



Flikweert Vision Technologies



Herkennen van interne drukplekken in aardappelen
Pieter Klompe

Herkennen van interne drukplekken in aardappelen



Auteur: Pieter Klompe
Studentnummer: 3025417
Opleiding: Agrotechniek en Management
Afstudeerbedrijf: Flikweert Vision Technologies
Plaats: Ouwerkerk/Dronten
Jaargang: 2021/2022
Afstudeerdocent: K. Westerdijk

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerwerkstuk van een onderzoek naar het herkennen van interne drukplekken in aardappelen. Dit afstudeerwerkstuk is geschreven door Pieter Klompe, een vierdejaars student van de opleiding Agrotechniek en Management aan de Aeres Hogeschool in Dronten. Door een eerder uitgevoerde minor bij Flikweert Vision Technologies in Ouwerkerk ben ik in aanraking gekomen met machine Vision en daarmee de vraag naar de mogelijkheden in de aardappelsector. De actuele machine van Flikweert Vision Technologies heeft op dit moment de mogelijkheid om door middel van Deep-learning aardappelen op uiterlijke defecten te kunnen beoordelen. Maar er bestaan ook gevallen waarbij de aardappelen van buiten goed lijkt te zijn en van binnen wel een bepaalde afwijking heeft. Deze afwijkingen moeten ook geconstateerd worden en dat wil ik onder controle krijgen door middel van dit onderzoek.

Ik wens u veel leesplezier toe tijdens het lezen van dit onderzoeksverslag!

Pieter Klompe

Ouwerkerk, Augustus 2022

Samenvatting

De huidige arbeidsmarkt biedt op dit moment een moeilijk perspectief voor de ondernemers binnen de agrarische sector. Er is een tekort aan personeel en de kosten voor het personeel worden steeds hoger. De reden van dit tekort aan personeel is vooral te wijten aan de schaalvergroting die de agrarische bedrijven sinds de laatste jaren doormaken. Er willen steeds minder mensen binnen de agrarische sector werken. En door lage product prijzen en minder opvolging door de volgende generatie komen er steeds minder agrarische bedrijven, maar worden de bedrijven wel groter en intensiever. Er moeten dus meer gewassen worden verwerkt met minder mensen en dit zorgt in sommige gevallen voor klemmende situaties.

Vaak is het zo dat er eerst een probleem moet ontstaan voordat er een oplossing bedacht kan worden. Dit is in het geval van de agrarische sector ook zo. Het feit is dat de voedselvoorziening door moet gaan. Eén van de belangrijkste voedselgewassen zijn aardappelen. aardappelen worden na het rooien verwerkt en van elkaar gescheiden op basis van kwaliteit. Dit wordt op dit moment bijna alleen nog maar door mensen gedaan omdat dit een specifiek werk is dat zorgvuldig moet gebeuren. Sinds de laatste paar jaar zijn er al enkele machines op de markt gekomen die de mensen ogen vervangen voor camera, en de handen door een scheidingsmechanisme. De ontwikkeling van deze machines gaat hard en er zitten veel voordelen aan verbonden. Zo kan een machine dag- en nacht draaien en wordt er altijd dezelfde kwaliteit gegarandeerd van het begin tot het einde van de dag. Automatisering is dus voor een deel de oplossing voor het ontstane probleem.

De aardappel kwaliteit sorteerders die op dit moment op de markt worden aangeboden bieden goede resultaten voor het sorteren van aardappelen met externe afwijkingen, maar de interne kwaliteit van de aardappel kan nog niet gecontroleerd worden waardoor er niet gegarandeerd kan worden dat de aardappel goed genoeg is voor consumptie. Binnen de fruitteeltsector worden er momenteel steeds meer machine gemaakt die doormiddel van infrarood camera's de interne kwaliteit onder de schil kunnen controleren. Infrarood is een lichtsoort dat voor het menselijk ook niet zichtbaar is. Dit licht is aanwezig in een hogere wavelengte van 700 tot 2500 nanometer. Voor dit onderzoek is er gewerkt met twee soorten infrarood camera's namelijk, een NIR- en een SWIR-camera. de NIR-camera zit op een wavelengte van 700 tot 1400 nanometer, en SWIR van 1400 tot 2500 nanometer.

Door middel van drie camera's, RGB, NIR en SWIR, is er in dit onderzoek onderzocht in welke mate het mogelijk is om interne drukplekken te herkennen in aardappelen die niet of nauwelijks zichtbaar zijn met het blote oog. Daarnaast is er onderzocht of de behangenheid en vochtigheid van de aardappel invloed hebben op de zichtbaarheid van de interne drukplekken. Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat voor zowel de NIR als de SWIR camera geldt dat deze een eventuele uitkomst bieden om interne kwaliteit te kunnen beoordelen. Echter is het systeem nog lang niet goed genoeg om het visuele beeld te vervangen. De interne plekken worden maar in een klein gedeelte van de gevallen beter zichtbaar en dit maakt het systeem wankel. Wel is opgevallen dat SWIR op dit moment een hoger zekerheidspercentage biedt dan NIR. Daarnaast is gebleken dat de behangenheid van aardappelen het proces tegenwerkt doordat er een extra structuur op de aardappel aanwezig is waarmee de camera's minder goed om kunnen gaan. Ook vochtige aardappelen zijn minder makkelijk te beoordelen omdat het vocht zorgt voor een laag om de aardappel die minder licht weerkaatst waardoor de foto's donkerder worden weergegeven en er minder contrast zichtbaar is. Dit zorgt voor een minder duidelijk foto.

Uit het onderzoek is gebleken dat infrarood camera's in beperkte mate de mogelijkheid hebben om bepaalde interne drukplekken in de aardappelen in beeld te brengen, die niet- of nauwelijks zichtbaar zijn met het blote oog, maar dat dit op dit moment nog niet goed genoeg is om de RGB-camera te kunnen vervangen in het herkennen van interne drukplekken.



Summary

The current job market currently offers a difficult perspective for entrepreneurs within the agricultural industry. There is a shortage of personnel and the costs for personnel are getting higher and higher. The reason for this shortage of personnel is mainly due to the increase in scale that agricultural companies have been experiencing since the last few years. People don't want to work within the agricultural sector anymore, and because of low product prices and less succession by the next generation, there are less and less agricultural companies, but the companies are becoming larger and more intensive. So more crops have to be processed with fewer people and in some cases this causes difficult situations.

It is often the case that a problem must first arise before a solution can be devised. This is also true in the case of the agricultural sector. The fact is that the food supply must continue. One of the most important food crops is potatoes. potatoes are processed and separated from each other based on quality after harvesting. Currently it's almost exclusively done by humans because it is a specific work that must be done carefully. Since the last few years, some machines have already come on the market to replace the human eyes for a camera, and the human hands for a separating mechanism. The developments of these machines are going fast and there are many advantages to them. For example, a machine can run day and night and the same quality is always guaranteed from the beginning to the end of the day. Automatization is therefore a partial solution to the problem that has arisen.

The potato quality sorters who are currently on the market offer a good solution for sorting potatoes with external deviations, but the internal quality of the potato cannot be checked yet, so that there is no guarantee that the potato is good enough for consumption on the inside. Within the fruit growing industry more and more machines are being developed that can check the internal quality under the skin through infrared cameras. Infrared is a type of light that is not visible to humans. This light does present in a higher wavelength of 700 to 2500 nano meters. For this study, two types of infrared cameras were used namely, a NIR and a SWIR camera. the NIR camera is at a wavelength from 700 to 1400 nano meters, and SWIR from 1400 to 2500 nano meters.

Using three cameras, RGB, NIR and SWIR, this study examined if it's possible to recognize internal pressure spots in potatoes that are not or barely not visible to the naked eye. It was also investigated whether the attached soil and humidity of the potato influence the visibility of the internal pressure spots. The research showed that both the NIR and the SWIR camera offer a possible solution to assess internal quality. However, the system is still far from being good enough to replace the visual image. The internal spots become more visible only in a small part of the cases and this makes the system unstable. However, it has been noticed that SWIR currently offers a higher percentage of certainty than NIR. Also has been found that the attached soil of potatoes works against the process because there is an extra structure on the potato that the cameras are less able to deal with. Also humid potatoes are less easy to assess because the moisture creates a layer around the potato that reflects less light, making the photos darker and there is less contrast visible. This makes the picture unclear.

The research has shown that infrared cameras have the ability to image certain internal pressure spots in the potatoes that are not or barely visible to the naked eye, but this is currently not good enough to replace the RGB camera in recognizing internal pressure spots.



Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting.....	4
Hoofdstuk 1 – Inleiding	8
1.1 De aardappelsector	8
1.2 Sorteerproces.....	10
1.3 Aangeboden cameratechnieken op de huidige markt	11
1.3.1 Voordelen van NIR en SWIR-cameratechniek.....	12
1.3.2 Nadelen van NIR en SWIR-cameratechniek	12
1.3.3 Toelichting lichtspectrum	15
1.4 Interne defecten in aardappelen	16
1.4.1 Bruinrot.....	16
1.4.2 Stootblauw	16
1.4.3 Holle aardappelen	17
1.4.4 Rooibeschatiging.....	17
1.4.5 Zwart hart	18
1.5 Drukplekken toegelicht	19
1.5.1 Een drukplek	19
1.5.2 Ontstaan van een drukplek	20
1.5.3 Tegengaan van drukplekken	21
1.6 Externe defecten met interne gevolgen.....	22
1.6.1 Ritnaalden	22
1.6.2 Aaltjes	23
1.7 Knowledge Gap	24
1.8 Hoofd- en deelvragen.....	24
1.9 Keuze voor verschillende instrumenten en testdata	25
1.9.1 De camera	25
1.9.2 De lampen	25
1.9.3 Het aardappelras	26
1.10 Doelstellingen	27
1.10.1 Doelstelling eindgebruiker.....	27
1.10.2 Doelstelling consument	27
Hoofdstuk 2 – Materiaal en methode.....	28
2.1 Testmethode.....	28
2.1.1 De testopstelling.....	28
2.2.2 Het uitvoeren van de testen	30



2.2.3 Verwerken van de test gegevens	30
2.2.4 Testmethode	31
Hoofdstuk 3 – Resultaten	35
3.1 Deelvraag 1: NIR-camera	35
3.2 SWIR-camera	38
3.3 Behangenheid	41
3.4 Invloed van vocht	43
3.5 Kwantitatieve resultaten	45
Hoofdstuk 4 – Discussie	48
Hoofdstuk 5 – Conclusie	50
Hoofdstuk 6 – Aanbeveling	52
Bibliografie	54
Bijlagen	58
Bijlage 1: Interview met een medewerker van Stemmer-Imaging	58
Bijlage 2: Materiaal & Methode	59
Bijlage 3: Testresultaten	60
Bijlage 4: Scorelijst met scores (Excel tabel)	72
Lijst met afbeeldingen	73
Lijst met tabellen	74
Lijst met grafieken	74



Hoofdstuk 1 – Inleiding

De agrarische sector is de laatste jaren steeds sneller gemoderniseerd op het gebied van verschillende technieken. Onder andere de toepassingen van ICT zijn zeer belangrijk geworden voor de automatisering van processen (Beukel, 2019). Machines nemen het zware werk over en het gebruik van sensoren zorgt ervoor dat processen volledig geautomatiseerd worden. Deze verandering hebben een reden, namelijk vernieuwing doordat er sneller en efficiënter geproduceerd moet worden. Dit geldt eigenlijk voor de gehele sector, in dit verslag wordt dit toegelicht aan de hand van de teeltsector en met name de aardappelteelt.

Mensen worden schaars binnen de agrarische sector en daarmee neemt de vraag naar personeel toe. Doordat veel jongeren in deze tijd langer studeren en daarmee meerdere studies afronden, wordt het gemiddelde opleidingsniveau hoger, waardoor de banen voor de lager opgeleiden steeds vaker open blijven liggen (Maslowski, 2020). Doordat de hoger opgeleide mensen in deze tijd al vrij snel een goed betaalde baan kunnen vinden willen deze niet meer bij een agrarisch bedrijf 'minder leuke' werkzaamheden uitvoeren tegen een relatief laag inkomen (ABNAMRO, 2018).

Door het hogere opleidingsniveau stijgen de lonen, waardoor het personeel dat bereid is om de werkzaamheden uit te voeren duurder wordt. Ook dit heeft een negatief effect op de agrarische sector, omdat dit personeel niet meer financieel op gaat leveren maar wel meer gaat kosten. Deze kosten kunnen dus nergens aan worden toegerekend en daarom is er juist de vraag naar automatisering van processen. De groeiende kosten van personeel zijn dus mede een aanleiding voor het geautomatiseerde tijdperk.

Daarnaast is Covid-19 ook uiteraard één van de punten die ervoor heeft gezorgd dat de automatisering een versnelling in is gegaan. Dit heeft betrekking op alle stappen binnen het proces zoals sorteren, verwerken, wegen en verpakken (Werner, 2021).

Deze verschillende effecten hebben als doel om processen te versnellen, arbeidskosten te verlagen en minder afhankelijk te worden van personeel.

In onderstaande paragrafen wordt in trechtersvorm het onderwerp van dit verslag toegelicht tot aan de kern, het autonoom sorteren van aardappelen met interne drukplekken, als gevolg van de huidige veranderingen binnen de maatschappij en de innovatieve ontwikkelingen op de markt.

In het gehele verslag zal veel gebruik worden gemaakt van het woord 'defecten' in en op aardappelen. Met het woord 'defecten' worden zowel interne- als externe afwijkingen op een aardappel bedoelt. Het gaat hier bijvoorbeeld om rot of beschadiging. Al deze afwijkingen worden als samenvoegend woord met 'defecten' beschreven.

1.1 De aardappelsector

Binnen de agrarische sector worden er wereldwijd verschillende gewassen geteeld. Het ene gewas heeft een grotere bezetting dan het andere, dit is volledig afhankelijk van de vraag naar de verschillende gewassen wereldwijd. Voorbeelden van agrarische gewassen zijn; aardappelen, uien, bieten en granen. Maar ook oliën en rijst behoren tot de gewassenteelt. De bekende gewassen zoals aardappelen en uien worden over de gehele wereld geconsumeerd waardoor de productie van deze gewassen in bepaalde landen erg groot is.

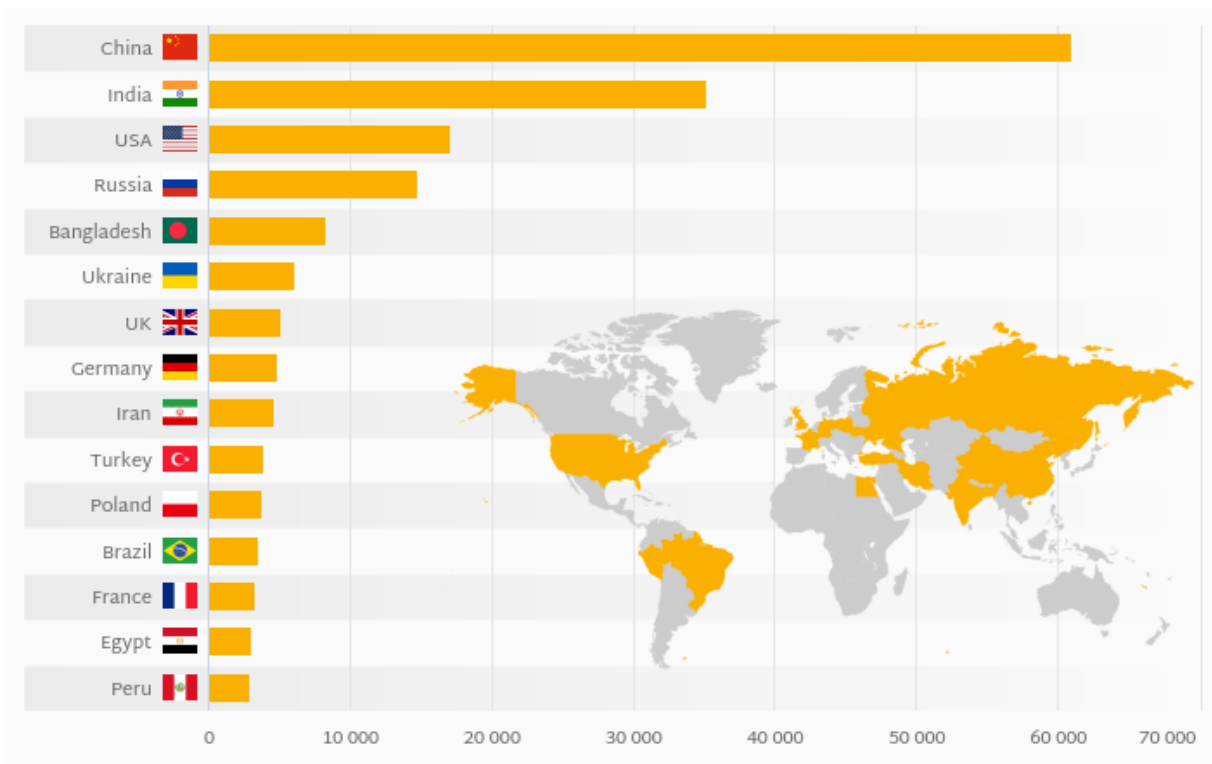
Wereldwijd wordt er jaarlijks 376.875.686 ton aardappelen geproduceerd. Het grootste deel hiervan wordt geproduceerd door China namelijk, 99.122.420 ton met een productieoppervlakte van 5.815.140 hectare. India komt op de tweede plaats te staan met 43.770.000 ton en een productieoppervlakte van 2.130.000 hectare. Nederland staat op de 10^e plaats in deze ranglijst met 6.534.338 ton aardappelen aan jaarlijkse productie en een productieoppervlakte van 155.594 hectare (Wereldaardappelproductie per land, 2021).



Wereldwijd eten meer dan een miljard mensen aardappelen. Dit maakt dat de aardappel het op twee na belangrijkste voedselgewas is ter wereld (Hanse, 2021). Het is duidelijk dat de aardappelen niet allemaal worden geconsumeerd waar deze worden geproduceerd. Het is namelijk zo dat er op bepaalde plekken in de wereld veel meer wordt geproduceerd door een sterke manier van telen of door een goede aanvoer van voedingsstoffen en een rijkelijke bodem. Zo worden er in Nederland heel veel aardappels geteeld, zoals aangegeven in bovenstaande paragraaf, maar een stuk minder geconsumeerd.

Omdat er in verscheidene landen meer aardappelen worden geproduceerd dan geconsumeerd wordt het overgebleven deel van de productie geëxporteerd naar andere landen waar de vraag groter is dan de productie.

Afbeelding 1: 15 landen waar de meeste aardappelen worden geconsumeerd in miljoenen (Library, 2021)



In bovenstaande afbeelding één is in een wereldkaart weergegeven waar op de aarde de meeste aardappelen worden geconsumeerd. Daarnaast is er in een staafdiagram per land weergegeven hoeveel deze consumptie is in miljoenen. Nederland staat niet weergegeven in deze kaart omdat er simpelweg te weinig aardappelen worden geconsumeerd door het kleine aantal inwoners in vergelijking met bijvoorbeeld China en India. In Nederland is er in 2021 ongeveer 4.240.000 ton geconsumeerd (Gelder, 2022).

1.2 Sorteerpoces

Binnen de verwerking van aardappelen kan er onderscheid gemaakt worden in verschillende processen. Allereerst worden de aardappelen gerooid onder bepaalde omstandigheden. Afhankelijk van deze omstandigheden worden er bepaalde vervolgstappen genomen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen consumptie- en pootaardappelen. Vaak volgt er na het rooien een periode van bewaring. In deze periode worden de aardappelen na het inschuren als eerst gedroogd, de lengte van de droogperiode is afhankelijk van de omstandigheden waaronder de aardappelen worden gerooid. Uiteraard is er een verband te leggen tussen de mate van vochtigheid en de lengte van de droogfase. Deze zal langer zijn naarmate de aardappelen onder nattere omstandigheden worden gerooid.

Na de droogfase begint de fase waarin de wonden worden geheeld en worden de aardappelen voorzichtig terug gekoeld naar de optimale bewaar temperatuur.

Na de bewaring volgt de verwerkingsfase voor de aardappel. De aardappel moet worden gesorteerd op grootte en op kwaliteit, dit geldt voor pootgoed maar ook voor de consumptieaardappelen.

Allereerst is het belangrijk dat het pootgoed op maat gesorteerd wordt. Dit is het uitgangsmateriaal voor het komende jaar en dit moet daarom per maatsortering worden afgeleverd bij de afnemer. Dit laatste geldt ook voor de consumptieaardappelen. Deze moeten ook per maatsortering worden afgeleverd omdat de maat bepaald of deze wel of niet verwerkt kunnen worden. De onder- en bovenmaat wordt er uitgefilterd.

Daarnaast gelden er voor beide gevallen bepaalde toleranties wat betreft kwaliteit sortering. Als voorbeeld; mag een pootgoed aardappel best een beetje groen verkleurd zijn, want deze wordt toch weer uitgeplant en dan heeft dit geen nadelige effecten. Een consumptieaardappel daarentegen mag dit zeker niet, de groene kleur betekent namelijk dat deze giftig is en daardoor niet meer geconsumeerd kan worden. Voor een juiste voortgang van het verwerkingsproces is het belangrijk dat het sorteren van het product goed gebeurt. Het is goed wanneer er geen tot nauwelijks geen afwijkingen meer in de partij aanwezig zijn en de keurmeester de partij goed heeft gekeurd. Het is dus belangrijk dat deze kwaliteitssortering nauwkeurig wordt uitgevoerd om eventuele afkeurpartijen te kunnen voorkomen. In het huidige systeem wordt de kwaliteit sortering nog veel gedaan door mensen en handen. Er zitten meerdere mensen aan een leesband waarop de aardappelen allemaal zichtbaar voorbijkomen. Door middel van een rollenbaan draaien de aardappelen waardoor alle kanten van de aardappel zichtbaar worden. Een persoon met verstand van de verschillende afwijkingen kan zien welke afwijkingen er op de buitenkant van de aardappel zichtbaar zijn en deze vervolgens verwijderen uit de partij. Het doel is om dit in de toekomst allemaal volautomatische te kunnen doen, het oog zal worden vervangen door een camera en de handen door een mechanische techniek die het mogelijk maakt om de goede en slechte aardappelen van elkaar te scheiden. De camera's kunnen getraind worden door mensenkennis waardoor de kwaliteit van de sortering niet achteruit zal gaan maar juist beter zal worden omdat een camera de mogelijkheid biedt om constant dezelfde kwaliteit te leveren, vierentwintig uur per dag, zeven dagen per week wanneer dit nodig is.



1.3 Aangeboden cameratechnieken op de huidige markt

Op dit moment worden er veel verschillende camera's aangeboden met de functie om door een product heen te kunnen kijken. Door middel van verschillende technieken wordt het mogelijk gemaakt om door dikkere of dunnere producten heen te kijken. Voor dit onderzoek is het in eerste instantie erg belangrijk dat de schil van de aardappel overbrugd kan worden met de camera. De schil is in dit geval dus het obstakel dat een andere structuur bezit dan het weefselvlees van de aardappel onder de schil. Allereerst is er in het vooronderzoek naar voren gekomen dat er meerdere soorten camera's zijn die het mogelijk maken om door middel van een hogere weeflengte en een dichtheid van materiaal onderliggende defecten in beeld kunnen brengen. De drie soorten cameratechnieken die uit dit onderzoek naar voren zijn gekomen zijn:

1. NIR (Near infrared)
2. SWIR (Short wave infrared)
3. MRI (Magnetic resonance imaging)

Door middel van deze drie bovenstaande cameratechnieken is het mogelijk om door bepaalde oppervlakken heen te kijken waardoor deze technieken interessant worden voor het onderzoek. Na kort onderzoek is echter wel gebleken dat MRI een oplossing zou zijn die hele mooie beelden zou creëren maar naast een aantal andere negatieve punten eigenlijk onbetaalbaar zou zijn vanwege de hoge kosten voor een dergelijke installatie. Er is daarom voor gekozen om voor dit onderzoek de NIR en SWIR-technieken verder uit te werken. Van alle twee deze technieken zijn er voordelen en nadelen. Omdat er van deze techniek nog niet zo veel bekend is heeft de student besloten een interview te maken en af te nemen bij een bedrijf dat deze techniek aanbiedt. Het bedrijf waarbij het interview is gehouden is Stemmer-Imaging, de geïnterviewde persoon is de heer Hanekamp, salesmanager bij Stemmer-Imaging. Hieronder is het interview in het kort weergegeven, daaronder zijn de voor- en nadelen van de NIR en SWIR-camera's in tabelvorm weergegeven en tenslotte zijn deze kort toegelicht door middel van het interview en enkele internetbronnen.



1.3.1 Voordelen van NIR en SWIR-cameratechniek

Zoals uit onderstaande tabellen opvalt komen tabel één en twee, NIR en SWIR grotendeels overeen. Dit valt te verklaren omdat de twee technieken eigenlijk gelijk zijn aan elkaar maar verschillen in het lichtspectrum. Zo valt NIR tussen de 700 en 1400 nanometer in golflengte op het lichtspectrum en SWIR tussen de 1400 en 2500 nanometer golflengte. Uiteraard zijn er wel verschillen wat betreft beeldvorming maar de voor- en nadelen komen hierin overeen.

Zowel voor NIR als SWIR hoeven er geen chemicaliën toegevoegd te worden om beeldmateriaal te genereren. Dit betekent dat deze technieken niet destructief zijn. Dit heeft als voordeel dat de testproducten niet vervuild raken door toedoen van chemische middelen of stralingen, het voordeel hiervan is dat de testproducten herbruikbaar zijn en niet worden verbruikt dus in het aspect van recycling staan deze technieken goed aangeschreven (Metrohm, 2019).

Voor alle twee de technieken geldt dat het mogelijk is om binnen een geheel bepaalde structuren te onderscheiden die met het blote oog niet zichtbaar zijn. Wel is het zo dat er hier een verschil zichtbaar wordt tussen NIR en SWIR. Zo kan NIR maar tot 1400 nanometer beelden weergeven. Dit betekent dat er met NIR in een lichtspectrum gekeken wordt dat een stuk lager zit dan dat van SWIR waardoor er verschillende soorten beelden ontstaan. Daarnaast is het zo dat SWIR ook kan reageren op warmte, dit is met een NIR-camera niet mogelijk omdat deze het spectrum van warmte niet bezit.

Wat ook voor alle twee de technieken wel geldt is dat de verwerkingstijd van de bevindingen relatief kort is waardoor het mogelijk wordt gemaakt om binnen een korte tijd veel bevindingen te doen. Dit is van hoog belang omdat dit de capaciteit van de machine voor een deel kan bepalen. Op dit moment is het mogelijk om met een camera 200 beelden per seconde te maken. Dit is erg veel en daarom ook vaak niet nodig. Als vergelijking maakt de Quality Grader van Flikweert op dit moment gebruik van vijf beelden per seconde om te externe kwaliteit te bepalen.

Een ander groot voordeel van de NIR en SWIR-techniek is dat deze bediend kan worden door niet specialistische personen. De camera heeft geen verdere toepassingen nodig wanneer deze goed is geijkt. Er hoeven dus geen andere technieken of chemische berekeningen toegepast te worden om duidelijk beelden uit de camera te krijgen. Eventueel personeel zal dus snel met de camera overweg moeten kunnen na enige uitleg.

1.3.2 Nadelen van NIR en SWIR-cameratechniek

Naast een aantal mooie voordelen zijn er ook nadelen aan deze cameratechnieken. Het eerste nadeel is dat er een speciale camera en verlichting nodig is om een NIR of SWIR-beeld te creëren. Het is dus niet mogelijk om met een normale camera een SWIR-beeld te creëren. Er kan wel een NIR-beeld gecreëerd worden met een normale RGB-camera door een speciaal filter aan de lens te koppelen. Dit filter zorgt ervoor dat er een bepaald aantal nanometers van het lichtspectrum worden gefilterd waardoor er hogere nanometers in beeld worden gebracht. Welke nanometers er worden weg gefilterd is afhankelijk van het soort filter, dit is mogelijk tot ongeveer 1000 nanometer. Het bezet dus niet het gehele NIR-lichtspectrum, dit loopt namelijk door tot 1400 nanometer. Wanneer er boven de 1000 nanometer beelden gecreëerd moeten worden is ook voor NIR een speciale camera nodig. Met het feit dat er een speciale camera en verlichting nodig is hangt er ook een bepaalde prijs aan deze techniek. Omdat er op dit moment nog veel ontwikkeld wordt en relatief weinig gebruik van de techniek wordt gemaakt zijn de prijzen nog erg hoog. Voor een camera moet al snel € 20.000 of meer betaald worden. Dit is niet onoverkomelijk, maar het gaat wel om veel geld. Daarnaast is het zo dat er aan de verlichting ook nog een aardig prijskaartje hangt wanneer er wordt gekozen voor ledverlichting. De prijs van halogeenverlichting valt daarentegen mee zoals eerder beschreven.



Het tweede nadeel dat voor zowel NIR als SWIR geldt is de ijking van de camera's. Hiermee wordt bedoeld dat het erg belangrijk is om de lampen allereerst goed te ijken, maar dit is niet eenvoudig omdat een goede ijking afhankelijk is van verschillende factoren. De eerste factor die hiervoor verantwoordelijk is zijn de soorten lampen. Deze lampen zorgen vervolgens ook gelijk voor het tweede probleem omdat er rekening gehouden moet worden met een aantal factoren omtrent de lampen. Er worden namelijk meerdere ledlampen aangeboden die in combinatie met een NIR en SWIR-camera kunnen samenwerken. Maar deze lampen zijn nog niet zo goed door ontwikkeld omdat deze na verloop van tijd van lichtintensiteit zullen veranderen. Dit betekent dat de lampen dus niet dezelfde afgifte van licht blijven behouden waardoor het eiken van de camera's eigenlijk niet mogelijk is omdat dit dan een continu proces is omdat de omstandigheden steeds wijzigen. Wel is bewezen dat er doormiddel van de juiste ledverlichting duidelijke beelden gecreëerd kunnen worden, maar er is nog de juiste doorontwikkeling nodig om ervoor te zorgen dat de ledverlichting betrouwbaar wordt (Koe, 2022).

Ook is er een andere optie voor de verlichting die wel betrouwbaar is voor een langere tijd namelijk halogeenverlichting. Uit het vooronderzoek en door contact met verschillende leveranciers van camera's en verlichting is gebleken dat de verlichting die nu veelal wordt gebruikt voor de SWIR-camera techniek halogeen verlichting is. Naast het eerste voordeel van een constante lichtbron is het ook zo dat deze verlichting relatief goedkoop is omdat deze ook in de bouwmarkt verkocht wordt.

In onderstaande tabellen één en twee zijn alle voor- en nadelen voor NIR en SWIR in tabelvorm kort weergegeven.

Tabel 1: Voor- en nadelen NIR

NIR	Tussen de 700 en 1400 nanometer
Voordelen:	NIR-spectroscopie is niet destructief
	Aantonen van bepaalde structuren binnen één geheel
	Korte verwerkingstijd
	Kan worden bediend door niet-specialisten
	Ook onder donkere omstandigheden beeld
Nadelen:	Niet altijd even nauwkeurig door ijking
	Gebruik van speciale lampen
	Erg duur in aanschaf
	In sommige gevallen speciale lens en camera vereist

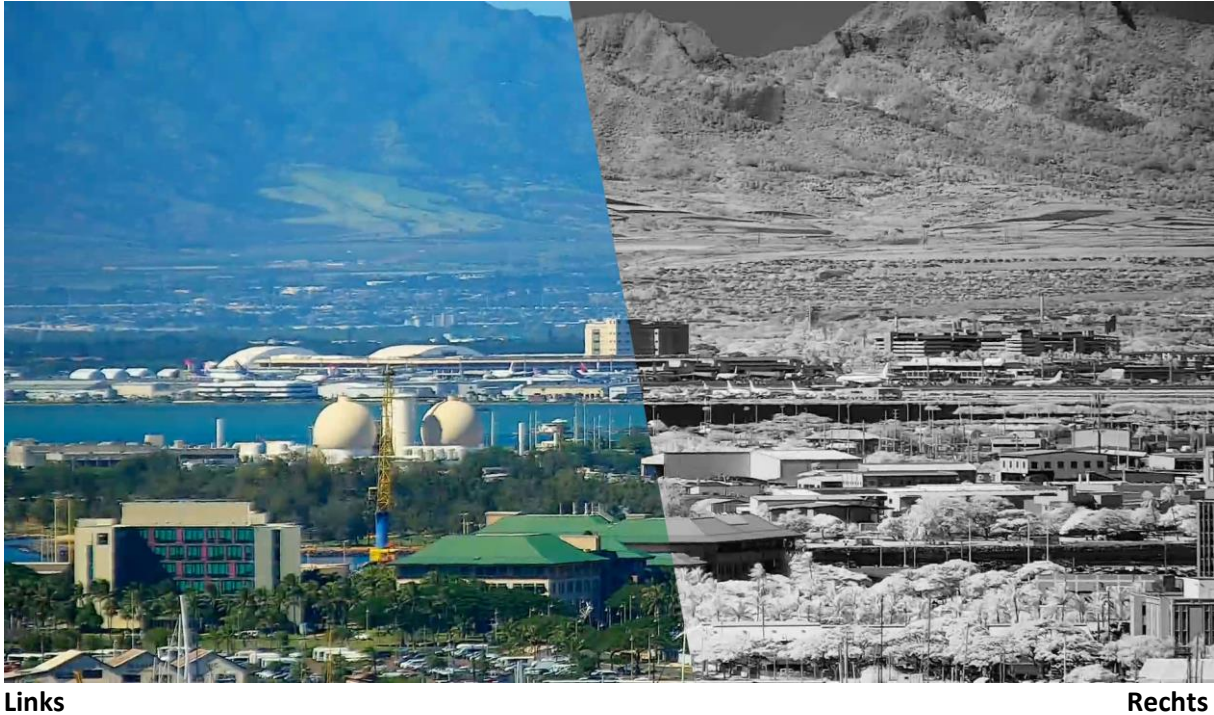
Tabel 2: Voor- en nadelen SWIR

SWIR	Tussen de 1400 en 2500 nanometer
Voordelen:	SWIR-spectroscopie is niet destructief
	Aantonen van bepaalde structuren binnen één geheel
	Korte verwerkingstijd
	Kan worden bediend door niet-specialisten
	Ook onder donkere omstandigheden beeld
Nadelen:	Niet altijd even nauwkeurig door ijking
	Gebruik van speciale lampen
	Erg duur in aanschaf
	Speciale lens en camera vereist



In onderstaande afbeelding 2 is een foto weergegeven die gemaakt is door middel van twee soorten cameratechnieken, rechts door NIR en links door RGB. Wat opvalt is dat er door middel van NIR een scherper beeld gecreëerd kan worden op lang afstand, de bergen op de achtergrond van de afbeelding zijn veel beter zichtbaar. NIR maakt het mogelijk om door mistige omstandigheden heen te kunnen kijken.

Afbeelding 2: Voorbeeldafbeelding NIR-cameratechniek (Infiniti, 2022)



In onderstaande afbeelding 3 zijn twee dezelfde foto's van appels weergegeven naast elkaar. Op de linker van de twee foto's is een RGB foto van twee appels weergegeven, en op de rechter is een SWIR foto van twee appels weergegeven. Zichtbaar is dat de appels op de RGB foto er normaal en goed uitzien, de appels vertonen geen afwijkende oppervlakken in vergelijking met het gehele oppervlak. Dit is wel het geval bij de SWIR foto. Hier zijn afwijkingen zichtbaar in vergelijking met het gehele oppervlak van de appel. Deze afwijkende- en donkere kleur geeft een slechte plek onder de schil van de appel weer die met het blote oog niet te zien is.

Afbeelding 3: Voorbeeldafbeelding SWIR-cameratechniek (Papaj, 2020)



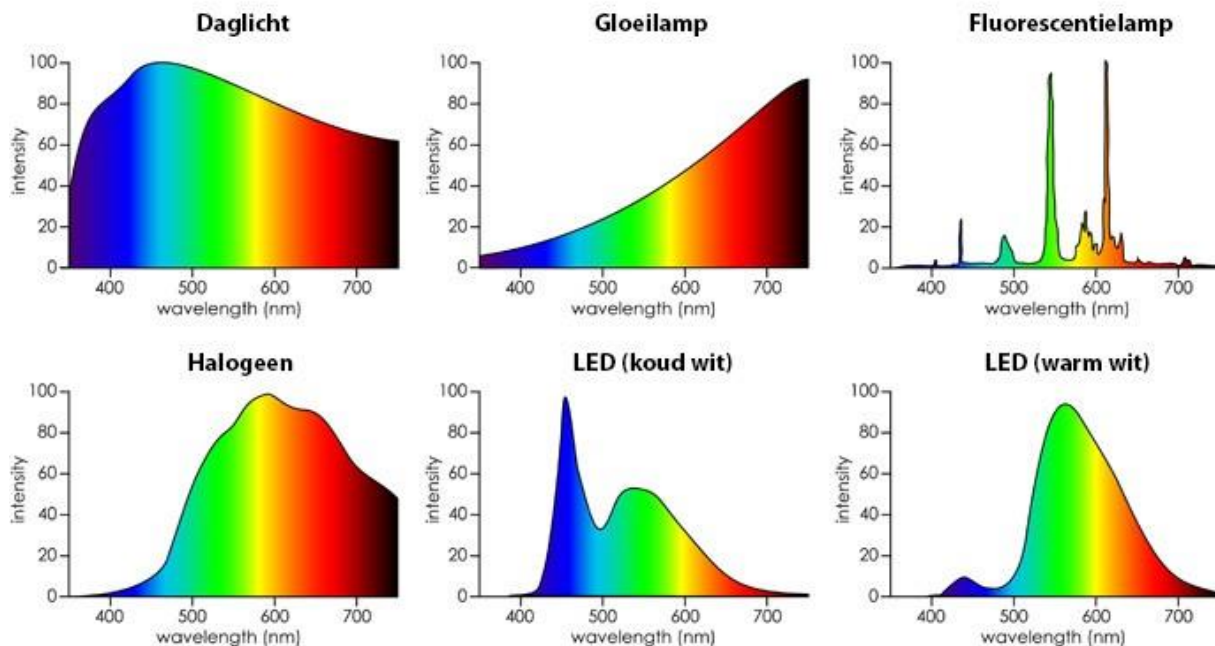
1.3.3 Toelichting lichtspectrum

In onderstaande afbeelding 4 is een zestal lijndiagrammen zichtbaar die allemaal voor een bepaalde soort licht staan. Op de horizontale as van de diagrammen is de wavelength in nanometers zichtbaar en op de verticale as is de lichtintensiteit zichtbaar in een percentage van 0% tot 100%. In de eerste diagram 'Daglicht' is zichtbaar dat daglicht zoals iedereen dat ziet een heel groot bereik in nanometers heeft. Zo is daglicht zichtbaar in het gehele visuele lichtspectrum, van 400 tot 750 nanometer, en ver daarbuiten aan beide kanten. In dat geval zou daglicht een goede lichtsamenstelling hebben om een NIR-camera mee te voeden. Het nadeel is wel dat daglicht erg veranderlijk is en dat is ook gelijk de reden dat dit niet wordt gebruikt omdat constante omstandigheden van het hoogste belang zijn.

Ook wordt uit deze afbeelding duidelijk waarom normaal led-licht niet geschikt is om mee in het NIR en SWIR-spectrum te kijken. Zichtbaar is namelijk dat dit soort licht alleen maar zichtbaar is in het visuele spectrum en net iets daarbuiten, ongeveer tussen de 350 en 800 nanometer. Dit geldt voor zowel warm- als koud led-licht (Koe, 2022).

Tenslotte is zichtbaar dat halogeenverlichting wel volstaat omdat dit soort licht in een veel hoger spectrum ook nog zichtbaar gemaakt kan worden net als daglicht en een gloeilamp. Dit zijn voorbeelden van verlichting waarmee eventueel getest kan worden op basis van theorie.

Afbeelding 4: Zes soorten licht met daarbij de bepaalde wavelength in nanometers (Leretto blauw licht Filter brillen, sd)



1.4 Interne defecten in aardappelen

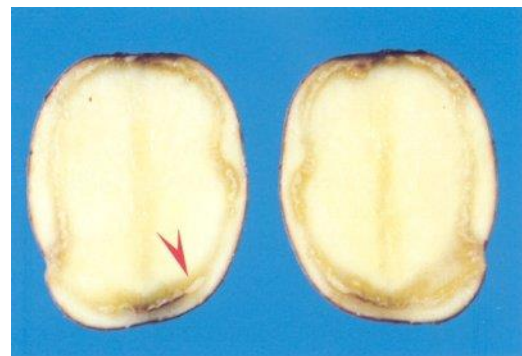
In onderstaande paragrafen worden verschillende soorten interne defecten in aardappelen toegelicht aan de hand van voorbeelden en een afbeelding. Ook worden per defect de verschijnselen toegelicht met daarbij de gevolgen voor de aardappelknol. Tenslotte worden er een aantal oplossingen beschreven om het defect te onderdrukken in de vervolgteelt.

1.4.1 Bruinrot

Een aardappel kan verschillende defecten vertonen waarbij zichtbare- en niet zichtbare afwijkingen aangetoond kunnen worden. Een defect is een afwijking die de aardappel kan bezitten door een ziekte of beschadiging. Een aantal voorbeelden van externe defecten door beschadiging zijn: verse beschadiging, rooi beschadiging, sneden, groen en halve aardappelen. Daarnaast zijn er ook externe beschadigingen door ziektes zoals: Rhizoctonia, schurft en Phytophthora (Aardappelziekte- aardappel, 2020).

Naast de externe defecten kan een aardappel ook interne defecten bezitten die ervoor zorgen dat de kwaliteit van de aardappel niet goed is en deze uit de partij moet worden verwijderd. Bruinrot is één van deze interne defecten. Bij deze bacterieziekte laat de plant de bladeren hangen en ontstaan er bruine ringen onder de huid van de aardappel die na verloop van tijd de gehele aardappel aan tasten (Webmaster, Bruinrot, 2016). De aardappel is gevoelig voor dit bacterie. In afbeelding 5 is een aardappel weergegeven met een bruinrotring.

Afbeelding 5: Twee aardappel helften met bruinrot ring (Webmaster, Bruinrot, 2016)



1.4.2 Stootblauw

Stootblauw is een tweede interne defect die voor kan komen bij aardappelen. In tegenstelling tot bruinrot komt deze defect niet door een bacterie maar door een beschadiging. Stootblauw ontstaat doordat de aardappel ergens hard tegen aan valt waardoor er van buiten geen beschadiging ontstaat maar van binnen er wel cellen worden aangetast. Deze cellen verkleuren in de bewaring tot een blauwe/paarse gloed in het vlees van de aardappel. Stootblauw ontstaat vooral bij grote vallen van aardappelen vanaf tien tot dertig centimeter, maar kan ook ontstaan bij kleine vallen tussen de vijf en tien centimeter. De oppervlakte van de blauwe beschadiging onder de huid wordt extreem groter naarmate de valhoogte in centimeters toeneemt. Bij de diepte van de beschadiging is dit niet het geval. Een kleine val kan al veel schade aanrichten en naarmate de val in hoogte toeneemt zal dit niet veel meer effect hebben op de diepte van het stootblauw in de aardappel (Verwijs, 1998).

Afbeelding 6: Een aardappel met een hoge hoeveelheid stootblauw (Rasbak, 2018)



Allereerst is de temperatuur bepalend voor de gevoeligheid omtrent stootblauw. De gevoeligheid begint ongeveer bij 12 graden Celsius en wordt heftiger naarmate de temperatuur afneemt in graden (Rasbak, 2018). Daarnaast zijn rassen met een hoog zetmeelgehalte gevoeliger voor stootblauw. Ook bij een gebrek aan kali kan er sneller stootblauw optreden (encyclopedie, 2021). In afbeelding 6 is een aardappel met stootblauw weergegeven.

1.4.3 Holle aardappelen

Een ander intern defect dat kan optreden bij aardappelen is een hol gat in het hart van de aardappel. De aardappel ziet er aan de buitenkant normaal en gezond uit, maar wanneer deze wordt doorgesneden zal er een opening in het hart van de aardappel zichtbaar zijn. De grootte van dit holle gedeelte kan variëren tussen een paar millimeters tot enkele centimeters.

De oorzaak van deze holtes wordt vaak veroorzaakt door extreme natte- en droge periodes waarin er weinig voedingsstoffen opgenomen worden en de aardappel eigenlijk stil staat in groei. Wanneer er dan door regen meer vocht of door een toegift ineens veel voedingsstoffen aanwezig zijn kan dit voor een groeispruit zorgen waardoor de cel-spanning te hoog wordt. Een laag droge stofgehalte in de knol en een hoge cel-spanning zorgen ervoor dat de cellen in het hart van de aardappel van elkaar gaan wijken waardoor er een opening ontstaat. Er is dan drang om groter te groeien maar het vlees van de aardappel kan deze snelheid niet bijbenen en er ontstaat dus eigenlijk een tekort aan opvulling. Rassen met een laag knollenaantal zijn erg gevoelig voor bovenstaand verschijnsel omdat er ruimte genoeg is in het bed om tot grote aardappels uit te kunnen groeien. Een bekend ras dat hiervoor erg gevoelig is zijn Agria's (Reindsen, Regen veroorzaakt groeischeuren en holheid bij aardappelen, 2021). In afbeelding 7 is een holle aardappel weergegeven.

Afbeelding 7: Meerdere holle aardappelen zonder rot (Pca, 2021)



1.4.4 Rooibeschatiging

Rooibeschatiging is naast het stootblauw de meest voorkomende beschadiging. Hoewel stootblauw alleen intern te zien is, kan rooibeschatiging ook in sommige gevallen aan de buitenkant van de aardappel zichtbaar zijn, zichtbaar in afbeelding 8. Visuele rooibeschatigingen kunnen worden herkend aan kleine wondjes op de huid van de aardappel en zoals velletjes die voor een deel loslaten of ondiepe sneden. De interne rooibeschatiging is echter vanaf de buitenkant niet te herkennen. Deze wordt pas zichtbaar wanneer de aardappel wordt geschild. De inwendige rooibeschatiging is te herkennen door de bruine kleur met in het midden van de plek een grijswitte verkleuring. Zoals de naam al aangeeft treden deze beschadigingen op tijdens het rooi en transport proces. De eerste reden voor een beschadiging kan komen door de afstelling van de rooischaren. Wanneer deze te hoog staan zullen de aardappelen worden afgesneden en komen er halve aardappelen op de band. Het kan ook zo zijn dat de aardappelen nog niet klaar zijn om gerooid te worden omdat deze nog niet voldoende zijn afgehard. Wanneer dit het geval is zullen de vellen oftewel de schil van de aardappelen er af worden gevecht waardoor het onderliggende vlees rechtstreeks wordt blootgesteld aan de buitenwereld, dit kan infecties tot gevolg hebben. Tenslotte kan het ook zo zijn dat de reiniging van de rooier te agressief afgesteld staat waardoor er onnodig hard wordt geklopt of gedraaid. Dit laatste is voornamelijk de reden tot onderliggende beschadiging door een ruwe behandeling van de aardappelen (C.P, 2000)

Afbeelding 8: Aardappel met onderliggende rooibeschatiging (Farm, 2014)



1.4.5 Zwart hart

Zwart hart is een afwijking die heel af en toe voorkomt in de aardappelsector. Net als bij holle aardappels zit deze afwijking in het midden van de aardappel, oftewel het hart. In afbeelding 9 is een holle aardappel met een zwart hart weergegeven. Deze afwijking kan worden veroorzaakt in de bewaring na een te sterke opwarming van de aardappelen. Als de aardappelen te snel worden verwarmd met warme lucht tot boven een temperatuur van 25 graden Celsius kunnen deze niet meer genoeg zuurstof binnenkrijgen om snel genoeg te kunnen ademen. Het gevolg van dit proces is een afsterving van binnen in de aardappel waardoor er een grijs/zwarte plek ontstaat met in sommige gevallen een scheur. Zwarte harten ontstaan voornamelijk in de bewaring maar kunnen ook al op het perceel ontstaan om dezelfde reden, een te lange blootstelling aan warme omstandigheden met een tekort aan zuurstof. Dit kan gebeuren wanneer er aardappelen onder zeil groeien of in kassen.

In tegenstelling tot andere interne afwijkingen is het voorkomen van zwarte harten relatief makkelijk. Door erop te sturen dat de aardappelen in de bewaring bij hoge temperaturen goed geventileerd worden, en ervoor te zorgen dat de luchttemperatuur in de cel nooit hoger wordt dan 20 graden Celsius en daarbij genoeg nieuwe zuurstof wordt toegevoegd, kan dit worden voorkomen. Daarnaast is het zaak om de aardappelen die nog op het perceel staan bijtijds van onder het zeil te halen voordat de temperaturen te hoog worden en er niet genoeg zuurstof beschikbaar is onder het zeil (R.Wustman, 2000).

Afbeelding 9: Doorsnede van een aardappel met een zwart hart en een scheur (Blackheart, 2020)



1.5 Drukplekken toegelicht

In onderstaande paragrafen wordt toegelicht wat een drukplek is en hoe deze ontstaat op een aardappelknol. Ook wordt er uitgebreid toegelicht hoe het verschijnsel drukplekken voorkomen kan worden in de bewaring.

1.5.1 Een drukplek

Drukplekken zijn slecht te herkennen van buitenaf, maar wanneer de aardappel wordt doorgesneden wordt al snel duidelijk wat dit precies zijn. Aan de buitenkant van de aardappel kan een drukplek herkend worden, in een later stadium, aan de lager gelegen punten in de huid van de aardappel. Het kan zo zijn dat de huid daar ook relatief donker is in vergelijking met het overige deel van de huid. In onderstaande afbeelding zijn vier aardappelen weergegeven met allemaal een zichtbare drukplek vanaf de buitenkant die naar alle waarschijnlijkheid aan de binnenkant van de aardappel nog veel groter zal zijn (Mulders, 2012). Zoals zichtbaar in afbeelding 10 kunnen drukplekken na verloop van tijd zichtbaar worden op de buitenkant van de aardappel.

Afbeelding 10: Vier aardappelen met zichtbare drukplekken (Nedato, 2016)



1.5.2 Ontstaan van een drukplek

Een drukplek begint vaak net onder de huid van de aardappel en wordt steeds groter naarmate de bewaring vordert. Zoals in bovenstaande tekst aangegeven wordt de drukplek in een later stadium zichtbaar aan de buitenkant, maar aan de binnen kant van de aardappel is de drukplek nog veel beter zichtbaar, afbeelding negen is een voorbeeld hiervan zichtbaar. Een drukplek ontstaat doordat de. In onderstaande afbeelding 11 is een geschilde aardappel weergegeven maar daarop zichtbare bruine verkleuringen. Deze verkleuringen duiden op drukplekken die nog niet zichtbaar waren buiten de schil.

*Afbeelding 11: Geschilde aardappelen met niet-zichtbare drukplekken
(DLV advies, 2017)*



Drukplekken ontstaan in de bewaring onder verschillende omstandigheden. Drukplekken ontstaan vaak pas na enkele maanden van hoge compressie door te hoge stort- en stapelhoogte. Dit komt omdat de spanning van de cellen van de aardappel afneemt naarmate deze droger wordt en dus vocht afstoot. De spanning in de cellen wordt dan lager waardoor de aardappel zachter wordt en minder druk van buitenaf kan hebben. De lengte van de bewaarperiode heeft veel invloed op de ernst van de schade. Naarmate de bewaarperiode langer is, zal de schade aanmerkelijk toenemen. Ook is het belangrijk om de storthoogte niet extreem hoog te maken. Dit zorgt ervoor dat de aardappelen onder in de bewaring een te hoge druk krijgen waardoor deze gevoelig worden voor drukplekken.

1.5.3 Tegengaan van drukplekken

Uiteraard zijn er een aantal manieren om dit verschijnsel tegen te gaan. Het vochtverlies in de aardappelen moet beperkt worden tot op zekere hoogte. Het is dus belangrijk om goed inzicht te krijgen in de vochthuishouding om zo te voorkomen dat er onnodig vocht wordt weg geventileerd.

De eerste stap die genomen kan worden om het risico op drukplekken te verlagen moet al genomen worden op het land waar de aardappelen groeien. Er moet gekeken worden of de partij aardappelen rot bevat en om welke soort rot dit gaat. Daarnaast is het goed om te weten of het geplante ras gevoelig is voor drukplekken of een lange bewaring. Wanneer deze gegevens bekend zijn kan er een goede beslissing gemaakt worden wat betreft het rooimoment. Een slecht bewaarbare aardappel moet immers zo lang mogelijk in de grond blijven wanneer de omstandigheden dit toelaten.

De tweede stap die genomen moet worden vindt plaats met rooien en inschuren van de aardappelen. Het is belangrijk om de storthoogte van de aardappelen in de cel te beperken tot een maximale hoogte van drieënhalve tot vier meter. Op deze manier wordt er een goede ventilatiecapaciteit gecreëerd en minder druk in de bulkbewaring van bovenliggende aardappelen op de onderliggende aardappelen. Dit moet wel mogelijk zijn in verband met de tussenliggende afstand van koker tot koker omdat de storthoogte afhankelijk is van deze afstand. De storthoogte wordt vaak bepaald door de tussenliggende afstand van koker tot koker keer 1,25 te doen. Bij een tussenliggende afstand van drie meter komt dit neer op een storthoogte van 3,75 meter (Versluis, 2005).

Stap drie van het proces gebeurt in de bewaring zelf wanneer de aardappelen zijn gestort. Wanneer de aardappelen net zijn gerooid moeten eerst de wonden geheeld worden. Dit gaat het best bij een relatieve luchtvochtigheid (RV) van 90% en bij een temperatuur van 20 graden Celsius (Versluis, 2005). Naast deze omstandigheden heeft ventileren ook invloed op het wondhelingsproces. Wanneer er te weinig wordt geventileerd zal er te veel vocht achterblijven in de bewaring, maar wanneer er te veel vocht wordt afgevoerd ontstaat er indroging. Er moet dus een tussenweg gevonden worden. Er wordt vaak gerekend met een ventileerperiode van 15 minuten per dag om optimaal door deze fase heen te komen. Uiteraard is dit ook afhankelijk van de buitentemperatuur en het huidige vochtpercentage in de bewaring.

Na de wondhelingsfase moet er worden gekoeld naar de bewaar temperatuur. Dit moet zo snel mogelijk gebeuren om indroging te voorkomen.

De meeste fouten worden gemaakt wanneer er wordt ontdekt dat er rot in de partij aanwezig is. Er wordt dan vaak te veel geventileerd, omdat men bang is dat de overige goede aardappelen anders ook zullen gaan rotten door onderlinge aantasting. Die gebeurt niet wanneer de omliggende aardappelen goed periodiek geïnspecteerd worden. Pas wanneer deze echt vochtig worden moet er worden geventileerd voor een korte tijd om zo indroging van de goede aardappelen te voorkomen. Dit kan meerdere keren gedaan worden zowel intern als extern afhankelijk van de omstandigheden van de buitenlucht. Deze factoren zorgen ervoor dat de aardappel de juiste cel-spanning behoudt en daardoor minder gevoelig is voor drukplekken.



1.6 Externe defecten met interne gevolgen

Naast de interne defecten die in voorgaande paragrafen beschreven staan zijn er ook nog enkele externe defecten die direct gevolgen hebben voor de interne kwaliteit van de aardappel in de vorm van zichtbare schade door aanvreting.

1.6.1 Ritnaalden

Een bekende larve die ernstige schade aan kan richten aan de binnenkant van de aardappel is de ritnaald. Een ritnaald is de larve van een Kniptor. Deze Kniptor zet tussen de periode van mei tot juli de eitjes af waaruit de ritnaalden voortkomen (CZAV, 2019).

In de aardappelteelt is de ritnaald een gevaar door de gangen en gaten die in de aardappelknol worden gevreten door de larven. De gangen kunnen op meerdere plekken op de aardappel in- en uitgangen hebben wat ervoor zorgt dat de aardappel volledig aangetast is, en hierdoor niet meer bruikbaar is voor de verdere verwerking. Naast het feit dat de gangen de aardappelknol fysiek aantasten worden er ook ingangen voor bacteriën gecreëerd die via deze weg makkelijk de aardappelknol aan kunnen tasten. De Ritnaald zorgt er dus voor dat de knol nog meer wordt blootgesteld voor eventuele andere aantastingen van buitenaf.

De laatste jaren zijn er al verschillende spuitmiddelen weggefallen uit het assortiment doordat deze niet voldeden aan de regel- en wetgeving. Maar op dit moment zijn er nog enkele middelen die wel gespoten mogen worden om de ritnaalden tegen te gaan. Het eerste middel is Nemathorin, dit gewasbeschermingsmiddel pakt ritnaalden en enkele soorten aaltjes aan en wordt toegediend tijdens het poten van de aardappelen in volvelds of rijenvorm (Syngenta, 2021). Een ander middel dat in de rij toegevoegd kan worden tijdens het poten is Force. Tenslotte is er nog Tercol, dit middel kan tijdens het poten worden toegediend en heeft ook nog drie bespuitingen nodig voor een goede werking in een verder stadium van het teeltseizoen (Reindsen, 5 vragen over schade door ritnaalden en slakken in aardappelen, 2021).

Voordat er een plan opgesteld kan worden om de ritnaalden tegen te gaan is het belangrijk om de ernst van de situatie vast te stellen. Dit kan gedaan worden door de mannetjes Kniptorren te lokken met een Feromoon. Aan de hand van de hoeveelheid mannelijke Kniptorren kan dan het juiste spuitmoment worden vastgesteld om de larven zo goed mogelijk tegen te gaan. In afbeelding 12 zijn drie aardappelen weergegeven die zijn aangetast door ritnaalden. In afbeelding 13 is een ritnaald zichtbaar.

Afbeelding 13: Ernstig aangetaste aardappelen door ritnaalden (protection, 2020)



Afbeelding 12: Een ritnaald (Bendle, 2009)



1.6.2 Aaltjes

Aaltjes zijn binnen de aardappelsector een bekend, en veel voorkomend probleem. Er bestaan een groot aantal verschillende soorten aaltjes die allemaal verschillende gevolgen hebben na aantasting in een aardappelperceel. Zo zijn aaltjes die fysieke schade aanbrengen aan de aardappelknol, maar ook aaltjes die het op de wortels en de planten van de aardappel gemunt hebben.

Een bekend aaltje dat ervoor zorgt dat de aardappelknol fysiek wordt aangetast is het stengelaaltje. Dit aaltje kan onderverdeeld worden in verschillende typen stengelaaltjes. Het stengelaaltje dat voor de aardappelen de meeste problemen veroorzaakt is het Roggefysio aaltje. Dit aaltje veroorzaakt ingezonken plekken in de aardappelen en droogrot die tot diep in de aardappelknol kan doordringen. Ook in de bewaring gaat dit proces verder en zullen de aardappelen na verloop van tijd weggrotten. Ook aan de planten van de aangetaste knollen is zichtbaar dat deze zijn aangetast door het achterblijven in groei en de misvormde bladeren.

Het voorplanten van deze aaltjes gaat erg snel en in meerdere cycli per jaar. Zo worden er per cycli ongeveer 200 tot 500 nakomelingen gecreëerd (Nijman, 2021). Het is dus belangrijk om dit zoveel mogelijk te voorkomen. Maar dit is lastig omdat een besmet perceel eigenlijk niet zomaar hersteld kan worden. Een manier om de besmetting van gewassen tegen te gaan is door deze gevoelige gewassen niet meer te telen op de besmette grond. Maar dit zorgt er niet voor dat de grond hersteld. Door middel van een granulaat toevoeging bij het poten van aardappelen kan dit de besmetting door aaltjes tegengaan maar ook deze oplossing zorgt er niet voor dat het perceel hersteld.

Door middel van chemische grondontsmetting kan een perceel wel deels gereinigd worden van aaltjes. Wanneer deze grondontsmetting is uitgevoerd kan er dat jaar geen gewas geteeld worden dan gevoelig is voor aaltjes.

Een laatste grootschalige ontsmetting kan worden gerealiseerd door het perceel voor een bepaalde tijd onderwater te zetten. Dit is een grote ingreep en het is daarom ook aan te raden die pas te doen wanneer er anders niks meer met de grond te beginnen valt. Het onderwater zetten van het perceel wordt ook wel Inundatie genoemd en werkt het best bij een bodemtemperatuur van boven de zeventien graden Celsius. Doordat het gehele perceel dan onderwater staat zullen de aaltjes geen zuurstof meer krijgen en daardoor afsterven. Om ervoor te zorgen dat alle aaltjes echt dood zijn zal het perceel meer dan twaalf weken onderwater moeten staan. Na deze periode zal het perceel weer moeten herstellen omdat er bij zo'n lange tijd onder anaerobe omstandigheden ook andere stoffen ontstaan die normaal niet op een perceel voorkomen (Raaijmakers, 2017). Op afbeelding 14 is een stengelaaltje zichtbaar en op afbeelding 15 is een aangetaste aardappel weergegeven.

Afbeelding 14: Een stengelaaltje door een microscoop (Veldleeuwrik, 2016)



Afbeelding 15: Aardappel aangetast door stengelaaltjes (Raaijmakers, 2017)



1.7 Knowledge Gap

Naast alle bekende informatie rondom het onderwerp van het onderzoek is er ook nog een groot deel van de informatie onbekend. Deze onbekende informatie moet aan het eind van het onderzoek bekend worden door de resultaten te analyseren en hieruit conclusies te trekken. Bekend is dat aardappelen naast externe defecten ook interne defecten kunnen vertonen waardoor deze aardappelen niet meer bruikbaar zijn voor de consumentenmarkt. Deze interne defecten zijn ook bekend maar er is vanaf de buitenkant in veel gevallen geen extern kenmerk dat laat zien dat deze aardappelen een defect bezitten. Dit is dus onbekend en moet ontdekt worden zonder de samenstelling van de aardappel te wijzigen, er mag dus niet in de aardappel worden gesneden.

Nu het probleem bekend is moet er een oplossing voor gevonden worden. Bekend is dat er meerdere cameratechnieken zijn die het mogelijk maken om onderliggende defecten in beeld te brengen. Voor dit onderzoek is er voor twee van de technieken gekozen, NIR en SWIR. Uit externe bronnen is gebleken dat deze cameratechnieken het mogelijk maken om aan de onderzoeksvraag te voldoen, echter is dit nog niet in de praktijk getest waardoor het tot nog toe niet bekend is of dit echt zo is. Er moet dus onderzocht worden of het überhaupt mogelijk is om een onderliggend defect in beeld te brengen en welke defecten er wel en niet in beeld gebracht kunnen worden. Daarnaast is door verschillende bronnen duidelijk geworden dat er twee soorten licht gebruikt kunnen worden voor het onderzoek, maar in welke mate dit licht volstaat in combinatie met de camera die gebruikt gaat worden voor het onderzoek is ook nog niet duidelijk.

Zoals hierboven beschreven staat bestaat het onderzoek dus uit meerdere factoren die nog niet bekend zijn maar naar alle waarschijnlijkheid wel bekend zijn na afronding van dit onderzoek wanneer het gehele onderzoek verloopt zoals verwacht.

1.8 Hoofd- en deelvragen

In onderstaande paragraaf zijn de hoofd- en deelvragen van dit onderzoek weergegeven. In combinatie met de verzamelde informatie uit het vooronderzoek zullen allereerst de deelvragen worden beantwoord en vervolgens de hoofdvraag. Aan de hand van deze bevindingen zal er een conclusie aan het onderzoek worden gegeven met daarbij een aanbeveling voor mensen die gebaat zijn bij dit onderzoek voor eventueel vervolgonderzoek.

Hoofdvraag: *In welke mate is het mogelijk om door middel van NIR of SWIR cameratechniek een aardappel te kunnen beoordelen op drukplekken wanneer deze afwijking aan de buitenkant van de aardappel slecht zichtbaar is met het blote oog?*

Deelvragen:

1. *In welke mate kan een NIR-camera de interne beschadiging van een drukplek visualiseren?*
2. *In welke mate kan een SWIR-camera de interne beschadiging van een drukplek visualiseren?*
3. *Wat is het effect van behangenheid van grond op de aardappel voor de zichtbaarheid van interne defecten in de aardappel?*
4. *Wat is het effect van vochtigheid op de zichtbaarheid van interne defecten in de aardappel?*

Verwacht wordt dat de resultaten van dit onderzoek gebruikt kunnen worden voor eventueel vervolgonderzoek dat gaat over het herkennen van andere interne defecten in aardappelen zoals holle aardappelen en stootblauw.

Het woord 'behangenheid' dat wordt gebruikt in deelvraag drie is geen officieel Nederlands woord maar een vereenvoudigde zelfbedachte term. Met het woord 'behangenheid' van een aardappel wordt de grond bedoeld dat vanaf het land rond de aardappel zit wanneer deze wordt gerooid en opgeslagen in de bewaring.



1.9 Keuze voor verschillende instrumenten en testdata

In deze paragraaf worden de keuzes die zijn gemaakt bij het gebruik van de verschillende instrumenten onderbouwt aan de hand van verschillende wetenschappelijke literatuur van eerder uitgevoerde onderzoeken. Uit voorgaande paragrafen van de inleidingen zijn verschillende bevindingen naar voren gekomen die tot deze keuzes hebben geleid wat betreft camera's en verlichting.

1.9.1 De camera

Het gehele onderzoek is begonnen met het zoeken van een camera die het mogelijk maakt om door bepaalde samenstellingen heen te kunnen kijken en daarmee onderliggende samenstellingen in beeld te kunnen brengen. In het geval van dit onderzoek gaat het om een aardappel en is het doel om door middel van deze camera de slechte aardappelen van de goede te kunnen scheiden. Uit verschillende oudere wetenschappelijke onderzoeken zijn meerdere cameratechnieken naar voren gekomen. Wel is snel duidelijk geworden dat SWIR een hele bekende manier bleek waarvan al meerdere keren de goede werking was bewezen. Zo wordt duidelijk uit het wetenschappelijk onderzoek van Wenwen Zhang dat het mogelijk is om met een SWIR-camera door de schil van een aardappel heen te kijken en zo de binnenkant van de aardappel goed in beeld te brengen (Wenwen Zhang, 2019). En ook uit het onderzoek van Kamal Imanian blijkt dit mogelijk te zijn door middel van een SWIR-wavelength camera tussen de 350 en 2500 nanometer (Kamal Imanian, 2021).

Daarnaast was het voor het onderzoek ook belangrijk dat de camera daadwerkelijk op het bedrijf van Flikweert Vision getest kon worden om zo de resultaten vast te kunnen stellen door verschillende testen uit te voeren. Dit is mogelijk gebleken omdat er een leverancier is die beschikte over een SWIR-camera met bijbehorende accessoires. Het merk van de SWIR camera is Xenics en het type is Xeva 8260. Het merk van de NIR camera is Daheng ondersteund met een NIR filter van 860 tot 930 nanometer. Het merk van de RGB camera is ook Daheng met een kleurenlens.

1.9.2 De lampen

Nadat bekend was welke camera er gebruikt ging worden voor het onderzoek zijn hier de lampen op afgestemd. Een SWIR-camera heeft bepaalde verlichting nodig die de werking van de camera mogelijk maakt onder de juiste omstandigheden. Ook voor deze keuze is er gekeken naar oudere wetenschappelijke onderzoeken, hieruit is gebleken dat er veelal verlichting wordt gebruikt dat ook in een hoger spectrum zichtbaar is. In het onderzoek van Sergio Cubero wordt er voor een heel aantal onderzoeken over de interne kwaliteit van fruit halogeenlampen gebruikt. Het fruit wordt door middel van een halogeenlamp onder een hoek van 45 graden belicht (Sergio Cubero, 2011)

(Yamin Ji, 2019). Er is voor gekozen om gebruik te maken van halogeen bouwlampen met een vermogen van 1000 watt. Vanuit de leverancier van de camera is als raad meegegeven om een grote hoeveelheid licht te creëren voor het beste resultaat. Dit is dan ook de reden voor de keuze van de bouwlampen.

Na een aantal testen is gebleken dat de bouwlampen teveel stralingswarmte in de kap brachten waardoor de temperatuur veel te hoog werd en de sensoren ging beïnvloeden. Er is daarom gekozen voor kleinere lichtbronnen met lagere wattages in de vorm van spotjes. Deze spotjes produceren ook halogeenlicht maar door het lagere wattage is de stralingswarmte bij deze spotjes veel lager waardoor de temperatuur in de kap wel te handhaven was met de ventilator die in de kap bevestigd is. Er zijn 4 spotjes in de kap bevestigd die fungeren als kunstmatige lichtbron voor de camera's.

1.9.3 Het aardappelras

Naast de verschillende omstandigheden die gecreëerd worden door middel van een bepaalde camera, lampen en opstelling is er ook nog een andere factor die variabel is, namelijk het aardappelras. Er zijn op dit moment heel veel verschillende aardappelrassen. Elk van deze rassen heeft bepaalde eigenschappen die de prestaties van de aardappel bepalen. Dit heeft te maken met resistentie, grondsoort, en het uitgangsmateriaal. Zo zijn er verschillen tussen pootgoed-rassen en consumptie-rassen. Voor dit onderzoek is er gekozen voor het ras Agria. Dit ras is geselecteerd op gevoeligheid voor stootblauw en drukplekken omdat dit voor het onderzoek erg belangrijk is.

Het ras Agria is een consumptie ras. Dit ras heeft een relatief hoog onderwatergewicht dat ligt rond de 402 gram/ 5 kilo (Werkman, Belangrijkste karakteristieken van Agria, 2021). Dit hoge onderwatergewicht leidt tot een hoge gevoeligheid op stootblauw en drukplekken (kennisakker, 2003).

De reden dat ervoor het ras Agria is gekozen is puur op basis van aanbeveling van telers en eindgebruikers van de huidige machine van Flikweert Vision Technologies. Uit contact met deze eindgebruikers is gebleken dat de Agria bekend staat om het vormen van holle aardappelen en daarmee ook erg gevoelig is voor drukplekken door de hoge cel spanning van de aardappels. Ook is het zo dat er in de provincie Zeeland veel Agria's geteeld worden en daarom een goede hoeveelheid testmateriaal beschikbaar is.



1.10 Doelstellingen

In onderstaande paragrafen worden de doelstellingen van de student en de eindgebruiker toegelicht. Tenslotte worden ook de doelstellingen van de consument toegelicht aan de hand van een gedachtegang.

1.10.1 Doelstelling eindgebruiker

Naast de doelstelling van de student is er ook een doelstelling voor de eindgebruiker. De eindgebruiker is de persoon waarvoor de machine wordt gemaakt en waarvoor in dit geval de cameratechniek wordt ontwikkeld. Voor de eindgebruiker zijn er meerdere doelstellingen opgesteld, deze staan hieronder één voor één met een korte beschrijving weergegeven.

De eerste doelstelling van de eindgebruiker is een goede partij aardappelen afleveren aan de klant. De machine moet ervoor zorgen dat de kwaliteit van de aardappelen omhoog gaat.

Daarnaast moet het personeel vervangen worden door een machine. Dit heeft twee redenen, allereerst het tekort aan goed personeel en ten tweede de steeds hoger wordende loonkosten.

Tenslotte moet de eindgebruiker van de machine uit kunnen gaan, zo wordt de machine niet ziek, wat bij mensen wel mogelijk kan gebeuren en kan deze wanneer nodig dag en nacht draaien dus kunnen er meer partijen worden verwerkt.

1.10.2 Doelstelling consument

Tenslotte is de consument ook niet onbelangrijk want deze zal uiteindelijk de gesorteerde aardappelen af moeten nemen om de cirkel van het proces rond te krijgen. Het doel voor de consument is om te zorgen dat de aardappelen van goede en continue kwaliteit zijn. De huidige partijen aardappelen die op dit moment in de winkel worden verkocht zijn met zorg geselecteerd maar kunnen af en toe alsnog interne defecten bevatten, omdat dit simpelweg niet goed te controleren is. Dit mag niet meer gebeuren met deze nieuwe techniek van sorteren. Wanneer er gegarandeerd kan worden dat de aardappelen van hoge en vooral goede kwaliteit zijn zal de consument dit waarderen en eerder kiezen voor die aardappelen. Uiteraard moeten de aardappelen wel betaalbaar blijven voor de consument, omdat het financiële verschil tussen de aardappelen die worden aangeboden dan te groot wordt.



Hoofdstuk 2 – Materiaal en methode

In hoofdstuk twee van het onderzoek wordt beschreven hoe het onderzoek is opgezet en uitgevoerd. De testresultaten worden door middel van tabellen weergegeven om een duidelijk inzicht te krijgen van deze gegevens. Er is per gebruikt instrument onderbouwt waarom er is gekozen voor dit bepaalde instrument. Tenslotte worden de testomstandigheden beschreven waaronder de testen zijn uitgevoerd onderbouwt met verschillende afbeeldingen.

2.1 Testmethode

In deze paragraaf zullen de testen die worden uitgevoerd worden toegelicht. Aan de hand van deze testen zullen de resultaten worden verzameld die nodig zijn om de hoofd- en deelvragen te kunnen beantwoorden.

2.1.1 De testopstelling

De keuze van de opstelling waarmee getest gaat worden is voortgekomen uit de combinatie van de verlichting en de camera die gebruikt wordt. Om invloeden van buitenaf te beperken is er gekozen voor een dichte kap die nauwelijks licht van buitenaf doorlaat waardoor het licht dat gebruikt wordt om beelden te creëren geheel afhankelijk is van de eigen gekozen lichtbron.

Ook is er in de kap een ventilator toegevoegd om de temperatuur binnen de kap te handhaven. Halogeenverlichting geeft energie af in de vorm van stralingswarmte waardoor de temperatuur in de kap dermate kan stijgen dat dit invloed zal hebben op het beeld van de camera (Wordt een ledlamp warm?, 2021). Ook dit draagt bij aan constante omstandigheden binnen de kap. Het is zaak om de verlichting vooraf tijdig aan te zetten zodat de temperatuur een maximum kan bereiken en deze gehandhaafd wordt door de aanvoer van koude lucht en afvoer van warme lucht tot een constante temperatuur binnen de kap. In de kap is een temperatuur sensor bevestigd waarmee via een app op de telefoon de exacte temperatuur binnen in de kap gecontroleerd kan worden.

De binnenkant van de kap is wit gemaakt. Dit is gedaan om te voorkomen dat de kleur van de binnenkant van de kap van invloed zal zijn op het licht dat in de kap wordt gecreëerd. Het is zo dat alle andere kleuren bepaalde kleuren opnemen en niet meer terugzenden. Dit betekent dat in dit geval het grijze roestvrijstaal van invloed zou kunnen zijn op het licht dat de camera bereikt. In tegenstelling tot alle andere kleuren is dit bij de kleur wit niet het geval. Wit neem namelijk geen licht op maar zend al het licht dat wordt ontvangen weer terug. De witte wand zal daardoor niet van invloed zijn op het licht dat wordt gecreëerd in de kap.

In de kap zijn drie camera's bevestigd aan een rail die vast zit in de kap. Het gaat om een NIR een SWIR en een RGB camera. De keuze voor deze drie camera's is gemaakt om een vergelijkbaar beeld te creëren van eenzelfde aardappel. Aan de hand van deze drie afbeeldingen van dezelfde aardappel kunnen er dan verschillen en overeenkomsten aangetoond worden. De aardappelen liggen onder de camera's op een afstand van 45 centimeter tot de bovenkant van de aardappel.

Hieronder zijn de verschillende elementen in de kap aan de hand van verschillende afbeeldingen toegelicht.



De kap

Hiernaast op afbeelding 16 is de test kap zichtbaar waarmee de testfoto's zijn gemaakt. Bovenop de kap zijn twee bouwlampen geplaatst die het licht in de kap verzorgen. Na een aantal testen is gebleken dat deze bouwlampen teveel stralingswarmte leverden en de temperatuur in de kap veel te hoog werd. Er is toen voor gekozen om door te testen met halogeen spotjes in de kap. Dit is gedaan omdat deze veel minder stralingswarmte afgeven door een lager wattage en wel genoeg licht voor de camera's produceren. In bijlage twee zijn meerdere afbeeldingen te verduidelijking toegevoegd.

Afbeelding 16: De camerakap (eigen foto)



Binnenkant van de kap

Op de afbeelding 17 aan de rechterkant is de binnenkant van de test kap zichtbaar. Deze is volledig bekleed met wit papier om het licht niet te verstoren.

Aan de rail die in de kap hangt zijn de drie camera's bevestigd. Van links naar rechts hangt de NIR camera, in het midden de SWIR camera en aan de rechterkant de RGB camera. Helemaal rechts in de kap is de temperatuursensor zichtbaar waarmee de interne temperatuur van de kap gemeten kan worden. Onder de SWIR camera in het midden van de kap is de ventilator zichtbaar die de warme lucht in de kap afvoert en daarmee via de onderkant van de kap verse lucht aanzuigt. In bijlage twee zijn meerdere afbeeldingen ter verduidelijking toegevoegd.

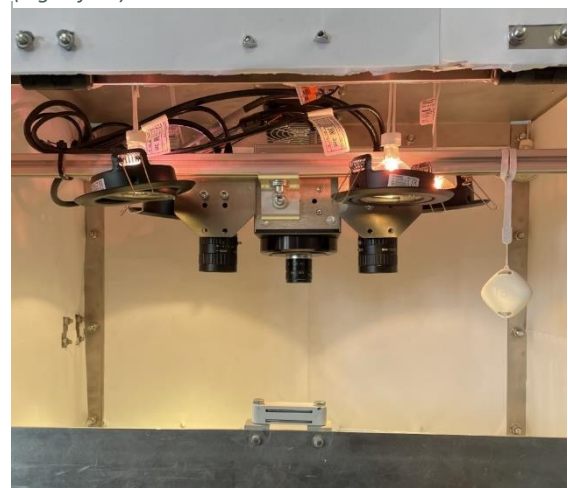
Afbeelding 17 De binnenkant van de camerakap (eigen foto)



Verlichting

Op de rechter afbeelding 18 is een zijaanzicht van de camerakap zichtbaar met daarin de drie camera's en vier spotjes die voor de verlichting zorgen. De spotjes worden bekrachtigd met een twaalf volt energiebron.

Afbeelding 18: Zijaanzicht camerakap met lichtspotjes (eigen foto)



2.2.2 Het uitvoeren van de testen

De testen worden allemaal onder gelijke omstandigheden uitgevoerd om te voorkomen dat er verschillen binnen de resultaten worden gevormd.

1. Er worden 50 behangen aardappelen stuk voor stuk onder de camera's gelegd en gefotografeerd. Nadat deze aardappelen allemaal zijn gefotografeerd zullen de resultaten worden bekeken en vergeleken.
2. Alle 50 aardappelen zullen dan nat worden gemaakt en nogmaals worden gefotografeerd om de invloed van vocht op de aardappelen vast te kunnen stellen.
3. Daarna zullen de 50 aardappelen worden gewassen en dan nog een keer worden gefotografeerd. Dit wordt gedaan om de invloed van behangenheid vast te kunnen stellen.

2.2.3 Verwerken van de test gegevens

De uiteindelijke resultaten van de testen moeten overzichtelijk worden verwerkt zodat duidelijk wordt wat het eindresultaat van het onderzoek is. Om deze gegevens goed te kunnen verwerken is er een scorelijst opgesteld met vijf verschillende resultaten oplopen van geen zichtbaarheid tot een duidelijke zichtbaarheid van interne drukplekken. Hieronder is de scorelijst weergegeven met daarbij per punt de mate van herkenning.

Onderstaande testgegevens zijn gebaseerd op eigen beeldmateriaal met een zelf beoordeelde score tussen de 1 en 5 punten.

Tabel 3: Scorelijst testresultaten

Hoeveelheid punten:	Zichtbaarheid:
1	slecht beeld, geen herkenning van de interne defecten, geen contrastverschil zichtbaar
2	matig beeld, weinig tot geen defecten zichtbaar, licht contrastverschil zichtbaar
3	gemiddeld beeld, sommige defecten zijn zichtbaar, wel contrastverschil zichtbaar
4	goed beeld, goed defecten zichtbaar, goed contrastverschil zichtbaar
5	duidelijk beeld, defecten zijn duidelijk te herkennen

Nadat de testen zijn uitgevoerd en de aardappels stuk voor stuk een bepaalde score hebben gekregen zullen de scores worden verwerkt in een Excel format om inzichtelijk te krijgen welke percentages van de gehele populatie de verschillende scores beslaan.

Overige bevindingen naast drukplekken zullen worden vermeld in de aanbeveling om eventueel op verder te onderzoeken.



2.2.4 Testmethode

Hieronder is in stappen weergegeven hoe de testen zijn uitgevoerd tijdens de testperiode. Alle testen zijn onder dezelfde omstandigheden uitgevoerd. Hiermee wordt bedoeld dat al het beeldmateriaal is verzameld in dezelfde camerakap met daarin dezelfde temperatuur en dezelfde hoeveelheid kunstmatig licht.

Stap 1, instellen van de camera's

SWIR:

Alle foto's die worden verzameld worden gemaakt met een speciaal programma dat bij de camera's hoort. Voor de SWIR camera heet dat programma Xeneth64. Dit is een programma dat de software bevat voor de Xeneth camera. Met dit programma is de gehele camera in te stellen naar de gewenste waarden. Voor deze proef is de sluitertijd van de SWIR camera op 700 gezet en de koelventilator op waar. Dit betekent dat de koel fan altijd draait en een constante temperatuur van 23 a 24 graden Celsius waarborgt. De sluitertijd van de camera bepaalt de hoeveelheid lichtinval die de lens krijgt om een constant en helder beeld te kunnen vormen. 700 is een hele lage sluitertijd, maar voor deze proef is het voldoende aangezien er met een relatief grote hoeveelheid kunstmatig halogeen licht wordt gewerkt. Er zijn geen overige aanpassingen aan de camera instellingen gedaan. Wel is de camera scherp gesteld op basis van het eigen oog. De bovenste schroef van de lens is op stand 1 gezet, deze bepaald de grote van het diafragma van de lens. De onderste schroef is op stand 4 gezet. Met deze schroef wordt de camera scherp gesteld.

NIR:

De NIR camera is van het merk Daheng. Ook deze camera heeft een eigen programma waarmee beelden verwerkt kunnen worden. Dit programma heet Daheng Galaxy Viewer (x64). In dit programma kan ook de sluitertijd van deze camera worden aangepast. De sluitertijd van de NIR camera is op 160.000 gezet. Dit is al een opmerkelijk verschil in vergelijking tot de SWIR camera. Dit verschil valt wel te verklaren omdat de NIR camera in dit geval een normale zwart/wit camera is met een NIR filter in de lens. Er is dus meer licht nodig om een goed beeld te creëren omdat het licht door meerdere grenzen moet gaan. Bij een sluitertijd van 160.000 is er een duidelijk en overeenkomstig beeld tussen de NIR en de SWIR camera.

Het diafragma bij de NIR camera is ingesteld op 8, dit diafragma staat dus relatief ver open. Het scherpstellen van de lens is op het oog gedaan tot het beeld vergelijkbaar was met die van de SWIR camera om een gelijke beoordeling te waarborgen.

RGB:

Net als de NIR camera is de RGB camera ook van Daheng. Deze RGB kan in dezelfde omgeving geopend worden als de SWIR camera namelijk, Daheng Galaxy Viewer (x64). Deze omgeving maakt het mogelijk om op één scherm allebei de camera's te kunnen openen en onafhankelijk van elkaar in te kunnen stellen. De sluitertijd van de RGB camera is ingesteld op 1.500. Deze camera heeft opvallend minder licht nodig als de NIR camera.

Het diafragma bij de RGB camera is ingesteld op 2,8. Het scherpstellen van de lens is op het oog gedaan tot het beeld vergelijkbaar was met die van de SWIR camera om een gelijke beoordeling te waarborgen.



Stap 2, fotograferen onbewerkte aardappelen

Op de bodem van de kap is een wit vel A3 papier neergelegd en vastgeplakt op de tafel waarop de test kap is bevestigd zoals zichtbaar op de afbeelding hiernaast. Op dit papier is een punt gezet in het midden van het vel. Dit is gedaan om het middelpunt onder de camera's altijd gelijk te houden en om de situatie voor de afbeeldingen gelijk te houden. Op deze manier is de afbeelding altijd gelijk aan alle andere afbeeldingen. Ook is er in elk van de 50 test aardappelen een vlaggetje geprikt met daarop een nummer van 1 tot 50. Dit is gedaan om de aardappelen te kunnen vergelijken aan het einde van de proef met de verschillende afbeeldingen die van deze aardappelen zijn gemaakt. Er is op het A3 papier ook een punt gezet waar het vlaggetje met het nummer van de aardappel moet liggen. Dit vlaggetje is ook ter referentie van de grootte van de aardappel.

Alle 50 aardappelen zijn zonder verdere aanpassingen onder de camera's gelegd en op de foto gezet. Hieruit zijn 50 afbeeldingen voortgekomen met drie dezelfde aardappelen naast elkaar met als bron alle drie een andere camera.

Afbeelding 19: A3 papier op de bodem van de camerakap (eigen foto)



Afbeelding 20: Testaardappel met een nummervlaggetje (eigen foto)



Afbeelding 21: Onbewerkte testaardappelen (eigen foto)



Stap 3, fotograferen schoongemaakte aardappelen

Nadat bij stap één alle aardappelen zonder verdere aanpassingen zijn gefotografeerd, worden alle 50 aardappelen voor stap twee gewassen. Dit is gedaan door de aardappelen eerst een vijftien minuten in een emmer water te laten weken. Waarna deze vervolgens met een borstel zijn schoongemaakt.

Na het wassen zijn de aardappelen gedroogd op een handdoek om deze aardappelen snel droog te krijgen gedurende een half uur.

Nadat de aardappelen gedroogd waren zijn deze ook allemaal gefotografeerd met de drie camera's op dezelfde manier als bij stap één.

Stap 4, fotograferen natte aardappelen

Nadat alle aardappelen op de foto zijn gezet bij stap twee. Is het nu tijd voor de laatste stap van het verzamelen van de data voor het onderzoek. Net als bij stap twee worden de aardappelen weer voor een kwartier in koud water geweekt. En vervolgens weer op de handdoek uitgelegd, echter nu worden de aardappelen maar een kwartier gedroogd zodat alleen het oppervlakte water dat aan de aardappel zit opdroogt. Daarna worden die aardappelen, die dan nog klam van het water zijn ook alle 50 op de foto gezet om te kunnen kijken of de vochtigheid in de aardappelschil ook gevolgen heeft voor de camerabeelden. Aan het eind van stap drie is alle data verzameld waarmee onderzocht gaat worden in welke mate het mogelijk is om door middel van NIR en SWIR camerabeelden interne drukplekken in aardappelen te herkennen en of invloeden van binnen en buiten af nog verschillen opleveren in de verzamelde beelden.

Afbeelding 22: Aardappelen worden gewassen (eigen foto)



Afbeelding 23: Aardappel drogen op een handdoek (eigen foto)



Stap 5, verwerken van de verzamelde foto's

Nu alle aardappelen op de foto zijn gezet met de drie verschillende camera's is het tijd om deze verzamelde afbeeldingen te gaan verwerken. Per aardappel moet worden nagelopen en vergeleken welke verschillen er zichtbaar zijn tussen de drie verschillende afbeeldingen. Wanneer er verschillen zichtbaar zijn wordt de betreffende aardappel erbij gepakt en wordt er gekeken of deze verschillen te verklaren zijn door op het betreffende punt in de aardappel te snijden.

Aan de hand van deze bevindingen per aardappel wordt er een score toegekend. Deze scores zijn zichtbaar in tabel drie. Deze scores zullen per categorie, en per aardappel worden toegekend. Dit betekent dat er in totaal 450 aardappelen onafhankelijk beoordeeld zullen worden. Door middel van deze uitkomsten zal er een zichtbaarheids-index score per categorie, en per cameratype worden berekend om door middel van deze getallen een goede conclusie te kunnen trekken.

De zichtbaarheids-index score kan door middel van een formule berekend worden. De score is een getal dat ligt tussen de 0 en 1 waarbij nul een hele slechte zichtbaarheid is en één een hele goede zichtbaarheid. Er is gekozen voor deze manier van beoordelen omdat dit eenvoudig te begrijpen is en het overzicht weergeeft hoe goed of slecht een camera presteert onder bepaalde omstandigheden.

De formule voor de berekening van de zichtbaarheids-index score is als volgt:

$$I = \frac{\sum_{s=1}^5 N_s * s - \left(\left(\sum_{s=1}^5 N_s \right) * 1 \right)}{\sum_{s=1}^5 N_s}$$

I = veiligheids-index score

s = Toegekende zichtbaarheids-score

N_s = Totaal aantal aardappelen per toegekende score



Hoofdstuk 3 – Resultaten

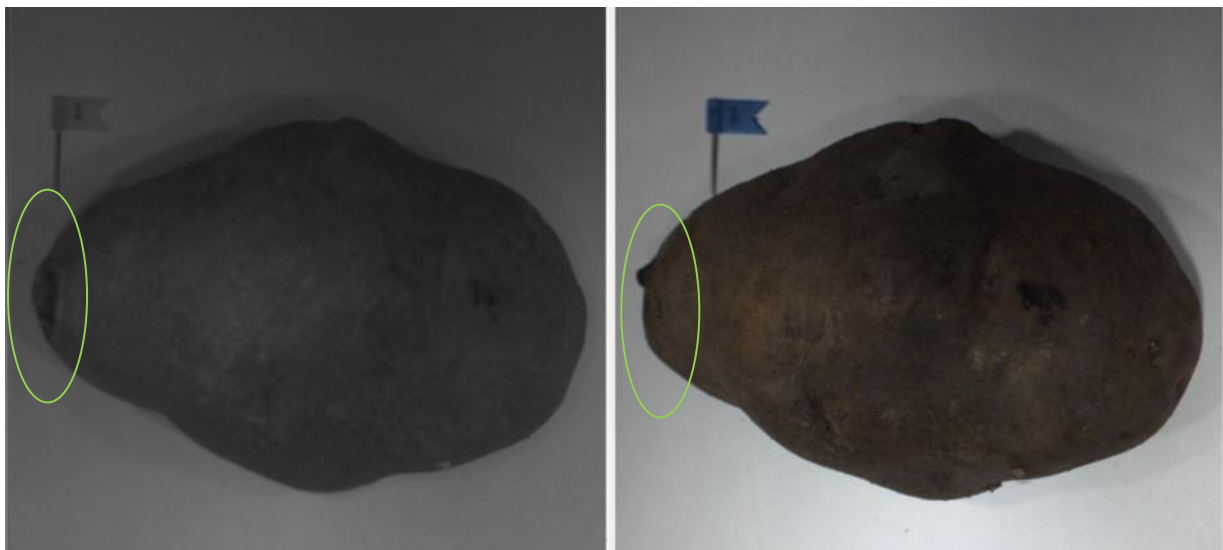
In hoofdstuk drie van dit onderzoek worden de resultaten van de uitgevoerde testen duidelijk en verzorgd in beeld gebracht door middel van tabellen met daarbij een korte toelichting. Daarbij worden de deelvragen stuk voor stuk beantwoord met een toelichting door middel van voorbeelden en tabellen. Door een combinatie van de deelvragen wordt er een antwoord gegeven op de hoofdvraag. In onderstaande deelvraag één en twee is er gekozen om dit toe te lichten aan de hand van een tweetal positieve- en negatieve voorbeeld afbeeldingen, met toelichting om het onderzoek overzichtelijk te houden. In bijlage drie van dit onderzoek zijn er nog enkele positieve en negatieve, vergelijkende afbeeldingen weergegeven. Uiteindelijk zullen wel alle 50 gefotografeerde aardappelen worden meegenomen in de kwantitatieve resultaten in paragraaf 3.5.

3.1 Deelvraag 1: NIR-camera

De eerste deelvraag die behandeld zal worden is *'In welke mate kan een NIR-camera de interne beschadiging van een drukplek visualiseren?'*. Deze deelvraag gaat uitsluitend over de foto's die zijn gemaakt met de NIR-camera. In totaal zijn er vijftig verschillende aardappelen gefotografeerd met de NIR-camera. Hieronder zijn vijf afbeeldingen weergegeven van aardappelen waarbij een verschil zichtbaar is geworden tussen het de NIR-afbeelding en de RGB afbeelding. Ook zijn er vijf afbeeldingen weergegeven waarbij dit verschil niet geconstateerd kan worden. De afbeeldingen waarbij wel een verschil is geconstateerd zullen worden toegelicht aan de hand van een controle foto in RGB die de afwijkende plek verduidelijkt doordat de aardappel op dat bepaalde punt is opengesneden ter controle.

Afwijking beter zichtbaar op de foto's van de NIR-camera

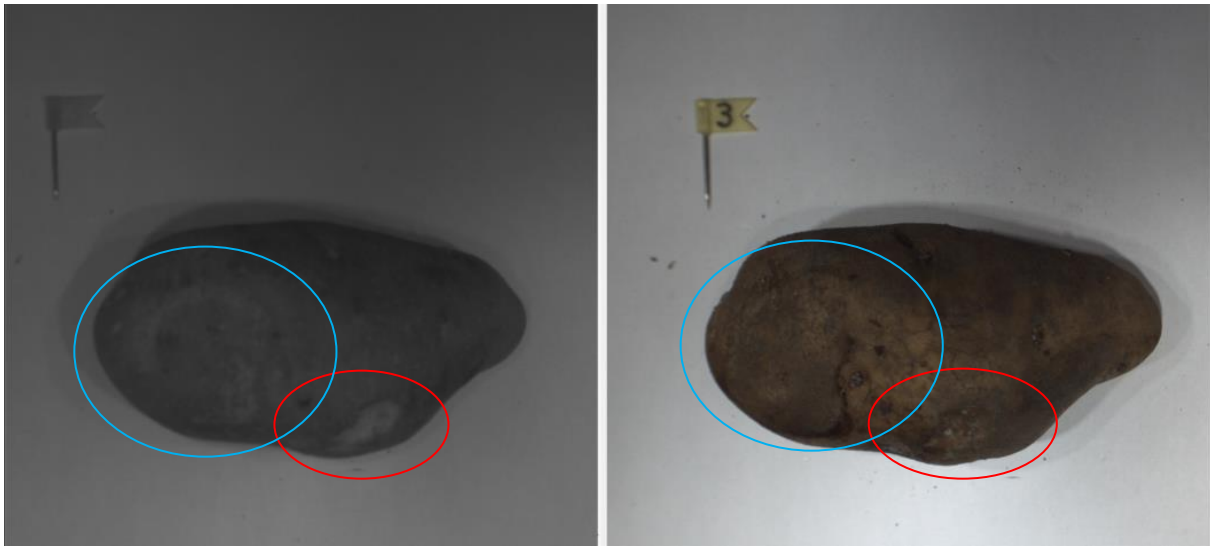
Afbeelding 24: Aardappel 1, zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)



Afbeelding 25: Aardappel 1, controle foto, telefoon camera (eigen foto)



Afbeelding 26: Aardappel 3, zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)



Afbeelding 27: Aardappel 3, controle foto, telefoon camera (eigen foto)



In bovenstaande afbeeldingen 24 en 26 zijn per afbeelding twee gelijke aardappelen weergegeven. Aan de rechterkant van de afbeelding is de aardappel gefotografeerd met een RGB kleuren camera en aan de linkerkant van de afbeelding is er een foto gemaakt met een NIR-camera. Tussen deze twee foto's van dezelfde aardappel zijn op allebei de afbeeldingen zichtbare verschillen aan te merken. Deze verschillen zijn per afbeelding in kleur omkaderd om deze duidelijk in beeld te kunnen brengen en per kleur een toelichting te kunnen geven.

Aan de linkse kant van afbeelding 24 is een bepaald gedeelte van de punt van de aardappel groen omkaderd bij zowel de RGB- als de NIR foto. Hierin is zichtbaar dat er op het RGB beeld nauwelijks tot geen afwijking zichtbaar is, maar bij het NIR beeld er wel degelijk een afwijking in beeld wordt gebracht door middel van een donker verkleurde plek die afwijkt van het algehele geheel.

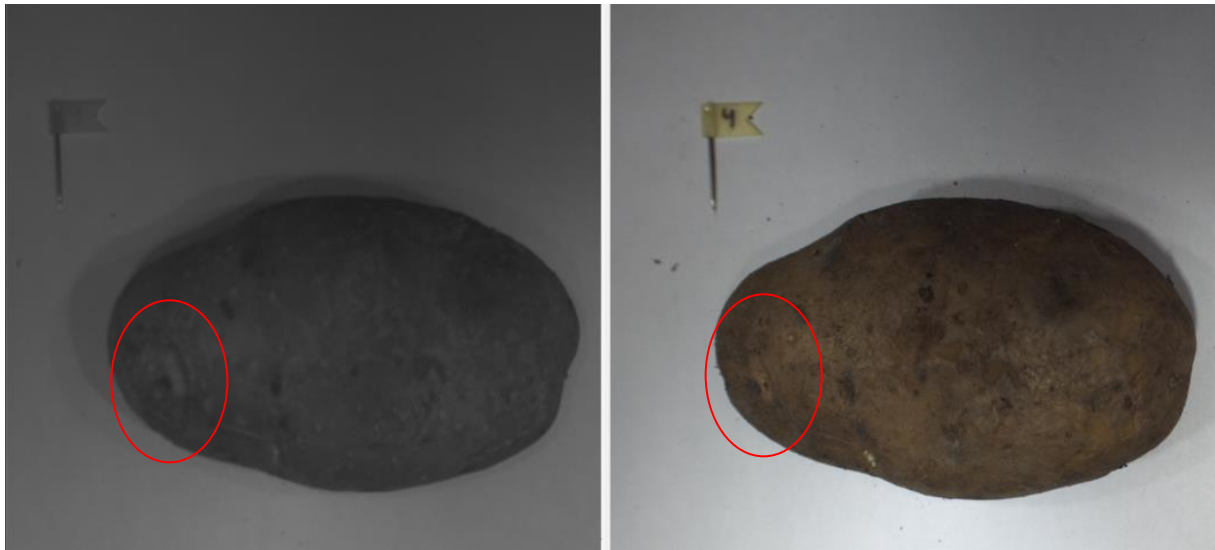
Ook op afbeelding 26 zijn er verschillen op te merken. In het rode kader van de afbeelding is zichtbaar wanneer er goed wordt gekeken dat er op de RGB foto een lichte plek aan de onderkant van de aardappel is ontstaan. Als er wordt gekeken naar het NIR beeld kan er worden opgemerkt dat deze plek veel duidelijker in beeld wordt gebracht en de contouren nu goed zichtbaar zijn.

Tenslotte is er ook nog een blauw omkaderd gedeelte in de afbeelding zichtbaar. Hier valt bij de RGB foto eigenlijk niets op aan te merken ten opzichte van de overige kleuren op de aardappel. Maar bij het NIR beeld komt er wel een onderscheidend gedeelte naar boven dat afwijkt in kleur.

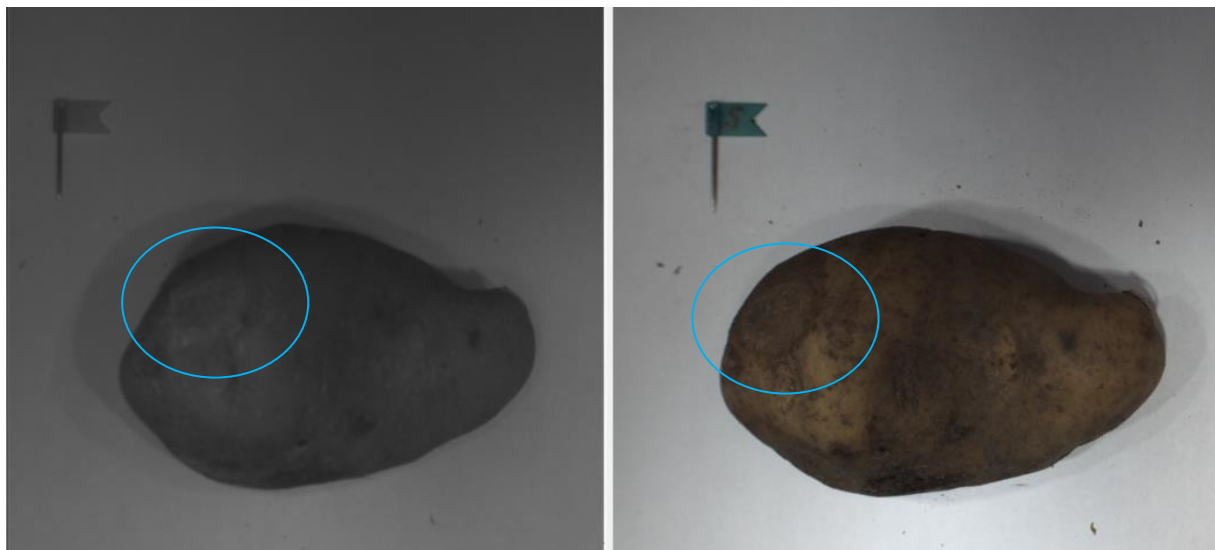
Op de afbeeldingen 25 en 27 zijn de controlefoto's zichtbaar die laten zien dat er wel degelijk onderliggende defecten op de aardappelen aanwezig zijn. Op allebei de aardappelen is een verkurkte interne plek zichtbaar.

Afwijkingen niet beter zichtbaar op de foto's in vergelijking met RGB

Afbeelding 28: Aardappel 4, niet zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)



Afbeelding 29: Aardappel 5, niet zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)



Op bovenstaande afbeeldingen 28 en 29 zijn ook weer twee afbeeldingen zichtbaar met daarop per afbeelding een RGB foto en een NIR foto. In tegenstelling tot afbeelding 24 en 26 zijn hier geen opmerkelijke verschillen zichtbaar. Het NIR beeld verandert nauwelijks ten opzichte van het RGB beeld waardoor er geen grote verschillen opgemerkt kunnen worden terwijl alle twee de aardappelen wel zichtbare afwijkingen vertonen die naar verwachting onder de huid van de aardappel nog groter zullen zijn. Op afbeelding 28 is met een rode arcering het defect aangegeven op beide foto's. Op afbeelding 29 is dit met een blauwe arcering gedaan.

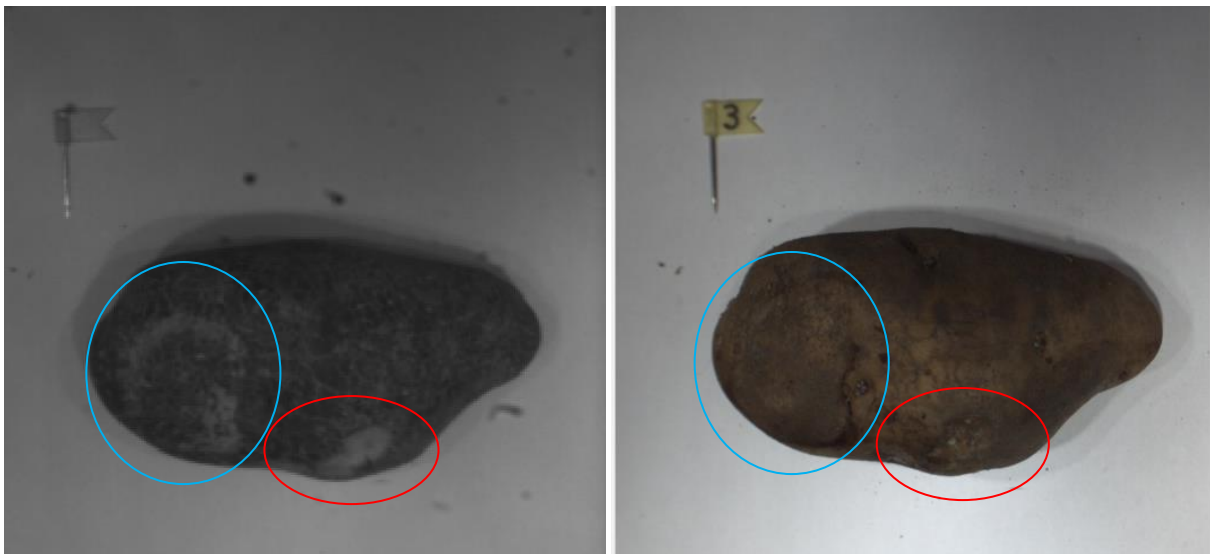
3.2 SWIR-camera

De tweede deelvraag die behandeld zal worden is *'In welke mate kan een NIR-camera de interne beschadiging van een drukplek visualiseren?'*. Deze deelvraag gaat uitsluitend over de foto's die zijn gemaakt met de SWIR-camera. Net als bij de NIR-camera zijn er in totaal vijftig verschillende aardappelen gefotografeerd met de SWIR-camera. Hieronder zijn twee afbeeldingen weergegeven van aardappelen waarbij een verschil zichtbaar is geworden tussen het de SWIR-afbeelding en de RGB afbeelding. Ook zijn er twee afbeeldingen weergegeven waarbij dit verschil niet geconstateerd kan worden. De afbeeldingen waarbij wel een verschil is geconstateerd zullen worden toegelicht aan de hand van een controle foto in RGB die de afwijkende plek verduidelijkt doordat de aardappel op dat bepaalde punt is opengesneden ter controle.

In bijlage drie van dit onderzoek zijn nog enkele ondersteunende afbeeldingen toegevoegd.

Afwijking beter zichtbaar op de foto's van de SWIR-camera

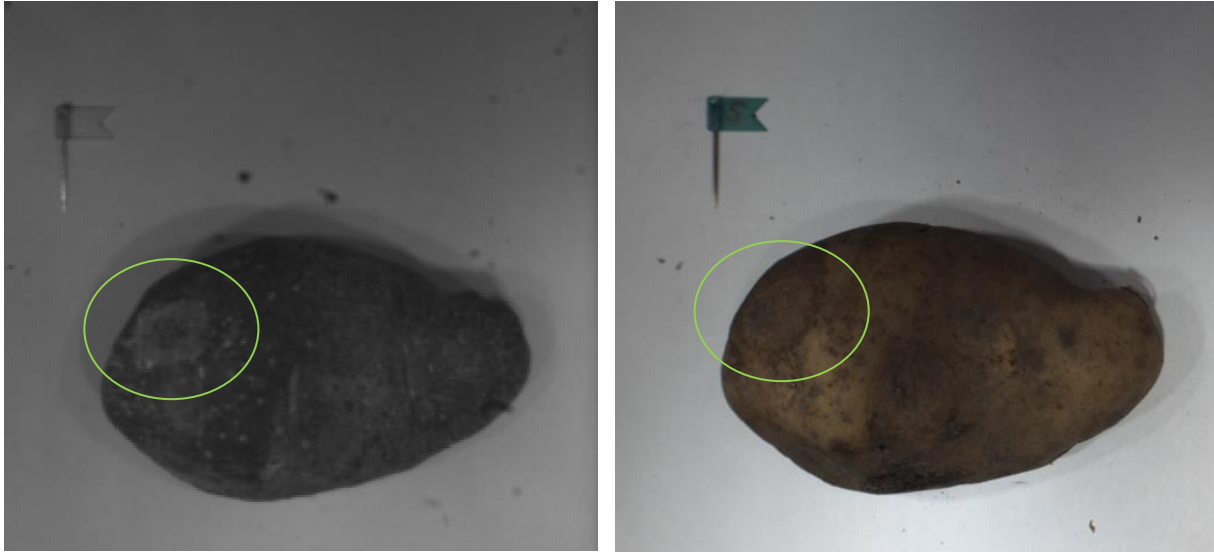
Afbeelding 30: Aardappel 3, zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)



Afbeelding 31: Aardappel 3, controle foto, telefoon camera (eigen foto)



Afbeelding 32: Aardappel 5, zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)



Afbeelding 33: Aardappel 5, controle foto, telefoon camera (eigen foto)



Als er wordt gekeken naar bovenstaande afbeeldingen 30 en 32 zijn er een aantal punten die opvallen. Allereerst wordt al snel zichtbaar dat het RGB beeld en het SWIR beeld sterk van elkaar verschillen en dat er duidelijke verschillen zichtbaar zijn door kleurencontrasten. Op afbeelding 30 is zichtbaar dat het rood omkaderde gedeelte op het RGB beeld een lichtelijke afwijking weergeeft. Het lijkt een dieper liggend stukje in de aardappel te zijn, maar het is slecht zichtbaar. In het rode kader op het SWIR beeld is duidelijk een wit/grijze plek zichtbaar waarbij de contouren duidelijk aan te tonen zijn. In het blauw omkaderde gedeelte is op de RGB afbeelding een scheur in de aardappel zichtbaar, maar naast deze scheur kan er geen afwijking ontdekt worden. Wanneer er wordt gekeken naar het SWIR beeld blijkt er wel degelijk een afwijking in de huid van de aardappel zichtbaar die lijkt op een grote ring die lichter is van kleur ten opzichte van het overige vlees van de aardappel.

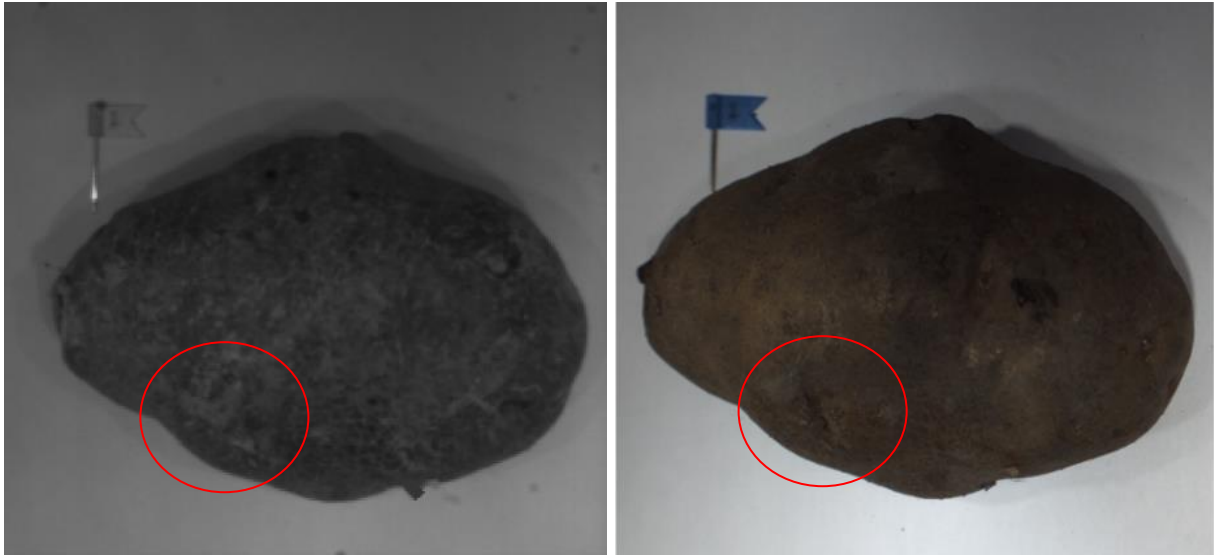
Op afbeelding 32 is een gelijke situatie zichtbaar. In het groen omkaderde gedeelte op het RGB beeld is nu echter wel, heel licht, een plek zichtbaar die duid op een drukplek. Op het SWIR beeld wordt deze plek duidelijker weergegeven doordat deze plek nu meer afwijkt in kleur ten opzichte van de rest van de aardappel.

Op de afbeeldingen 31 en 33 is de controlefoto zichtbaar. Op deze foto's is duidelijk zichtbaar dat er op de punten van de aardappel een zwarte en witte plek zit waar de aardappel vanaf binnenuit aan het rotten en verkurken is.

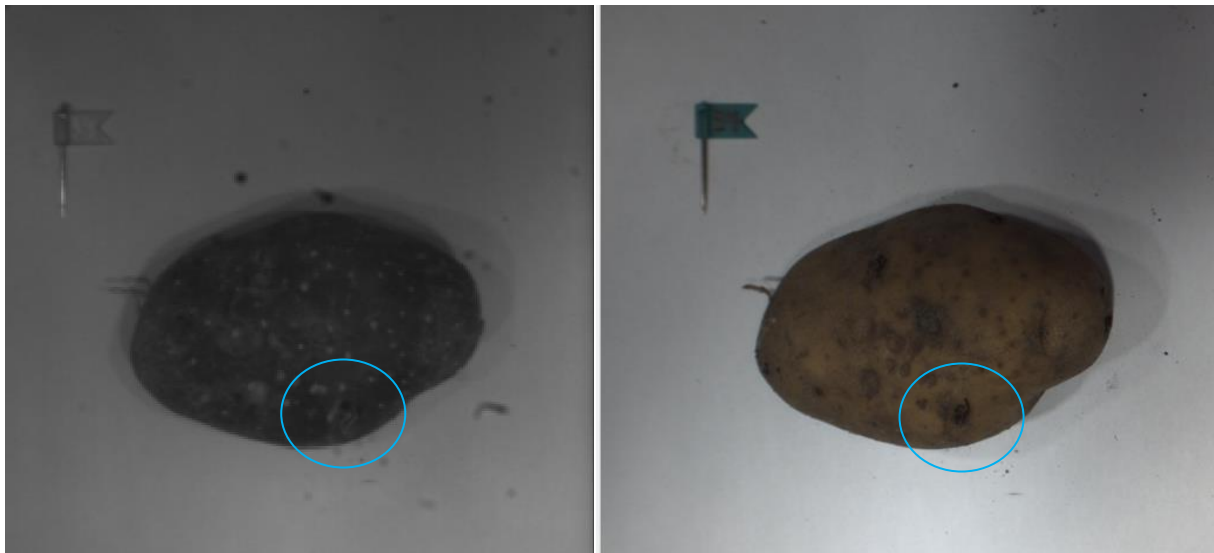


Afwijkingen niet beter zichtbaar op de foto's in vergelijking met RGB

Afbeelding 34: Aardappel 1, niet zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)



Afbeelding 35: Aardappel 34, niet zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)



Op afbeelding 34 en 35 zijn twee verschillende aardappelen weergegeven die zowel met een RGB- als met een SWIR camera zijn gefotografeerd. Echter zijn er tussen deze twee verschillende typen foto's geen verschillen te ontdekken terwijl er wel lichtelijke afwijkingen zichtbaar zijn. In het geval van deze twee foto's zijn de afwijkingen beter zichtbaar op het RGB beeld dan op het SWIR beeld. Op afbeelding 34 is met een rode arcering het defect aangegeven op beide foto's. Op afbeelding 35 is dit met een blauwe arcering gedaan.

3.3 Behangenheid

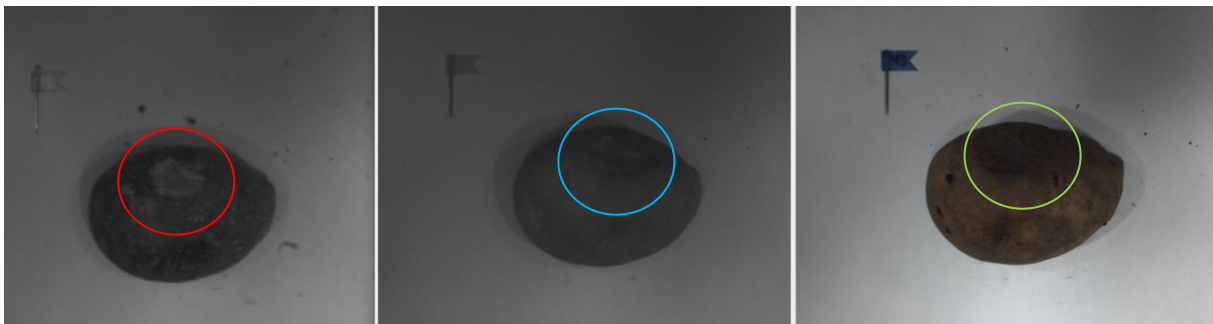
De derde deelvraag die behandeld zal worden is ‘Wat is het effect van behangenheid van grond op de aardappel voor de zichtbaarheid van interne defecten in de aardappel?’. Bij deze deelvraag wordt er gekeken naar de foto’s die zijn gemaakt met de NIR-camera, SWIR-camera en de foto’s die zijn gemaakt met de RGB-camera. De foto’s van de behangen aardappelen worden vergeleken met de foto’s van de gewassen aardappelen om hier een mogelijk verschil tussen te kunnen constateren. Hieronder zijn vijf vergelijkingen gemaakt. Elke vergelijking wordt gemaakt tussen twee dezelfde afbeeldingen. Op één van deze twee afbeeldingen zijn drie aardappelen weergegeven die behangen zijn met grond. Op de andere afbeelding is dezelfde aardappel gewassen en daardoor vrij van grond.

Afwijking zichtbaar op de foto’s

Afbeelding 36: Aardappel 49, behangen, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Afbeelding 37: Aardappel 49, schoon, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)

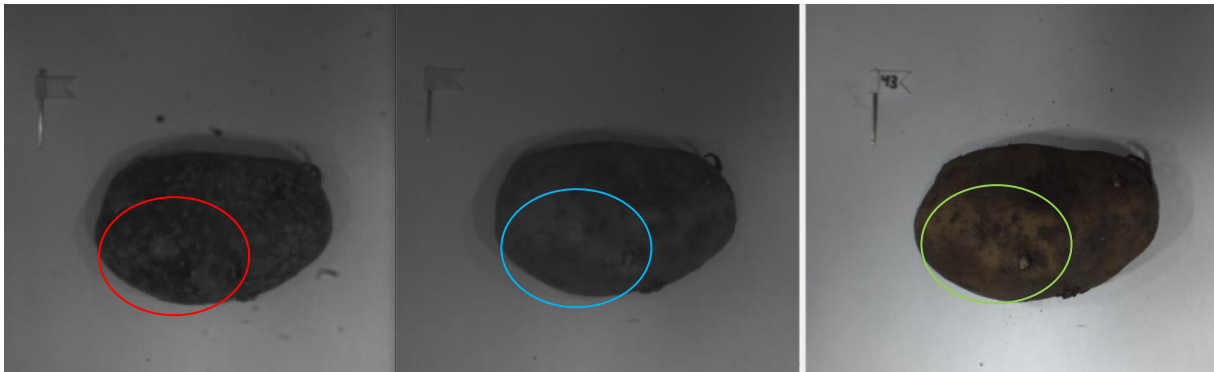


Op bovenstaande afbeeldingen 36 en 37 zijn zes gelijke aardappelen zichtbaar in drie verschillende camera types. op afbeelding 36 is de aardappel ongewassen en dus behangen met grond. Op afbeelding 37 is de aardappel gewassen en daarmee vrij van omhangende grond. Wat opvalt tussen de twee afbeeldingen is dat de aardappel uit afbeelding 37 een stuk lichter is dan die uit afbeelding 36. De kleur verschillen zijn groter geworden na het wassen waardoor de defecten beter zichtbaar worden. In de groene kaders op beide afbeeldingen is het verschil het minst goed zichtbaar, hier is relatief weinig veranderd tussen beide afbeeldingen.

In de blauwe kaders is al een groter verschil zichtbaar tussen beide afbeeldingen. Bij de gewassen aardappel, in het NIR beeld, wordt het defect al in een lichtere kleur weergegeven.

Tenslotte is in het rode kader het grootste verschil zichtbaar tussen beide afbeeldingen. Het defect is duidelijk lichter weergegeven en de contouren zijn goed zichtbaar.

Afbeelding 38: Aardappel 43, behangen, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Afbeelding 39: Aardappel 43, schoon, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



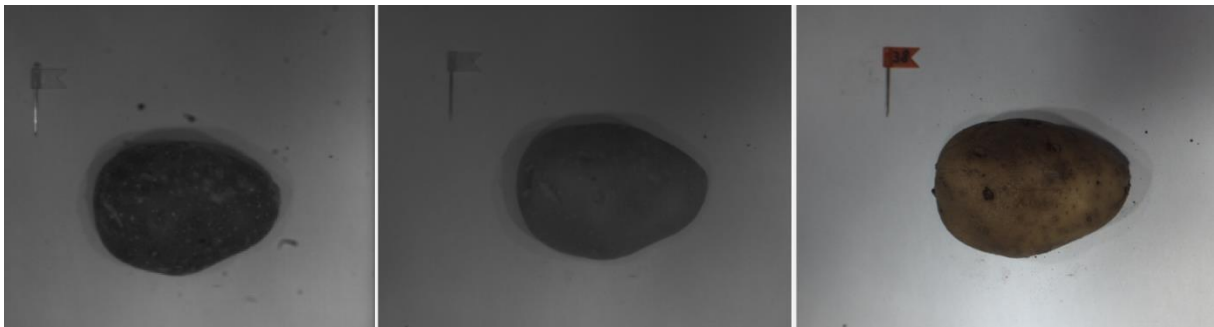
Voor bovenstaande twee afbeeldingen 38 en 39 geldt ook dat de zichtbaarheid van de defecten toeneemt naarmate de aardappelen schoner zijn. Dit is weer het best zichtbaar bij het SWIR beeld. De defecten zijn al wel zichtbaar wanneer de aardappel nog behangen is met grond maar nadat de aardappel gewassen is worden de contouren van de afwijking beter zichtbaar. Ook tussen deze afbeelding is zichtbaar dat het RGB beeld het minst veranderd en het NIR beeld een iets grotere verandering zichtbaar maakt.

3.4 Invloed van vocht

Tenslotte zal ook deelvraag vier behandeld worden namelijk, 'Wat is het effect van vochtigheid op de zichtbaarheid van interne defecten in de aardappel?'. Ook bij deze deelvraag worden zowel de foto's van de NIR-camera als die van de SWIR-camera bekeken, behandeld en vergeleken. Hieronder zijn vijf vergelijkingen gemaakt. Elke vergelijking wordt gemaakt tussen twee dezelfde afbeeldingen. Op één van deze twee afbeeldingen zijn drie aardappelen weergegeven die zijn gewassen. Op de andere afbeelding is dezelfde aardappel weergegeven, alleen heeft deze aardappel voor een langere periode gewoekt in water waardoor deze vochtig is.

Afwijking zichtbaar op de foto's

Afbeelding 40: Aardappel 38, droog, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Afbeelding 41: Aardappel 38, nat, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



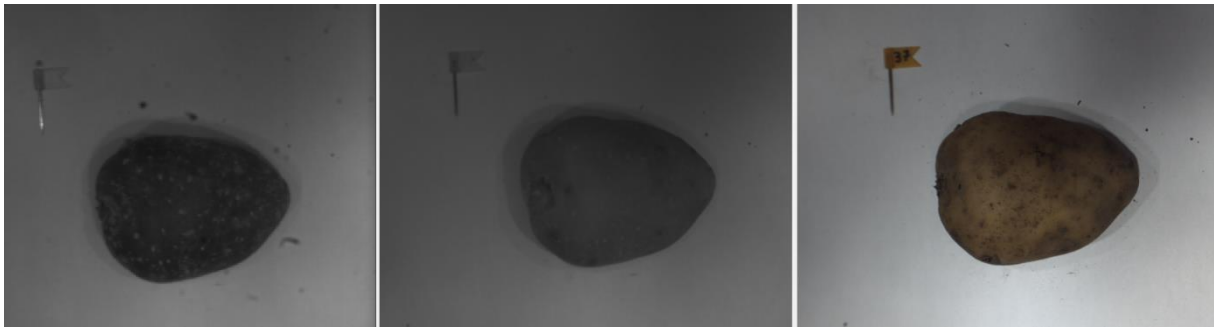
Op de afbeeldingen 40 en 41 is dezelfde aardappel zichtbaar onder verschillende omstandigheden. Op afbeelding 40 is de aardappel droog en vrij van aanhangend vocht. Deze aardappel is gewassen en heeft daarna een dag gedroogd. De aardappel op afbeelding 41 is dezelfde, maar deze foto is gemaakt toen de aardappel nat was nadat deze enige tijd in het water had gewoekt.

Tussen de twee afbeeldingen zijn meerdere verschillen te zien. Allereerst is het RGB beeld duidelijker geworden onder vochtige omstandigheden. De kleuren zijn helder en de contouren van de afwijkingen zijn beter zichtbaar. De defecten van de aardappel zijn dus makkelijker zichtbaar.

Tussen de NIR beelden zijn weinig verschillen te zien. Het beeld is niet tot nauwelijks veranderd van kleur en de defecten zijn ook niet beter of minder zichtbaar geworden.

Tenslotte is er aan het SWIR beeld wel een verschil zichtbaar. De aardappel is iets donkerder geworden van kleur en de defecten zijn hierdoor minder goed zichtbaar geworden.

Afbeelding 42: Aardappel 37, droog, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Afbeelding 43: Aardappel 37, nat, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Ook op de afbeeldingen 42 en 43 is een gelijke situatie zichtbaar als bij afbeelding 40 en 41. Voor het RGB beeld is het nat maken van de aardappel positief omdat dit het beeld zichtbaar duidelijker maakt wat betreft het kleurencontrast. Voor het NIR beeld voegt het vocht, wat betreft het visuele beeld weinig toe. En voor het SWIR beeld verslechterd het de zichtbaarheid van defecten.

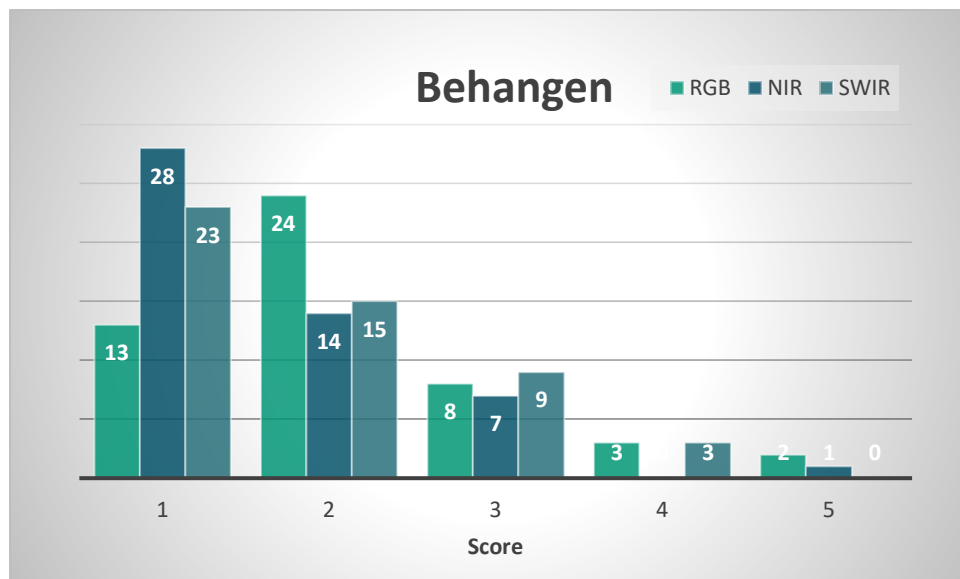
3.5 Kwantitatieve resultaten

Naast de zichtbare resultaten is het ook belangrijk om de resultaten uit de drukken in getallen om een duidelijk conclusie te kunnen geven aan de resultaten en om eventueel een goed vergelijk te kunnen maken tussen meerdere methodes. Alle toegekende scores zijn voortgekomen uit de formule van de zichtbaarheids-Index en liggen tussen de nul en de één.

Van dit onderzoek zijn de volgende gegevens bekend omtrent de kwantiteit:

- Totaal 450 afbeeldingen
- 150 afbeeldingen van behangen aardappelen
- 150 afbeeldingen van gewassen aardappelen
- 150 afbeeldingen van natte aardappelen

Grafiek 1: Scores behangen aardappelen



Behagen

Tabel 4: Scores behangen aardappelen

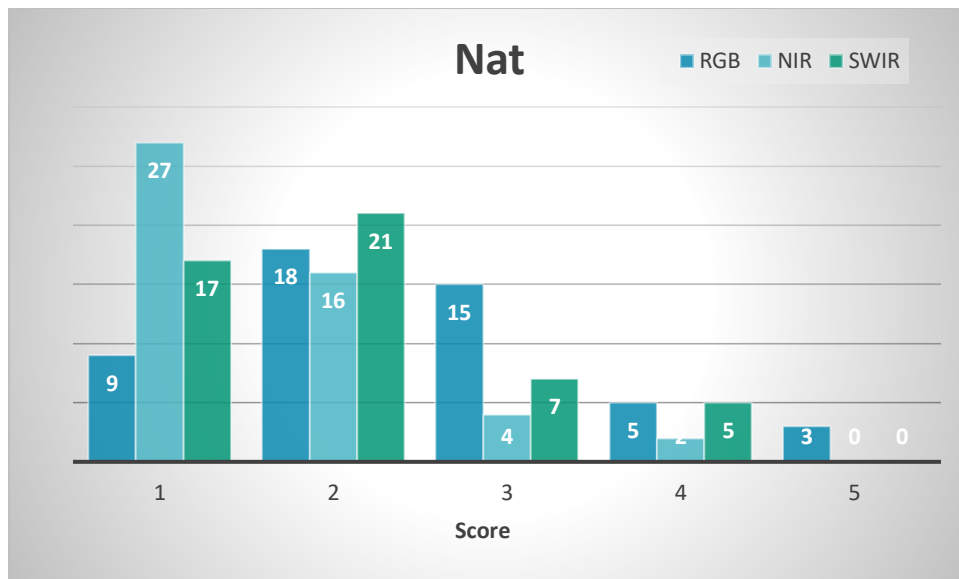
Score:	RGB	NIR	SWIR
1	13	28	23
2	24	14	15
3	8	7	9
4	3	0	3
5	2	1	0
Zichtbaarheids-Index	0,29	0,16	0,21

In bovenstaande grafiek één en tabel vijf zijn de toegekende scores zichtbaar van de behangen aardappelen. Deze 150 behangen aardappelen zijn allemaal apart beoordeeld en hebben een score gekregen van één tot vijf doormiddel van de scores zoals aangegeven in tabel drie.

Door middel van dit totaal aantal scores is een zichtbaarheids-index score berekend per cameratype. Zichtbaar is dat de RGB-camera de hoogste score heeft, namelijk 0,29. Daaropvolgend de SWIR-camera met een score van 0,21. De NIR-camera heeft de laagste score behaald binnen de behangen aardappelen, namelijk 0,16.



Grafiek 2: Scores natte aardappelen



Nat

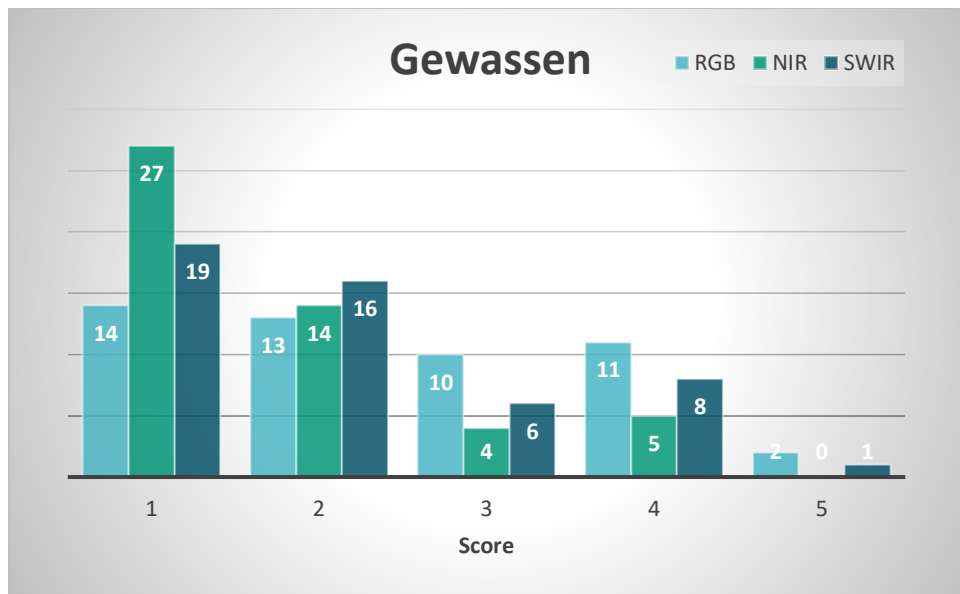
Tabel 5: Scores natte aardappelen

Score:	RGB	NIR	SWIR
1	9	27	17
2	18	16	21
3	15	4	7
4	5	2	5
5	3	0	0
Zichtbaarheids-Index	0,38	0,15	0,25

In bovenstaande grafiek twee en tabel zes zijn de toegekende scores zichtbaar van de 50 natte aardappelen. van elke aardappel zijn drie foto's gemaakt. Deze 150 natte aardappelen zijn allemaal apart beoordeeld en hebben een score gekregen van één tot vijf doormiddel van de scores zoals aangegeven in tabel drie.

Door middel van dit totaal aantal scores is een zichtbaarheids-index score berekend per cameratype. Zichtbaar is dat de RGB-camera de hoogste score heeft, namelijk 0,38. Daaropvolgend de SWIR-camera met een score van 0,25. De NIR-camera heeft ook de laagste score behaald binnen de natte aardappelen, namelijk 0,15.

Grafiek 3: Scores gewassen aardappelen



Gewassen

Tabel 6: Scores gewassen aardappelen

Score:	RGB	NIR	SWIR
1	14	27	19
2	13	14	16
3	10	4	6
4	11	5	8
5	2	0	1
Zichtbaarheids-Index	0,37	0,19	0,28

Tenslotte zijn in bovenstaande grafiek drie en tabel zeven de toegekende scores zichtbaar van de 50 gewassen aardappelen. Deze 150 gewassen aardappelen zijn allemaal apart beoordeeld en hebben een score gekregen van één tot vijf doormiddel van de scores zoals aangegeven in tabel drie.

Door middel van dit totaal aantal scores is een zichtbaarheids-index score berekend per cameratype. Zichtbaar is dat de RGB-camera de hoogste score heeft, namelijk 0,37. Daaropvolgend de SWIR-camera met een score van 0,28. De NIR-camera heeft ook in dit laatste geval de laagste score behaald binnen de gewassen aardappelen, namelijk 0,19.

Tabel 7: Totale gemiddelde scores

Score:	RGB	NIR	SWIR
Behangen	0,29	0,16	0,21
Nat	0,38	0,15	0,25
Gewassen	0,37	0,19	0,28
Totale zichtbaarheids-index	0,35	0,17	0,25

In bijlage vier van dit onderzoek zijn de uitgebreide tabellen te zien met daarin de toegekende scores per categorie, per score en per cameratype.



Hoofdstuk 4 – Discussie

In hoofdstuk vier van dit onderzoek worden de resultaten van het onderzoek beoordeeld. Er wordt nagegaan of het onderzoek achteraf anders uitgevoerd had moeten worden en of er bepaalde punten verbeterd kunnen worden om tot andere resultaten te komen.

In welke mate kan een NIR-camera de interne beschadiging van een drukplek visualiseren?

Uit het onderzoek is gebleken dat de NIR-camera potentie heeft om gebruikt te worden voor machine Vision, maar dat deze op dit moment, op de manier zoals deze gebruikt is voor dit onderzoek, nog niet geschikt genoeg is. Het eerste pijnpunt dat naar voren is gekomen is de specificatie in wavelengte. In dit onderzoek is er geen gebruik gemaakt van een specificatiefilter voor de NIR-camera. Dit houdt in dat de camera een heel breed bereik heeft van ongeveer 700 tot 1400 nanometer. Dit betekent dat ook al het licht, dat binnen deze nanometers valt, binnenkomt op de lens. Het zou zo kunnen zijn dat deze hoeveelheid licht te groot is waardoor er bepaalde kenmerken, die maar in een heel klein gebied zichtbaar zijn, daarom niet naar voren komen. Door specificatie in wavelengte kan er ongewenst licht weg gefilterd worden waardoor er ander soort licht beter in beeld gebracht kan worden (Williamson, 2022).

In welke mate kan een SWIR-camera de interne beschadiging van een drukplek visualiseren?

Net als voor de NIR-camera geldt voor de SWIR-camera dat er gespecificeerd moet worden in lichtinval door middel van bepaalde filters. Door te specificeren kunnen bepaalde gebieden binnen het lichtbereik van de camera beter in beeld worden gebracht waardoor er duidelijk uitgesloten kan worden of er in deze gebieden bepaalde afwijkingen wel- of niet zichtbaar worden (Williamson, 2022). Om het onderzoek goed meetbaar te maken is er specificatie en verduidelijking nodig. Dit kan gedaan worden door omstandigheden uit te sluiten. Wanneer elke stap onder de juiste omstandigheden benaderd wordt kan er pas een goede eindconclusie getrokken worden. Dit is erg lastig en vereist daarom nog veel vervolgonderzoek.

Wat is het effect van behangenheid van grond op de aardappel voor de zichtbaarheid van interne defecten in de aardappel?

Het onderzoek heeft uitgewezen dat de behangenheid van de aardappel wel degelijk invloed heeft op de zichtbaarheid van de defecten in de aardappel. Maar in welke mate de aardappel vies mag zijn is niet goed te herleiden. De hoeveelheid viezigheid op de aardappel kan namelijk van groot belang zijn op de zichtbaarheid.

Naar de mening van de student is belangrijk om de vervolg test in bepaalde stadia uit te voeren. Hiermee wordt bedoeld dat er groeperingen gemaakt moeten worden van hele vieze aardappelen, middelmatige vieze aardappelen, matig vieze aardappelen en schone aardappelen. Er is in dit onderzoek gebruik gemaakt van middelmatig vieze aardappelen en matig vieze aardappelen. Hieruit valt niet goed op te maken wat eventueel wel- en niet mogelijk is wat betreft hoeveelheid behangenheid. De conclusie die nu getrokken is, is dat de aardappel voor een duidelijke beoordeling volledig schoon moet zijn maar in de praktijk is dit niet altijd mogelijk, zeker niet wanneer de aardappelen vanaf het land na de oogst gelijk gesorteerd moeten worden. Ook voor dit deel van het onderzoek is het dus nog belangrijk om goed te specificeren om tot een nog duidelijker resultaat te kunnen komen.

Naast de mate van behangenheid, kan er ook nog getest worden op verschillende grondsoorten. Elke grondsoort heeft een eigen structuur die een bepaalde weergave geeft. De grondsoort zou op deze manier ook nog van invloed kunnen zijn op de weergave van de defecten.



Wat is het effect van vochtigheid op de zichtbaarheid van interne defecten in de aardappel?

Wat betreft het onderzoek naar de vochtigheid is alles goed verlopen. Er is gekozen voor een eentonige manier van voorbereiden en onderzoeken en daardoor werden alle aardappelen gelijk behandeld. Wel is het zo dat een vochtige aardappel die net van het land komt, lastig valt na te bootsen. Voor dit onderzoek zijn de omstandigheden gelijk gebleven, maar voor een realistisch, praktijk beeld zou het onderzoek eigenlijk over gedaan moeten worden met aardappelen die net van het land komen. De aardappelen zijn dan nog vochtig van de grond waarin deze geteeld zijn. In de praktijk zal het sorteerproces ook zo verlopen en daarom zou dit een realistischer beeld geven.

Hoofdvraag:*In welke mate is het mogelijk om door middel van NIR of SWIR cameratechniek een aardappel te kunnen beoordelen op drukplekken wanneer deze afwijking aan de buitenkant van de aardappel slecht zichtbaar is met het blote oog?*

De hoofdvraag van het onderzoek kan beantwoord worden, maar niet op de manier die de student in de eerste instantie voor ogen had. Gebleken is dat de NIR- en SWIR-camera op dit moment nog niet volledig voldoen aan de vraag en daarmee de RGB-camera nog niet kunnen vervangen.

Wel moet vermeld worden dat de uitkomst van het onderzoek specifiek gebaseerd is op deze onderzoeksmethode. Bij het onderzoek is er voor een aantal specifieke instrumenten gekozen. Zo is er gekozen voor een bepaald type camera's en verlichting. Daarnaast is er gebruik gemaakt van één soort aardappel ras en tenslotte is er op één soort manier foto's gemaakt. Deze methode van onderzoeken kan dus vrij specifiek genoemd worden aangezien er is gekozen voor één soort methode die niet variabel getest is. Uit het vooronderzoek is gebleken dat deze instrumenten zouden moeten voldoen voor dit onderzoek en daarom is er door een onderbouwde keuze voor gekozen. Echter zegt dit niet dat deze gelijke camera's onder andere omstandigheden gelijke uitkomsten zouden laten zien. Veranderingen binnen deze variabelen zouden voor andere uitkomsten kunnen zorgen, maar onder deze omstandigheden is de gevormde conclusie goed onderbouwt en kan er gezegd worden dat de camera's op dit moment nog niet aan de verwachtingen voldoen en daardoor matig tot niet geschikt zijn voor het beoogde gebruik.



Hoofdstuk 5 – Conclusie

In hoofdstuk vijf van dit onderzoek wordt er een conclusie aan de onderzoeksresultaten gehangen met daarbij een duidelijke toelichting op de resultaten. De conclusie van dit onderzoek berust volledig op de behaalde resultaten uit dit onderzoek en is niet gebaseerd op andere, oudere onderzoeksresultaten.

Deelvragen:

In welke mate kan een NIR-camera de interne beschadiging van een drukplek visualiseren?

Uit het onderzoek is gebleken dat een NIR-camera in bepaalde gevallen een drukplek beter in beeld kan brengen dan een RGB-camera. Wel is het zo dat dit op dit moment nog niet de juiste uitkomst biedt omdat uit het onderzoek is gebleken dat deze NIR-camera nog niet genoeg precisie heeft om daadwerkelijk beter te functioneren als een RGB-camera. Op dit moment is de gemiddelde score, van de zichtbaarheids-index van de NIR-camera 0,17 onder alle omstandigheden. Dit is de laagste gemiddelde score ten opzichte van de andere twee soorten camera's.

Wat opvalt is dat de NIR-camera hoger scoort wanneer de aardappelen zijn gewassen en gedroogd. Dit valt goed te verklaren, omdat de overige omhangende grond een belemmering is voor de camera vanwege de afwijkende structuur ten opzichte van de structuur van een aardappel. Wat daarnaast ook opvalt is dat de camera gemiddeld het laagst scoort wanneer de aardappelen nat zijn. Dit verschijnsel valt minder makkelijk te verklaren. Een oorzaak zou kunnen zijn dat het omringende vocht op de aardappel ervoor zorgt dat het beeld vager wordt vanwege een dunne film water dat als een soort schilt werkt voor het weerkaatsende licht. De aardappel wordt namelijk donkerder weergegeven en dit duidt erop dat er minder licht wordt weerkaatst.

Met een gemiddelde score van 0,17 op de zichtbaarheids-index kan geconcludeerd worden dat de prestaties van deze camera nog niet dermate goed zijn. Om deze camera als eindproduct te willen gebruiken is er nog veel ontwikkeling nodig en als er objecten gekeken wordt naar de onderzoeksresultaten kan er gezegd worden dat de camera op dit moment nog veel mindere prestaties levert dan de RGB-camera. Wel is het zo dat er in sommige gevallen bepaalde defecten beter naar voren kwamen. Uit dit onderzoek is niet duidelijk geworden wat de oorzaak is van deze bevindingen. Hiervoor zal vervolgonderzoek nodig zijn.

In welke mate kan een SWIR-camera de interne beschadiging van een drukplek visualiseren?

Net als een NIR-camera biedt een SWIR-camera in sommige gevallen een goede uitkomst wanneer een RGB-camera bepaalde defecten niet goed in beeld kan brengen. Het is opgevallen dat de SWIR-camera in sommige gevallen de defect plekken heel mooi en duidelijk in beeld kon brengen. De contouren van de afwijking zijn dan erg goed zichtbaar en ook in kleur verschilden deze plekken van het overige vlees van de aardappel. Maar net als bij de NIR-camera is geconstateerd dat de constante van de camera nog niet goed genoeg is, omdat sommige defecten amper of zelfs niet in beeld gebracht konden worden. Uiteindelijk heeft de SWIR-camera een iets hogere beoordeling behaald als de NIR-camera namelijk, 0,25 van het geheel van één. Maar ook deze beoordeling is zeker nog niet voldoende.

Ook over deze camera kan gezegd worden dat het, gekeken naar het onderzoek, nog geen goede vervanger is voor de RGB-camera. Wel was de score van de SWIR-camera al hoger dan die van de NIR-camera en daarom komt deze camera al dichterbij RGB. Daarnaast zijn er ook voor de SWIR-camera een aantal bijzondere beoordelingen naar voren gekomen die het defect erg duidelijk in beeld brachten. Ook met deze camera is vervolgonderzoek een vereiste om de prestaties beter in beeld te kunnen krijgen.



Wat is het effect van behangenheid van grond op de aardappel voor de zichtbaarheid van interne defecten in de aardappel?

Uit het onderzoek is gebleken dat de behangenheid van de aardappelen wel degelijk invloed heeft op de zichtbaarheid van de interne defecten in de aardappel. Dit is duidelijk gebleken uit de gemiddelde scores van de behangen- en gewassen aardappelen. De score van de RGB-camera met behangen aardappelen is 0,29 terwijl de gewassen aardappelen daar een score van 0,37 halen. Ook de gemiddelde Scores van NIR en SWIR waren allebei hoger in het geval van de gewassen aardappelen ten opzichte van de scores van de behangen aardappelen.

De foto's van de behangen aardappelen waren in bijna alle gevallen minder duidelijk dan de foto's van de gewassen aardappelen. Uiteraard heeft de ernst van de behangenheid ook invloed op de zichtbaarheid van de foto. Wanneer de aardappel ernstig behangen is met dikke kleikappen zou de aardappel slecht in beeld gebracht kunnen worden waardoor de defecten ook niet of nauwelijks in beeld kunnen komen. In het geval van dit onderzoek waren de aardappelen matig behangen en toch was het verschil goed zichtbaar tussen de behangen en gewassen aardappelen.

Wat is het effect van vochtigheid op de zichtbaarheid van interne defecten in de aardappel?

De laatste deelvraag in dit onderzoek was gebaseerd op de vochtigheid van de aardappelen en het daarmee verbonden effect op de zichtbaarheid van de defecten die de aardappelen bevatten. Uit het onderzoek is gebleken dat vochtigheid van de aardappel een effect heeft op de zichtbaarheid van de defecten. De scores uit de zichtbaarheids-index wijzen uit dat op gewassen, droge aardappelen de defecten beter zichtbaar zijn wanneer er gebruik wordt gemaakt van de NIR- of SWIR-camera. Echter is gebleken dat de invloed van vocht niet uitmaakt wanneer er gebruik wordt gemaakt van een RGB-camera. De gemiddelde score van vochtige aardappelen is zelfs iets hoger, het gaat maar om één tiende en is daarom verwaarloosbaar, maar het geeft wel duidelijk aan dat er geen verschil meetbaar is tussen droge en vochtige aardappelen.

Ook de verschillen tussen de NIR- en SWIR-camera zijn niet zo groot, maar wel meetbaar. Daarom kan gezegd worden dat het vocht op de aardappel hier wel een relatief grotere rol speelt.

Hoofdvraag:

In welke mate is het mogelijk om door middel van NIR of SWIR cameratechniek een aardappel te kunnen beoordelen op drukplekken wanneer deze afwijking aan de buitenkant van de aardappel slecht zichtbaar is met het blote oog?

Uit de eindbeoordeling van het onderzoeksverslag is gebleken dat zowel de NIR- als de SWIR-camera in sommige gevallen in staat zijn om defecten in aardappelen duidelijk weer te geven. Maar wanneer er wordt gekeken naar de gemiddelde beoordelingen, kan de conclusie getrokken worden dat deze camera's op dit moment nog niet in staat zijn om de kwaliteit en zekerheid van een RGB-camera te bieden. Daarmee kan de hoofdvraag van dit onderzoek ook beantwoord worden met het volgende antwoord: 'Zowel de NIR- als de SWIR-camera is op dit moment, onder de omstandigheden van dit onderzoek, matig in staat om een aardappel te kunnen beoordelen op drukplekken die vanaf buitenaf met het blote oog niet of nauwelijks zichtbaar zijn'.

Wel is gebleken dat in sommige uitzonderlijke gevallen de NIR- en de SWIR-camera bepaalde plekken in aardappelen in beeld konden brengen die met de RGB-camera niet tot nauwelijks zichtbaar waren. Dit maakt dan ook dat uit een eventueel vervolgonderzoek andere bevindingen naar voren zouden kunnen komen die meer duidelijkheid kunnen geven over de kwaliteiten van de NIR- en SWIR-camera.



Hoofdstuk 6 – Aanbeveling

In hoofdstuk zes van dit onderzoek wordt een aanbeveling gedaan naar de mensen die van dit onderzoek gebruik willen maken of door willen werken met de bevindingen uit dit onderzoek.

Voor een vervolg onderzoek zou het allereerst interessant zijn om door te gaan met deze twee soorten cameratechnieken. Voor zowel NIR- als SWIR-cameratechnieken geldt dat er nog een groot scala aan modellen bestaat die bijna allemaal een specifieke functie hebben. Aan de hand van dit onderzoek is bewezen dat de potentie in deze cameratechnieken laag is, maar dat er op dit moment nog te weinig over bekend is om een eindconclusie te kunnen trekken. Wel is het zo dat er in dit onderzoek bepaalde punten naar voren zijn gekomen die eventueel voor andere resultaten kunnen zorgen zoals beschreven in de discussie.

Naar de mening van de student is het belangrijk om bij een vervolg onderzoek met een gelijk soort camera, meer te specificeren op een bepaalde wavelengte om duidelijk uit te kunnen sluiten in welke wavelengtes bepaalde defecten wel- of niet zichtbaar worden. Dit kan gedaan worden door bepaalde filters voor de lens van de camera te plaatsen waardoor het inkomende licht wordt gefilterd en er maar een beperkte wavelengte wordt doorgelaten. Wanneer dit goed uitgesloten kan worden kan er ook gespecificeerd worden door bepaalde wavelengtes door elkaar te gebruiken om alle defecten goed in beeld te krijgen. Omdat er bij bovenstaand onderzoek niet gebruik is gemaakt van een filter, kan er niet duidelijk beoordeeld worden of een bepaald defect wel- of niet goed in beeld te krijgen is.

Naast het specificeren in het doorlaten van een bepaalde wavelengte is het ook belangrijk om door te testen met de verlichting in de camerakap. In dit onderzoek is er gebruik gemaakt van halogeen verlichting, maar wanneer er wordt gewijzigd van wavelengte kan het zo zijn dat dit soort licht niet meer volstaat. Een goede optie zou een constante led-lichtbron kunnen zijn.

Wat betreft de NIR- en SWIR-cameratechniek is het belangrijk om elke stap één voor één uit te werken. De techniek staat in de kinderschoenen en interne- en externe, afwijkende invloeden kunnen ervoor zorgen dat het onderzoek niet betrouwbaar blijft.

Omdat dit onderzoek een pilot was voor de infrarood cameratechniek is ervoor gekozen om de getallen nog niet statistisch te benaderen. Bij een vervolg onderzoek zal dit wel aan de orde komen om te kunnen controleren of de beoordeling statistisch gezien wel significant zijn. Hiermee wordt er gecontroleerd of de beoordelingen niet teveel af gaan wijken naarmate het over veel grotere aantallen aardappelen gaat. Deze statistische test van dit onderzoek kan worden gedaan doormiddel van de gepaarde T-toets. Deze kan worden toegepast omdat het om twee metingen gaat van dezelfde steekproef. Het gaat in dit geval om een test tussen 50 dezelfde aardappelen en dit kan gezien worden als een vergelijking met elkaar waardoor er wordt gekozen voor de gepaarde T-toets in plaats van de ongepaarde T-toets.



Naast de NIR- en SWIR-camera technieken zijn er ook nog andere cameratechnieken die potentie hebben tot Machine-Vision. Een andere interessante techniek is Multi spectraal imaging. Deze techniek werkt ook met een camera als ontvangende bron van licht. Maar met deze techniek is het mogelijk om door middel van deze camera de inkomende hoeveelheid licht te meten aan de hand van bepaalde parameters. Naast RGB-licht kan deze camera ook niet-zichtbaar licht meten. Dit betekent dat deze camera ook instaat is om inkomend infrarood- en ultraviolet licht te meten. De camera brengt aan de hand van het inkomende licht de afbeelding, aan de hand van vooraf bepaalde kleuren, in beeld. Doordat de kleuren onderscheidend zijn, kan er aan elke kleur een bepaalde waarde worden gehangen met een bepaalde indicatie. Aan de hand van de kleuren kan dan eventueel bepaald worden waar de afwijkende plek op de aardappel zit en hoe groot deze is.

De techniek is net als veel andere cameratechnieken ontstaan uit een militaire toepassing. Door middel van deze camera kunnen er bepaalde gebieden in beeld worden gebracht die met het blote oog nooit zichtbaar zouden worden door goede beschutting. Op dit moment wordt er al veel onderzoek gedaan naar deze techniek in de voedselsector. Maar doordat het een vrij complexe techniek is valt het niet mee om laagdrempelig onderzoek te doen. Dit komt met name door de specifieke en dure apparatuur die vereist is (Feussner, 2017).



Bibliografie

- Aardappelziekte- aardappel.* (2020). Opgeroepen op Februari 25, 2022, van Wiki.groenekennisnet.nl: <https://wiki.groenekennisnet.nl/display/BEEL/Aardappelziekte+-+aardappel>
- ABNAMRO. (2018, december 14). *Personeelstekorten agrarische sector gaan nu echt pijn doen.* Opgehaald van Akkerbouwbedrijf.nl: <https://www.akkervbouwbedrijf.nl/onderzoek/personeelstekorten-agrarische-sector-gaan-nu-echt-pijn-doen/>
- Bendle, P. (2009, december 7). *Conoderus exsul Pasture Wireworm Click Beetle-*. Opgeroepen op Januari 26, 2022, van ketenewplymouth.peoplesnetworknz.info: http://ketenewplymouth.peoplesnetworknz.info/friends_of_te_henui/images/show/959-conoderus-exsul-pasture-wireworm-click-beetle
- Beukel, L. v. (2019, juni 25). *Technologie verandert het werk in de agrarische en groene sector.* Opgehaald van werk.nl: <https://www.werk.nl/arbeidsmarktinformatie/sector/agrarisch-groen/technologie-verandert-werk>
- Blackheart.* (2020). Opgeroepen op Maart 2022, van ahdh.org.uk: <https://ahdb.org.uk/knowledge-library/blackheart>
- C.P, M. e. (2000). *Rooibeschatiging.* Opgeroepen op April 24, 2022, van agris.be: <http://www.agris.be/nl/aardappelziekte/194091.asp>
- CZAV. (2019, maart 18). *Voorkom ritnaaldenschade met Mijn Kniptormonitor.* Opgeroepen op Maart 28, 2022, van czav.nl: <https://www.czav.nl/Actueel/Nieuws/Artikel/voorkom-ritnaaldenschade-met-mijn-kniptormonitor?msclkid=21870feacf5911ecbe30b7f4bf76f358>
- DLV advies. (2017, april 4). *BEWAARKENNIS DELEN OVER DE GRENS.* Opgehaald van dlvadvis.nl: <https://www.dlvadvis.nl/nieuws/nieuwsarchief/bewaarkennis-delen-over-de-grens/501>
- encyclopedie, A. (2021, november 17). *Stootblauw.* Opgeroepen op April 12, 2022, van ensie.nl: <https://www.ensie.nl/agrarisch/stootblauw>
- Farm, H. (2014, september 17). *Door droogte te veel rooibeschatiging aardappelen.* Opgeroepen op April 14, 2022, van harrysfarm.nl: <https://www.harrysfarm.nl/2014/09/17/17-september-2014-droogte-rooibeschatiging-aardappelen/>
- Feussner, A. S. (2017). *Hyperspectral Imaging.* Opgeroepen op Juli 23, 2022, van Sciencedirect.com: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/hyperspectral-imaging>
- Gelder, K. v. (2022, februari 8). *Consumption of potatoes in the Netherlands 2010-2025.* Opgeroepen op Januari 25, 2022, van statista.com: <https://www.statista.com/statistics/995963/consumption-of-potatoes-in-the-netherlands/#:~:text=The%20overall%20consumption%20of%20potatoes,the%20consumption%20was%204%2C240%20kilotons.>
- Hanekamp, D. (2022, januari 18). NIR en SWIR cameratechnologie. (P. Kloppe, Interviewer) Ouwerkerk, Zeeland, Nederland.
- hanse, D. (2021). *Het belang van aardappelen.* Opgehaald van Agrico.nl: <https://www.agrico.nl/het-belang-van-aardappelen#:~:text=Wereldwijd%20eten%20meer%20dan%20een%20miljard%20mensen%20>



20aardappelen.,maakt%20de%20aardappel%20een%20steeds%20belangrijker%20product%20

Infiniti. (2022). *NIR (Near-Infrared) Imaging Cameras*. Opgeroepen op Januari 12, 2022, van infinitioptics.com: <https://www.infinitioptics.com/technology/nir-near-infrared>

Kamal Imanian, R. P.-M.-M. (2021, December 13). Identification of Internal Defects in Potato Using Spectroscopy and Computational Intelligence Based on Majority Voting Techniques. *Foods*, 17.

kennisakker. (2003, september 15). *uitwendige eigenschappen en gebreken*. Opgeroepen op Mei 14, 2022, van Kennisakker.nl: <https://kennisakker.nl/archief-publicaties/teelthandleiding-consumptieaardappelen-kwaliteitseigenschappen173>

Koe, E. d. (2022, januari 24). SWIR ledverlichting. (P. Klompe, Interviewer) Ouwerkerk, Zeeland, Nederland.

Leretto blauw licht Filter brillen. (sd). Opgeroepen op Februari 23, 2022, van Zobegaafd.nl: <https://www.zobegaafd.nl/leretto-blauw-licht-filter-brillen/>

Library, H. (2021, april 9). *Which country eats the most potatoes?* Opgeroepen op Januari 12, 2022, van helgilibrary.com: <https://www.helgilibrary.com/charts/which-country-eats-the-most-potatoes/>

Maslowski, R. (2020, januari 1). *Nederlanders steeds hoger opgeleid*. Opgehaald van digitaal.scp.nl: [https://digitaal.scp.nl/ssn2020/onderwijs/#:~:text=Aandeel%20hogeropgeleiden%20steeg%20in%20afgelopen%2010%20jaar%20met%20een%20vijfde&text=Het%20aandeel%20met%20een%20hoger,graad%20\(samen%20ruim%2032%25\).](https://digitaal.scp.nl/ssn2020/onderwijs/#:~:text=Aandeel%20hogeropgeleiden%20steeg%20in%20afgelopen%2010%20jaar%20met%20een%20vijfde&text=Het%20aandeel%20met%20een%20hoger,graad%20(samen%20ruim%2032%25).)

Metrohm. (2019). *Snellere kwaliteitscontrole bij lagere bedrijfskosten met nabije-infrarood spectroscopie*. Opgeroepen op Februari 6, 2022, van metrohm.com: <https://www.metrohm.com/nl-nl/producten/spectroscopie/1-nirs-near-infrared-spectroscopy/>

Mulders, A. L. (2012, december 21). *Drukplekken*. Opgehaald van pcainfo.be: <https://www.pcainfo.be/fr-fr/Kenniscentrum/Kwaliteit/category/kwaliteit/drukplekken>

Nedato. (2016, april 29). *Veel drukplekken in luchtgekoelde aardappelen*. Opgeroepen op Maart 8, 2022, van nedato.com: <https://www.nedato.com/nl/nieuws-telers/veel-drukplekken-in-luchtgekoelde-aardappelen/>

Nijman, J. (2021, maart 22). *stengelaaltje-aardappelen*. Opgeroepen op Januari 10, 2022, van wiki.groenekennisnet.nl: <https://wiki.groenekennisnet.nl/pages/viewinfo.action?pagelid=8391380>

Papaj, P. (2020, september 11). *Novel sensor process enables SWIR and visible light capture on single chip*. Opgeroepen op Februari 23, 2022, van vision-systems.com: <https://www.vision-systems.com/cameras-accessories/article/14180244/novel-sensor-process-enables-swir-and-visible-light-capture-on-single-chip>

Pca. (2021, augustus 24). *opgelet voor hol en rot! controleer uw percelen!* Opgeroepen op April 12, 2022, van pcainfo.be: <https://www.pcainfo.be/Home/PCANieuws/opgelet-voor-hol-en-rot-controleer-uw-percelen>

- protection, S. c. (2020, augustus 8). *Ritnaalden, een groeiend probleem*. Opgeroepen op Maart 4, 2022, van akkerwijzer.nl: <https://www.akkervijzer.nl/artikel/259840-ritnaalden-een-groeiend-probleem/>
- R.Wustman, C. e. (2000). *Zwarte harten*. Opgeroepen op April 23, 2022, van agris.be: <http://www.agris.be/nl/aardappelziekte/194095.asp>
- Raaijmakers, H. H. (2017, januari). *Stengelaaltjes: voorkomen is beter dan bestrijden*. Opgeroepen op Januari 7, 2022, van edepot.wur.nl: <https://edepot.wur.nl/407061#:~:text=Bestrijding%20van%20stengelaaltjes%20Stengelaaltje%20komen%20vaak%20in%20haarden,glyfosaat%20inclusief%20een%20rand%20met%20%28schijnbaar%29%20gezonde%20planten.?msclid=db584bf6cf6d11ec90a1b9cbebd8b4ef>
- Rasbak. (2018). *Stootblauw*. Opgeroepen op Maart 9, 2022, van plantenplagen.nl: <https://www.plantenplagen.nl/plantenplagen/stootblauw/>
- Reindsen, H. (2021, maart 2). *5 vragen over schade door ritnaalden en slakken in aardappelen*. Opgeroepen op April 24, 2022, van nieuweoogst.nl: <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2021/03/02/5-vragen-over-schade-door-ritnaalden-en-slakken-in-aardappelen?msclid=81462318cf5e11ecb44b8b8364dddebc>
- Reindsen, H. (2021, augustus 11). *Regen veroorzaakt groeischeuren en holheid bij aardappelen*. Opgeroepen op Maart 29, 2022, van nieuweoogst.nl: <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2021/08/11/regen-veroorzaakt-groeischeuren-en-holheid-bij-aardappelen>
- Sergio Cubero, N. A.-S. (2011). Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. *Food bioprocess technologies*, 18. Opgeroepen op Maart 15, 2022
- Syngenta. (2021). *Nemathorin 10G*. Opgeroepen op Mei 14, 2022, van syngenta.be: <https://www.syngenta.be/nemathorin-10g-het-insecticide-met-dubbele-werking?msclid=177dee00cf6011ecbee5246bdb94ce1d>
- Veldleeuwrik, S. (2016, oktober 26). *Voorkomen stengelaaltjes beter dan bestrijden*. Opgeroepen op Mei 25, 2022, van akkerwijzer.nl: <https://www.akkervijzer.nl/artikel/121168-voorkomen-stengelaaltjes-beter-dan-bestrijden/>
- Versluis, H. (2005). Droog aardappelen niet te intensief. *DLV praktijkadvies*, 2. Opgeroepen op Maart 27, 2022
- Verwijs, G. M. (1998, augustus 19). *Stootblauw: niet alleen afhankelijk van valhoogte*. Opgeroepen op Januari 26, 2022, van edepot.wur.nl: <https://edepot.wur.nl/506741>
- Webmaster. (2016, januari 13). *Bruinrot*. Opgehaald van plantenziektekunde: <https://www.plantenziektekunde.nl/bruinrot/>
- Webmaster. (2016, januari). *Bruinrot*. Opgeroepen op Maart 14, 2022, van plantenziektekunde.nl.
- Wenwen Zhang, Q. Z. (2019). Detection and Classification of Potato Defects Using Multispectral Imaging System Based on Single Shot Method. *Springer Science*, 10. Opgeroepen op 2022, van 16



- Wereldaardappelproductie per land.* (2021, januari 1). Opgehaald van atlasbig.com:
<https://www.atlasbig.com/nl/landen-door-aardappelproductie>
- Werkman, D. (2021). *Belangrijkste karakteristieken van Agria*. Opgeroepen op April 13, 2022, van Agrico.nl: <https://www.agrico.nl/rassenoverzicht/agria>
- Werkman, D. (2021b). *Belangrijkste karakteristieken van Fontane*. Opgehaald van Agrico.nl: <https://www.agrico.nl/rassenoverzicht/fontane>
- Werner, O. (2021, februari 4). *Corona heeft de automatisering aanzienlijk versneld*. Opgehaald van nl.potatoes.news: <https://nl.potatoes.news/corona-heeft-de-automatisering-aanzienlijk-versneld/Dagelijks-nieuws>
- Williamson, M. (2022, maart 1). *Optimizing Machine Vision Lenses For Different Wavelengths*. Opgeroepen op mei 27, 2022, van Qualitymag.com: <https://www.qualitymag.com/articles/96904-optimizing-machine-vision-lenses-for-different-wavelengths>
- Wordt een ledlamp warm?* (2021). Opgeroepen op April 12, 2022, van Luximprove: <https://www.luximprove.com/kennisbank/veelgestelde-vragen/12/wordt-een-led-lamp-warm#:~:text=Een%20gloeilamp%20zet%20circa%2010%25%20van%20de%20energie,hel%20gebied%20waar%20de%20verlichting%20wordt%20aangestuurd%2C%20>
- Yamin Ji, L. S. (2019). Non-destructive classification of defective potatoes based on hyperspectral imaging and support vector machine. *Elsevier*, 9. Opgeroepen op Januari 12, 2022



Bijlagen

Bijlage 1: Interview met een medewerker van Stemmer-Imaging

1. *In welk lightspectrum wordt er gekeken met NIR en SWIR?*

Het gehele lightspectrum wordt weergegeven in Nanometers. Het licht dat zichtbaar is voor mensen ligt tussen de 400 en 750 nanometer. Daaromheen is ook licht alleen dit kan met het menselijk oog niet worden waargenomen. Wanneer er omhoog wordt gegaan in nanometers komt er als volgende spectrum NIR. Het NIR-spectrum ligt tussen de 700 en 1400 nanometer. Daarna komt het SWIR-spectrum, dit ligt tussen de 1400 en 2500 nanometer.

2. *Hoe werkt het principe van de camera?*

De camera werkt net als een normale RGB-camera van één kant. Het product wordt dus vanaf één kant in beeld gebracht en er hoeft geen lichtbron of filter aan de andere kant van het product geplaatst te worden. Ook het principe van de cameratechniek is gelijk, er wordt licht verzonden en terug ontvangen en aan de hand van dit terug ontvangen licht wordt er een afbeelding gemaakt. Het verschil tussen de camera's zit in het soort licht dat wordt gebruikt.

3. *Is er ook speciale verlichting vereist?*

Zoals hierboven al aangegeven zijn er inderdaad speciale lampen vereist. Er is een mogelijkheid voor Led, hier zitten nogal wat haken en ogen aan. Halogeen volstaat ook in veel gevallen.

4. *Wat is de richtprijs van dergelijke camera's?*

Deze prijs is erg afhankelijk van de soort camera en welke opties deze camera moet hebben. De prijs van een SWIR-camera zal ongeveer liggen tussen de €15.000 en €50.000 per stuk.

5. *Zijn er voordelen verbonden aan de cameratechniek?*

Een groot voordeel is dat de samenstelling van het product niet aangetast hoeft te worden omdat er net als met een gewone camera beelden worden gemaakt zonder speciale toevoegingen. Daarnaast is het ook een voordeel dat de verwerkingstijd van de camera's bijna gelijk is aan die van een normale RGB-camera waardoor de capaciteit hoog genoeg is voor machine-vision.

6. *Zijn er nadelen verbonden aan de cameratechniek?*

Allereerst is de prijs nu nog erg hoog. Het is wel zo dat deze desondanks wel verkrijgbaar is. Verwacht wordt dat de prijs zal dalen naarmate er meer gebruik gemaakt gaat worden van de techniek. Een ander nadeel is de lichtbron. Momenteel wordt er nog veel onderzoek gedaan naar de juiste lichtbron voor de NIR en met name de SWIR-camera's. Er is een mogelijkheid beschikbaar in Ledverlichting, alleen is deze erg duur en verloopt het licht waardoor de instellingen steeds moeten wijzigen.

7. *Wat is de toekomstverwachting omtrent deze cameratechniek?*

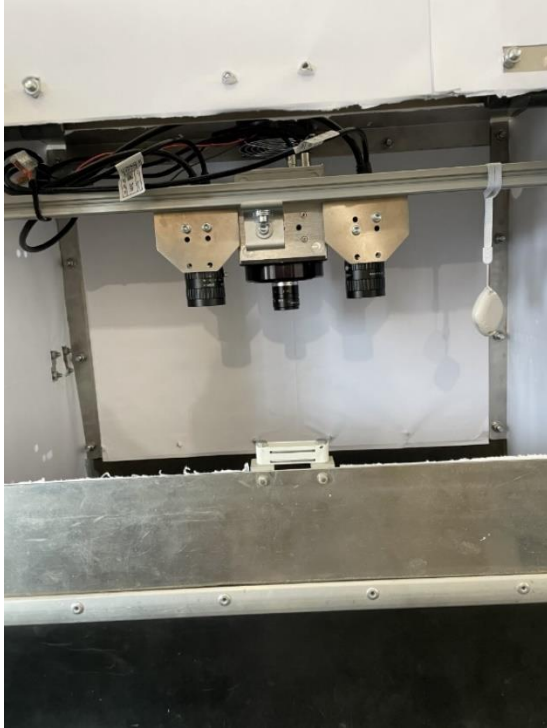
Uiteraard zal er nog meer ontwikkeling omtrent dit soort technieken plaats gaan vinden. Voor nu is het de vraag of er al mensen uit de voeten kunnen met deze techniek om er zelf op voort te borduren. Ook verwacht ik dat de prijs zal dalen naarmate de hoeveelheid verkopen toeneemt.

(Hanekamp, 2022)



Bijlage 2: Materiaal & Methode

Afbeelding 45: Zijaanzicht camera's (eigen foto)



Afbeelding 44: Onderaanzicht camera's (eigen foto)



Afbeelding 47: De temperatuursensor (eigen foto)



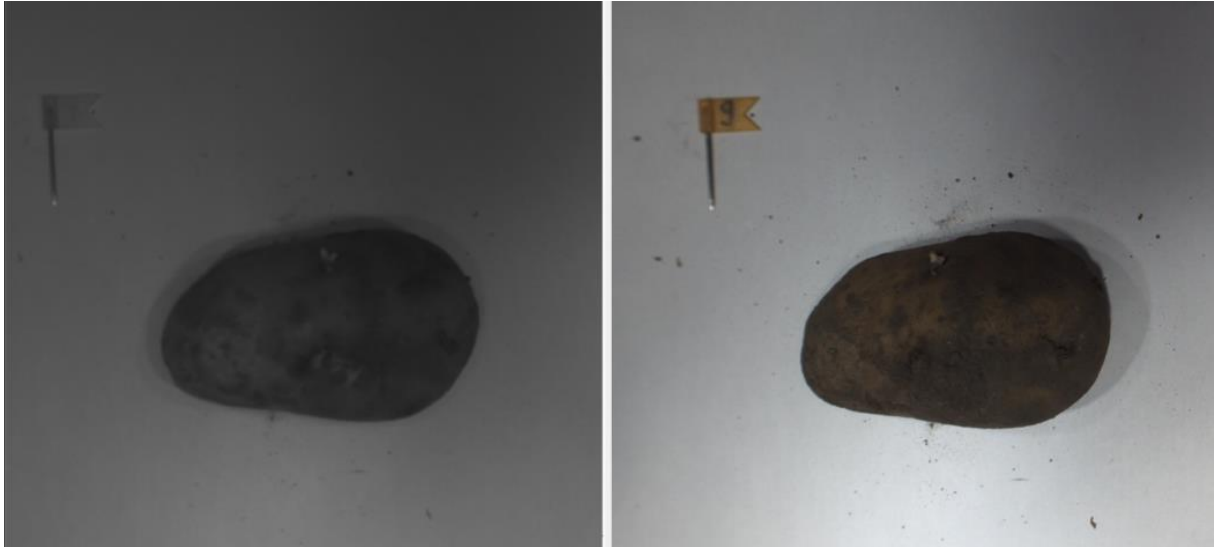
Afbeelding 46: De camerakap (eigen foto)



Bijlage 3: Testresultaten

NIR versus RGB (positief)

Afbeelding 48: Aardappel 9, zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)



Afbeelding 49: Aardappel 10, zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)

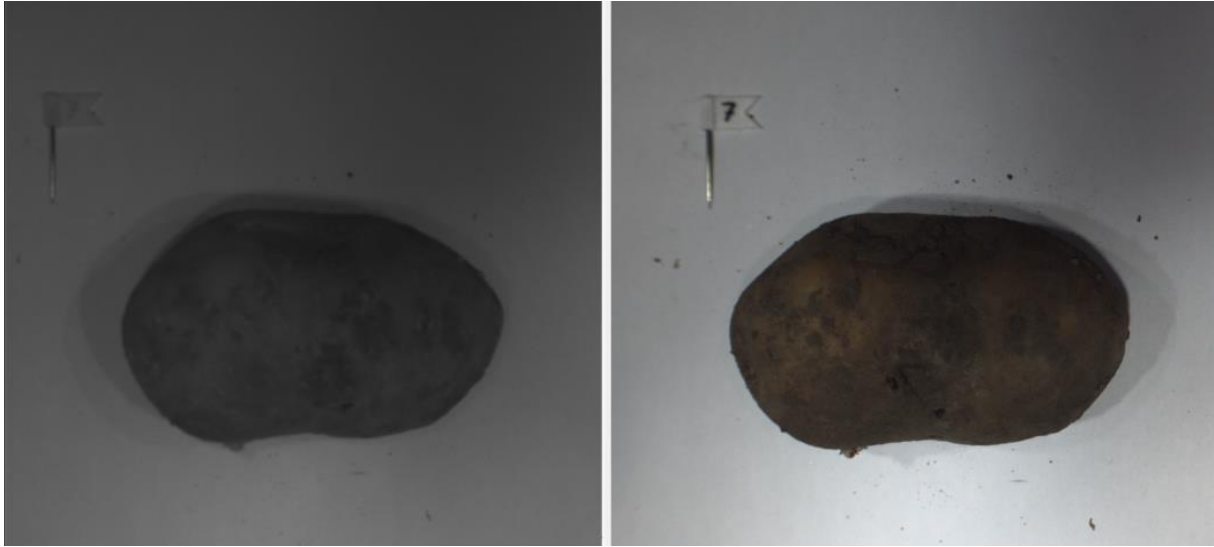


Afbeelding 50: Aardappel 17, zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)

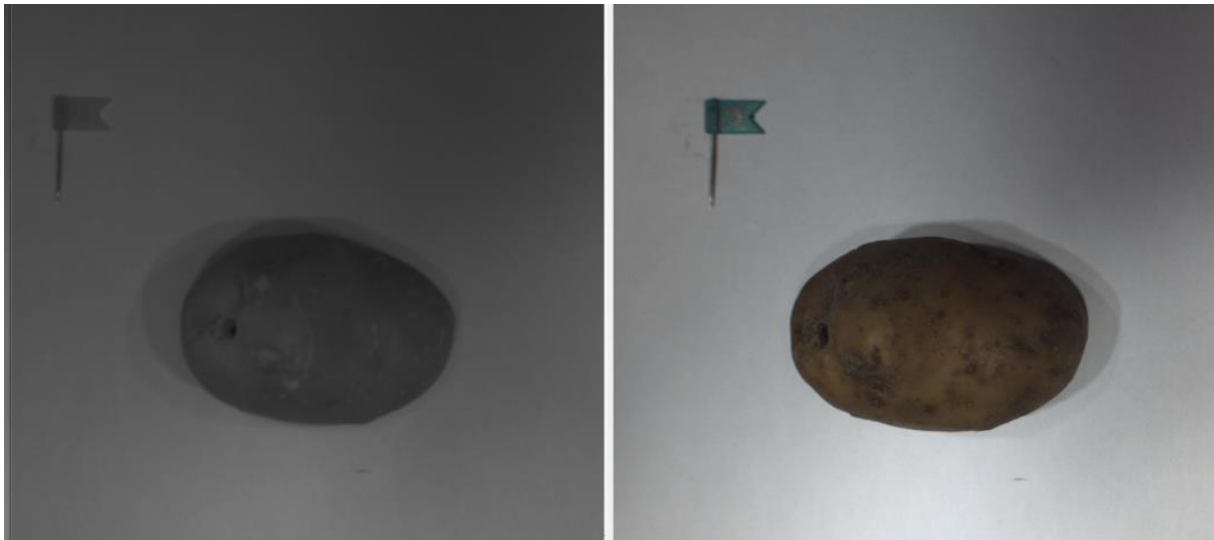


NIR versus RGB (negatief)

Afbeelding 51: Aardappel 7, niet zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)



Afbeelding 52: Aardappel 13, niet zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)

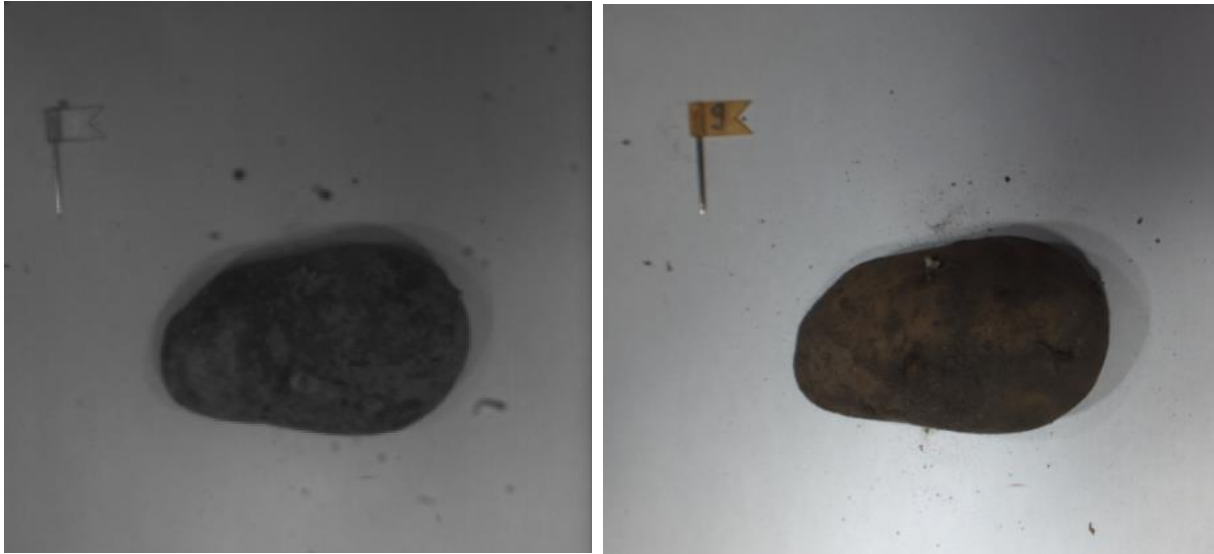


Afbeelding 53: Aardappel 15, niet zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)

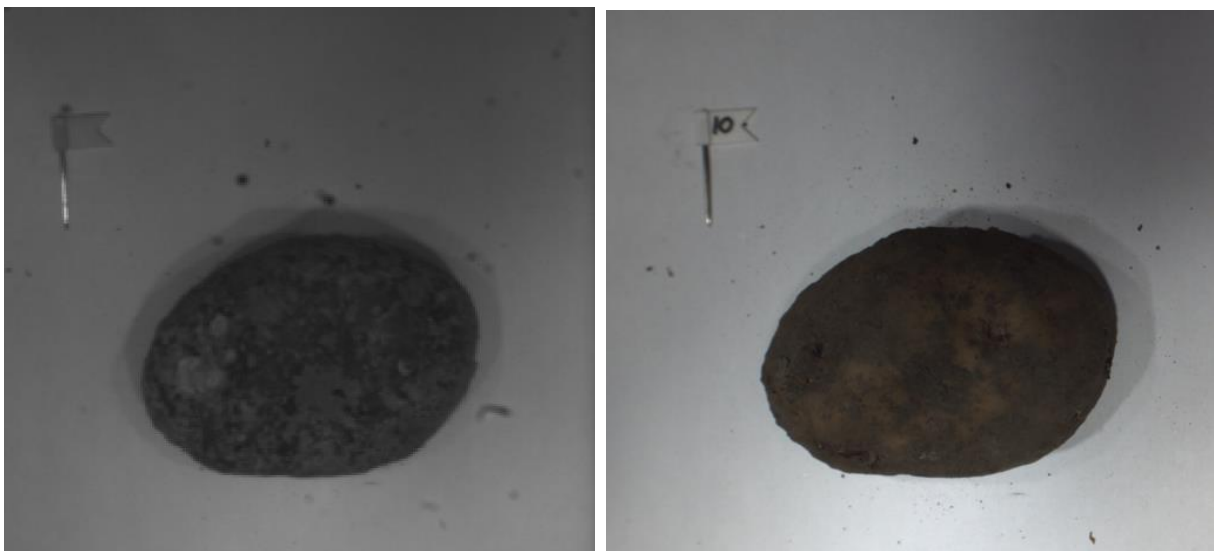


SWIR versus RGB (positief)

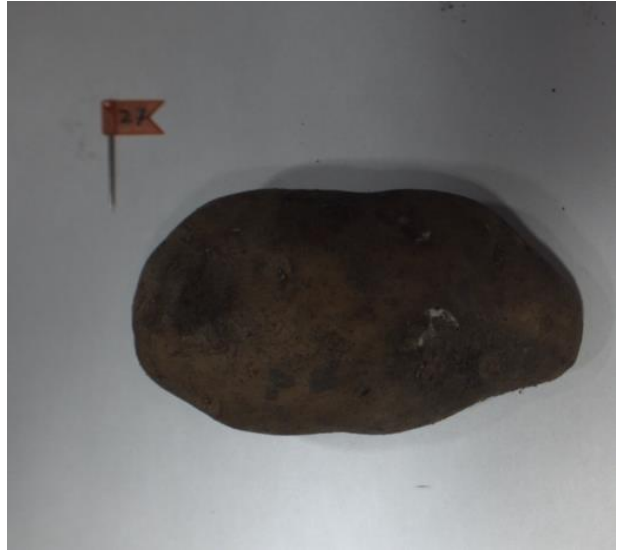
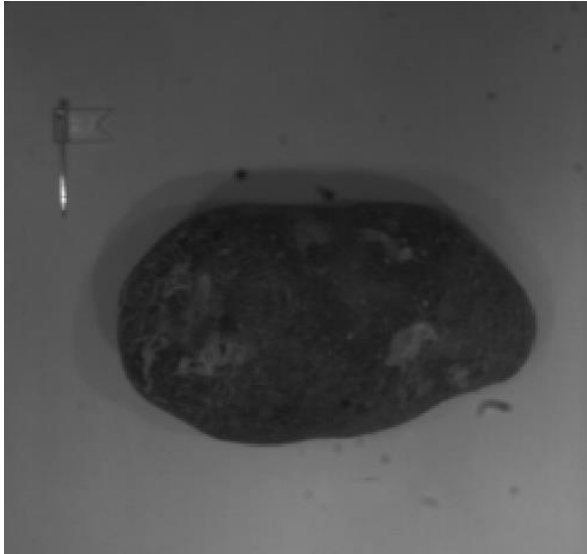
Afbeelding 55: Aardappel 9, zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)



Afbeelding 54: Aardappel 10, zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)

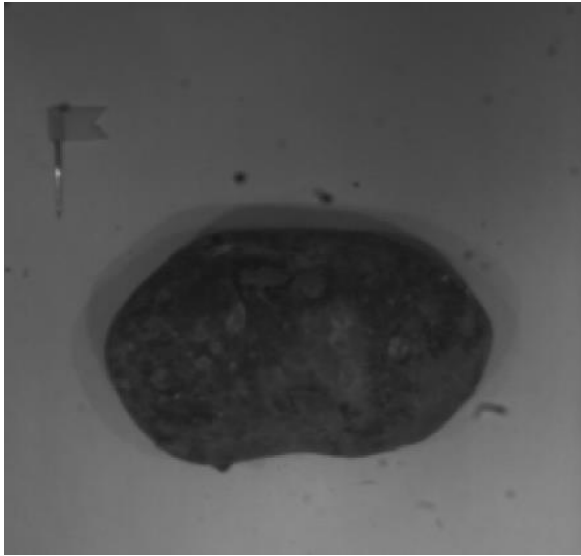


Afbeelding 56: Aardappel 27, zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)

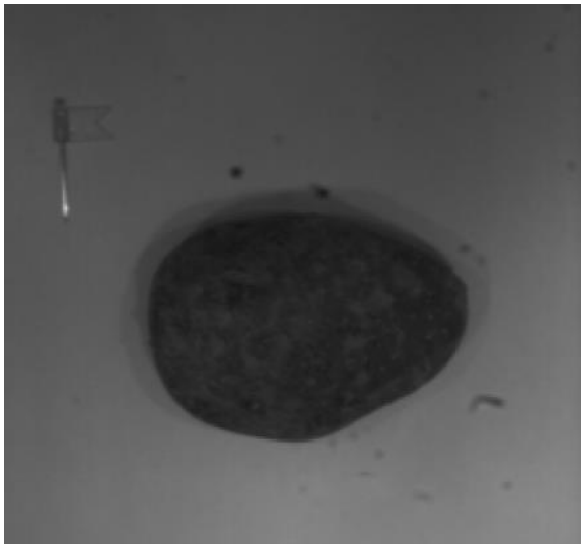


SWIR versus RGB (negatief)

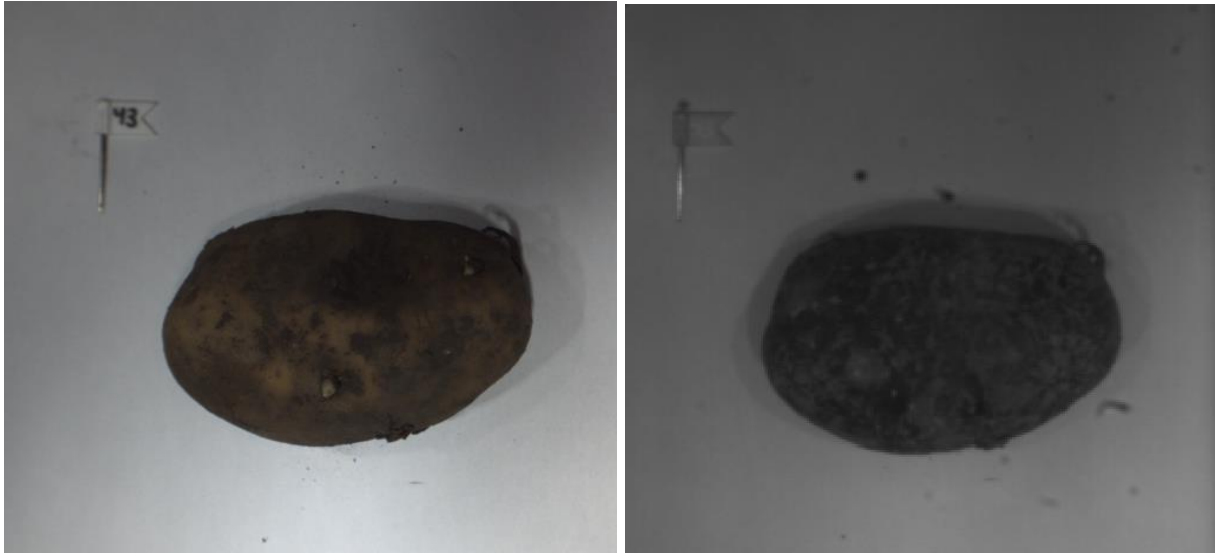
Afbeelding 58: Aardappel 7, niet zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)

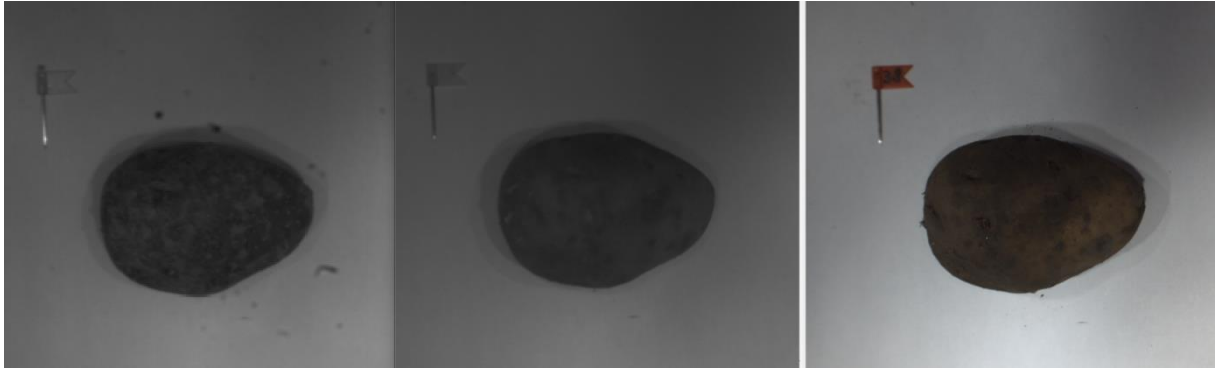
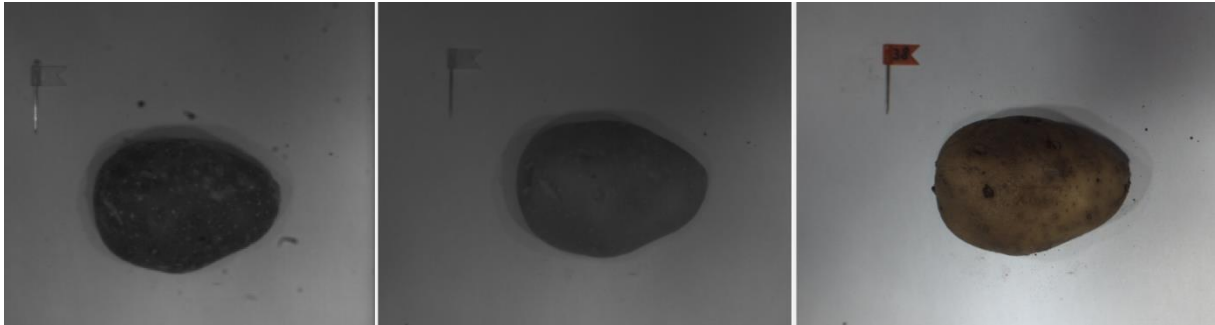


Afbeelding 57: Aardappel 38, niet zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)



Afbeelding 59: Aardappel 43, niet zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)



*Behangen versus gewassen**Afbeelding 60: Aardappel 38, behangen, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)**Afbeelding 61: Aardappel 38, schoon, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)*

Afbeelding 62: Aardappel 37, behangen, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Afbeelding 63: Aardappel 37, schoon, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Afbeelding 64: Aardappel 28, behangen, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Afbeelding 65: Aardappel 28, schoon, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Droog versus nat

Afbeelding 66: Aardappel 29, droog, SWIR,NIR;RGB (eigen foto)



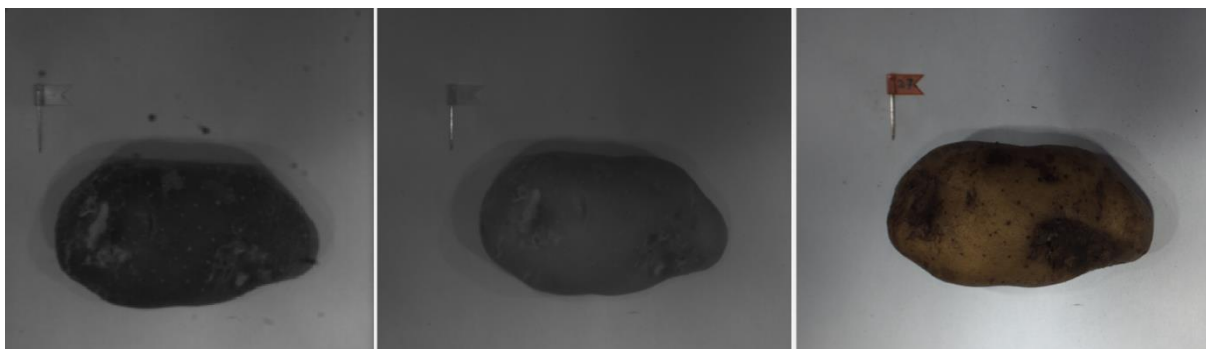
Afbeelding 67: Aardappel 29, nat, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



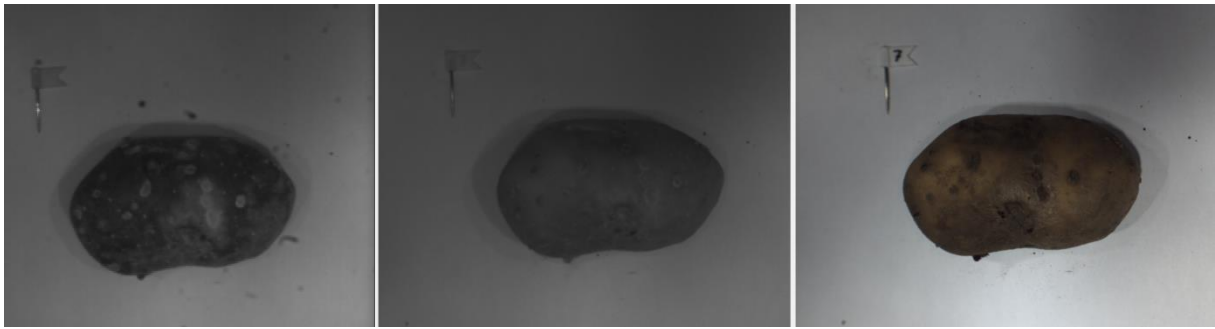
Afbeelding 68: Aardappel 27, droog, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Afbeelding 69: Aardappel 27, nat, SWIR,NIR;RGB (eigen foto)



Afbeelding 70: Aardappel 7, droog, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Afbeelding 71: Aardappel 7, nat, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)



Bijlage 4: Scorelijst met scores (Excel tabel)

Tabel 8: Scorelijst met scores per categorie

score	nat	RGB	9	score	gewassen	RGB	14
1		NIR	27	1		NIR	27
		SWIR	17			SWIR	19
score	nat	RGB	18	score	gewassen	RGB	13
2		NIR	16	2		NIR	14
		SWIR	21			SWIR	16
score	nat	RGB	15	score	gewassen	RGB	10
3		NIR	4	3		NIR	4
		SWIR	7			SWIR	6
score	nat	RGB	5	score	gewassen	RGB	11
4		NIR	2	4		NIR	5
		SWIR	5			SWIR	8
score	nat	RGB	3	score	gewassen	RGB	2
5		NIR	0	5		NIR	0
		SWIR	0			SWIR	1

score	behangen	RGB	13
1		NIR	28
		SWIR	23
score	behangen	RGB	24
2		NIR	14
		SWIR	15
score	behangen	RGB	8
3		NIR	7
		SWIR	9
score	behangen	RGB	3
4		NIR	0
		SWIR	3
score	behangen	RGB	2
5		NIR	1
		SWIR	0



Lijst met afbeeldingen

Afbeelding 1: 15 landen waar de meeste aardappelen worden geconsumeerd in miljoenen (Library, 2021)	9
Afbeelding 2: Voorbeeldafbeelding NIR-cameratechniek (Infiniti, 2022)	14
Afbeelding 3: Voorbeeldafbeelding SWIR-cameratechniek (Papaj, 2020)	14
Afbeelding 4: Zes soorten licht met daarbij de bepaalde wavelength in nanometers (Leretto blauw licht Filter brillen, sd)	15
Afbeelding 5: Twee aardappel helften met bruinrot ring (Webmaster, Bruinrot, 2016)	16
Afbeelding 6: Een aardappel met een hoge hoeveelheid stootblauw (Rasbak, 2018)	16
Afbeelding 7: Meerdere holle aardappelen zonder rot (Pca, 2021)	17
Afbeelding 8: Aardappel met onderliggende rooibeschatiging (Farm, 2014)	17
Afbeelding 9: Doorsnede van een aardappel met een zwart hart en een scheur (Blackheart, 2020) ..	18
Afbeelding 10: Vier aardappelen met zichtbare drukplekken (Nedato, 2016)	19
Afbeelding 11: Geschilde aardappelen met niet-zichtbare drukplekken (DLV advies, 2017)	20
Afbeelding 12: Ernstig aangetaste aardappelen door Ritnaalden (protection, 2020)	22
Afbeelding 13: Een Ritnaald (Bendle, 2009)	22
Afbeelding 14: Een stengelaaltje door een microscoop (Veldleeuwerik, 2016)	23
Afbeelding 15: Aardappel aangetast door stengelaaltjes (Raaijmakers, 2017)	23
Afbeelding 16: De camerakap (eigen foto)	29
Afbeelding 17: De binnenkant van de camerakap (eigen foto)	29
Afbeelding 18: Zijaanzicht camerakap met lichtspotjes (eigen foto)	29
Afbeelding 19: A3 papier op de bodem van de camerakap (eigen foto)	32
Afbeelding 20: Testaardappel met een nummervlaggetje (eigen foto)	32
Afbeelding 21: Onbewerkte test aardappelen (eigen foto)	32
Afbeelding 22: Aardappelen worden gewassen (eigen foto)	33
Afbeelding 23: Aardappel drogen op een handdoek (eigen foto)	33
Afbeelding 24: Aardappel 1, zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)	35
Afbeelding 25: Aardappel 1, controle foto, telefoon camera (eigen foto)	35
Afbeelding 26: Aardappel 3, zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)	36
Afbeelding 27: Aardappel 3, controle foto, telefoon camera (eigen foto)	36
Afbeelding 28: Aardappel 4, niet zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)	37
Afbeelding 29: Aardappel 5, niet zichtbare afwijking, NIR (eigen foto)	37
Afbeelding 30: Aardappel 3, zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)	38
Afbeelding 31: Aardappel 3, controle foto, telefoon camera (eigen foto)	38
Afbeelding 32: Aardappel 5, zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)	39
Afbeelding 33: Aardappel 5, controle foto, telefoon camera (eigen foto)	39
Afbeelding 34: Aardappel 1, niet zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)	40
Afbeelding 35: Aardappel 34, niet zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)	40
Afbeelding 36: Aardappel 49, behangen, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	41
Afbeelding 37: Aardappel 49, schoon, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	41
Afbeelding 38: Aardappel 43, behangen, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	42
Afbeelding 39: Aardappel 43, schoon, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	42
Afbeelding 40: Aardappel 38, droog, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	43
Afbeelding 41: Aardappel 38, nat, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	43
Afbeelding 42: Aardappel 37, droog, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	44
Afbeelding 43: Aardappel 37, nat, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	44
Afbeelding 44: Onderaanzicht camera's (eigen foto)	59



Afbeelding 45: Zijaanzicht camera's (eigen foto)	59
Afbeelding 46: De camerakap (eigen foto)	59
Afbeelding 47: De temperatuursensor (eigen foto)	59
Afbeelding 48: Aardappel 9, zichtbare afwijking, NIR (eigen foto).....	60
Afbeelding 49: Aardappel 10, zichtbare afwijking, NIR (eigen foto).....	60
Afbeelding 50: Aardappel 17, zichtbare afwijking, NIR (eigen foto).....	61
Afbeelding 51: Aardappel 7, niet zichtbare afwijking, NIR (eigen foto).....	62
Afbeelding 52: Aardappel 13, niet zichtbare afwijking, NIR (eigen foto).....	62
Afbeelding 53: Aardappel 15, niet zichtbare afwijking, NIR (eigen foto).....	63
Afbeelding 54: Aardappel 10, zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)	64
Afbeelding 55: Aardappel 9, zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto).....	64
Afbeelding 56: Aardappel 27, zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)	65
Afbeelding 57: Aardappel 38, niet zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)	66
Afbeelding 58: Aardappel 7, niet zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)	66
Afbeelding 59: Aardappel 43, niet zichtbare afwijking, SWIR (eigen foto)	67
Afbeelding 60: Aardappel 38, behangen, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	68
Afbeelding 61: Aardappel 38, schoon, SWIR;NIR;RGB (eigen foto).....	68
Afbeelding 62: Aardappel 37, behangen, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	69
Afbeelding 63: Aardappel 37, schoon, SWIR;NIR;RGB (eigen foto).....	69
Afbeelding 64: Aardappel 28, behangen, SWIR;NIR;RGB (eigen foto)	69
Afbeelding 65: Aardappel 28, schoon, SWIR;NIR;RGB (eigen foto).....	69
Afbeelding 66: Aardappel 29, droog, SWIR,NIR;RGB (eigen foto).....	70
Afbeelding 67: Aardappel 29, nat, SWIR;NIR;RGB (eigen foto).....	70
Afbeelding 68: Aardappel 27, droog, SWIR;NIR;RGB (eigen foto).....	70
Afbeelding 69: Aardappel 27, nat, SWIR,NIR;RGB (eigen foto)	70
Afbeelding 70: Aardappel 7, droog, SWIR;NIR;RGB (eigen foto).....	71
Afbeelding 71: Aardappel 7, nat, SWIR;NIR;RGB (eigen foto).....	71

Lijst met tabellen

Tabel 1: Voor- en nadelen NIR.....	13
Tabel 2: Voor- en nadelen SWIR.....	13
Tabel 3: Scorelijst testresultaten	30
Tabel 4: Scores behangen aardappelen	45
Tabel 5: Scores natte aardappelen	46
Tabel 6: Scores gewassen aardappelen	47
Tabel 7: Totale gemiddelde scores	47
Tabel 8: Scorelijst met scores per categorie	72

Lijst met grafieken

Grafiek 1: Scores behangen aardappelen	45
Grafiek 2: Scores natte aardappelen	46
Grafiek 3: Scores gewassen aardappelen.....	47

