

# Machinale detectie van geelziek in hyacint

Toepassing van vision technieken om symptomen, veroorzaakt door *Xanthomonas hyacinthi* in hyacint op te sporen

Consultancy project

Ton Baltissen, Joop van Doorn, Gerrit Polder, Jonas Roothans en Jaap Gelderblom

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Projectnummer: 32361490 00/ PT 14740

De bloembollensector investeert in dit project via het  Productschap  Tuinbouw

## Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.  
Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit  
Adres : Prof. Van Slogterenweg 2, 2161 DW Lisse  
Tel. : 0252-462121  
Fax : 0252-462100  
E-mail : [info.ppo@wur.nl](mailto:info.ppo@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

# Inhoudsopgave

pagina

## Inhoud

|  |    |
|--|----|
| SAMENVATTING.....  | 5  |
| 1 PROBLEEM EN DOELSTELLING.....                                      | 7  |
| 1.1 Probleem.....  | 7  |
| 1.2 Doelstelling.....  | 7  |
| 2 MATERIAAL EN METHODE.....  | 9  |
| 2.1 Aanpak.....  | 9  |
| 2.2 Opzet experimenten met hyacint, besmet met geelziek.....         | 10 |
| 2.3 Uitvoering studenten TU Eindhoven.....                           | 10 |
| 2.4 Verwachte resultaat.....   | 10 |
| 3 RESULTATEN EN DISCUSSIE.....                                       | 11 |
| 3.1 Resultaten.....  | 11 |
| 3.2 Discussie.....   | 11 |
| 4 VERVOLGONDERZOEK EN AANBEVELING.....                               | 15 |
| 5 LITERATUUR.....  | 17 |
| BIJLAGE 1: CASESTUDY AUTOMATISCHE GEELZIEK-DETECTIE BIJ HYACINT..... | 19 |
| 1. INTRODUCTIE.....  | 21 |
| 1.1 Geelziek.....  | 21 |
| 1.2 Huidige methode: Ziekzoeken.....                                 | 21 |
| 1.3 Het bewandelde pad.....  | 22 |
| 1.4 Scheiden op kleur of contrast.....                               | 22 |
| 1.5 Scheiden op vorm.....  | 22 |
| 1.6 Scheiden op lokale criteria.....                                 | 22 |
| 2. MATERIAAL & METHODE.....  | 25 |
| 2.1 Materiaal.....   | 25 |
| 2.2 Algoritmes.....  | 25 |
| 2.3 Uitknippen.....  | 25 |
| 2.4 Kleurkanaal kiezen en resolutie verkleinen.....                  | 26 |
| 2.5 Erosie.....  | 26 |
| 2.6 Histogram-equalisatie.....                                       | 26 |
| 2.7 Gradiënt uitrekenen.....   | 27 |
| 2.8 Het maken van de lineplot.....                                   | 27 |
| 2.9 Het uitrekenen van maxima.....                                   | 28 |
| 2.10 Het scheiden van planten in ziek en gezond.....                 | 28 |
| 2.11 Parameter-instellingen.....                                     | 28 |
| 3. RESULTATEN.....   | 29 |
| 4 DISCUSSIE EN CONCLUSIE.....  | 31 |
| Mogelijkheden voor verder onderzoek.....                             | 33 |

5 REFERENTIES..... 35

# Samenvatting

Ziekzoeken (het door experts in het veld visueel laten zoeken naar ziekten en afwijkingen in het gewas) wordt toegepast bij verschillende gewassen. Dit wordt toegepast om vroegtijdig besmettingen van overdraagbare ziekten zoals virus-of bacterieziekten op te sporen en door vernietiging van verdachte planten in te perken.

Dit project is gebaseerd op het project “machinale detectie van het TBV virus in tulp”.

In deze beknopte pilotstudie is gezocht naar de mogelijkheden van opsporing van geelziek-symptomen in hyacint, veroorzaakt door de bacterie *Xanthomonas hyacinthi*. De primaire infectie-symptomen (“spetters”) zijn vastgelegd met camera’s en middels analyse en gebruik van beeldverwerkingstechnieken is nagegaan of automatische opsporing mogelijk is. Er is onderzocht of de symptoomparameters “contrast/kleur en vorm” bruikbaar waren voor een algoritme om een beslissing te kunnen nemen of een symptoom in hyacint door geelziek is veroorzaakt. Vooral contrast verandering is gebruikt als basis voor het opsporen van vlekjes, veroorzaakt door *X. hyacinthi*. Op deze wijze konden zieke planten goed van gezonde planten onder laboratoriumomstandigheden worden onderscheiden. Ook is vastgelegd wat het betekent wanneer de opnames minder scherp zijn, of wanneer de symptomen minder goed zichtbaar zijn.

Uit deze verkenning met een beperkt aantal planten is gebleken dat dit mogelijk is voor een bacterieziekte in hyacint: opsporing van symptomen ( vlekjes) middels de ontwikkelde algoritmen is gerealiseerd. De 17 planten konden onder laboratorium omstandigheden correct in ziek en niet ziek worden ingedeeld, maar de toekomst moet aantonen met welke betrouwbaarheid dit in het veld gerealiseerd kan worden. Hiermee is een stap gezet naar verdere automatisering van ziekzoeken in andere gewassen



# 1 Probleem en doelstelling

## 1.1 Probleem

Ziekzoeken (het door experts in het veld laten zoeken naar symptomen in het gewas) wordt toegepast bij verschillende (bol-) gewassen om vroegtijdig besmettingen op te sporen en door vernietiging in te perken. Dit betreft naast virus in tulp onder andere ook geelziek in hyacint. Dit is een makkelijk verspreidbare bacterieziekte, veroorzaakt door *Xanthomonas hyacinthi*. Geelziek geeft meestal duidelijke symptomen in hyacint: van spetters (eerste symptomen gedurende het groeiseizoen) tot aan zwartrand en vlaggers. Deze laatste zijn symptomen, veroorzaakt door aantasting van de spruit door *X. hyacinthi* in de bol in het groeiseizoen ervoor: zogenaamde secundaire symptomen.

Het ziekzoeken in hyacint vergt deskundigheid en personele inzet. Door de ontwikkeling van de ziektezoekkar in tulp is de mogelijkheid aanwezig om deze innovatie ook te gebruiken in hyacint. Bij goede resultaten met geelziek zijn er in de toekomst bijvoorbeeld misschien zelfs mogelijkheden om *Erwinia*-aantastingen op te sporen.

## 1.2 Doelstelling

De doelstelling van deze oriënterende studie is, om de mogelijkheden te verkennen voor de toepassing van machinale detectie, zoals ontwikkeld voor tulp, voor geelzieksymptomen in hyacint.





## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Aanpak

In 2011 zijn in de kas hyacinten (cv. Carnegie) in kistjes opgeplant. Honderd van deze hyacinten zijn met geelziek besmet via bespuiten van de bladeren met een bufferoplossing met  $10^7$ /ml bacteriën volgens een standaard protocol van PPO BBF. Na bespuiting met bacteriën zijn de planten met plastic gedurende een week afgedekt om een 100% RV te bereiken om de bacteriën via de dan openstaande huidmondjes te laten binnendringen. Na een tweetal weken zijn dan karakteristieke 'spetters' (waterige vlekjes) zichtbaar (Foto 1). Een ander deel van de hyacinten is niet bespoten (controlegroep). Van deze hyacinten zijn opnames gemaakt met het toen in het tulpen project gebruikte vision systeem (zie daarvoor de rapportage TBV tulp virus 2011: PT14025). Deze dataset was dus in 2011 beschikbaar.

In deze oriënterende studie is deze dataset geanalyseerd met de doelstelling: kan geelziek met analyse van de beelden via beeldverwerkingstechnieken worden vastgesteld? De belangrijkste stap bij deze analyse is het beschrijven en maken van de benodigde software voor de symptoomanalyse. Dat is een tijdrovende activiteit die grotendeels door studenten van de TU Eindhoven is uitgevoerd. De begeleiding van deze studenten werd uitgevoerd door Gerrit Polder (WUR-Biometris), die ook participeert in het ziekzoek project tulp.

Het stappenplan op hoofdlijn:

- a. Dataset klaar maken
- b. Ontwikkelen en realiseren software (algoritmen)
- c. Uitvoeren analyse op dataset
- d. Rapportage

Het visonsysteem dat gebruikt is voor de opnames van de hyacinten was dezelfde als die gebruikt voor de analyse van de tulp: kleurencamera's met een sluitertijd van 20 ms.



Foto 1. De geelzieksymptomen zijn als groene, waterige vlekjes op de bladpunten zichtbaar

## 2.2 Opzet experimenten met hyacint, besmet met geelziek

Van cultivar Carnegie zijn 4 x 25 bollen apart in potjes (plastic, 500 ml) opgeplant in de kas onder standaard condities (normaal daglicht, temperatuur 18-24° C) na standaard bewaring bij 17°. Na spreiden van eerste en tweede bladeren zijn 2 x 25 van deze hyacinten met een plantenspuit besmet met *Xanthomonas hyacinthi* (S148,  $1 \times 10^8$ /ml cfu) op 18 maart 2011 en afgedekt met plastic gedurende 5 dagen volgens standaard infectieprotocol (hoge RV bevordert open huidmondjes waardoor de bacterie kan binnendringen). Na 7-10 dagen werden de eerste spetters aan de bladbovenkant van enkele planten zichtbaar (foto 1). Na ruim 14 dagen na inoculatie zijn opnames gemaakt met de zieke robot door de individuele hyacinten onder de camera's te zetten (5-6 april 2011).

## 2.3 Uitvoering studenten TU Eindhoven

Een belangrijke stap in dit consultancy project is de beeldverwerking en het programmeren van de algoritmen. Voor deze stap is samengewerkt met de studenten Jonas Roothans en Jaap Gelderblom van de TU Eindhoven. Het verslag is als bijlage opgenomen in het rapport. Voor een uitvoerige beschrijving van de methode wordt naar de bijlage verwezen. Voor de leesbaarheid van het rapport wordt aanbevolen de bijlage te lezen eerst. De bijlage is het totale rapport van de studenten, op basis waarvan een verkorte versie gemaakt is.

## 2.4 Verwachte resultaat

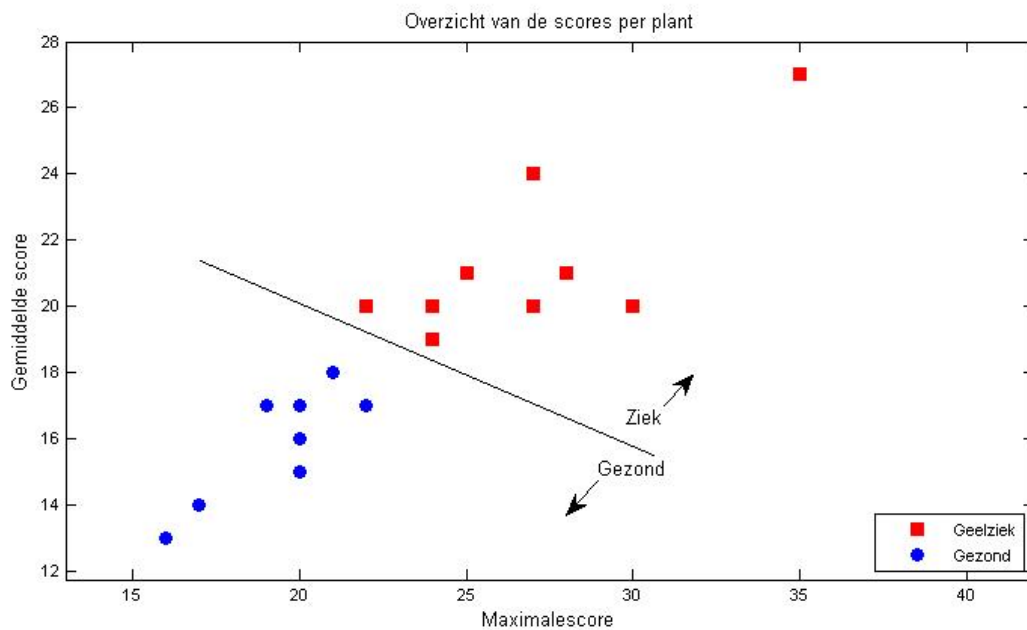
Op basis van de bestaande dataset van hyacinten met geelziek wordt middels de ontwikkelde algoritmen de conclusie geformuleerd of machinale detectie van geelziek in hyacint wel of niet mogelijk is met het visionsysteem van 2011 en welke aanpassingen of vervolgstappen eventueel nog mogelijk zijn. Voor beschrijving van het visionsysteem wordt verwezen naar de rapportages van ziekzoeken in tulp en de rapportage van de studenten.

## 3 Resultaten en discussie

### 3.1 Resultaten

Zoals beschreven in materiaal & methode van bijlage 1 wordt er per afbeelding (aanzicht) één maximale waarde berekend. Die score geeft aan hoeveel lijnen elkaar op het drukste punt overlappen. Een hoge score (25 of hoger) betekent dus dat er op ten minste één plek in de afbeelding veel lijnen overlappen en er dus hoogstwaarschijnlijk een vlekje aanwezig is. Een lagere score (voor gezonde planten gemiddeld rond de 20) betekent dat er in de hele afbeelding niet veel lijnen overlappen, vaak wordt deze score veroorzaakt door de top van de bladeren omdat hier een halve ronde vorm te zien is.

Omdat er per plant 4 aanzichten opgenomen zijn, levert dit dus 4 scores per plant op. Van deze scores kan vervolgens weer de maximale score of het gemiddelde worden genomen. Deze waardes zijn voor een database van 17 planten waarvan bekend is of ze gezond of ziek zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 1.



*Fig. 1. Deze figuur toont dat de gezonde planten (blauw) lager scoren dan de zieke planten (rood) zowel als het gaat om de maximale score van alle afbeeldingen per plant als bij de gemiddelden.*

Bij een scheiding van de planten op gemiddelde score kunnen deze planten perfect van elkaar gescheiden worden (ziek van gezond); dit is dan ook de aanpak die wordt gevolgd. Een scheiding op basis van het maximum alleen zou vals-positieven of vals-negatieven introduceren.

### 3.2 Discussie

De resultaten (figuur 1) suggereren dat het algoritme foutloos ziet of een hyacint gezond dan wel ziek is. In de 17 hyacinten die bekeken zijn was dit inderdaad het geval. Echter, in de praktijk zullen de omstandigheden minder ideaal zijn. Zo zullen er meerdere hyacinten op één foto te zien zijn, waardoor ze mogelijk niet volledig in focus zijn. Ook weersomstandigheden kunnen een rol

spelen, als bijvoorbeeld druppels voor vlekjes worden aangezien. Om dus iets te kunnen zeggen of deze aanpak op het veld succesvol zal zijn, moet dit concept onder natuurlijke omstandigheden getest worden. Verder is de methode geoptimaliseerd voor deze dataset van 17 planten. Een andere testgroep kan andere parameter-instellingen vragen. Dit is een van de eerste stappen die in de toekomst ondernomen zal moeten worden: het testen van het algoritme op andere (en grotere) dataset.

Om in minder ideale omstandigheden toch een plant te kunnen beoordelen moet er een juiste afweging worden gemaakt waar de grens wordt gelegd. Vanaf welke score zijn de hyacinten ziek? Leg je de grens te laag, dan zullen onnodig veel gezonde planten weggegooid worden (vals positief). Leg je de grens te hoog, dan blijven te veel zieke planten staan en treedt er mogelijk kruisinfectie op (vals negatief). Beide gevallen zijn ongunstig en er moet een goede middenweg gevonden worden (figuur 2).

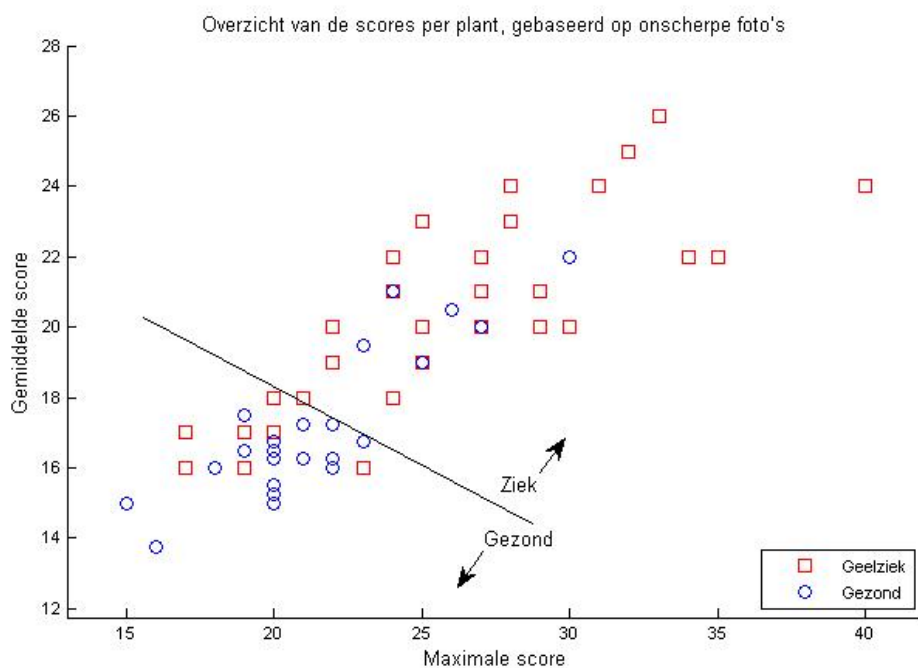


Fig. 2. In deze figuur zijn de resultaten voor de onscherpe foto's te zien.

Gesteld wordt dat *de kans op* vals positieven gelijk moet zijn aan *de kans op* vals negatieven: er mogen dan evenveel gezonde hyacinten weggegooid worden als dat er zieke hyacinten blijven staan. Hierbij wordt aangenomen dat de scores binnen de populatie (ziek of gezond) normaal verdeeld zijn.

Deze grens wordt dus bepaald op een veld waarvan al bekend is wat de staat van de hyacinten is. Als deze grens eenmaal bepaald is kan deze in het vervolg op onbekende velden (hyacinten zonder info over aanwezigheid van geelziek) worden toegepast.

Om dit te testen is het algoritme met identieke instellingen ook toegepast op minder ideale, onscherpe, foto's. In figuur 2 is het resultaat te zien. Planten boven de streep zouden als ziek worden aangezien. Hier zitten echter nog 11 gezonde planten tussen. Hetzelfde geldt voor onder de streep; dit zouden gezonde planten moeten zijn maar er zitten nog 10 zieke planten tussen. In figuur 3, zijn zowel zieke als gezonde planten in één figuur weergegeven. De grens zorgt ervoor dat voor de vals positieve als de vals negatieve ongeveer 20% zijn.

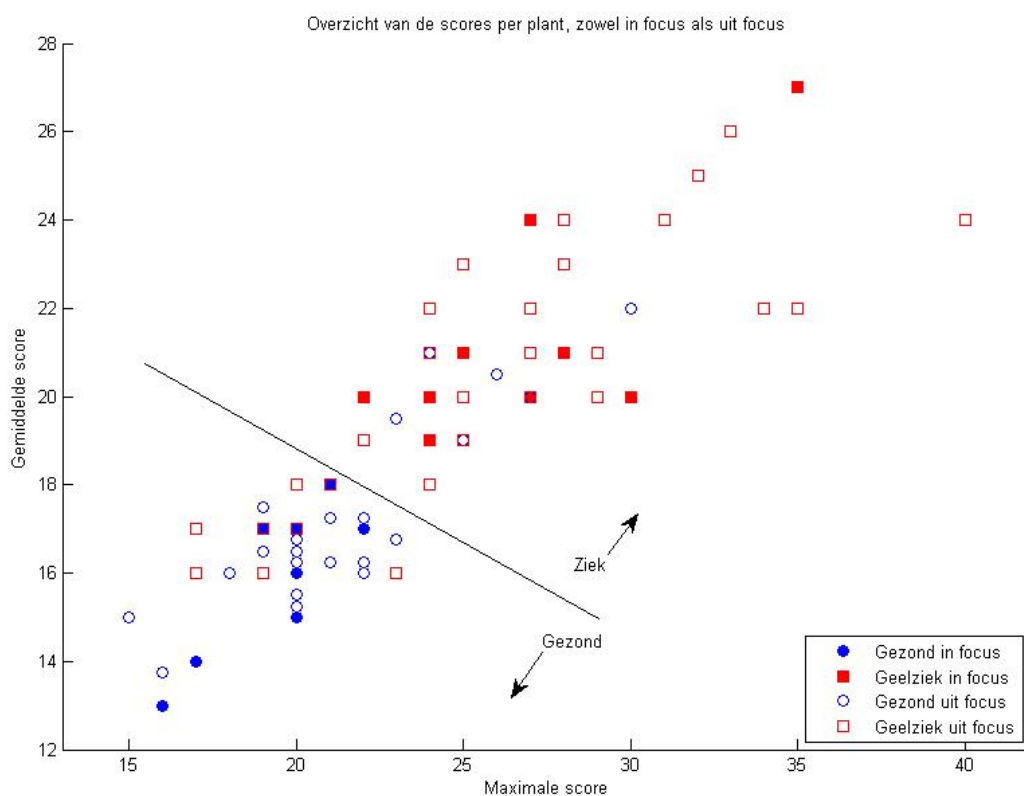


Fig. 3. Deze figuur combineert de figuren 1 en 2, respectievelijk de scherpe ("in focus") en de onscherpe ("uit focus") afbeeldingen.

Een belangrijke vraag is wat voor vlekjes de methode niet kan herkennen. In principe is de straal van de te detecteren vlekjes in te stellen. Met de gekozen instellingen zouden grotere vlekken niet gevonden kunnen worden. Ook plekken waar veel vlekjes geconcentreerd dicht tegen elkaar aan liggen geven problemen. De precieze vorm van het vlekje doet niet ter zake, een vierkant vlekje zou ook worden gevonden.

De rekentijd om tot de score van een hyacint te komen varieert tussen de 1 en 2 minuten, afhankelijk van hoeveel gradiënt-vectoren gebruikt worden. Dit hangt af van de onder- en bovengrens. Voor elke vector die binnen deze grenzen valt wordt het Bresenham-algoritme aangeroepen. Het tekenen van de lijnen met behulp van dit algoritme is dan ook de

snheidsbepalende stap. Het Bresenham lijn algoritme wordt ongeveer 500 keer per plant aangeropen (dat is dus ongeveer 2000 keer per plant) en behelst ongeveer 90% van de totale rekenduur. Door deze berekeningen efficiënter uit te voeren moet de totale rekentijd aanzienlijk te reduceren zijn. Het gebruiken van simpelere lijn-algoritmes of het reduceren van het aantal gradiënt-vectoren waarvoor dit algoritme aangeropen moet worden zijn manieren om dit te bewerkstelligen. Ook kan het gebruik van een andere programmeertaal zoals C++ in plaats van Matlab aanzienlijke tijdwinst opleveren.

## 4 Vervolgonderzoek en aanbeveling

Uit de analyse is gebleken dat geelziek, zoals aanwezig in de aangeleverde planten (en beelden) met het visionsysteem is op te sporen. Alleen kleine ronde spotjes worden gevonden. Als de vlekjes groter worden, met name als ze in elkaar overlopen worden ze niet gevonden. Dat kan echter nog verbeterd worden.

In dit project is vooral gekeken naar spetters; deze kunnen dus mogelijk opgespoord worden.

De kwekers gaven aan dat ziekzoeken in hyacint eenvoudiger te mechaniseren is dan ziekzoeken in tulp. Viruszieke tulpen dienen direct door de ziekzoekkar verwijderd te worden. Bij hyacint is het voldoende wanneer de robot de positie van de zieke hyacinten in het veld opslaat. De teler kan dan op een later moment naar de bewuste plek in het veld lopen en de planten met geelziek verwijderen. Hierover verschillen de meningen echter.

Normaal gesproken wil je direct de planten vernietigen en gebeurt dit ook door de planten uit te trekken en af te voeren dan wel dood te spuiten met zoutzuur of veel formaline. Als het droog weer is zou je niet direct verspreiding krijgen, maar bij regen en wind (en dieren die door het natte veld lopen) krijg je direct kans op verspreiding van de geelziekbacterie. In feite is verspreiding waarschijnlijk al opgetreden en daarom worden ook altijd een aantal omstanders (planten rondom de plant met symptomen) uitgetrokken. Hierbij houden de kwekers rekening met de omstandigheden (windrichting, vochtig en warm weer) en de mate van aantasting. Dus: komt de wind uit het westen dan zal de verspreiding dus richting oosten gaan en worden dus meer “gezonde” planten aan de oostkant vernietigd. In feite kan men beter een vals positieve vernietigen dan een zieke onterecht laten staan. Dit hangt echter ook van de omstandigheden en de capaciteit af. Momenteel wordt er 1x per week gelopen. Men zal minder vaak ziekzoeken bij gunstig weer, bij minder gevoelige cultivars en goed heet gestookte partijen en partijen waarvan met “zeker” weet dat er niets in kan zitten vanuit informatie uit voorgaande jaar /jaren). Bij aantasting kan het ziekzoeken oplopen tot eenmaal daags!

Je zou kunnen zeggen dat de machine de verdachte planten aangeeft en de ervaren ziekzoeker dan alleen die plaatsen nauwkeurig bekijkt en dan ter plekke beslist of het geelziek is en hoeveel hij vernietigt. In dat geval zou je de machine dus “krapper” afstellen. Blijft wel nog het punt dat de symptomen verschillende zijn afhankelijk van de besmettingsbron en tijd van het jaar. Een vroege besmetting in februari uit oude geelzieke planten kunnen een besmetting veroorzaken en dan kan het( afhankelijk van de heersende temperatuur) nog wel 1 of 2 maanden duren voordat symptomen zoals de spetters zichtbaar zijn. Een besmetting in mei bij hoge temperatuur kan na 10 dagen zichtbaar worden

Uit de resultaten blijkt dat dit concept potentie biedt om in de nabije toekomst het ziekzoeken in hyacint te automatiseren. Verdere aanpassingen en verbeteringen zijn mogelijk. De dataset aan zieke planten was echter beperkt.

Ondanks dat het algoritme geschreven is met als doel vlekjes te vinden, is het ook voor andere doeleinden te gebruiken waar ronde vormen gedetecteerd moeten worden. Er kunnen bijvoorbeeld met andere, meer specifieke, instellingen andere symptomen (vlaggers) gevonden worden in plaats van vlekjes.





## 5 Literatuur

### **Rapporten (tijdsvolgorde)**

Van der Heijden, Gerie; Gerrit Polder, Henk Jalink en Jan Snel (2008). Inventarisatie mogelijkheden voor automatische non-destructieve detectie van tulpmozaiekvirus. PRI Rapport 140208.

Van Doorn J., T. Baltissen, R. Schreuder, G. Polder, R. van der Schoor en G. van der Heijden (2008). Haalbaarheidsstudie automatisch ziekzoeken in tulp. PPO eindrapportage (PT12997).

Van Doorn, J., G. Polder, G. van der Heijden en T. Baltissen (2010). Praktijkproef ziekzoeken, geautomatiseerde (machinale) detectie van tulpenvirus in het open veld 2009. PT rapport 13638.

Van Doorn, J., G. Polder, G. van der Heijden en T. Baltissen (2011). Geautomatiseerde (machinale) detectie van TBV in tulp: resultaten 2010. Vervolg praktijkonderzoek ziekzoeken. PT rapport 14025.

### **Wetenschappelijk artikel**

Polder G, , G. W. A. M. van der Heijden, J. van Doorn, J. G. P. W. Clevers, R. van der Schoor, and A. H. M. C. Baltissen. 2010. Detection of the tulip breaking virus (TBV) in tulips using optical sensors. Precision Agric. 11: 397-412.

Doorn, J. van. 2002. Type IV fimbriae of *Xanthomonas hyacinthi*: characterization and application for the detection of yellow disease in hyacinths. Dissertation, Amsterdam, Vrije Universiteit.



## Bijlage 1: casestudy automatische geelziek-detectie bij hyacint

# Automatische Geelziek-detectie bij hyacinten

---

*Casestudy in opdracht van Gerrit Polder*

*Biometris, Wageningen UR*

*15-03-2012*

*Jonas Roothans  
Jaap Gelderblom*

**Samenvatting:** De hyacint is een bijzonder kwetsbare bloembol. Voor een goede teelt worden aanzienlijke eisen gesteld aan de grond, het klimaat en de bewaaraccomodatatie [2]. Nederland is het enige land waar de hyacint echt goed kan groeien. Ook kan de bol slechts één maal in de vijf jaar op hetzelfde stuk grond geteeld worden. De plant wordt dan ook nog eens geplaagd door ziektes die er voor zorgen dat vele bollen verloren gaan, een enorm gemis aan opbrengst voor de teler. Één van deze ziektes waar de hyacint mee kampt, is geelziek. De vroege symptomen van de ziekte in het gewas zijn donkere vlekjes. Deze ziekte wordt veroorzaakt door een bacterie: *Xanthomonas hyacinthi*, die door huidmondjes kan binnendringen en vervolgens de bol kan aantasten. Hier is deze aantasting te zien bij doorsnijden als gele rotting: geelziek! Worden de zieke planten niet vroeg weggehaald dan besmetten ze de gezonde via regen, wind en dieren. Daarom is de huidige aanpak dat ziekzoekers de zieke planten in het veld opzoeken en deze samen met een aantal op het oog gezonde omstanders, welke mogelijk wel al zijn besmet, vernietigen. Omdat de symptomen klein zijn en dit zeer regelmatig op het veld moet gebeuren is dit een enorme klus. De enige bestrijding is nu een warmte behandeling van de bollen tijdens de bewaring die veel energie kost en voor de bol veel risico's op schade geeft. In dit verslag presenteren wij een nieuw concept om het ziekzoeken te vergemakkelijken.

Een kar met camera rijdt over het veld en maakt foto's van de planten [1]. Vervolgens scheidt een detectie-algoritme de zieke van de gezonde planten door de donkere vlekjes op de bladeren van de plant te vinden. De methode op basis van beeldanalyse kan als opstap dienen voor een automatische geelziek-detectie.

# 1. Introductie

Nederland is met 80% van de wereldhandel in bloembollen een belangrijk centrum van de hyacintenteelt [2]. De kwetsbaarheid van de hyacinten vraagt om innovaties. In dit verslag beschrijven wij een concept om automatisch en vroegtijdig de geelziekte, de grootste bedreiging voor de hyacinten, op te sporen.

## 1.1 Geelziek

Het begint met kleine donkere vlekjes (zie figuur 4) op de bladeren en in een later stadium gele strepen, figuur 1. Vervolgens worden de bladeren bruin en sterven ze af. De bacterieziekte die bij hyacinten en enkele andere bolgewassen voorkomt heet *Xanthomonas hyacinthi*, of in het Nederlands geelziek.

Als er niets aan gedaan wordt kan het zich door middel van regen, wind, of bewerkingen verspreiden over het veld. Om dit te voorkomen worden de bollen voor het planten tijdens de bewaring "heetgestookt" (een warmte behandeling van enkele weken) om veel tot alle bacteriën te doden, maar hierna blijft het zogenaamde "ziekzoeken" op het veld met enige regelmaat noodzakelijk om vroegtijdig de ziekte op te sporen.

## 1.2 Huidige methode: Ziekzoeken

Op dit moment wordt het veld betreden door specialisten die de planten screenen op ziektes. Dit vergt veel tijd en ervaring. Maar omdat de vlekjes in een vroeg stadium lastig te zien kunnen zijn zullen niet alle zieke planten herkend worden. En andersom, gezonde planten kunnen voor ziek aangezien worden.

Dit vraagt om verbetering; een automatisering. Een automatische herkenning of de plant wel of niet ziek is aan de hand van foto's. Dit zal sneller gaan en daarmee de kosten drukken. Bovendien zal

vermoeidheid geen rol spelen en kan er gerekend worden op een constante goede prestatie.

Uiteindelijk is de mens onvervangbaar, maar in dit verslag zullen we na verschillende paden die we genomen hebben op zoek naar een geschikte aanpak van dit probleem, een methode beschrijven waarbij de computer aan de hand van enkele foto's een juiste uitspraak kan doen of de foto's van een gezonde of zieke plant zijn.



*Fig. 1. Geelziekte in een gevorderd stadium.*

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR

### 1.3 Het bewandelde pad

Voordat je een computer kan vertellen hoe deze vlekjes moet herkennen is het belangrijk eerst na te gaan waarom wij dat vlekje herkennen. Het vlekje is donkerder dan zijn omgeving en is vaak rond of elliptisch van vorm.

### 1.4 Scheiden op kleur of contrast

*Scheiden op kleur of contrast* is vanzelfsprekend de eerste stap. Ondanks dat de ziekte geelziek heet, is er in een vroeg stadium nog geen geel te zien. De vlekjes hebben dezelfde kleur groen als het blad, alleen donkerder, vergelijkbaar met de schaduw. Dat is meteen ook het probleem van deze methode, het is niet selectief genoeg.

### 1.5 Scheiden op vorm

Een logische volgende stap is te kijken naar de vorm van de vlekjes. Dit kan met *edge detection*, figuur 2. Door verschillende soorten beeld-afgeleiden te nemen zijn de contouren in een afbeelding te vinden. Bij een grote overgang van contrast is er een duidelijke lijn te zien. Er is een duidelijke contour te zien aan de randen van de bladeren, vervolgens de randen om de vlekjes en kort daarna komen de nerven. Een probleem hier is dat de bladranden het duidelijkst zijn, de vlekjes hebben veel minder contrastverschillen.

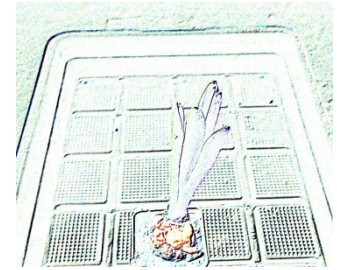


Fig. 2. Edge detection

*Blob detection*, een verzamelnaam voor methodes waarbij ronde vormen worden herkend, werd gebruikt om op zowel kleur als vorm onderscheid te maken. Hiervoor hebben we zowel de *Hough transform* als de *Hit-or-miss transform* toegepast op gesegmenteerde beelden. Beide methoden zijn erg tijdrovend omdat ze over de hele afbeelding wiskundige bewerkingen uitvoeren. Bovendien zoeken ze allebei naar exact gedefinieerde vormen. En zullen ze meer elliptische of over elkaar vallende cirkels minder goed herkennen, anders gevormde vlekjes zullen dus onopgemerkt blijven. Dus ook deze methodes voldeden niet aan de eisen.[3]

Wat onderscheidt ons visuele systeem van bovenstaande systemen?

Waarom verwarren wij een vlekje niet met een schaduw of een bladnerf? Dat komt omdat wij een afbeelding niet globaal, zoals de computer, maar lokaal bekijken. In andere woorden; we zien niet de werkelijke kleur, maar we vergelijken het met de omgeving. Een voorbeeld is figuur 3. Deze afbeelding laat zien hoe eenvoudig wij een donker vlekje van een schaduw onderscheiden, ondanks dat de kleuren exact hetzelfde zijn.

Conclusie, we moeten de computer *lokaal* laten kijken.

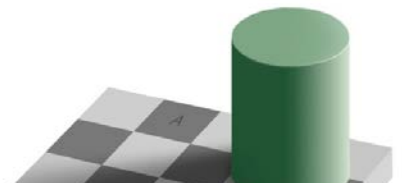


Fig. 3. De kleur van vakje A is in werkelijkheid hetzelfde als van vakje B. Toch lijkt vakje A donkerder, omdat de omgeving lichter is.

### 1.6 Scheiden op lokale criteria

*Entropie*, of eenvoudiger, chaos, was de volgende aanpak. Uit de grote afbeelding namen we een kleine selectie. Dit venster schuif je steeds een stapje op, uiteindelijk over de hele afbeelding heen. Op zo'n selectie pasten we een drempelwaarde toe. Lichte pixels worden wit en donkere pixels worden zwart. Zo houd je een afbeelding met alleen wit of zwart over. Als er in de selectie geen vlekje te zien was, en er dus geen duidelijk verschil tussen lichte en donkere pixels was, zal er na de drempeling een afbeelding met veel ruis ontstaan. Veel ruis, is veel chaos, en dus een hogere entropie. Als er in de selectie een vlekje te zien was, zouden de pixels in het vlekje overwegend zwart worden en daarbuiten overwegend wit. Minder chaos, dus een lagere entropie. Een vlekje geeft een lage entropie. Helaas, betekent een lage entropie niet altijd dat er een vlekje is. Een duidelijke schaduw geeft bijvoorbeeld ook een lage entropie.

Uiteindelijk hebben we een methode bedacht die alle genoemde eigenschappen van een vlekje gebruikt. Een lokaal contrast verschil zorgt ervoor dat vlekjes, ongeacht de exacte vorm, herkend worden. De methode

zal in materiaal & methode in detail besproken worden.





## 2. Materiaal & Methode

### 2.1 Materiaal

Uitgangspunt voor onze methode zijn beelden van zieke en gezonde hyacinten gemaakt met een Prosilica GC-2450 machine vision camera, belicht met hoogfrequente TL-verlichting met een kleur temperatuur van 6500K (daglicht). De beelden hebben een resolutie van 2448 bij 2050 pixels (5 Mpixels), een kleurdiepte van 8 bit en ze hebben een tiff-extensie. Er werden vier aanzichten per plant opgenomen vanuit 4 verschillende richtingen, elk onder een hoek van 45 graden met de plant. Voor analyse van de beelden gebruikten we het software-pakket Matlab (The Mathworks Inc. 2010b), en de Dipimage toolbox 2.3 (Quantitative Imaging Group, Delft University of Technology).

### 2.2 Algoritmes

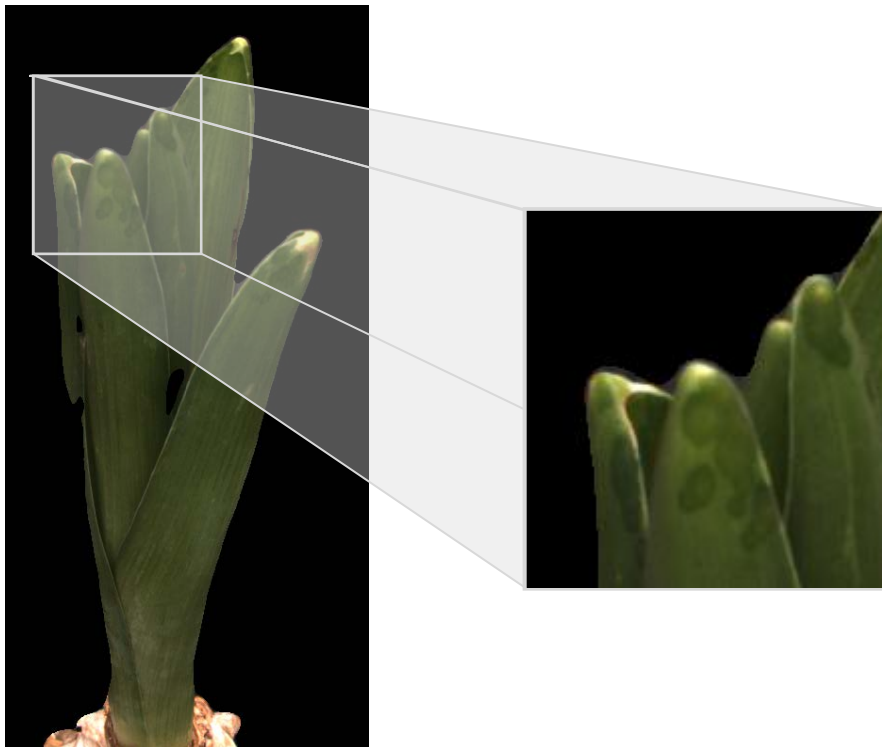
Onze methode bestaat uit een aantal stappen: uitknippen, kleurkanaal kiezen, resolutie verkleinen, erosie, histogram equalisatie, gradiënt uitrekenen, het maken van de "lineplot", het uitrekenen van maxima.



*Fig. 4. Originele foto van een zieke plant.*

### 2.3 Uitknippen

De eerste stap is het uitknippen van de plant uit de foto, figuur 5. Analyse van de kleurkanalen (RGB: rood groen blauw) van de foto leert ons dat de rode en blauwe kanalen zowel in de plant als in de achtergrond in gelijke mate aanwezig zijn, terwijl het groene kanaal vooral in de plant aanwezig is. Door het blauwe kanaal van het groene kanaal af te trekken, krijgen we een grijswaarden-beeld dat op basis van het histogram eenvoudig te scheiden is in voorgrond (plant) en achtergrond.



*Fig. 5. De plant is uitgeknipt: de achtergrond is helemaal zwart gemaakt.*

## 2.4 Kleurkanaal kiezen en resolutie verkleinen

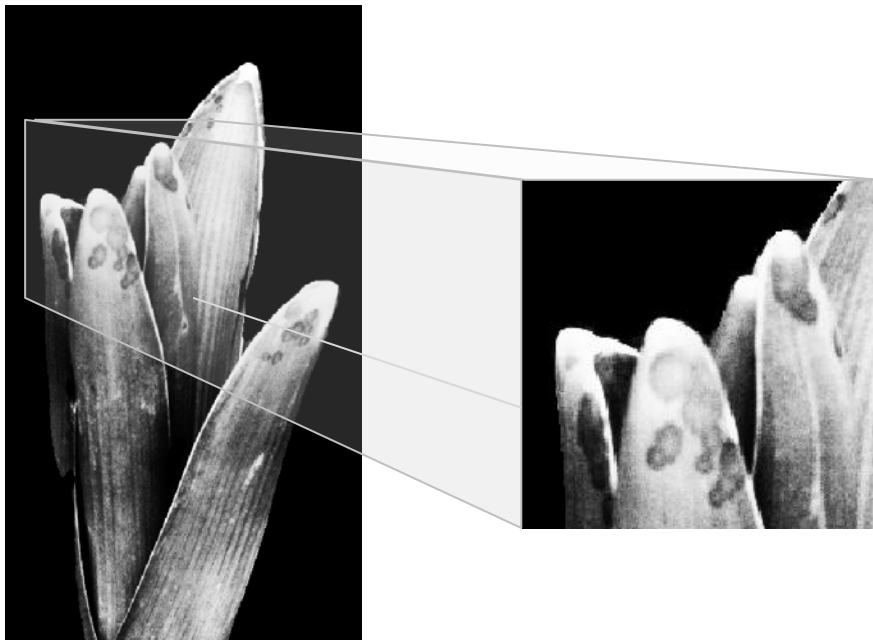
In de tweede stap selecteren we eenvoudig het groene kanaal voor verdere analyse, de twee andere kanalen laten we vanaf nu buiten beschouwing. Berekeningen worden eenvoudiger en vooral sneller, dat dit van belang is als een heel bollenveld moet worden geanalyseerd behoeft geen verdere uitleg. De derde stap, het verkleinen van de resolutie tot 38 % van de oorspronkelijke afbeelding wordt gedaan om dezelfde redenen. We doen deze "informatie verkleinende" stappen bewust, en testen daarmee in feite de robuustheid van onze werkwijze.

## 2.5 Erosie

De vierde stap is een erosiestap, er wordt een klein randje van de plant afgehaald. Dit omdat met het uitknippen er nog een randje achtergrond aan de plant vastzit.

## 2.6 Histogram-equalisatie

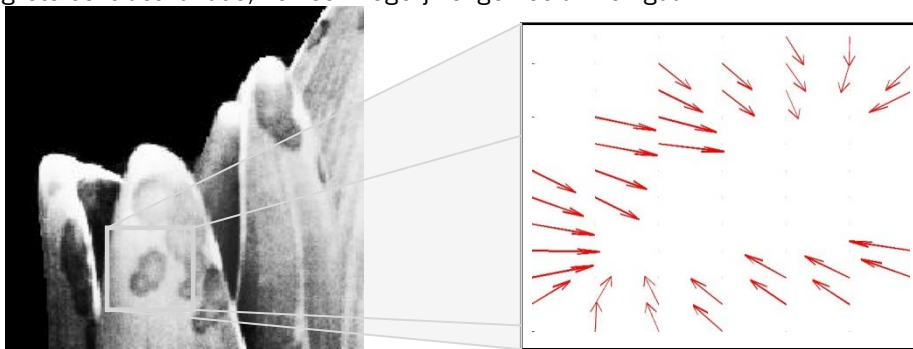
Om lokaal het contrast te vergroten, en hopende hiermee de vlekjes beter onderscheidbaar te maken, wordt histogram-equalisatie toegepast, volgens een standaard algoritme gebaseerd op de cumulatieve verdelingsfunctie van het histogram van de afbeelding. Zie figuur 6.



*Fig. 6. Het plaatje na equalisatie, de vlekjes worden duidelijker onderscheidbaar. Omdat enkel het groene kleurkanaal is gekozen werken we dus met een grijswaarden-plaatje.*

## 2.7 Gradiënt uitrekenen

In de volgende stap wordt van dit plaatje de gradiënt uitgerekend, dit is een vector-afbeelding. De richting van de vector in elke pixel geeft de richting van grootste verandering in contrast weer. De lengte van de vector zegt iets over hoe groot het verschil in contrast is. We selecteren vervolgens die pixels in de afbeelding met een vectorlengte tussen een onderste en een bovenste drempelwaarde (zie tabel 1, parameter-instellingen). De onderste drempel garandeert dat we slechts pixels pakken waar lokaal het contrast genoeg varieert, en de bovenste drempel zorgt er voor dat pixels met te veel contrastverandering niet worden geselecteerd. Zo filteren we in principe vooral de vlekjes er uit, en laten we de bladranden, met grote contrast-variatie, zo veel mogelijk ongemoeid. Zie figuur 7.



*Fig. 7. Het gradiëntveld van de plant ingezoomd op een vlekje, waarbij al gefilterd is op vectorlengte.*

## 2.8 Het maken van de lineplot

De essentie van onze methode is dat we lijnen in de richting van de gradiënt trekken. De lijnen hebben een eindige lengte van 10 pixels. Deze lijnen snijden elkaar, in het geval van een rond vlekje, in het centrum, figuur 8. Als twee lijnen elkaar snijden krijgt het snijpunt de waarde 2, bij drie lijnen 3, en zo verder. Om dit duidelijk weer te geven, krijgen de waardes een kleur toegekend. Het algoritme waarmee de lijnen gemaakt worden is het Bresenham-algoritme [4].

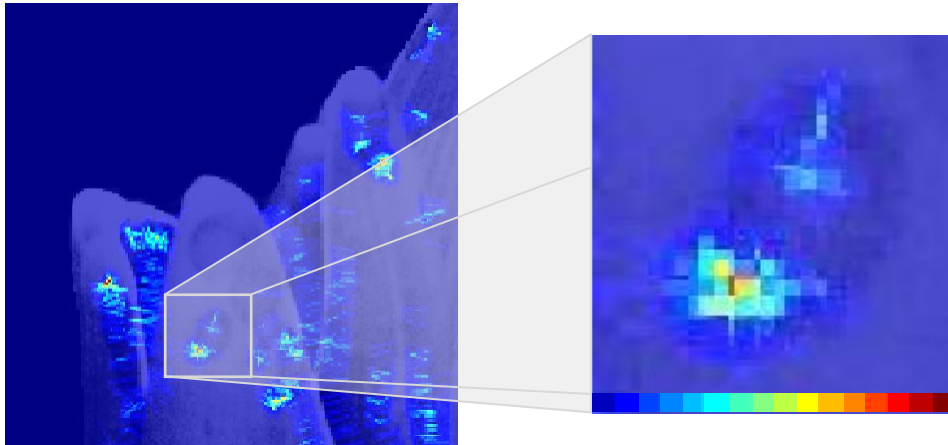


Fig. 8. Het "lineplot" plaatje, de vlekjes zijn als geelrode stipjes te zien, dit zijn de kruispunten van de blauwe lijnen. Het originele plaatje is op de achtergrond zichtbaar gemaakt.

## 2.9 Het uitrekenen van maxima

Zoende krijgt een kern van een vlekje in een snijpunt van lijnen een hoge waarde. We bepalen vervolgens de maximale waarde per plaatje. Deze waarde is dus ideaal hoog voor plaatjes van zieke planten, en relatief laag voor plaatjes van gezonde planten. We noemen deze waarden: scores.

## 2.10 Het scheiden van planten in ziek en gezond

We bepalen nu van deze maximale waarden, voor de vier aanzichten, de gemiddelde maximale waarde. Vervolgens scheiden we de zieke en gezonde planten op basis van een drempelwaarde. De drempel wordt zodanig gekozen dat het aantal vals-positieven even groot is als het aantal vals-negatieven. Er zijn met het lijnen-plaatje meerdere manieren om ziek en gezond te scheiden, waarom we voor maxima, 1 waarde per plaatje, kiezen, en niet eventuele andere keuzes komt aan bod in de discussie. We noemen deze maxima scores.

## 2.11 Parameter-instellingen

Het algoritme is geoptimaliseerd voor een dataset van 17 planten, dat levert de parameter-instellingen op zoals in tabel 1. Enkel de parameter *Sigma* heeft nog enige uitleg. Dit is de standaard deviatie van de normale verdeling die met het berekenen van de gradiënt nodig is (meer precies: voor "regularisatie" van de methode om met discrete beelden en diens afgeleiden om te gaan).

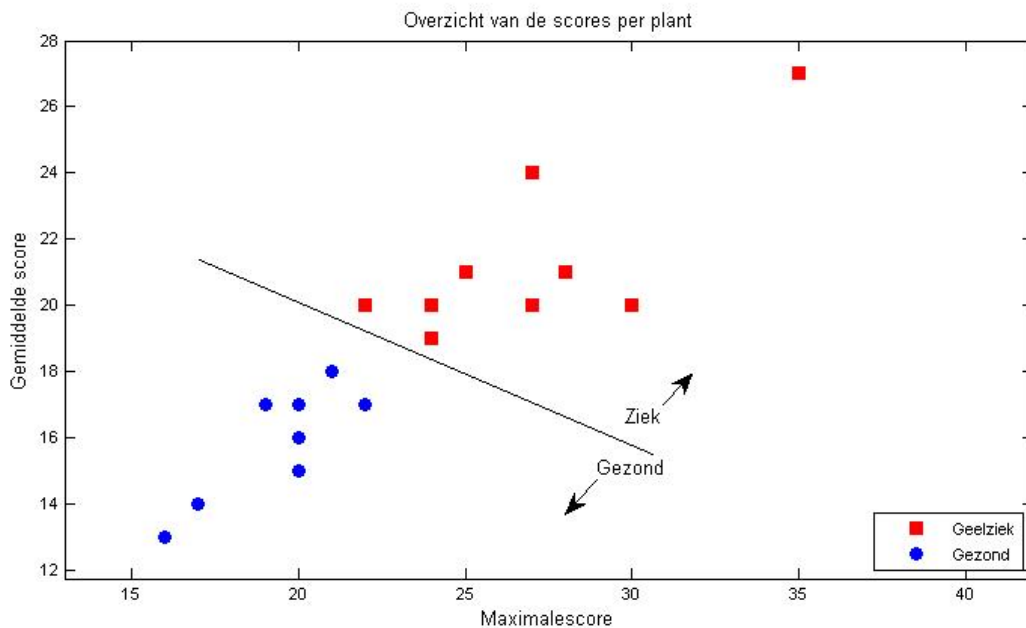
Tabel 1. Parameter instellingen.

|             |           |
|-------------|-----------|
| Ondergrens  | 20        |
| Bovengrens  | 40        |
| Verkleining | 38 %      |
| Lengte      | 10 pixels |
| Sigma       | 1         |

### 3. Resultaten

Zoals beschreven in materiaal & methode wordt er per afbeelding (aanzicht) één maximale waarde berekend. Die score geeft aan hoeveel lijnen elkaar op het drukste punt overlappen. Een hoge score (25 of hoger) betekent dus dat er op ten minste één plek in de afbeelding veel lijnen overlappen en er dus hoogstwaarschijnlijk een vlekje aanwezig is. Een lagere score (voor gezonde planten gemiddeld rond de 20) betekent dat er in de hele afbeelding niet veel lijnen overlappen, vaak wordt deze score veroorzaakt door de top van de bladeren omdat hier een halve ronde vorm te zien is.

Omdat er per plant 4 aanzichten opgenomen zijn, levert dit dus 4 scores per plant op. Van deze scores kan vervolgens weer de maximale score of het gemiddelde worden genomen. Deze waarden zijn voor een database van 17 planten waarvan bekend is of ze gezond of ziek zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 9.



*Fig. 9. In deze figuur zie je dat de gezonde planten (blauw) lager scores dan de zieke planten (rood) zowel als het gaat om de maximale score van alle afbeeldingen per plant als bij de gemiddelden.*

Bij een scheiding van de planten op gemiddelde score kunnen deze planten perfect gescheiden worden, dit is dan ook de aanpak die we volgen. Een scheiding op basis van het maximum alleen zou vals-positieven of vals-negatieven introduceren.



## 4 Discussie en conclusie

De resultaten (figuur 9) suggereren dat het algoritme foutloos ziet of een hyacint gezond dan wel ziek is. In de 17 hyacinten die bekeken zijn was dit inderdaad het geval. Echter, in de praktijk zullen de omstandigheden minder ideaal zijn. Zo zullen er meerdere hyacinten op één foto te zien zijn, waardoor ze mogelijk niet volledig in focus zijn. Ook weersomstandigheden kunnen een rol spelen, als bijvoorbeeld druppels voor vlekjes worden aangezien. Om dus iets te kunnen zeggen of deze aanpak op het veld succesvol zal zijn, moet dit concept onder natuurlijke omstandigheden getest worden. Verder is de methode geoptimaliseerd voor deze dataset van 17 planten. Een andere testgroep kan andere parameter-instellingen (zie tabel 1, materiaal & methode) vragen. Dit is een van de eerste stappen die in de toekomst ondernomen zal moeten worden: het testen van het algoritme op andere (en grotere) datasets.

Om in minder ideale omstandigheden toch een plant te kunnen beoordelen moet er een juiste afweging worden gemaakt waar de grens wordt gelegd. Vanaf welke score zijn de hyacinten ziek?

Leg je de grens te laag, dan zullen onnodig veel gezonde planten weggegooid worden (vals positief). Leg je de grens te hoog, dan blijven te veel zieke planten staan en treedt er mogelijk kruisinfectie op (vals negatief). Beide gevallen zijn ongunstig en er moet een goede middenweg gevonden worden. (figuur 10)

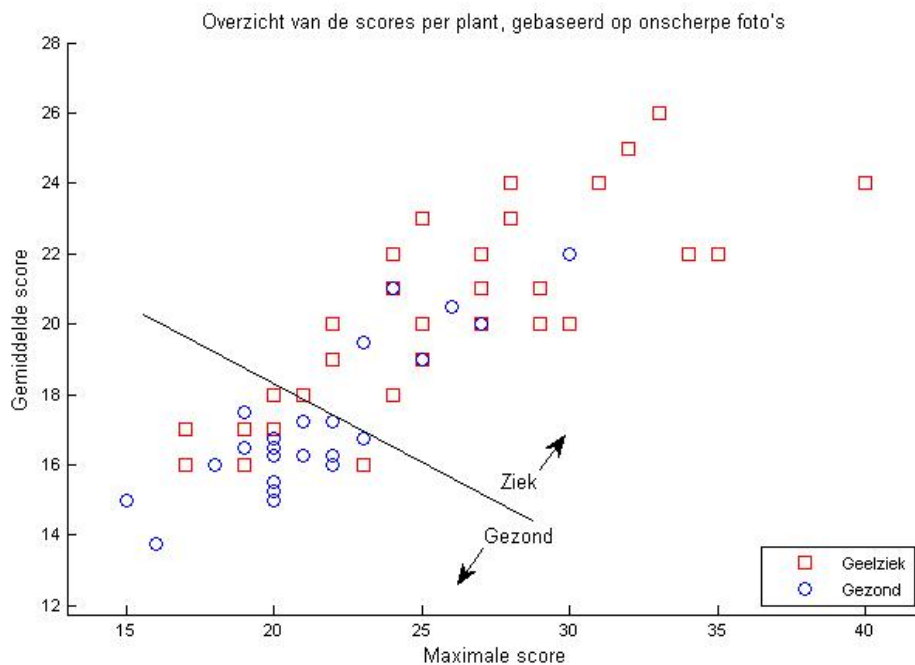


Fig. 10. In deze figuur zijn de resultaten voor de onscherpe foto's te zien.

We stellen dat *de kans op vals positieven* gelijk moet zijn aan *de kans op vals negatieven*, oftewel, er mogen evenveel gezonde hyacinten weggegooid worden als dat er zieke hyacinten blijven staan. Hierbij wordt aangenomen dat de scores binnen de populatie (ziek of gezond) normaal verdeeld zijn. Deze grens wordt dus bepaald op een veld waarvan al bekend is wat de staat van de hyacinten is. Als deze grens eenmaal bepaald is kan deze in het vervolg op onbekende velden worden toegepast.

Om dit te testen hebben we het algoritme met identieke instellingen ook toegepast op minder ideale, onscherpe, foto's. In figuur 10 is het resultaat te zien. Planten boven de streep zouden als ziek worden aangezien. Hier zitten echter nog 11 gezonde planten tussen. Hetzelfde geldt voor onder de streep; dit zouden gezonde planten moeten zijn maar er zitten nog 10 zieke planten tussen.

In figuur 11, zijn zowel zieke als gezonde planten in één figuur weergegeven. De grens zorgt ervoor dat voor de false positive als de false negative ongeveer 20% zijn.

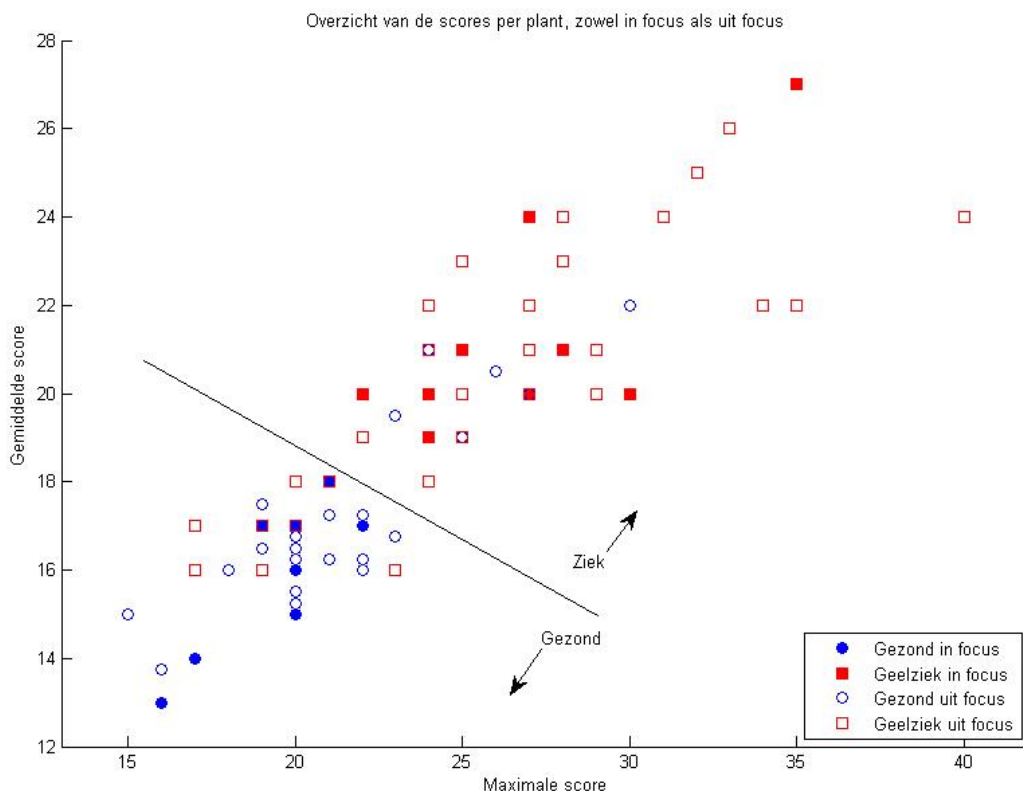


Fig. 11. Deze figuur combineert de figuren 9 en 10, respectievelijk de scherpe ("in focus") en de onscherpe ("uit focus") afbeeldingen.

Een belangrijke vraag is wat voor vlekjes de methode niet kan herkennen. In principe is de straal van de te detecteren vlekjes in te stellen. Met onze instellingen zouden grotere vlekken niet gevonden kunnen worden. Ook plekken waar veel vlekjes geconcentreerd dicht tegen elkaar aan liggen geven problemen. De precieze vorm van het vlekje doet niet ter zake, een vierkant vlekje zou ook worden gevonden.

De rekentijd om tot de score van een hyacint te komen varieert tussen de 1 en 2 minuten \*, afhankelijk van hoeveel gradiënt-vectoren gebruikt worden, dit hangt af van de onder- en bovengrens (zie tabel 1, parameter-instellingen). Voor elke vector die binnen deze grenzen valt wordt het Bresenham-algoritme aangeroepen. Het tekenen van de lijnen met behulp van dit algoritme is dan ook de snelheidsbepalende stap. Het Bresenham lijn algoritme wordt ongeveer 500 keer per plant aangeroepen, dat is dus ongeveer 2000 keer per plant, en behelst ongeveer 90% van de totale rekentijd. Door deze berekeningen efficiënter uit te voeren moet de totale rekentijd aanzienlijk te reduceren zijn. Het gebruiken van simpelere lijn-algoritmes of het reduceren van het aantal gradiënt-vectoren waarvoor dit algoritme aangeroepen moet worden zijn manieren om dit te bewerkstelligen. Ook kan het gebruik van een andere programmeertaal



zoals C++ in plaats van Matlab aanzienlijke tijdwinst opleveren.

*\*Merk hierbij op dat de berekeningen op een laptop zijn uitgevoerd.*

### Mogelijkheden voor verder onderzoek

Uit de resultaten blijkt dat dit concept potentie biedt om in de nabije toekomst het ziekzoeken in Hyacint te automatiseren. Maar hierbij is nog veel ruimte aanwezig voor aanpassingen en verbeteringen.

Zo zijn er in het concept instellingen gekozen die op dit moment voldoen, maar mogelijk kunnen deze nog beter worden afgesteld. Dat zijn instellingen die bepalen hoe groot de karakteristieke straal is van een vlekje. Of hoe groot het contrastverschil moet zijn, en hoeveel detail er moet worden meegenomen.

Vervolgens is er de keuze gemaakt om uit de *lineplot* alleen de maximale waarde te gebruiken. Hier is voor gekozen omdat dit een eenvoudige bewerking is, die snel uitgevoerd kan worden. Bovendien is een plant waar ook maar één vlekje in zit al ziek. Het stukje in de afbeelding wat het meeste lijkt op een vlekje zal de maximale waarde bepalen. Om het programma robuuster te maken kan er ook voor worden gekozen om meer informatie uit de afbeelding te halen en op complexere wijze een score te berekenen.

Ondanks dat het algoritme geschreven is met als doel vlekjes te vinden, is het ook voor andere doeleinden te gebruiken waar ronde vormen gedetecteerd moeten worden. Er kunnen bijvoorbeeld met andere, meer specifieke, instellingen toppen gevonden worden in plaats van vlekjes. Hierbij is de karakteristieke lengte en het bereik van het contrastverschil groter.



## 5 Referenties

- [1] Polder, G. *et al.* Detection of the tulip breaking virus (TBV) in tulips using optical sensors. *Precision Agric* **11**, 397–412 (2010).
- [2] Verlaan, WJ *et al.* Quick-scan naar ruimtelijk-economische dynamiek in de tuinbouwsector “..” – 99092833 – Looff/KW. [08/2009].
- [3] Extra informatie over [Hough transform](#), [hit-or-miss transform](#) of [gradiënten](#) van afbeeldingen is eenvoudig via deze links op Wikipedia te vinden.
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Bresenham's\\_line\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Bresenham's_line_algorithm)