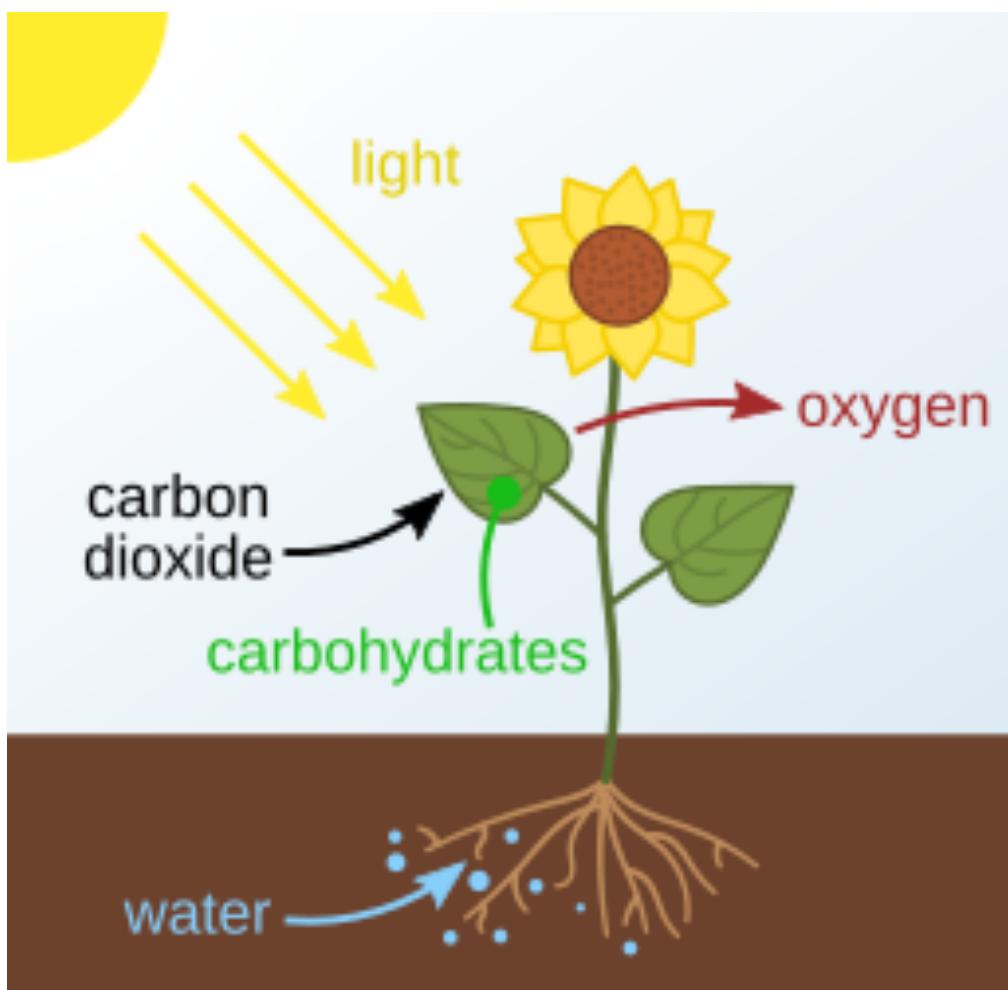


# PLANTGEZONDHEID METEN

ONDERZOEK NAAR HET GEBRUIK VAN LOW-BUDGET CAMERA'S VOOR  
PLANTGEZONDHEIDSANALYSE MET NDVI



Dit rapport is opgesteld om onderzoek te doen naar het gebruik van low-budget camera's voor plantgezondheidsanalyse, waarbij technieken zoals de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) worden toegepast. Het doel is om betaalbare alternatieven te vinden voor hyperspectrale camera's en te begrijpen hoe planten en infraroodlicht samenhangen met hun gezondheid.

Correspondentie met betrekking tot dit rapport kan gericht worden aan Anouk Okkema, Student Minor Robotisering, Avans Hogeschool, Lovensdijkstraat 61-63, 4818 AJ Breda.  
Email: [a.akkema@student.avans.nl](mailto:a.akkema@student.avans.nl).

## INHOUDSOPGAVEN

<b>Inleiding.....</b>	<b>3</b>
<b>1 - Achtergrondinformatie .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 – Waarom zijn planten groen .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 – Het gebruik van infraroodlicht in plantgezondheid .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 – De Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).....</b>	<b>4</b>
<b>2 – Technische Aspecten van het Onderzoek .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 – Low-Budget Camera's voor Plantgezondheidsmonitoring.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 – De Raspberry Pi als Platform voor Plantgezondheidsmonitoring .....</b>	<b>9</b>
<b>3 – Experimenten en Implementatie.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 – Selectie van de Plantsoort .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 – Opzet van het Experiment .....</b>	<b>10</b>
<b>3.4 – Resultaten .....</b>	<b>11</b>
<b>3.5 – Evaluatie .....</b>	<b>13</b>
<b>4 – Conclusie .....</b>	<b>14</b>
<b>Literatuurlijst.....</b>	<b>15</b>
<b>Appendix .....</b>	<b>16</b>
<b>Afbeeldingen.....</b>	<b>16</b>

## INLEIDING

In de landbouw is het monitoren van plantgezondheid van cruciaal belang voor het optimaliseren van opbrengsten en het verminderen van verliezen door ziektes of andere stressfactoren. Het lectoraat Robotisering & Sensoring aan Avans Hogeschool onderzoekt het gebruik van hyperspectrale camera's om de gezondheid van gewassen te monitoren. Hyperspectrale camera's bieden gedetailleerde informatie over de chemische samenstelling en de gezondheid van planten door licht in verschillende golflengten te meten. Echter, de hoge kosten van deze technologie maken het gebruik ervan in kleinere landbouwtoepassingen minder haalbaar.

Dit rapport richt zich op het verkennen van betaalbare alternatieven voor hyperspectrale camera's, zoals RGB-camera's met verwijderde infraroodfilters en Near-Infrared (NIR)-camera's. Het doel is om geschikte camera's te selecteren die in combinatie met een Raspberry Pi kunnen worden gebruikt voor het meten van de gezondheid van een specifieke plantsoort. Hierbij wordt de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) toegepast, een veelgebruikte techniek die de gezondheid van planten evalueert op basis van hun reflectie in zowel het zichtbare als het infrarode spectrum.

Het rapport bespreekt dus verder de werking van NDVI, de rol van infraroodlicht in plantgezondheid en de technische haalbaarheid van het gebruik van low-budget camera's met een Raspberry Pi voor deze toepassing. Het uiteindelijke doel is om de meest geschikte camera te selecteren uit de onderzochte opties die werden gebruikt voor plantgezondheidsmonitoring, waarbij de selectie wordt gebaseerd op de evaluatie van de NDVI-resultaten.

## 1 - ACHTERGRONDINFORMATIE

De inzet van technologie voor plantgezondheidsmonitoring is essentieel in de landbouw. In deze sectie wordt dieper ingegaan op de wetenschappelijke basis van technieken zoals NDVI, waarmee de reflectie van licht door planten wordt geanalyseerd om hun gezondheid te beoordelen. Daarnaast wordt de rol van infraroodlicht onderzocht en wordt besproken hoe deze methoden bijdragen aan een effectieve monitoring van gewassen.

### 1.1 – WAAROM ZIJN PLANTEN GROEN

Voordat we beginnen met het uitleggen van infrarood en Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), is het belangrijk om te begrijpen waarom planten groen zijn. De groene kleur van planten wordt veroorzaakt door chlorofyl, een pigment dat cruciaal is voor de fotosynthese. Dit proces stelt planten in staat om hun eigen voedsel te produceren door zonlicht om te zetten in energie. Chlorofyl absorbeert vooral licht uit het blauwe en rode spectrum, terwijl het groene licht wordt weerkaatst. Dit verklaart waarom planten voor ons oog groen lijken (National Geographic Society, 2023).

De hoeveelheid en efficiëntie van chlorofyl in een plant zijn directe indicatoren van de gezondheid van de plant. Gezonde planten bevatten meer chlorofyl, wat hen in staat stelt om voldoende energie te produceren. Wanneer een plant onder stress staat door ziekte, watertekort of voedingsstoffentekorten, vermindert de chlorofylproductie. Dit verandert de manier waarop de plant licht absorbeert en reflecteert, wat zichtbaar wordt in spectrale analyses. Deze veranderingen kunnen worden waargenomen met technieken zoals de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), waarbij het gedrag van de plant in zowel zichtbaar licht als infraroodlicht wordt geanalyseerd.

### 1.2 – HET GEBRUIK VAN INFRAROODLICHT IN PLANTGEZONDHEID

Infraroodlicht speelt dus een cruciale rol bij het analyseren van plantgezondheid, omdat het unieke eigenschappen van planten onthult die niet zichtbaar zijn met het blote oog. Planten reflecteren een groot deel van het nabij-infrarode licht (NIR) dat op hen valt, terwijl ze zichtbaar licht (zoals rood en blauw) voornamelijk absorberen voor fotosynthese. De mate van NIR-reflectie en absorptie van zichtbaar licht wordt beïnvloed door de gezondheid van de plant.

Gezonde planten met een hoge chlorofylconcentratie reflecteren meer NIR en absorberen meer rood licht. Daarentegen vertonen gestreste of zieke planten een lager reflectiepatroon in het NIR-spectrum vanwege beschadigde celstructuren in hun bladeren. Deze verschillen maken het mogelijk om infraroodlicht te gebruiken als indicator voor plantgezondheid (LP DAAC, z.d.).

### 1.3 – DE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI)

Een veelgebruikte methode om de gezondheid van planten te meten is de **Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**, die gebruikmaakt van spectrale gegevens. NDVI meet de reflectie van nabij-infraroodlicht (NIR) en zichtbaar rood licht door planten. Zoals uitgelegd in sectie 1.1, absorberen planten rood licht voor fotosynthese en reflecteren ze een groot deel van het NIR-licht vanwege de structuur van hun bladeren. Door de reflectiewaarden van nabij-infraroodlicht (NIR) en rood licht van elkaar af te trekken en het resultaat te delen door de som van deze reflectiewaarden, wordt de NDVI berekend. Deze index maakt het mogelijk om de gezondheidstoestand van planten te analyseren en te onderscheiden van andere vegetatie of gezondheidsniveaus. De formule voor NDVI is als volgt:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

waarbij:

- **NIR** de reflectie is in het nabij-infrarood spectrum,
- **R** de reflectie is in het rode spectrum van zichtbaar licht.

Wanneer de NDVI-waarde wordt berekend, geeft deze een waarde tussen -1 en 1. Een waarde dicht bij 1 wijst op gezonde, goed ontwikkelde vegetatie, terwijl een waarde dicht bij 0 of lager vaak duidt op een lage vegetatiedichtheid of een ongezonde plant. Gewone planten hebben meestal NDVI-waarden tussen 0,2 en 0,9, afhankelijk van de plantsoort en de omgeving. Planten die zich in een stressvolle situatie bevinden, zoals door droogte of ziekte, zullen lagere NDVI-waarden vertonen, aangezien hun reflectie van het NIR-licht afneemt en het absorberen van zichtbaar licht niet effectief is (Gelerter, 2023).

Hoewel NDVI een veelgebruikte methode is om plantgezondheid te meten, zijn er geen universeel overeengekomen standaarden voor de specifieke golflengtes van rood en NIR die gebruikt moeten worden. Er zijn verschillende optimale golflengtes voorgesteld, maar in de praktijk worden vaak verschillende golflengtes gebruikt, afhankelijk van de apparatuur die beschikbaar is. De keuze voor de golflengte(s) hangt vaak af van de technische mogelijkheden van het meetapparaat, zoals het aantal beschikbare spectrale banden en de bandbreedte van de sensor.

Het Lectoraat Robotisering & Sensoring overweegt momenteel de inzet van een hyperspectrale camera, de Specim FX10e, voor het monitoren van plantgezondheid. Dit systeem biedt uitgebreide spectrale gegevens over een breed scala aan golflengtes, wat helpt bij het verkrijgen van nauwkeurige NDVI-waarden. Echter, als alternatief voor deze geavanceerde en dure technologie, wil ik onderzoeken of er goedkopere, toegankelijker oplossingen mogelijk zijn, bijvoorbeeld door gebruik te maken van een Raspberry Pi gecombineerd met goedkopere camera-oplossingen.

## 2 – TECHNISCHE ASPECTEN VAN HET ONDERZOEK

De keuze van camera's en technologieën speelt een cruciale rol in het proces van het meten van plantgezondheid via NDVI. In deze sectie worden verschillende technische aspecten van het onderzoek besproken, met de focus op het selecteren van geschikte camera's voor een kosteneffectieve oplossing en het gebruik van een Raspberry Pi voor het uitvoeren van beeldverwerkingsanalyses.

### 2.1 – LOW-BUDGET CAMERA'S VOOR PLANTGEZONDHEIDSMONITORING

Om de gezondheid van planten te monitoren met de NDVI-methode zijn camera's vereist die zowel zichtbaar licht als nabij-infrarood (NIR) golflengten kunnen registreren. Veel standaard camera's bevatten infraroodfilters die de NIR-golflengten blokkeren, wat de bruikbaarheid voor plantgezondheidsmetingen beperkt. Daarom zijn NOIR-camera's (No IR filters) geschikt voor deze toepassing, omdat ze het volledige golflengtebereik van het zichtbare spectrum en NIR vastleggen. NOIR-camera's zijn vaak goedkoper dan hyperspectrale systemen en kunnen de benodigde gegevens leveren voor NDVI-berekeningen, mits ze de juiste spectrale gevoeligheid bieden. In de volgende tabel worden camera-opties weergegeven die qua technische specificaties geschikt zijn voor het uitvoeren van NDVI-berekeningen in combinatie met een Raspberry Pi.

Camera	Prijs	Resolutie	Sensor	Lens Type
Arducam OV9281 1MP Mono Global Shutter NoIR Mono MIPI-camera	€49,84	1MP	OV9281	MIPI
ArduCam 16MP IMX519 (NOIR) Cameramodule met Vaste Focus	€34,57	16MP	IMX519	Vaste Focus

Arducam NOIR 8MP Sony IMX219 Cameramodule met CS-lens 2718	€46,10	8MP	IMX219	CS-lens 2718
Arducam NOIR 8MP Sony IMX219 Camera Module met Gemotoriseerde IR Snij Filter	€46,10	8MP	IMX219	Gemotoriseerde IR Snij Filter
ArduCam 5mp 1080p OV5647 NoIR-Camera Module met 12M-Montage	€34,56	5MP	OV5647	M12 Lens Mount
Arducam 2MP OV2311 Global Shutter NoIR Mono Camera Modules	€139,95	2MP	OV2311	MIPI
Raspberry Pi Camera 3 NoIR	€29,63	12MP	IMX708	Auto Focus

Tabel 2.1.1 Technische Specificaties van Camera's

## VOORDELEN EN NADELEN

Hoewel alle geselecteerde camera's technisch geschikt zijn voor NDVI-berekeningen, brengt elke optie specifieke voordelen en beperkingen met zich mee. Het is essentieel om deze eigenschappen in detail te bespreken, zodat een weloverwogen keuze gemaakt kan worden op basis van de behoeften van het project. In deze sectie worden de sterke en zwakke punten van elke camera gepresenteerd.

### Arducam OV9281 1MP Mono Global Shutter NoIR Mono MIPI-camera

De Arducam OV9281 biedt uitstekende prestaties voor toepassingen die een hoge frame rate vereisen, zoals bewegingsdetectie of oog- en hoofdtracking, dankzij de globale sluiter die snelle bewegingen zonder vervorming vastlegt. Het is ontworpen voor gebruik bij weinig licht door de infraroodsensor, waardoor het ideaal is voor toepassingen zoals NDVI-berekeningen. De 1 MP resolutie is geschikt voor toepassingen waar gedetailleerde beelden minder belangrijk zijn en de MIPI-interface maakt eenvoudige integratie met de Raspberry Pi mogelijk. Aan de andere kant heeft de camera met zijn lagere resolutie van 1 MP een beperkte bruikbaarheid voor toepassingen die gedetailleerde beelden vereisen. Het gebruik van een monochrome sensor maakt het ongeschikt voor toepassingen waarbij kleurinformatie essentieel is, en het beperkte scherpstelbereik maakt het minder flexibel voor toepassingen die variabele scherpstelling vereisen.

### ArduCam 16MP IMX519 (NOIR) Cameramodule met Vaste Focus

De Arducam 16MP IMX519 camera biedt een uitstekende beeldkwaliteit door zijn hoge resolutie, wat het ideaal maakt voor toepassingen die gedetailleerdere beelden nodig hebben. De NoIR-versie van de IMX519-sensor maakt het geschikt voor nachtzicht en multispectrale toepassingen, terwijl de vaste focuslens het gebruiksgemak verhoogt, omdat er geen handmatige scherpstelling nodig is. Dit maakt de camera veelzijdig voor UAV's en robots. Aan de andere kant heeft de vaste focuslens een beperking voor toepassingen die variabele scherpstelling vereisen, en de camera is minder geschikt voor toepassingen die een breder gezichtsveld nodig hebben.

### Arducam NOIR 8MP Sony IMX219 Cameramodule met CS-lens 2718

De Arducam NOIR 8MP Sony IMX219 biedt ook een goede balans tussen beeldkwaliteit en kosten. De Sony IMX219-sensor is gevoelig voor infraroodlicht, waardoor het goed geschikt is voor nachtzicht en NDVI-berekeningen. De lens met CS-vetting biedt flexibiliteit omdat deze verwisseld kan worden voor verschillende scherpstelbehoeften, wat de camera veelzijdig maakt voor wetenschappelijk onderzoek en veldtoepassingen. De camera heeft een beperkte beeldhoek van 58

graden, waardoor het minder geschikt is voor toepassingen die een breder gezichtsveld vereisen maar voor dit experiment is dat geen probleem. Daarnaast is de 8 MP resolutie geschikt voor dit experiment en biedt voldoende detail voor de meeste toepassingen, al kan het bij projecten met extreem hoge detailniveaus mogelijk niet toereikend zijn.

### **Arducam NOIR 8MP Sony IMX219 Camera Module met Gemotoriseerde IR Snij Filter**

Deze camera biedt dezelfde 8 MP resolutie als de vorige, maar heeft het voordeel van een gemotoriseerd IR-cut filter, waarmee zowel zichtbaar licht als infraroodlicht vastgelegd kan worden. Dit maakt de camera geschikt voor zowel dag- als nachtzicht en voor multispectrale toepassingen. Het motorized IR-cut filter biedt flexibiliteit bij veranderende lichtomstandigheden, maar kan door de extra mechanische onderdelen complexer zijn in gebruik en onderhoud. Met een beeldhoek van 100 graden biedt de camera een brede dekking, wat het geschikt maakt voor diverse toepassingen. De kosten zijn vergelijkbaar met de Arducam NOIR 8MP Sony IMX219 met CS-lens 2718, wat het een aantrekkelijke optie maakt voor gebruikers die behoeftte hebben aan deze extra functionaliteit.

### **ArduCam 5MP 1080p OV5647 NoIR-Camera Module met 12M-Montage**

De Arducam 5MP 1080p camera biedt goede prestaties voor toepassingen bij weinig licht dankzij het ontbreken van een IR-filter, waardoor het geschikt is voor nachtbeveiliging en wildonderzoek. De camera ondersteunt zowel foto's als video in 1080p, waardoor het veelzijdig is voor verschillende soorten opnamen. De resolutie van 5 MP is echter relatief laag vergeleken met andere camera's op de markt, wat de detaillering in beelden beperkt. De camera heeft beperkte lensopties, wat de flexibiliteit vermindert voor toepassingen waarbij een vervangbare lens vereist is. Ook is de camera niet geschikt voor toepassingen die kleurinformatie nodig hebben.

### **Arducam 2MP OV2311 Global Shutter NoIR Mono Camera Modules**

De Arducam 2MP camera is uitgerust met een globale sluiter, waardoor snel bewegende objecten zonder vervorming worden vastgelegd. De sensor is gevoelig voor infraroodlicht, wat het geschikt maakt voor omstandigheden met weinig licht en toepassingen zoals NDVI-berekeningen. Hoewel de globale sluiter een voordeel biedt voor dynamische situaties, beperkt de 2 MP resolutie de hoeveelheid beelddetail, waardoor de camera minder geschikt is voor toepassingen die een hoge nauwkeurigheid en gedetailleerde beelden vereisen. Bovendien vormt de monochrome sensor een beperking voor toepassingen waarbij kleurinformatie essentieel is. Daarnaast is de camera met een prijs van circa 140 euro aanzienlijk duurder dan alternatieven, die rond de 40 euro kosten, wat het minder aantrekkelijk maakt voor kostenbewuste projecten.

### **Raspberry Pi Camera 3 NoIR 12 MP**

De Raspberry Pi Camera 3 NoIR is uitgerust met een 12 MP IMX708 sensor die zorgt voor uitstekende beeldkwaliteit en hoge gevoeligheid voor infraroodlicht. De automatische scherpstelling maakt het gemakkelijk te gebruiken in dynamische omgevingen. De camera biedt een hoge resolutie, wat het geschikt maakt voor toepassingen die gedetailleerde beelden vereisen. Het is compatibel met alle Raspberry Pi modellen, wat de integratie eenvoudig maakt. Bovendien zijn de kosten laag, wat het een kosteneffectieve keuze maakt voor projecten met een beperkt budget. De beeldhoek van 66 graden is echter beperkt, wat de camera minder geschikt maakt voor toepassingen die een breder gezichtsveld vereisen.

## **BEOORDELING EN UITSUITING VAN CAMEROPTIES**

Om tot de vier geselecteerde camera's te komen, moeten we eerst bepalen wat de vereisten zijn om NDVI nauwkeurig te kunnen berekenen. Een camera die voor NDVI-berekeningen wordt gebruikt, moet in staat zijn zowel rood als NIR-licht nauwkeurig vast te leggen. Volgens Xue & Su (2017) vereist een betrouwbare NDVI-berekening een sensor die gevoelig is voor NIR-licht in het spectrum van 850 tot 900 nm. Daarnaast moet de camera voldoende resolutie bieden om de details van de plantstructuur vast te leggen en kleurinformatie kunnen onderscheiden voor het berekenen van de reflectiewaarden.

Naast de spectrale gevoelighed en resolutie is de context van het experiment belangrijk. In dit geval wordt de NDVI-berekening uitgevoerd op één plant met een zwarte achtergrond, wat betekent dat een zeer brede beeldhoek niet nodig is. De voorkeur gaat uit naar camera's met een resolutie van minimaal 5 MP, omdat dit voldoende detail biedt voor nauwkeurige analyse. Camera's met monochrome sensoren of een lage resolutie worden uitgesloten, omdat ze geen kleurinformatie kunnen bieden of onvoldoende detail leveren. Ook speelt de prijs een rol, aangezien kosteneffectiviteit belangrijk is voor dit experiment.

### **Uitsluitingen op basis van resolutie**

Op basis van de vereisten voor NDVI-berekeningen zijn de volgende camera's uitgesloten:

#### **1. Arducam OV9281 1MP Mono Global Shutter NoIR Mono MIPI-camera**

De resolutie van 1 MP is veel te laag om voldoende detail vast te leggen voor NDVI-berekeningen. Bovendien is de monochrome sensor ongeschikt omdat kleurinformatie essentieel is voor het onderscheiden van het rode en NIR-spectrum. De globale sluiter, bedoeld voor het vastleggen van snel bewegende objecten, is niet relevant voor dit experiment.

#### **2. Arducam 2MP OV2311 Global Shutter NoIR Mono Camera Modules**

Deze camera heeft een resolutie van slechts 2 MP, wat onvoldoende detail biedt voor nauwkeurige NDVI-analyse. De monochrome sensor maakt het bovendien onmogelijk om de vereiste kleurinformatie vast te leggen. De prijs van €140 maakt deze camera daarnaast oneconomisch voor een experiment waarbij kosten een belangrijke factor zijn.

#### **3. Arducam NOIR 8MP Sony IMX219 Camera Module met Gemotoriseerde IR Snij Filter**

Hoewel de resolutie van 8 MP geschikt is voor NDVI-berekeningen, introduceert het gemotoriseerde IR-cut filter onnodige complexiteit. Voor dit experiment is handmatige controle over NIR-waarden essentieel. De extra mechanische onderdelen verhogen de kans op storingen en dragen niet bij aan het beoogde gebruik, waardoor deze camera wordt uitgesloten.

### **Beoordeling van Geschikte Cameraopties**

De camera's die aan de eisen voldoen, zijn beoordeeld op basis van resolutie, infraroodgevoelighed, prijs, en gebruiksgemak. Hieronder staan de vier geselecteerde camera's:

#### **1. Arducam 16MP IMX519 (NOIR) Cameramodule met Vaste Focus**

Deze camera biedt een uitstekende resolutie van 16 MP, waardoor het ideaal is voor toepassingen die gedetailleerde beelden vereisen. De NoIR-sensor maakt het mogelijk zowel zichtbaar licht als nabij-infrarood (NIR) vast te leggen, wat essentieel is voor NDVI-berekeningen. De vaste focuslens verhoogt het gebruiksgemak, omdat handmatige aanpassingen niet nodig zijn. Hoewel de camera geen brede beeldhoek heeft, vormt dit geen beperking voor dit experiment waarbij slechts één plant wordt geanalyseerd. De kosten zijn redelijk, waardoor deze camera een aantrekkelijke keuze is voor projecten die zowel detail als kosteneffectiviteit vereisen.

## **2. Arducam NOIR 8MP Sony IMX219 Cameramodule met CS-lens 2718**

Deze camera combineert een resolutie van 8 MP met een brede beeldhoek van 100 graden, waardoor een groot deel van de omgeving kan worden vastgelegd. Deze eigenschap biedt flexibiliteit bij de opstelling van de camera, zodat de plant volledig in beeld kan worden gebracht zonder aan detail te verliezen. De verwisselbare CS-lens maakt het mogelijk om de scherpte aan te passen indien nodig. De combinatie van goede prestaties, veelzijdigheid en een redelijke prijs maakt deze camera een uitstekende keuze voor NDVI-berekeningen.

## **3. Raspberry Pi Camera 3 NoIR 12 MP**

De Raspberry Pi Camera 3 NoIR 12 MP is een van de meest kosteneffectieve keuzes in deze selectie. Met een resolutie van 12 MP levert de camera voldoende detail voor nauwkeurige NDVI-analyse. De automatische scherpstelling maakt het gemakkelijk in gebruik, vooral in dynamische omgevingen. Bovendien is de camera volledig compatibel met alle Raspberry Pi-modellen, wat de integratie eenvoudig maakt. De beeldhoek van 66 graden is voldoende voor de analyse van één plant en vormt geen beperking. Dankzij de lage kosten is deze camera een uitstekende optie voor budgetbewuste projecten.

## **4. Arducam 5MP 1080p OV5647 NoIR-Camera Module met 12M-Montage**

Deze camera voldoet aan de minimale resolutie van 5 MP, wat voldoende detail biedt voor NDVI-berekeningen. Hoewel deze camera lagere prestaties biedt in vergelijking met de andere opties in deze lijst, blijft het een betaalbare keuze. De camera is eenvoudig in gebruik en geschikt voor projecten met beperkte middelen. De vaste lensoptie biedt minder flexibiliteit, maar dit vormt geen probleem voor dit specifieke experiment.

Deze vier camera's voldoen aan de vereisten voor NDVI-berekeningen en bieden een goede balans tussen kosten en prestaties en kunnen makkelijk worden gekoppeld met een Raspberry Pi.

### **2.2 – DE RASPBERRY PI ALS PLATFORM VOOR PLANTGEZONDHEIDS MONITORING**

De **Raspberry Pi** is een goedkope, compacte en veelzijdige computer die zich uitstekend leent voor gebruik in plantgezondheidsmonitoring. De Raspberry Pi biedt voldoende verwerkingscapaciteit om camera's en andere sensoren aan te sluiten en gegevens te verwerken, terwijl het tegelijkertijd een lage prijs behoudt, wat het ideaal maakt voor zowel prototyping als veldtoepassingen. Het platform is bijzonder geschikt voor educatie en onderzoek vanwege de toegankelijkheid en de compatibiliteit met een breed scala aan randapparatuur. De Raspberry Pi is voorzien van meerdere modellen, maar de Raspberry Pi 4 en Raspberry Pi Zero W zijn bijzonder geschikt voor camera-gebaseerde projecten door hun hogere prestaties en kleine formaat.

De camera's in dit project worden via de **Camera Serial Interface (CSI)-poort** aangesloten op de Raspberry Pi. Deze poort maakt een directe en snelle verbinding met de camera, waardoor de beelden in real-time kunnen worden verwerkt. De CSI-poort ondersteunt hoge bandbreedtes, wat essentieel is voor het krijgen van kwalitatieve beelddata zonder vertraging. Via een flexibele ribbon-kabel worden de camera's aangesloten, waardoor ze eenvoudig kunnen worden geïntegreerd in het systeem. Deze verbinding maakt het mogelijk om nauwkeurige metingen te verrichten voor toepassingen zoals NDVI-berekeningen en het monitoren van plantgezondheid, waarbij de gekozen camera's essentieel zijn voor het vastleggen van de benodigde infrarood- en visuele data.

### 3 – EXPERIMENTEN EN IMPLEMENTATIE

Om de benodigde infrarood- en visuele data vast te leggen, moet er natuurlijk software komen. Deze sectie beschrijft de opzet en uitvoering van het experiment beschreven in de vorige sectie, waarbij dus de geselecteerde low-budget camera's worden gebruikt om de gezondheid van planten te analyseren met behulp van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Het doel is om de prestaties van verschillende camera's te vergelijken en vast te stellen welke configuratie het meest geschikt is voor NDVI-berekeningen.

#### 3.1 – SELECTIE VAN DE PLANTSOORT

Voor dit experiment is gekozen om de Phalaenopsis (een orchideeënsoort) als plantsoort te gebruiken. Deze keuze is grotendeels gebaseerd op praktische overwegingen en de geschiktheid van de plant voor de geplande experimenten.

De Phalaenopsis is een gangbare kamerplant, die gemakkelijk beschikbaar was binnen de werkomgeving. Door de plant binnenshuis te gebruiken, kon de invloed van externe factoren zoals weersomstandigheden, wisselende lichtomstandigheden en ongewenste ruis worden geminimaliseerd. Dit draagt bij aan een gecontroleerde en consistente testomgeving, wat essentieel is voor het verkrijgen van betrouwbare meetresultaten.

Daarnaast was het niet mogelijk om de Raspberry Pi en camera naar buiten te verplaatsen, omdat het systeem afhankelijk is van stroomvoorziening via een stopcontact. Dit beperkte de mogelijkheid om planten in een natuurlijke omgeving te testen. Het gebruik van een binnenshuis beschikbare plant bood daarom een praktische oplossing voor deze beperking.

De Phalaenopsis is bovendien een geschikte keuze vanwege de reflectie-eigenschappen van de bladeren en bloemen, die een goede evaluatie van de NDVI-metingen mogelijk maken. Door deze plant binnenshuis te gebruiken, kon het experiment eenvoudig worden uitgevoerd zonder storingen, en werd de consistentie van de resultaten gewaarborgd.

#### 3.2 – OPZET VAN HET EXPERIMENT

Het experiment maakt dus gebruik van de Phalaenopsis als onderzoeksobject om de gezondheid van planten te meten en analyseren met behulp van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Om consistente resultaten te verkrijgen, is de orchidee geplaatst tegen een zwarte achtergrond, wat reflecties minimaliseert en de nauwkeurigheid van de metingen verbetert.

De kern van het experiment is de combinatie van een Raspberry Pi 4 en meerdere camera-opstellingen, elk met unieke eigenschappen en vereisten voor NDVI-berekeningen. De Raspberry Pi 4 is voorzien van Raspberry Pi OS 64-bit en geconfigureerd met SSH voor eenvoudige bediening op afstand. De geselecteerde camera's worden getest, waaronder de Arducam 16MP, Arducam 8MP, Arducam 5MP, en de Raspberry Pi NOIR-camera. De camera's hebben verschillende filters die bepalen welk kanaal de nabije-infraroodinformatie (NIR) bevat:

- **Arducam 16MP:** Deze camera maakt gebruik van een blauwfilter, waardoor de NIR-informatie wordt vastgelegd in het blauwe kanaal. Dezelfde NDVI-formule wordt toegepast als eerder in dit verslag uitgelegd, maar met het blauwe kanaal als bron voor de NIR-gegevens.
- **Arducam 8MP en Arducam 5MP:** Beide camera's hebben een roodfilter, waardoor de NIR-informatie in het rode kanaal wordt opgeslagen. Voor deze camera's wordt ook de NDVI-formule toegepast, waarin het rode kanaal wordt gebruikt voor NIR.
- **Raspberry Pi NOIR-camera:** Voor deze camera moet er handmatig een blauwfilter voor de camera worden gehouden. Deze blauwfilter was meegeleverd met de camera. De foto gemaakt

met dit filter wordt direct gebruikt voor de NDVI-berekeningen, waarbij dus het blauwe kanaal als bron wordt gebruikt voor de NIR-gegevens net zoals de Arducam 16MP.

De hardware-opstelling bestaat uit een eenvoudig frame waarop de Raspberry Pi 4 en de aangesloten camera's zijn gemonteerd. De orchidee staat centraal in de opstelling, met een consistente positie en belichting voor nauwkeurige metingen. Meer details over de opstelling, inclusief foto's, zijn opgenomen in de Appendix.

## SOFTWARE-OPSTELLING

De beeldverwerking wordt uitgevoerd met een Python script, waarmee gebruikers foto's kunnen maken en NDVI-waarden kunnen berekenen. De Python script maakt gebruik van functies die zijn ondergebracht in aparte modules. Deze modules maken op hun beurt gebruik van bibliotheken zoals OpenCV, NumPy en PiCamera2 voor beeldanalyse en verwerking.

De berekende NDVI-waarden worden genormaliseerd naar een schaal van -1 tot 1 en visueel weergegeven met behulp van colormaps zoals "greyscale" en "fastie". Deze colormaps maken het eenvoudiger om variaties in vegetatie gezondheid te interpreteren, ondersteund door een kleurenbalk die het bereik van de NDVI-waarden toont. De stappen voor het uitvoeren van dit experiment zijn als volgt:

1. **Voorbereiding:** De Raspberry Pi 4 wordt geconfigureerd, waarbij de instellingen voor elke camera specifiek worden aangepast.
2. **Dataverzameling:** Beelden van de orchidee worden gemaakt met elke camera-opstelling, waarbij een consistente positie en belichting worden gehanteerd.
3. **NDVI-berekening:** Voor elk vastgelegd beeld worden NDVI-waarden berekend met formules die zijn afgestemd op de specifieke eigenschappen van de gebruikte camera.
4. **Visualisatie:** De berekende resultaten worden weergegeven met behulp van aangepaste colormaps, aangevuld met een kleurenbalk die duidelijke markeringen bevat voor verschillende NDVI-waarden.

De code voor deze software is beschikbaar in de GitHub-repository die wordt vermeld in de literatuurlijst.

## 3.4 – RESULTATEN

De software maakt gebruik van de algemene NDVI drempelwaarden om vast te stellen wat de gezondheid van planten is. Zoals eerder genoemd in het verslag hanteren we de volgende drempelwaarden:

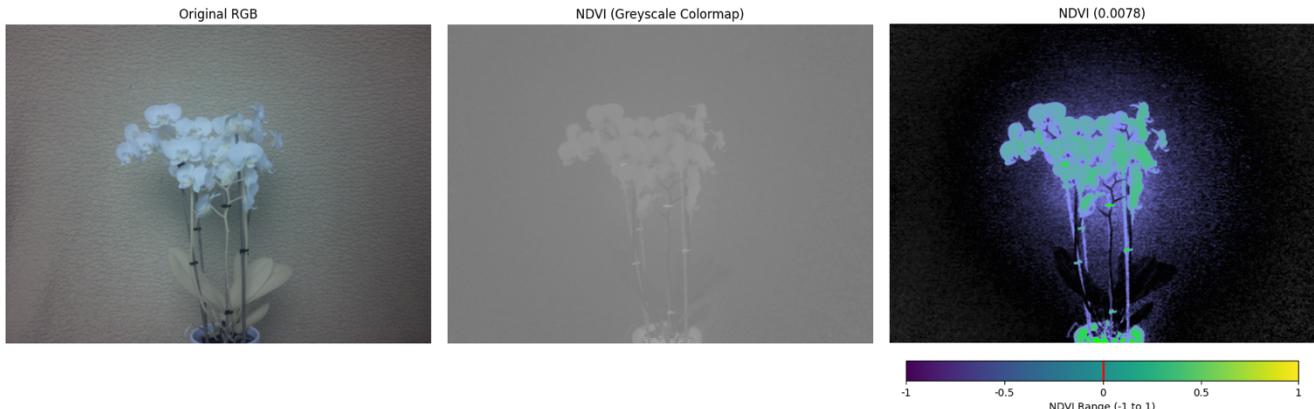
- **NDVI < 0.2:** Slechte gezondheid – De bladeren vertonen tekenen van stress, zoals uitdroging of ziekte.
- **NDVI 0.2 - 0.5:** Matige gezondheid – Verminderde fotosyntheseactiviteit in de bladeren.
- **NDVI > 0.5:** Goede gezondheid – Gezonde bladeren met een hoge fotosyntheseactiviteit.

De drempelwaarden worden gebruikt om de gemiddelde NDVI-waarde en de corresponderende gezondheidsstatus van de Phalaenopsis per camera te evalueren. Hieronder volgt een gedetailleerde toelichting.

## RASPBERRY PI NOIR CAMERA V3

De Raspberry Pi NOIR-camera leverde een gemiddelde NDVI-waarde van 0.0078, wat wijst op een slechte gezondheidstoestand. Zoals te zien in Afbeelding 3.4.1 is het contrast tussen vegetatieve en niet-vegetatieve delen beperkt. Hoewel bladeren en stengels enigszins te onderscheiden zijn,

introduceert ruis, zichtbaar als blauwe pixels, uitdagingen bij de interpretatie van de resultaten. Deze ruis ontstaat door het gebruik van een extern blauwfilter, waarbij NIR-informatie wordt vastgelegd in het blauwe kanaal. Dit leidt tot onnauwkeurige NDVI-berekeningen, omdat de blauwe ruis wordt meegenomen in de resultaten. Het handmatig plaatsen van het blauwfilter introduceert bovendien een risico op inconsistenties. Positief is dat de achtergrond goed gescheiden is van de plantstructuren, maar het detailniveau blijft beperkt.



Afbeelding 3.4.1 NDVI Plot Resultaat van Raspberry Pi NOIR

### ARDUCAM 16MP

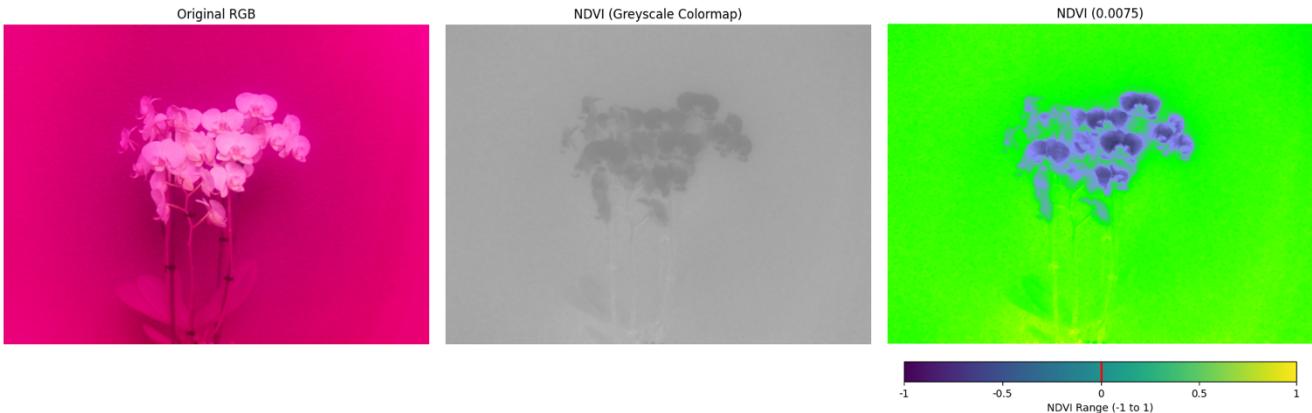
De Arducam 16MP leverde een gemiddelde NDVI-waarde van 0.0054, wat eveneens duidt op een slechte gezondheidstoestand. In Afbeelding 3.4.2 is te zien dat de ruis bij deze camera over de gehele afbeelding aanwezig is, wat de nauwkeurigheid van de NDVI-berekening aanzienlijk beïnvloedt. Deze ruis is waarschijnlijk te wijten aan de verwerking van NIR-informatie in combinatie met de kleurkanalen. Dit resulteert in lagere NDVI-waarden dan bij de andere camera's, ondanks het hogere resolutievermogen. Hoewel verwacht werd dat de hogere resolutie van deze camera zou leiden tot betere resultaten, blijft ruis een beperkende factor.



Afbeelding 3.4.2 NDVI Plot Resultaat van Arducam 16MP

### ARDUCAM 8MP

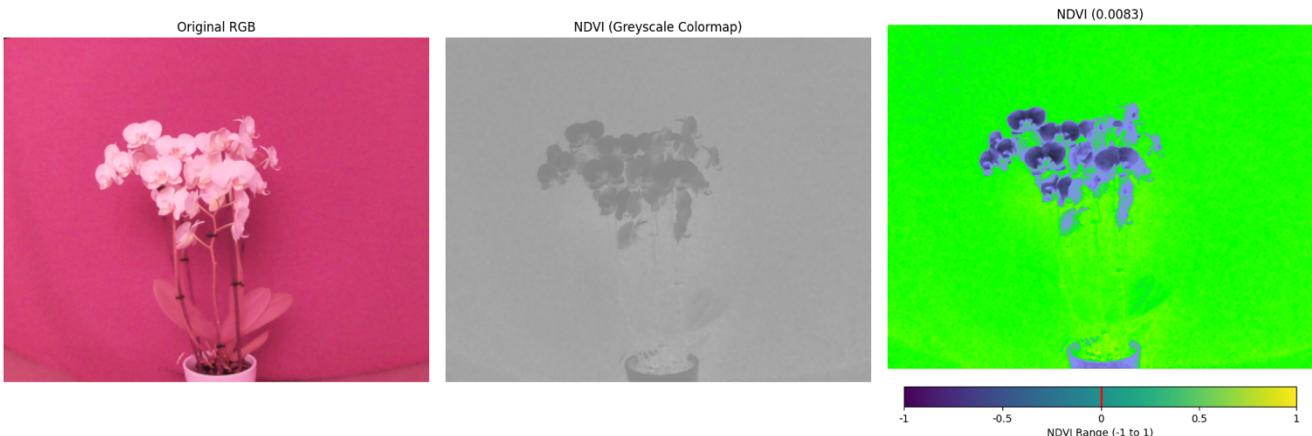
De Arducam 8MP genereerde een gemiddelde NDVI-waarde van 0.0075, wat ook wijst op een slechte gezondheidstoestand. Deze camera gebruikt een roodfilter, waarbij NIR-informatie wordt vastgelegd in het rode kanaal. Zoals weergegeven in Afbeelding 3.4.3, toont de NDVI-afbeelding redelijk contrast tussen vegetatieve en niet-vegetatieve delen. Het detailniveau blijft echter beperkt. De bloemen van de plant zijn goed zichtbaar, maar bladeren en stengels zijn nauwelijks te onderscheiden van de achtergrond. Hierdoor is deze camera geschikt voor basis NDVI-berekeningen, maar minder geschikt voor toepassingen die een hoge mate van precisie vereisen.



Afbeelding 3.4.3 2 NDVI Plot Resultaat van Arducam 8MP

### ARDUCAM 5MP

De Arducam 5MP genereerde een gemiddelde NDVI-waarde van 0.0083, wat opnieuw duidt op een slechte gezondheidstoestand. Deze camera maakt eveneens gebruik van een roodfilter en legt NIR-informatie vast in het rode kanaal. Zoals te zien in Afbeelding 3.4.4, zijn vegetatieve delen redelijk herkenbaar, maar het detailniveau is beperkt door de lage resolutie. Bovendien heeft de camera een brede Field of View (FOV), wat resulteerde in een zeer breed beeld. Om de plant centraal te houden, moest de afbeelding worden bijgesneden. Door het lage detailniveau is deze camera minder geschikt voor toepassingen waarbij precisie belangrijk is.



Afbeelding 3.4.4 NDVI Plot Resultaat van Arducam 5MP

### 3.5 – EVALUATIE

De resultaten tonen aan dat de NDVI-waarden van de camera's redelijk consistent zijn, wat erop wijst dat de kamerplant Phalaenopsis zich in een staat van slechte gezondheid bevindt volgens de gehanteerde drempelwaarden. Deze resultaten zijn in lijn met de bekende omstandigheden van de plant, zoals beperkte watergift en blootstelling aan direct zonlicht.

Hoewel de consistentie van de NDVI-waarden de betrouwbaarheid van de methodologie benadrukt, is de evaluatie niet uitsluitend gebaseerd op deze waarden. Andere aspecten, zoals detailweergave, gebruiksgemak en specifieke beperkingen van de camera's, zijn cruciaal bij het bepalen welke camera het meest geschikt is voor dit experiment.

### VERGELIJKING VAN DE CAMERA'S

De Raspberry Pi NOIR Camera V3 biedt een goede scheiding van de achtergrond en is eenvoudig te configureren, maar de blauwe ruis die ontstaat door het gebruik van een extern blauwfilter beïnvloedt de nauwkeurigheid van de NDVI-berekeningen negatief. Dit maakt de resultaten minder betrouwbaar,

en het beperkte detailniveau vormt een bijkomend nadeel. De Arducam 16MP heeft een hoge resolutie en theoretisch een betere detailweergave, maar de aanwezigheid van ruis over de gehele afbeelding beperkt de bruikbaarheid van deze camera. Dit leidt tot een lagere NDVI-waarde en maakt de resultaten minder betrouwbaar, ondanks het potentieel van de hogere resolutie.

De Arducam 8MP biedt een redelijke resolutie en toont een beter contrast tussen vegetatieve en niet-vegetatieve delen in vergelijking met de andere opties. Het gebruik van een roodfilter voor het vastleggen van NIR-informatie maakt het mogelijk om consistente NDVI-berekeningen uit te voeren. Hoewel het detailniveau beperkt is, blijft deze camera geschikt voor basis NDVI-analyses en levert het betere resultaten dan de andere opties. De Arducam 5MP is een betaalbare keuze en eenvoudig te configureren, maar het lage detailniveau en de brede Field of View (FOV) vereisen extra bewerkingen zoals bijsnijden. Dit gaat ten koste van de consistentie van de resultaten en maakt deze camera minder geschikt voor toepassingen die hogere precisie vereisen.

Uit deze evaluatie blijkt dat de Arducam 8MP de meest geschikte optie is voor dit experiment. De camera biedt een goede balans tussen resolutie, betrouwbaarheid en gebruiksgemak. Hoewel het niet het hoogste detailniveau levert, maakt het redelijke contrast en de consistentie NDVI-berekeningen het de beste keuze voor het beoordelen van de gezondheid van de Phalaenopsis in deze specifieke context.

#### 4 – CONCLUSIE

Uit deze evaluatie blijkt dat de Arducam 8MP de meest geschikte optie is voor dit experiment. De camera biedt een goede balans tussen resolutie, betrouwbaarheid en gebruiksgemak. Hoewel het niet het hoogste detailniveau levert, maakt het redelijke contrast en de consistentie NDVI-berekeningen het de beste keuze voor het beoordelen van de gezondheid van de Phalaenopsis in deze specifieke context.

Een directe vergelijking met een hyperspectrale camera, zoals oorspronkelijk gepland, kon echter niet worden uitgevoerd binnen de tijdlijn van het project. Dit werd veroorzaakt door praktische beperkingen, zoals de noodzaak van gespecialiseerde verlichting (bijvoorbeeld halogeenlampen) en een volledig donkere omgeving om consistente hyperspectrale opnames te maken. Deze omstandigheden maakten het operationeel krijgen van de hyperspectrale camera tijdens dit experiment niet haalbaar.

Het doel van dit project was om te onderzoeken hoe low-budget camera's, zoals RGB-camera's met verwijderde infraroodfilters of specifieke NIR-camera's, gebruikt kunnen worden voor metingen vergelijkbaar met die van hyperspectrale camera's. Dit omvatte het toepassen van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) om de gezondheid van planten te beoordelen en het evalueren van geschikte hardware- en softwareconfiguraties. De Arducam 8MP heeft aangetoond een praktische en haalbare oplossing te bieden binnen deze doelstellingen.

Hoewel er beperkingen waren in de gebruikte technologieën, heeft dit experiment waardevolle inzichten opgeleverd in het gebruik van low-budget camera's voor plantgezondheidsmonitoring. Voor toekomstig onderzoek zou de inzet van hyperspectrale camera's verdere mogelijkheden bieden om de precisie en veelzijdigheid van dergelijke analyses te vergroten. Dit project benadrukt echter dat low-budget oplossingen, zoals de Arducam 8MP, een praktisch alternatief kunnen zijn binnen beperkingen van tijd en middelen. Met deze bevindingen wordt een solide basis gelegd voor verdere innovaties in kosteneffectieve plantgezondheidsmonitoring.

## LITERATUURLIJST

- [1] National Geographic Society. (2023, 31 oktober). *Chlorophyll*. National Geographic Education. <https://education.nationalgeographic.org/resource/chlorophyll/>
- [2] LP DAAC. (z.d.). *LP DAAC - Vegetation*. <https://lpdaac.usgs.gov/data/get-started-data/workflow-examples/example-1/>
- [3] Gelerter, D. (2023, 25 april). *NDVI beelden: Ultieme gids in 3 stappen om ze te begrijpen en te gebruiken*. Boerderij21. <https://www.farm21.com/nl/ndvi-beelden-ultimate-3-stappengids/>
- [4] Okkema, A. (2024, 14 november). *GitHub Repository: Low-Cost-NDVI-Imaging-System*. <https://github.com/AnoukOkkema/Low-Cost-NDVI-Imaging-System>

## APPENDIX

In deze appendix worden ondersteunende afbeeldingen gepresenteerd die een visueel overzicht geven van de gebruikte materialen en opstellingen tijdens het experiment. De afbeeldingen bieden context bij de besproken resultaten en methodologie en illustreren de Phalaenopsis plant, de experimentele opstellingen en relevante details.

### AFBEELDINGEN



Afbeelding 3.1.1 De Phalaenopsis plant die is gebruikt in het experiment



Afbeelding 3.2.1 De Phalaenopsis plant die is gebruikt in het onderzoek



Afbeelding 3.2.2 De Phalaenopsis plant die is gebruikt in het onderzoek



Afbeelding 3.2.3 De Phalaenopsis plant die is gebruikt in het onderzoek