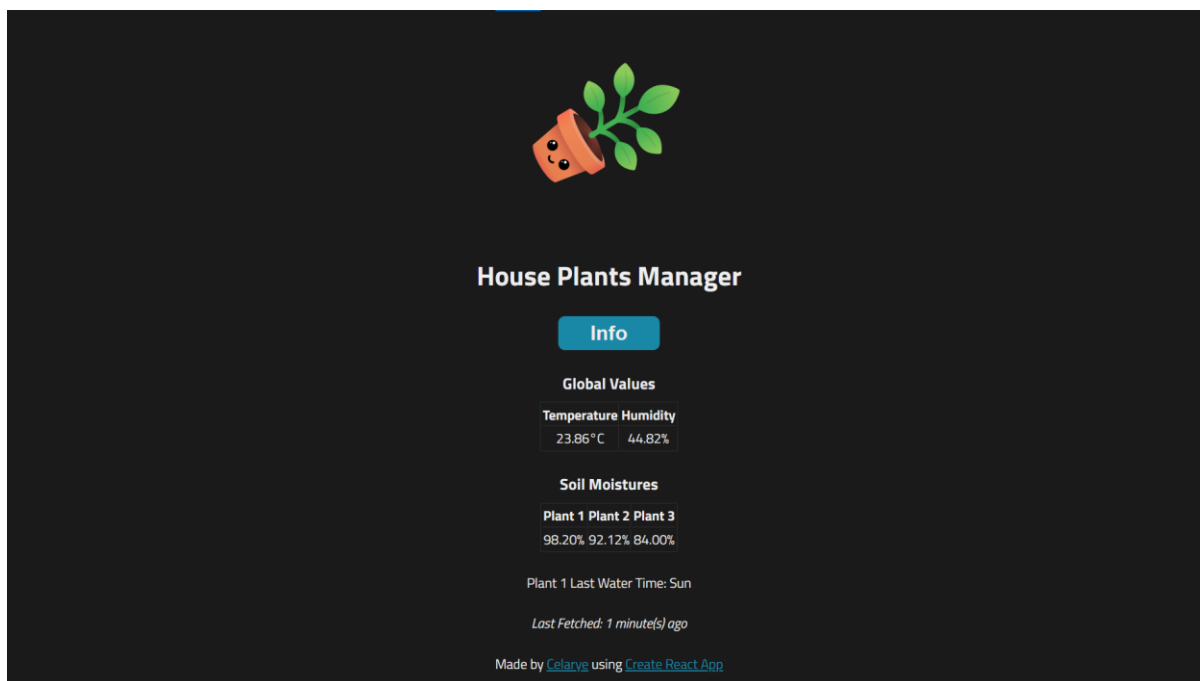
De website kan bezocht worden via de volgende URL: <https://syfinalproject.celarye.dev/>. Als fetch-URL op de website kan 'http://localhost:5000/' gebruikt worden. Houd er rekening mee dat dit geen gegevens zal tonen, maar u in staat stelt om de rest van de website probleemloos te bekijken.



Figuur 35: Een screenshot van de 'Info' modal op de website



Figuur 36: Een screenshot van de website (zonder data)



Figuur 37: Een screenshot van de website (met data)

5.4 GitHub



Figuur 38: Het logo van Git



Figuur 39: Het logo van GitHub

GitHub is gebruikt als een efficiënte werkmethode en een platform om de code te delen met anderen. Hierdoor kan versiebeheer worden toegepast op de codebase, waardoor wijzigingen kunnen worden bijgehouden.

Het hosten van het project op GitHub maakt het mogelijk om de code beschikbaar te stellen voor anderen om te verkennen en te gebruiken. Het project is gelicentieerd onder de MIT-licentie, waardoor iedereen de vrijheid heeft om de code te gebruiken, aan te passen en te verspreiden voor zowel persoonlijke als commerciële doeleinden.

Om andere ontwikkelaars te helpen bij het begrijpen en bijdragen aan het project, is een README-bestand toegevoegd aan het GitHub-repository. Dit README-bestand geeft een overzicht van het project, inclusief het doel, de huidige functionaliteiten en een lijst met geplande toekomstige ontwikkelingen.

Door het project openbaar beschikbaar te maken op GitHub, wordt gehoopt op toekomstige betrokkenheid van andere ontwikkelaars. Zij kunnen bijdragen aan de codebase door suggesties te doen, fouten op te lossen en nieuwe functies toe te voegen ((Git, z.d.), (GitHub: Let's build from here, z.d.)).

5.5 Overzicht



Figuur 40: Een foto van de complete praktische proef

In dit project is een geautomatiseerd kamerplantensysteem ontwikkeld. Het systeem is ontworpen om planten te monitoren en te reageren op meetbare factoren zoals bodemvochtigheid, temperatuur en luchtvochtigheid.

- Voor de hardware is gebruik gemaakt van een Raspberry Pi als de kern van het systeem. Verschillende sensoren, zoals een capacitieve bodemvochtigheidssensor en een BME280-IC voor temperatuur en luchtvochtigheid, zijn aangesloten op de Raspberry Pi.
- De reactiemethode omvatte het activeren van een 12V waterpompje wanneer de bodemvochtigheid onder een bepaalde drempelwaarde daalde. Dit werd specifiek toegepast op Plant 1.
- De code, geschreven in Python, stelde de Raspberry Pi in staat om sensoren uit te lezen, reacties uit te voeren en gegevens te loggen. Componentbibliotheken werden gebruikt voor de functionaliteit.
- Om de plantgegevens toegankelijk te maken, is een Flask-app opgezet. Deze app fetchte de gegevens elke minuut en stuurde ze door naar een website.

- De website, ontwikkeld met behulp van React, fungeerde als een gebruikersinterface voor het monitoren van de plantgegevens. Het bood een eenvoudige en overzichtelijke presentatie van de gegevens.
- GitHub werd gebruikt als een efficiënte werkmethode en platform om de code te delen. De code is gelicentieerd onder de MIT-licentie, wat bijdraagt aan mogelijke betrokkenheid van andere ontwikkelaars.

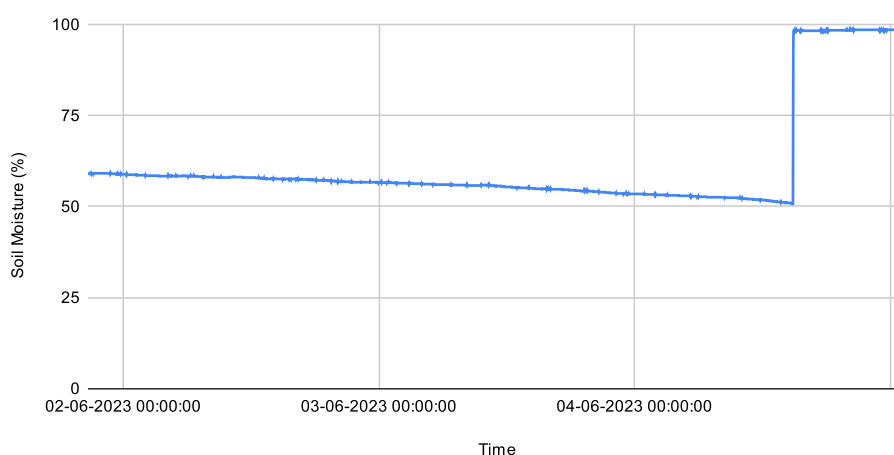
Dit overzicht geeft een beknopt beeld van het geautomatiseerde kamerplantensysteem dat is ontwikkeld. Het project heeft de integratie van sensoren, gegevensverzameling, reacties op meetbare factoren en een gebruikersinterface voor het monitoren van planten mogelijk gemaakt (Celarye, z.d.).

6 Resultaten

Het analyseren van de resultaten van het geautomatiseerde kamerplantensysteem heeft waardevolle inzichten opgeleverd. De werking van de bodemvochtigheidssensoren is bevestigd en de bodemvochtigheid kon gedurende een verlengde periode succesvol worden bepaald. In plant 1 is duidelijk het dalen van de bodemvochtigheid waargenomen (van 59% naar 50%), geïllustreerd door een grafiek. Zodra de bodemvochtigheid de drempelwaarde (50%) bereikte, werd er water gegeven en steeg de bodemvochtigheid weer (naar 98%). Bij plant 2 daalde de bodemvochtigheid ook, zij het minder significant (van 96% naar 93%), maar bleef boven de drempelwaarde, waardoor er geen water werd gegeven.

Soil Moisture

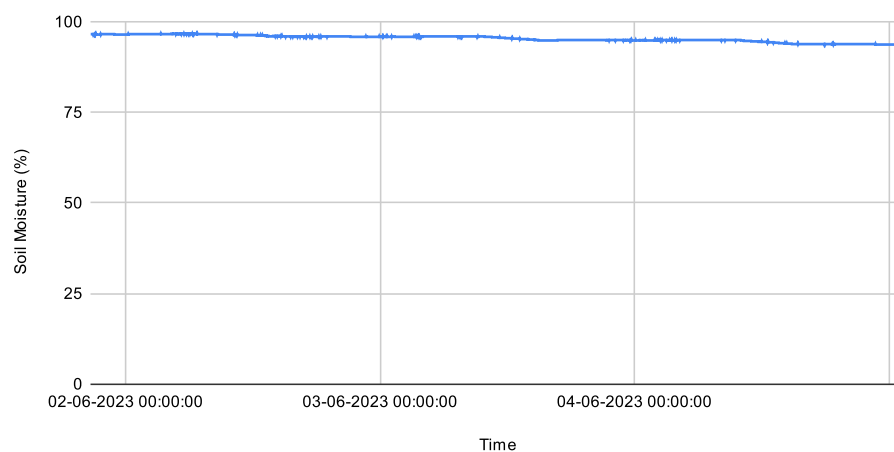
(Plant 1)



Grafiek 1: De bodemvochtigheid van plant 1

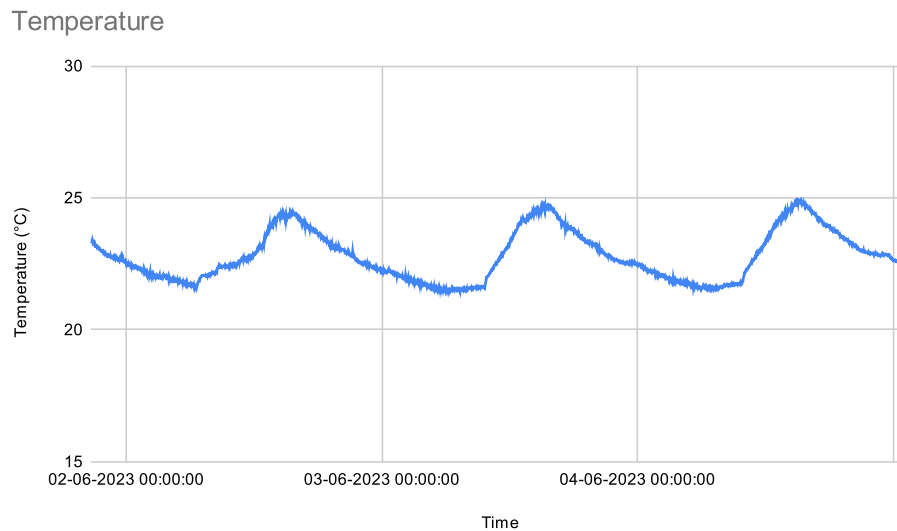
Soil Moisture

(Plant 2)

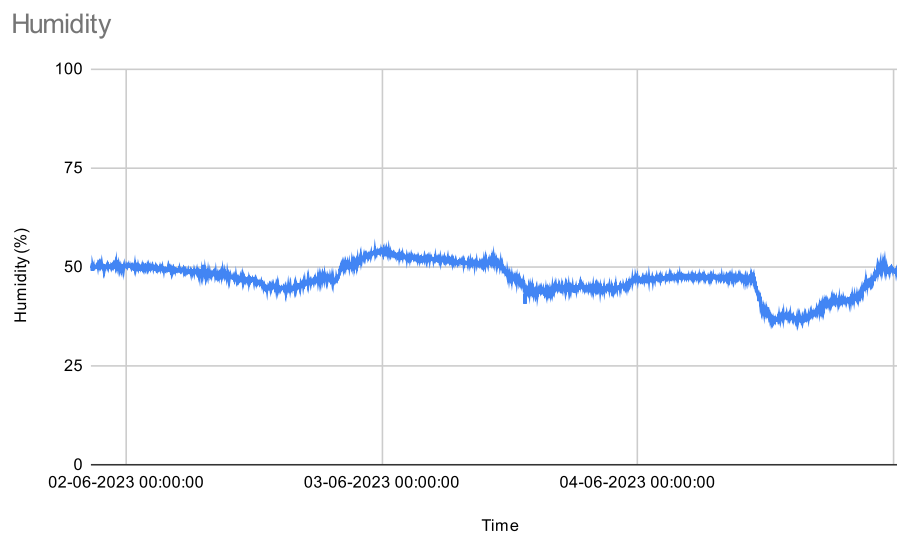


Grafiek 2: De bodemvochtigheid van plant 2

Daarnaast zijn de temperatuur- en luchtvochtigheidssensoren nauwkeurig gebruikt. Dagelijkse temperatuurschommelingen met stijging overdag en daling 's nachts, evenals omgekeerde schommelingen in luchtvochtigheid, zijn waargenomen. Deze bevindingen zijn in lijn met normale dagelijkse schommelingen in temperatuur en luchtvochtigheid.



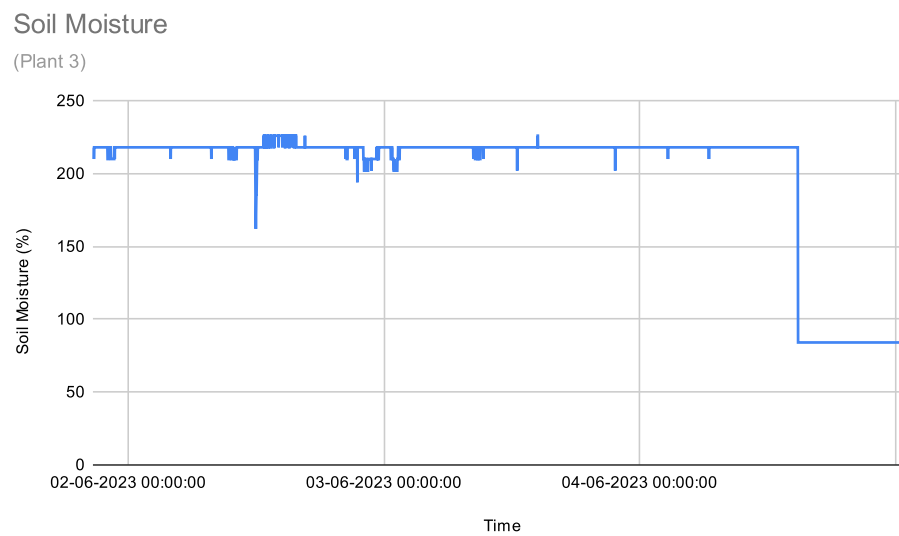
Grafiek 3: De temperatuur



Grafiek 4: De luchtvochtigheid

Het klimaat waarin de tests zijn uitgevoerd, was niet extreem, waardoor de invloed op de bodemvochtigheid beperkt was. Het monitoren van temperatuur en luchtvochtigheid kan echter vooral waardevol zijn in omgevingen met meer uitgesproken klimaatvariëaties, waar schommelingen een grotere impact hebben op de bodemvochtigheid.

Helaas is geconstateerd dat de bodemvochtigheidssensor in plant 3 defect was, waardoor betrouwbare waarden niet konden worden verkregen (Smet, 2023).



Grafiek 5: De bodemvochtigheid van plant 3

7 Besluit

Uit de resultaten van het geautomatiseerde kamerplantensysteem kan geconcludeerd worden dat de bodemvochtigheidssensoren succesvol de bodemvochtigheid kunnen meten en reageren op veranderingen. Waarnemingen tonen aan dat de bodemvochtigheid daalt en stijgt, waarbij water wordt gegeven zodra de drempelwaarde wordt bereikt. Dit bevestigt de effectiviteit van het systeem in het monitoren en beheren van de watergift voor planten.

Daarnaast is vastgesteld dat de temperatuur- en luchtvochtigheidssensoren nauwkeurig werken en in staat zijn om de normale dagelijkse schommelingen in temperatuur en luchtvochtigheid te registreren. Hoewel het klimaat waarin de tests zijn uitgevoerd niet extreem was, kan worden gesteld dat het monitoren van deze factoren vooral nuttig zal zijn in omgevingen met meer uitgesproken klimaatvariaties.

Het defect van de bodemvochtigheidssensor in plant 3 benadrukt het belang van goed werkende en betrouwbare sensoren voor het behalen van nauwkeurige metingen en betrouwbare resultaten.

Over het geheel genomen is met het geautomatiseerde kamerplantensysteem een waardevol instrument ontwikkeld voor het effectief monitoren en beheren van de groeiomgeving van kamerplanten. Het systeem biedt mogelijkheden voor gepersonaliseerde aanpassingen, zoals de watergift, en kan helpen bij het creëren van een optimale groeiomgeving voor verschillende plantensoorten. Door de integratie van sensoren, geavanceerde algoritmen en een intuïtieve gebruikersinterface kan de gezondheid en groei van de planten nauwlettend worden gevolgd en waar nodig bijgestuurd.

Het is belangrijk op te merken dat het geautomatiseerde kamerplantensysteem nog ruimte biedt voor verdere ontwikkeling en optimalisatie. Hoewel er positieve resultaten zijn behaald in de testomgeving, kunnen er nog aanpassingen nodig zijn om het systeem beter te laten presteren in omgevingen met meer extreme klimaatvariaties. Ook kunnen nieuwe functies en verbeteringen worden toegevoegd op basis van gebruikersfeedback en input van andere ontwikkelaars.

Het succesvol ontwikkelen van een gebruiksvriendelijke website als onderdeel van het geautomatiseerde kamerplantensysteem is een belangrijke mijlpaal. De website bood een intuïtieve gebruikersinterface waarmee gebruikers de status

van hun planten konden bekijken. Bovendien functioneerde de website goed en bood het een overzichtelijke weergave van de plantgegevens in tabellen.

Daarnaast is het project openbaar beschikbaar gesteld op GitHub, waardoor andere ontwikkelaars de code kunnen verkennen, gebruiken en bijdragen aan verdere ontwikkeling. Door het project te licenseren onder de MIT-licentie, is anderen de vrijheid gegeven om de code aan te passen en te verspreiden voor zowel persoonlijke als commerciële doeleinden.

Tot slot moet worden vermeld dat de prijs van het project aan de hoge kant lag, voornamelijk door de dure Raspberry Pi als gevolg van het grote chiptekort in de wereld en enkele miskopen tijdens de praktische proef. Dit heeft invloed gehad op de totale kosten van het systeem. In toekomstige iteraties van het project zal er zorgvuldig gekeken worden naar alternatieve opties om de kosten te optimaliseren zonder concessies te doen aan de functionaliteit en betrouwbaarheid.

Met verdere ontwikkeling, optimalisatie en samenwerking kan het geautomatiseerde kamerplantensysteem een waardevol hulpmiddel worden voor zowel individuele plantliefhebbers als grootschalige toepassingen in de landbouw en tuinbouwsector. De combinatie van sensoren, geavanceerde algoritmen en een intuïtieve gebruikersinterface biedt mogelijkheden voor effectieve optimalisatie van de groeiomgeving van planten en het bevorderen van hun gezondheid. De voortdurende feedback van gebruikers en de voortschrijdende technologische ontwikkelingen in de sector zouden de verdere verfijning en verrijking van het systeem kunnen stimuleren.

Antwoord op de onderzoeksvraag: Een Raspberry Pi en een website kan redelijk goed gebruikt worden voor het automatiseren en monitoren van het onderhouden van kamerplanten.

8 Reflectie

Een reflectie op het project.

8.1 Reflectie op het werkdocument

Het werkdocument was over het algemeen goed gestructureerd en heeft geholpen om een duidelijk overzicht van het project te krijgen. Hoewel het typen van het werkdocument wellicht beter verspreid had kunnen worden over de tijd, is het toch gelukt om het op tijd af te ronden. Het werkdocument bood een nuttige leidraad tijdens het project en heeft geholpen om georganiseerd te blijven en de voortgang bij te houden.

8.2 Reflectie op de praktische proef

De praktische proef is over het algemeen vlot verlopen, maar het zou beter geweest zijn als er eerder mee was begonnen. Door tijdgebrek zijn er een aantal miskopen gedaan tijdens de praktische proef, wat invloed heeft gehad op de kosten van het systeem. Dit is een leerpunt voor toekomstige projecten, waarbij de planning beter afgestemd moet worden en voldoende tijd gereserveerd moet worden voor de praktische uitvoering.

In het algemeen is dit project als redelijk leuk ervaren en zijn er veel interessante dingen geleerd. Het gebruik van een Raspberry Pi en het ontwikkelen van een website als onderdeel van het geautomatiseerde kamerplantensysteem waren nieuwe uitdagingen waar veel van is opgestoken. Er is tevredenheid over de behaalde resultaten en er is enthousiasme over de verdere ontwikkeling en toepassing van dit systeem.

Dit sluit het project af met een positieve reflectie en benadrukt de leermogelijkheden en interessante ervaringen die zijn opgedaan tijdens het proces.

9 Toekomstig werk

Het geautomatiseerde kamerplantensysteem biedt veel potentieel voor toekomstig werk en verdere ontwikkeling. Hieronder worden enkele aspecten belicht waarop in de toekomst gefocust kan worden:

9.1 Verbeterde sensortechnologie

Hoewel de huidige sensoren effectief hebben gewerkt, kan er verder onderzoek en ontwikkeling plaatsvinden om de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid te verbeteren. Dit omvat het verkennen van nieuwe sensortechnologieën die nog preciezere metingen mogelijk maken en beter bestand zijn tegen omgevingsinvloeden.

9.2 Uitbreiding van functionaliteit

Het systeem kan uitgebreid worden met nieuwe functionaliteiten om de gebruikerservaring verder te verbeteren. Bijvoorbeeld door functies toe te voegen zoals het detecteren van voedingsstoffenniveaus in de bodem, het meten van de lichtintensiteit of het identificeren van ziektesymptomen bij planten. Deze toevoegingen zouden de mogelijkheid bieden om de verzorging van de planten nog verder te optimaliseren.

9.3 Integratie van slimme assistenten en IoT

Het integreren van slimme assistenten zoals spraakgestuurde interfaces (bijv. Amazon Alexa, Google Assistant) kan de interactie met het systeem vereenvoudigen en het gebruiksgemak vergroten. Bovendien kan de integratie met het Internet of Things (IoT) mogelijkheden bieden voor het automatisch aanpassen van instellingen op basis van externe gegevensbronnen, zoals weerinformatie.

9.4 Schaalbaarheid en grootschalige implementatie

Het geautomatiseerde kamerplantensysteem kan aangepast en geoptimaliseerd worden voor grootschalige toepassingen, bijvoorbeeld in de landbouw- en tuinbouwsector. Dit omvat het ontwikkelen van robuuste systemen die in staat zijn om meerdere planten tegelijk te monitoren en te beheren, en het implementeren van geavanceerde analysemethoden om grootschalige gegevens te verwerken.

9.5 Kostenverlaging

Het optimaliseren van het systeem met het oog op kostenefficiëntie is een belangrijk aspect voor toekomstig werk. Het verkennen van alternatieve hardware-opties en het identificeren van mogelijkheden om de productiekosten te verlagen, zoals het verminderen van de afhankelijkheid van dure componenten, kan bijdragen aan het vergroten van de toegankelijkheid en het bredere gebruik van het systeem.

Met deze toekomstige mogelijkheden biedt het geautomatiseerde kamerplantensysteem een solide basis voor verdere innovatie en ontwikkeling. Door voort te bouwen op de bestaande resultaten, het verkennen van nieuwe technologieën en functionaliteiten, en te streven naar kostenefficiëntie, kan het systeem blijven evolueren en een waardevol instrument worden voor zowel individuele plantliefhebbers als professionals in de landbouw- en tuinbouwsector.

Bibliografie

- Admin. (2017, 10 maart). Caring for Plants in a Retail Setting. Center for Agriculture, Food, and the Environment. <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/caring-for-plants-in-retail-setting>
- AIR QUALITY SENSOR COMBO BOARD - Whadda. (2023, 30 mei). Whadda. <https://whadda.com/product/air-quality-sensor-combo-board-wpse342/>
- Bouw zaadplanten - Wikiwijs Maken. (z.d.). wikiwijs. <https://maken.wikiwijs.nl/87623#!page-2543109>
- Caring for Houseplants. (2022, 3 oktober). Better Homes & Gardens. <https://www.bhg.com/gardening/houseplants/care/>
- Celarye. (z.d.). GitHub - Celarye/syfinalproject: This is a repository containing everything regarding my final project in my senior year of high school. GitHub. <https://github.com/Celarye/syfinalproject>
- Constantino, A. (2021). Water Your Plant Using a Raspberry Pi and Python. DEV Community. <https://dev.to/alanjc/water-your-plant-using-a-raspberry-pi-and-python-2ddb>
- Create React App. (z.d.). <https://create-react-app.dev/>
- Department of Health & Human Services. (z.d.). Gardening for older people. Better Health Channel. <https://www.betterhealth.vic.gov.au/health/healthyliving/gardening-for-older-people>
- Dorn, S. T. (z.d.). Growing Indoor Plants with Success. UGA Cooperative Extension. <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=B1318>
- Gardening with a disability / RHS Gardening. (z.d.). Royal Horticultural Society. <https://www.rhs.org.uk/advice/health-and-wellbeing/gardening-with-a-disability>
- Git. (z.d.). <https://git-scm.com/>
- GitHub: Let's build from here. (z.d.). GitHub. <https://github.com/>
- greensens. (z.d.). <https://www.greensens.de/en/>
- Irrigatiesturing: wanneer hoeveel water geven? | ccbt. (2023, 6 mei). CCBT. <https://www.ccbt.be/nl/nieuws/irrigatiesturing-wanneer-hoeveel-water-geven>
- Lieuwe. (2022). Hoeveel water geven? En hoe vaak? KleineTuinen.nl. <https://kleinetuinen.nl/tuintips/hoeveel-water-geven-en-hoe-vaak/>
- Piddler. (2020, 31 december). Analog to Digital Converter. <https://piddlerintheroot.com/analog-to-digital-converter/>
- Piddler. (2021, 10 februari). Capacitive Soil Moisture Sensor V2.0. <https://piddlerintheroot.com/capacitive-soil-moisture-sensor-v2-0/>

- Placidi, P., Gasperini, L., Grassi, A., Cecconi, M., & Scorzoni, A. (2020). Characterization of Low-Cost Capacitive Soil Moisture Sensors for IoT Networks. *Sensors*, 20(12), 3585. <https://doi.org/10.3390/s20123585>
- Pollard, S. (2022). 5 Self-Watering Planter Hacks You Have to Try. Hello Glow. <https://helloglow.co/diy-self-watering-planter/>
- Pounder, L. (2020, 10 juli). Raspberry Pi vs Arduino: Which Board is Best? Tom's Hardware. <https://www.tomshardware.com/features/raspberry-pi-vs-arduino>
- React. (z.d.). <https://react.dev/>
- Smet, E. (2023). Test Data (v1.0.0) [Dataset; Google Spreadsheets]. <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fraw.githubusercontent.com%2FCelarye%2Fsyfinalproject%2Fmaster%2Fdata%2FtestData.ods&wdOrigin=BROWSELINK>
- Temperature and Humidity for Indoor Plants | University of Maryland Extension. (z.d.). University of Maryland Extension. <https://extension.umd.edu/resource/temperature-and-humidity-indoor-plants>
- Welcome to Flask — Flask Documentation (2.3.x). (z.d.). <https://flask.palletsprojects.com/en/2.3.x/>
- What is Arduino? | Arduino Documentation. (z.d.). <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino>
- Wikipedia contributors. (2023). Plant cell. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Plant_cell
- Wikipedia-bijdragers. (2023). Celademhaling. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Celademhaling>
- Wikipedia-bijdragers. (2023). Kamerplant. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kamerplant>
- Wikipedia-bijdragers. (2023). Raspberry Pi. Wikipedia. https://nl.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi
- Wikipedia-bijdragers. (2023). Fotosynthese. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Fotosynthese>