



Verkennend onderzoek vroege detectie kiepers in tulp

Onderzoek naar de potentie van hyperspectrale-cameratechniek bij de broei van tulpen

Sjoerd van Vilsteren



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Referaat

Dit onderzoek verkent de praktische toepasbaarheid van spectrale cameratechniek voor vroege detectie van kiepers in de tulpenbroeierij. Kiepers zijn tulpen die door calciumtekort onvoldoende stevigheid ontwikkelen in de stelen en bladeren en daardoor omkiepen. Hoewel adequaat ventileren dit significante probleem voorkomt, kost dit veel energie. Middels literatuurstudie en expertinterviews is onderzocht in hoeverre spectrale cameratechniek, waarmee kiepers 4 dagen eerder gedetecteerd kunnen worden dan met het blote oog, praktisch implementeerbaar is. De sector toont interesse in de technologie mits deze praktisch implementeerbaar is en wanneer de energiebesparing opweegt tegen de investering. Voor succesvolle implementatie moet het systeem integreerbaar zijn in bestaande processen, robuust zijn in het kasklimaat en flexibel toepasbaar zijn in verschillende teeltsystemen. Economische analyse wijst uit dat de geschatte energiebesparing van 5-10% alleen onvoldoende is om de investering van ~€24.000 terug te verdienen. De waarde zit vooral in het voorkomen van uitval door kiepers. Met name Vis-NIR camera's (470-900 nm) blijken technisch geschikt. Verdere validatie is nodig met grotere datasets, testen onder verschillende teeltomstandigheden en onderzoek naar de effectiviteit van tijdig ingrijpen na detectie.

Abstract

This research explores the practical applicability of spectral camera technology for early detection of tipping tulips in tulip forcing. Tipping tulips are those that develop insufficient stem and leaf firmness due to calcium deficiency, causing them to topple over. Although adequate ventilation prevents this significant problem, it requires substantial energy. Through literature study and expert interviews, researchers investigated to what extent spectral camera technology, which can detect tipping 4 days earlier than the naked eye, is practically implementable. The industry shows interest in the technology provided it can be practically implemented and when energy savings outweigh the investment. For successful implementation, the system must be integrable into existing processes, robust in the greenhouse climate, and flexibly applicable in different cultivation systems. Economic analysis indicates that the estimated energy savings of 5-10% alone are insufficient to recover the investment of ~€24,000. The value lies primarily in preventing losses due to tipping tulips. Particularly Vis-NIR cameras (470-900 nm) prove technically suitable. Further validation is needed with larger datasets, testing under various growing conditions, and research into the effectiveness of timely intervention after detection.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1419

Projectnummer: 3742 362800

DOI: <https://doi.org/10.18174/690056>

Dit project is mede tot stand gekomen door de bijdrage van Kas als energiebron



Disclaimer

© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, wur.nl/plant-research

Kamer van Koophandel-nr.: 09098104 | BTW-nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. 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 Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Adresgegevens

Wageningen University & Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

wur.nl/glastuinbouw

Postbus 644, 6700 AP Wageningen

Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen

T +31 (0)317 48 60 01

wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Methode	8
3 Resultaten	9
3.1 Literatuuronderzoek	9
3.2 Resultaat interviews	10
3.3 Energiebesparing en economie	11
3.4 Voorwaarden voor implementatie techniek	14
4 Conclusie en discussie	15
5 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	16
Literatuur	17

Samenvatting

'Kiepers' of 'zweters' vormen een significant probleem in de tulpenbroeierij, het zijn tulpen die door calciumtekort in stelen en bladeren onvoldoende stevigheid ontwikkelen en omkiepen. Adequaate ventilatie met warme lucht voorkomt dit, maar kost veel energie. Recent onderzoek toonde aan dat spectrale cameratechniek kiepgevoelige tulpen eerder kan detecteren dan met het blote oog mogelijk is. Dit verkennend onderzoek richt zich op de praktische toepasbaarheid van deze techniek in tulpenbroeierijen en daarnaast ook op of de toepassing ervan rendabel is.

Vis-NIR spectrale beeldverwerking (400-1000 nm) is een belangrijke niet-destructieve techniek geworden voor het beoordelen van biofysische eigenschappen van planten. Onderzoek uit 2014-2021 heeft aangetoond dat de kiepgevoelige fase in de tweede week in de kas ontstaat, met significante verschillen tussen cultivars. Met spectrale camera's blijken kiepers al 4-5 dagen na inhalen (van koelcel naar kas) detecteerbaar, terwijl de eerste symptomen pas na 8 dagen met het blote oog zichtbaar zijn.

Het onderzoek combineerde literatuurstudie, expertinterviews en analyse van eerder uitgevoerde energieberekeningen. Semigestructureerde interviews werden afgenomen met tulpenbroeiers, systeembouwers, onderzoekers en adviseurs. Bij hen werd uitvraag gedaan naar de huidige uitdagingen in klimaatbeheersing, hun ervaring met kiepproblematiek, ventilatiestrategie, visie op spectrale cameratechniek, implementatievoorwaarden en economische overwegingen.

Uit de gesprekken is gebleken dat kiepers nog steeds een significant probleem vormen. Ongeveer driekwart van de telers werkt met een vorm van compartimentering en hanteert preventief een 'overkill systeem' qua ontvochtiging. Het laatste leidt tot verhoogde energie verbruik en niet altijd tot het gewenste resultaat. De sector is op zoek naar een optimale balans tussen energiebesparing en teeltzekerheid, en toont interesse in vroege detectietechnologie mits deze praktisch implementeerbaar is, er nog bijstuuringsmogelijkheden zijn na detectie, en de energiebesparing opweegt tegen de investering.

Bij een referentiebedrijf van 5.000 m² met een gasverbruik van 30.000 m³/broeiseizoen, kan een spectrale camera de huidige overventilatie van 10% terugbrengen, resulterend in 5% energiebesparing (1.500 m³ gas of €600/jaar). Een camerasysteem vergt een investering van ongeveer €24.000 met jaarlijkse kosten van €3.000. De terugverdientijd hangt sterk af van de effectiviteit in het voorkomen van uitval: bij 100% effectiviteit is deze 1,4 jaar, maar bij 20-25% effectiviteit 11,2-21,4 jaar. Met de gebruikte parameters in deze analyse, weegt het voorkomen van uitval zwaarder dan de besparing van energie.

Technisch gezien zijn Vis-NIR camera's (470-900 nm) het meest geschikt, met betrouwbare kalibratie en consistente meetomstandigheden als voorwaarden. Praktisch moet het systeem in het productieproces integreerbaar zijn zonder verstoring, robuust zijn in het vochtige kasklimaat en eenvoudig te bedienen. De techniek moet flexibel zijn voor verschillende teeltsystemen en er moeten duidelijke procedures komen voor metingen en interpretatie van resultaten.

Er is zeker interesse in spectrale cameratechniek voor vroege detectie van kiepers. De techniek is technisch haalbaar, maar vereist verschillende praktische aanpassingen voor implementatie. De potentiële energiebesparing wordt momenteel geschat op 5-10%, maar is alleen niet voldoende om de investering terug te verdienen. De waarde zit voornamelijk in het voorkomen van uitval door kiepers. Voor succesvolle toepassing is verdere validatie nodig met grotere datasets, testen onder verschillende teeltomstandigheden, en onderzoek naar de effectiviteit van ingrijpen na vroege detectie.

1 Inleiding

'Kiepers' of 'zweters' vormen een significant probleem in de tulpenbroeierij. Dit verschijnsel ontstaat wanneer tulpen door een gebrek aan calcium in stelen en bladeren onvoldoende stevigheid ontwikkelen, waardoor ze tijdens de broei of later in de vaas kunnen omkiepen. Om dit probleem te voorkomen is adequate ventilatie met voldoende warme lucht noodzakelijk, wat een aanzienlijk energieverbruik met zich meebrengt.

De tulpenbroeierij ondergaat momenteel belangrijke veranderingen. Door schaalvergroting en toenemende uitdagingen in de bollenafzet, mede door oplopende problemen met virus en fusarium, neemt het aantal bedrijven dat zich richt op het uitbroeien van bollen toe. Deze ontwikkeling gaat vaak gepaard met de implementatie van meerlagenteelt, waarbij in hetzelfde kasoppervlak meer tulpen kunnen worden gebroeid. Dit systeem brengt echter nieuwe uitdagingen met zich mee, vooral op het gebied van klimaatbeheersing en met name ontvochtiging.

Recent onderzoek (Wildschut et al., 2016-2021) heeft belangrijke inzichten opgeleverd in de kiepproblematiek bij tulpen. Zo is vastgesteld dat de kiepgevoelige fase zich voornamelijk voordoet in de tweede week in de kas. Daarnaast is gebleken dat er significante verschillen bestaan tussen cultivars in hun gevoeligheid voor kiepen. De toediening van calciumbemesting blijkt een cruciale rol te spelen bij het voorkomen van kiepers. Een belangrijke doorbraak is de ontdekking dat met behulp van spectrale cameratechniek kiepgevoelige tulpen 4 dagen eerder gedetecteerd kunnen worden dan met het blote oog mogelijk is (Wildschut et al., 2020).

Momenteel ventileren telers vaak hun gehele kas om zeker te zijn van voldoende verdamping. Onderzoek suggereert echter dat gerichte ventilatie tijdens de kritische strekkingsfase zou kunnen volstaan, waardoor theoretisch twee derde van de kasoppervlakte bespaard zou kunnen worden voor ventilatie (Wildschut et al., 2021). De uitdaging ligt in het bepalen van het juiste moment voor deze gerichte ventilatie.

Broeiers lijken vooral met worstelen met twee vragen; Wat is de minimaal benodigde verdamping in elke teeltfase om kiepers te voorkomen? En hoe kan gerichter worden gestuurd op ventilatie zonder het risico op kiepers te vergroten?

De spectrale camera zou telers kunnen ondersteunen bij het ontwikkelen van een efficiëntere ventilatiestrategie. Echter, de praktische implementatie van deze technologie roept nog veel vragen op bij de sector, vooral met betrekking tot:

- Praktische toepassing in bestaande bedrijfssystemen
- Mogelijkheden tot compartimentering
- Werkelijke energiebesparing
- Technische vereisten en plaatsing van camera's

Dit verkennende onderzoek richt zich op het in kaart brengen van de praktische toepasbaarheid van spectrale cameratechniek voor vroege kiepdetectie in de tulpenbroeierij. Specifiek wordt onderzocht:

1. De mate waarin deze techniek aansluit op de vraag van de sector
2. De technische en praktische haalbaarheid van implementatie
3. De potentiële energiebesparing die deze cameratechniek teweeg zou kunnen brengen
4. De voorwaarden voor succesvolle toepassing in zowel enkellaagse als meerlaagse systemen

2 Methode

Dit verkennend onderzoek is uitgevoerd middels een combinatie van literatuuronderzoek, expertinterviews en analyse van eerder uitgevoerde energieberekeningen. De verkenning richt zich specifiek op de toepasbaarheid van spectrale cameratechniek voor vroege kiepdetectie in de tulpenbroeierij.

Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek heeft als doel gehad om bestaande kennis in kaart te brengen over twee hoofdthema's: (1) de detectie van planteigenschappen middels camera's en (2) eerder onderzoek naar minimale verdamping bij tulpen.

Expertinterviews

Selectie geïnterviewden

De interviews zijn uitgevoerd met vertegenwoordigers van verschillende stakeholders in de sector:

- Tulpenbroeiers (zowel enkellaagse als meerlagenteelt)
- Systeembouwers/installateurs
- Onderzoekers
- Technische adviseurs
- Teeltadviseurs

Interviewmethode

De interviews zijn uitgevoerd als semigestructureerde gesprekken, hierbij zijn een deel van de gestelde vragen vooraf door de interviewer bepaald. De volgorde waarin de vragen worden gesteld is flexibel en de respondenten kunnen volledig vrij antwoorden. De gesprekken vonden plaats op locatie, online of telefonisch. Voor deze aanpak is bewust gekozen omdat het verschillende voordelen biedt. Ten eerste maakt het direct inzicht krijgen in de praktijksituatie mogelijk. Daarnaast biedt het de gelegenheid om bestaande systemen en werkwijzen te observeren. Deze vorm zorgt bovendien voor de nodige ruimte om door te kunnen vragen op specifieke onderwerpen. Ook is er deelgenomen aan een cursusbijeenkomst waarin het onderwerp kiepers besproken is met zowel broeiers, onderzoekers als toeleveranciers.

Focuspunten interviews

Tijdens de interviews zijn de volgende hoofdthema's behandeld:

1. Huidige uitdagingen in klimaatbeheersing
2. Ervaring met kiepproblematiek
3. Huidige ventilatiestrategie
4. Visie op spectrale cameratechniek
5. Praktische randvoorwaarden voor implementatie
6. Economische overwegingen

Focus van gesprekken

De uitkomst van de gesprekken is vooral gekeken naar drie hoofdaspecten:

- Technische haalbaarheid
- Praktische implementatie
- Economische aspecten

3 Resultaten

3.1 Literatuuronderzoek

Meten biofysische eigenschappen

Met name zichtbare en nabij-infrarood (VNIR, 400-1000 nm) spectrale beeldverwerking heeft zich in het afgelopen decennium ontwikkeld tot een belangrijke niet-destructieve techniek voor het snel beoordelen van biofysische eigenschappen van planten (Li, Zhang et al. 2014; Lowe, Harrison et al. 2017; Mishra, Asaari et al. 2017; Mishra, Polder et al. 2020). Het zichtbare spectrum (400-670 nm) maakt het mogelijk verschillende plantpigmenten zoals chlorofyl, anthocyanine en carotenoïden te detecteren door hun specifieke lichtabsorptie, waarmee de fotosynthetische activiteit in planten kan worden gekarakteriseerd. Het nabij-infrarode spectrum (670-1000 nm) geeft daarnaast inzicht in parameters als vochtgehalte, eiwitten, koolhydraten en de interne structuur van planten (Mishra et al, 2017) (Hageraats et al, 2023).

Onderzoek minimale verdamping tulp (Wiltschut et al, 2016-2021)

In de periode 2014-2021 is er uitgebreid onderzoek gedaan naar het verschijnsel kiepers bij tulpen in de broeierij. Dit onderzoek was opgedeeld in vier opeenvolgende fasen die elk voortbouwden op de inzichten uit de voorgaande fase.

De eerste fase (2014) had als doel de CO₂-uitstoot te minimaliseren door de verdamping tijdens de tulpenteelt te verminderen. Dit is belangrijk voor de ontwikkeling van Meerlagenteelt 2.0, een energiezuinig teeltsysteem. Belangrijkste resultaten waren dat de kiepgevoelige fase van 3 tot 9 dagen van duur kan zijn afhankelijk van cultivar. Ook kwam naar voren dat de verdamping een factor 3 hoger ligt bij een lage RV (<75%) vergeleken met een hoge RV (98%).

De tweede fase (2017) richtte zich op het verfijnen van deze kennis. Een belangrijke ontdekking was dat tulpen tijdens de kiepgevoelige fase dagelijks 3 tot 10 uur een hoge RV kunnen verdragen zonder negatieve gevolgen. Ook werd aangetoond dat calciumbemesting tijdens de beworteling de duur van de kiepgevoelige fase kan verkorten. Deze bevindingen suggereerden dat er aanzienlijke energiebesparingen mogelijk zijn door gecompartmenteerde klimaatbeheersing, met een geschatte potentiële besparing van 47%.

In de derde fase (2019) werd de praktische toepassing van deze kennis verder onderzocht. Er werd aangetoond dat 18-21 uur ontvochtiging per dag tijdens de kiepgevoelige fase voldoende is, oftewel, er kon in de nacht een aantal uur bespaard worden op ventilatie. Ook werden cultivars ingedeeld in verschillende gevoeligheidsgroepen, van laag-gevoelig (zoals White Marvel) tot cultivars met een lange kiepgevoelige fase (zoals Strong Gold). Deze categorisering maakt een meer gerichte aanpak van klimaatbeheersing mogelijk.

De vierde en laatste fase (2021) bracht aanvullende factoren aan het licht die de kiepgevoeligheid beïnvloeden. Zo bleek de duur van de koude bewaring voor het broeien van invloed, evenals de bolmaat en de broei-temperatuur. Bij 14°C start de kiepgevoelige fase later dan bij 18°C. Ook werd het belang van de timing van calciumbemesting verder onderzocht waarbij een vroege gift (bij beworteling) resulteerde in minder kiepers en een kortere kiepgevoelige fase. Ondanks dit uitgebreide onderzoek blijven er nog enkele belangrijke kennisgaten bestaan. Zo is het nog onduidelijk waarom partijen van dezelfde cultivar soms sterk verschillen in kiepgevoeligheid. Ook is het precieze mechanisme achter de cultivarverschillen nog niet volledig begrepen. Daarnaast is er behoefte aan praktische methoden om het begin van de kiepgevoelige fase tijdig te kunnen herkennen. Een recent verkennend onderzoek met spectrale camera's toont veelbelovende resultaten voor vroege detectie, maar vraagt om verdere ontwikkeling voor praktische toepassing (Wiltschut et al, 2020).

Voor de implementatie van energiebesparende maatregelen in de praktijk blijft het belangrijk dat broeiers de specifieke eigenschappen en achtergronden van hun partijen goed kennen en begrijpen. Dit vraagt om een integrale aanpak waarbij rekening wordt gehouden met alle bekende factoren die kiepgevoeligheid

beïnvloeden. Vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op het ontwikkelen van praktische tools voor vroege detectie waar een spectrale camera onderdeel van kan zijn en het verder onderzoeken van de fysiologische mechanismen achter kiepgevoeligheid.

3.2 Resultaat interviews

Sectorvraag en problematiek kiepers

Uit de gesprekken met telers, adviseurs en systeemontwikkelaars komt naar voren dat kiepers nog steeds een significant probleem vormen in de tulpenbroei. De exacte economische schade door kiepers is moeilijk te kwantificeren. Schattingen van uitvalpercentages lopen uiteen van minder dan 1% tot incidenteel 70%, en zijn sterk afhankelijk van jaar, seizoen en teeltoomstandigheden. Een voorzichtige schatting van de jaarlijkse sectorschade komt uit op enkele miljoenen euro's, maar betrouwbare cijfers ontbreken doordat met name telers hier terughoudend over zijn in hun communicatie.

Om kiepers te voorkomen werkt ongeveer 70% van de telers met een vorm van compartimenteren. Daarbij is belangrijk om te benoemen dat geen bedrijf dezelfde indeling hanteert, waardoor het woord 'compartimenteren' een breed begrip is geworden. Daarnaast hanteren de meeste bedrijven een 'overkill systeem' qua ontvochtiging. Dit betekent dat zij preventief meer ventileren dan mogelijk nodig is, wat naar schatting zo'n 10% extra energie kost. Telers geven aan dat zij deze extra energiekosten accepteren omdat kwaliteitsverlies door kiepers als een groter risico wordt gezien.

De sector lijkt vooral te worstelen met twee kernvragen: 1. Wat is de minimaal benodigde verdamping in elke teelfase om kiepers te voorkomen? En 2. Hoe kan gericht worden gestuurd op ventilatie zonder het risico op kiepers te vergroten?

De eerste 10 dagen in de kas (kokerfase) worden door vrijwel alle geïnterviewden genoemd als meest cruciale periode. Er bestaat echter onduidelijkheid over de exacte verdampingsbehoefte in deze fase. Wel worden er vuistregels gehanteerd, zoals een verdamping van 0,7 L/m²/dag in de eerste week, oplopend naar 1,5 L/m²/dag in de derde week.

Uit de interviews blijkt dat er interesse is in nieuwe technologie die kan helpen bij vroege detectie van kiepers, mits:

- Het praktisch implementeerbaar is in bestaande systemen
De techniek moet zodanig flexibel zijn dat het kan worden ingepast in zowel enkellaags als meerlaagsteeltsystemen. Er zijn grote verschillen tussen bedrijven wat betreft kassystemen, van traditionele kasbroei tot geavanceerde meerlagenteelt met verschillende type ontvochtigingssystemen. Een detectiesysteem moet daarom flexibel genoeg zijn om in deze verschillende configuraties te kunnen worden toegepast.
- Er nog bijsturmogelijkheden zijn na detectie
Het is cruciaal dat als kiepers vroeg gedetecteerd worden, er nog effectief kan worden ingegrepen. Eerdere onderzoeken laten zien dat als de eerste symptomen met het blote oog zichtbaar zijn, het vaak al te laat is. Een voordeel van spectrale detectie is dat het in theorie tot 4 dagen eerder kan signaleren dan visuele waarneming, waardoor er meer tijd is voor bijsturing via bijvoorbeeld aanpassing van de ventilatie of RV.
- De energiebesparing opweegt tegen de investering
De potentiële energiebesparing van deze techniek door gericht te ventileren wordt door de sector ingeschat op 5-10%, aangezien er momenteel meer geventileerd wordt dan nodig. De mate van besparing zal sterk verschillen van bedrijf tot bedrijf. Als er meer bekend is over de exacte verdampingsbehoefte van de tulp, zal het percentage naar verwachting een stuk hoger zijn.

- De metingen betrouwbaar zijn onder verschillende teeltomstandigheden
Uit de onderzoeken blijkt dat er grote verschillen zijn in kiepgevoeligheid tussen cultivars, partijen, seizoenen en teeltomstandigheden. Een detectiesysteem moet onder al deze verschillende omstandigheden betrouwbaar kunnen functioneren. De eerste onderzoeksresultaten bieden potentie maar verdere validatie onder praktijkomstandigheden is nog nodig.

De sector zoekt dus naar een optimale balans tussen energiebesparing en teeltzekerheid, waarbij meer inzicht in de vroege signalen van kiepers en de minimaal benodigde verdamping als belangrijke schakels worden gezien.

3.3 Energiebesparing en economie

Voor het bepalen van de economische haalbaarheid van een spectrale camera voor vroege detectie van kiepers is een analyse gemaakt van de mogelijke kosten en baten. Deze analyse is gebaseerd op een referentiebedrijf dat representatief is voor de sector.

Deze economische analyse geeft een theoretische inschatting van de potentiële kosten en baten van vroege detectie van kiepers met behulp van spectrale camera's. De werkelijke waarden kunnen significant afwijken afhankelijk van bedrijfsspecifieke factoren en de gekozen implementatiestrategie.

1. Uitgangspunten referentiebedrijf

Als basis voor de berekeningen is uitgegaan van een modern tulpenbroei bedrijf met onderstaande kenmerken:

Parameter	Waarde	Eenheid
Kasoppervlakte	5.000	m ²
Gasverbruik	30.000	m ³ /jaar (broeiseizoen)
Jaarproductie	10 miljoen	stelen
Broeiperiode	3,5	maanden
Broeiseizoen	15 dec - 31 maart	-

Dit referentiebedrijf is representatief voor een moderne tulpenbroeierij waar jaarrond wordt geproduceerd met een intensieve periode in de wintermaanden. Het gasverbruik van 27 m³/m² komt overeen met praktijkcijfers uit de sector.

2. Analyse huidige uitvalproblematiek

Kiepers vormen een significant probleem in de tulpenbroei. Onderstaande tabel geeft inzicht in de omvang:

Parameter	Waarde	Eenheid
Kiepgevoelige cultivars	10	% van totaal
Uitvalpercentage	1	%
Totaal uitval	100.000	stelen
Verkoopprijs per steel	0,20	€
Financieel verlies door uitval	20.000	€/jaar

Met name in de wintermaanden kan bij gevoelige cultivars aanzienlijke uitval optreden. In dit geval rekenen met 1% uitval door kiepers, resulteert in een jaarlijks verlies van 100.000 stelen met een waarde van €20.000 bij een prijs van 20 cent per steel. Er zit veel verschil in cultivars en de mate waarin deze gevoelig zijn om te kiepen, maar in principe kan elke tulp gaan kiepen bij een te hoge RV.

3. Energieverbruik en besparingspotentieel

Om kiepers te voorkomen wordt in de huidige situatie vaak preventief extra geventileerd. Met een camera kan dit gerichter worden ingezet.

Parameter	Waarde	Eenheid
Periode overventilatie	3,5	maanden
Huidige overventilatie	10	%
Besparing energiegebruik camera	5	%
Gasbesparing	1.500	m ³ /jaar
Gasprijs	0,40	€/m ³
Financiële besparing	600	€/jaar

Uit gesprekken met telers blijkt dat vooral in de meest kritische wintermaanden (ongeveer 2 maanden van het 3,5 maand durende broeiseizoen) structureel 10% extra wordt geventileerd om problemen te voorkomen. Met een camera kan deze overcapaciteit worden teruggebracht naar 5% omdat dan gerichter kan worden ingegrepen. Dit levert een jaarlijkse gasbesparing op van bijna 4.000 m³.

4. Benodigde investering

Voor het implementeren van een camerasysteem zijn minimaal onderstaande investeringen nodig:

Parameter	Waarde	Eenheid
Camera + belichting	20.000	€
Computer, software en installatie	4.000	€
Totale investering	24.000	€

De investering bestaat uit de aanschaf van een hyperspectrale camera inclusief de benodigde software voor beeldverwerking en analyse. Ook zijn er kosten voor installatie en het operationeel maken van het systeem.

5. Jaarlijkse kosten

Bij een afschrijving over 10 jaar ontstaan de volgende jaarlijkse kosten:

Parameter	Waarde	Eenheid
Afschrijving	2.200	€/jaar
Rente (2%)	400	€/jaar
Onderhoud (2%)	400	€/jaar
Totale jaarkosten	3.000	€/jaar

Er is gekozen voor een realistische afschrijvingstermijn van 10 jaar. Daarnaast zijn er jaarlijkse kosten voor rente over het geïnvesteerde vermogen en onderhoud aan het systeem.

6. Jaarlijks resultaat

Het verwachte financiële resultaat op jaarbasis:

Parameter	Waarde	Eenheid
Energiebesparing	600	€/jaar
Voorkomen uitval (100%)	20.000	€/jaar
Totale theoretische besparing	20.600	€/jaar
Jaarkosten systeem	3.000	€/jaar
Netto resultaat bij 100% effectiviteit	17.600	€/jaar
Netto resultaat bij 20-25% effectiviteit	1.120-2.150	€/jaar
Terugverdientijd bij 20-25% effectiviteit	11,2-21,4	jaar

De berekeningen laten zien dat de economische haalbaarheid sterk afhangt van de effectiviteit van het systeem in het voorkomen van uitval. Bij een conservatieve inschatting van 20-25% effectiviteit is de terugverdientijd aanzienlijk langer dan bij de theoretisch maximale effectiviteit. De energiebesparing levert een relatief kleine bijdrage aan het totale resultaat. Bij de implementatie van vroege detectie zijn verschillende scenario's denkbaar, elk met eigen voor- en nadelen. Een volledige systeemintegratie van de camera biedt het voordeel van continue monitoring en directe koppeling met de klimaatbeheersing, maar heeft als nadelen een hoge initiële investering en mogelijk onderbenutting van de apparatuur gedurende de rest van het seizoen. Dit scenario is vooral geschikt voor grote bedrijven met intensieve (jaarrond)productie waar de investering over meer productie kan worden gespreid.

Als alternatief kan gekozen worden voor een externe meetservice. Dit zou een bedrijf kunnen zijn welke periodiek langskomt om metingen te verrichten aan het gewas. Dit biedt een lagere investering als voordeel (schatting van ongeveer €1500 per seizoen voor drie metingen) en professionele uitvoering door specialisten. Nadelen zijn echter de minder frequente metingen en het risico op gemiste detectiemomenten tussen de meetdagen. Deze optie is vooral geschikt voor kleinere bedrijven of als een eerste opstap naar een volledig systeem, waarbij eerst ervaring met de technologie kan worden opgedaan.

Een derde mogelijkheid is het aanschaffen van eigen meetapparatuur voor periodieke metingen. Dit geeft flexibiliteit in meetmomenten en vereist een lagere investering dan een volledig geïntegreerd systeem. Daar staan extra arbeidskosten tegenover en de noodzaak om personeel te trainen in het gebruik van de apparatuur.

Eindconclusie economische analyse

Het economische model biedt enkel een kader om de potentiële haalbaarheid van vroege kiepdetectie middels spectrale camera's te verkennen, maar kan nog niet worden gezien als een definitieve maatstaaf voor de realiteit. De berekeningen schetsen een theoretisch kader van mogelijkheden, waarbij de werkelijke uitkomsten sterk zullen afhangen van bedrijfsspecifieke omstandigheden, ontwikkelingen in de technologie en de wijze van implementatie. Ook de ontwikkelingen in energieprijzen (met name die van gas), zal bepalend zijn voor het rond rekenen van deze investering.

Voor de verdere ontwikkeling van deze techniek is praktijkvalidatie belangrijk. Daarin moet aandacht gegeven worden voor de specifieke behoeften en omstandigheden van tulpenbroeiers. Alleen zo kan de stap worden gemaakt van theoretische potentie naar praktische toepassing die daadwerkelijk meerwaarde biedt voor de sector.

3.4 Voorwaarden voor implementatie techniek

Op basis van expertgesprekken en discussies met telers zijn diverse voorwaarden bepaald voor implementatie van vroege detectie van kiepers. Deze voorwaarden zijn onderverdeeld in vijf categorieën:

Technische voorwaarden

De keuze van het juiste type sensor of camerasysteem is cruciaal. Uit eerder onderzoek is gebleken dat vooral de Vis-NIR camera die meet in het golflengtegebied van 470-900 nm goede resultaten geeft. Ook andere camera's die meten tot 1000 nm zijn interessant omdat deze een waterabsorptieband bij 950 nm kunnen detecteren, wat mogelijk extra informatie geeft over de kiepgevoeligheid. Een betrouwbare kalibratie van het systeem is essentieel voor accurate metingen. Daarnaast moeten de meetomstandigheden, zoals belichting en positionering, consistent en gecontroleerd zijn. Voor praktische toepassing is software nodig die de beeldverwerking en analyse automatiseert.

Praktische voorwaarden

Het camerasysteem moet zodanig in het productieproces geïntegreerd kunnen worden dat het de normale werkzaamheden niet verstoort. De apparatuur moet robuust zijn en betrouwbaar kunnen functioneren in het vochtige kasklimaat. De bediening moet eenvoudig zijn zodat het personeel er zonder uitgebreide training mee kan werken. Een mobiele opstelling zou de flexibiliteit van het systeem vergroten, waardoor metingen op verschillende plekken in de kas uitgevoerd kunnen worden.

Economische voorwaarden

De investering in een spectraal camerasysteem moet in verhouding staan tot de te verwachten besparingen op energie en de verminderde uitval door kiepers. Goedkopere alternatieven zoals handheld spectrometers of miniatuurspectrometers kunnen een interessant alternatief zijn. De terugverdientijd moet voor telers acceptabel zijn om de investering te rechtvaardigen.

Organisatorische voorwaarden

Er moeten duidelijke procedures komen voor het uitvoeren van metingen en de interpretatie van resultaten. Het personeel moet getraind worden in het gebruik van het systeem. De metingen moeten ingepast worden in de bestaande klimaatbeheersingsstrategie van het bedrijf. Ook moet er een duidelijk plan zijn hoe te handelen wanneer een verhoogd kieprisico wordt gedetecteerd.

Validatie voorwaarden

Voordat de techniek breed geïmplementeerd kan worden is verdere validatie nodig. Er moet een grotere dataset verzameld worden met meer verschillende cultivars om de betrouwbaarheid van de detectie te testen. Het systeem moet onder verschillende teeltomstandigheden getest worden. Ook moet onderzocht worden hoe effectief ingrijpen in het kasklimaat is na een vroege detectie van verhoogde kiepgevoeligheid. De detectiemodellen kunnen verder ontwikkeld worden naarmate er meer data beschikbaar komt.

Door aan al deze voorwaarden te voldoen kan een betrouwbaar en praktisch toepasbaar systeem ontwikkeld worden dat telers helpt om kiepers vroeg te detecteren en gericht maatregelen te nemen in het kasklimaat.

4 Conclusie en discussie

In dit onderzoek is een verkenning gedaan naar de mogelijkheden om spectrale camera techniek in te zetten om vroegtijdig kiepers te detecteren en daarmee energie te besparen. Daarbij is gekeken naar de volgende vragen:

1. De mate waarin deze techniek aansluit op de vraag van de sector
2. De technische en praktische haalbaarheid van implementatie
3. De potentiële energiebesparing die deze cameratechniek teweeg zou kunnen brengen
4. De voorwaarden voor succesvolle toepassing in zowel enkellaagse als meerlaagse systemen

Uit de interviews met telers, adviseurs en systeemontwikkelaars blijkt dat er zeker interesse is in spectrale cameratechniek voor vroege detectie van kiepers, aangezien dit nog steeds een significant probleem vormt in de tulpenbroei. De sector zoekt nog altijd naar een optimale balans tussen energiebesparing en broeikwaliteit. De schatting is dat het merendeel van de telers al werkt met een vorm van compartimentering, waarbij dat wel voor elk bedrijf weer net anders georganiseerd is. De huidige strategie voor het tegen gaan van kiepers betreft vaak een "overkill-systeem" qua ontvochtiging, waarbij preventief 10% extra ventilatie wordt toegepast. Bedrijven spelen dus graag op 'safe'. De vraag is, in welke mate de prijs van energie voor de komende jaren dit systeem in stand kan houden. Naast dat er interesse is naar deze techniek welke de broeiers (in theorie) kan helpen energie te besparen, lijkt er ook nog specifiek interesse te zijn in kennis over de minimaal benodigde verdamping in elke teeltfase en hoe er gericht kan worden gestuurd op ventilatie zonder het risico op kiepers te vergroten.

Op technisch vlak zijn de Vis-NIR camera's die meten in het golflengtegebied van 470-900 nm geschikt voor detectie van kiepers. Ook camera's die meten tot 1000 nm zijn interessant vanwege de waterabsorptieband bij 950 nm. Betrouwbare kalibratie en consistentie in meetomstandigheden zijn daarin wel essentieel, net als geautomatiseerde beeldverwerking en analysetechnologie. Praktisch gezien moet het systeem in het productieproces geïntegreerd kunnen worden zonder al te grote aanpassingen aan het huidige systeem en verstoring van het broeiproces. De apparatuur moet robuust zijn in het vochtige kasklimaat en eenvoudig te bedienen. Een mobiele opstelling zou flexibiliteit bieden voor metingen op verschillende locaties in de kas.

De sector schat de potentiële energiebesparing op 5-10% door gericht te ventileren. Bij een referentiebedrijf met 5.000 m² kasoppervlak en 30.000 m³ gasverbruik per jaar, zou de huidige overventilatie van 10% teruggebracht kunnen worden, wat resulteert in een besparing van 5% op het energiegebruik. Dit zou zich dan vertalen in een potentiële gasbesparing van 1.500 m³/jaar, oftewel een financiële besparing van €600/jaar bij een gasprijs van €0,40/m³. De economische analyse toont aan dat de energiebesparing alleen dan niet voldoende is om de investering in de spectrale techniek terug te verdienen. De waarde zit voornamelijk in het voorkomen van uitval door kiepers. Bij volledig voorkomen van kiepers is de terugverdientijd <2 jaar. De economische voordelen van het reduceren van uitval door kiepers hebben dus een veel grotere impact op de rentabiliteit van het systeem dan de energiebesparingen, uitgaande van de gehanteerde besparingspercentages en huidige energieprijzen.

Verschillende voorwaarden zijn genoemd voor succesvolle implementatie in een broeisysteem. De techniek moet flexibel zijn zodat het kan worden ingepast in zowel enkellaags als meerlaagsteeltsystemen. Een belangrijke voorwaarde die vaak wordt gesteld is dat er bijsturingsmogelijkheden moeten zijn na detectie, zodat er nog effectief kan worden ingegrepen. De energiebesparing moet opwegen tegen de investering en de metingen moeten betrouwbaar zijn onder de verschillende teeltomstandigheden en systemen die de sector kent. Voor adoptie van deze techniek in de sector is verdere validatie nodig met grotere datasets met meer cultivars. Deze cultivars moeten worden getest onder verschillende teeltomstandigheden. Ook is er meer onderzoek nodig naar effectiviteit van ingrijpen na vroege detectie en doorontwikkeling van detectiemodellen.

5 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Het onderzoek naar vroege detectie van kiepers heeft verschillende nieuwe vragen opgeworpen die in vervolgonderzoek behandeld zouden kunnen worden. Deze zijn onder te verdelen in fysiologische aspecten, vroege detectie, partijverschillen en praktische toepassing.

Fysiologische aspecten

Er zijn nog veel fundamentele vragen over het kieproces die beantwoord moeten worden. Zo is nog onduidelijk wat nu eigenlijk de exacte minimaal benodigde verdamping in gram water per tulp per periode is om kiepers te voorkomen. Hierbij zou rekeningen kunnen worden gehouden met cultivarspecifieke verschillen, groeistadium-afhankelijke behoeften, dag-nacht patronen in verdamping, correlatie tussen verdampingsintensiteit en calcium-opname. Ook de minimaal benodigde calciumopname verdient daarmee verder onderzoek. Een andere interessante onderzoeksvraag is of er mogelijkheden zijn om de calciumopname te verhogen zonder dat dit extra verdamping vereist. Daarnaast is er nog niet gekeken naar de rol van suikers in combinatie met kunstlicht. De spectrale camera's detecteren veranderingen die met het blote oog niet zichtbaar zijn. Fundamenteel onderzoek is nodig om vast te stellen welke specifieke veranderingen in pigmenten, watergehalte of celstructuur correleren met de gemeten reflecties.

Vroege detectie

Bij de vroege detectie met spectrale camera's zijn er nog verschillende aspecten die verder onderzocht moeten worden. Een cruciale vraag is of de vroeg waargenomen spectrale signalen daadwerkelijk voorspellend zijn voor het later optreden van kiepers. Ook moet onderzocht worden of tijdig ingrijpen na vroege detectie het kiepen nog kan voorkomen. Hiervoor is het belangrijk om te bepalen waar het "point of no return" ligt. Het risico op vals-negatieve en vals-positieve uitslagen in de eerste week moet in kaart gebracht worden. Ook moet onderzocht worden of de camera alle relevante stressfactoren kan detecteren. Een interessante nevenvraag is of dezelfde techniek ook gebruikt kan worden voor virusdetectie.

Partijverschillen

Een belangrijk vraagstuk is waarom partijen binnen cultivars zo sterk kunnen verschillen in kiepgevoeligheid. Onderzocht moet worden hoe voorspelbaar deze partijeffecten zijn. De exacte invloed van de voorgeschiedenis (koeling, bewaring) op de kiepgevoeligheid moet verder in kaart gebracht worden. Ook het effect van bolmaat op kiepgevoeligheid per cultivar verdient nader onderzoek.

Praktische toepassing

Voor implementatie in de praktijk moet onderzocht worden wat de juiste plaatsing en het benodigde aantal camera's in een praktijksituatie is. Het exacte energiebesparingspotentieel bij verschillende systemen moet doorgerekend worden, gevolgd door een kosten-baten analyse. De mogelijkheden voor implementatie in bestaande broeierijen en de praktische uitvoerbaarheid van compartimentering zal ook verder onderzocht moeten worden.

Voor een eerste grootschalig experiment zou gedacht kunnen worden aan een proef met minimaal 4 cultivars in 6 verschillende subcompartimenten, met 6 kratten per cultivar per subcompartiment. Hierbij zouden dagelijks gedurende 10 dagen spectrale metingen gedaan moeten worden om voldoende data te verzamelen voor het trainen van voorspellende modellen.

Literatuur

- Li, L., Q. Zhang and D. F. Huang (2014). "A Review of Imaging Techniques for Plant Phenotyping." *Sensors* 14(11): 20078-20111.
- Lowe, A., N. Harrison and A. P. French (2017). "Hyperspectral image analysis techniques for the detection and classification of the early onset of plant disease and stress." *Plant Methods* 13.
- Mishra, P., M. S. M. Asaari, A. Herrero-Langreo, S. Lohumi, B. Diezma and P. Scheunders (2017). "Close range hyperspectral imaging of plants: A review." *Biosystems Engineering* 164: 49-67.
- Mishra, P., G. Polder and N. Vilfan (2020). "Close Range Spectral Imaging for Disease Detection in Plants Using Autonomous Platforms: a Review on Recent Studies." *Current Robotics Reports*.
- Hageraats, S., Graamans, L., Righini, I., Carpineti, C., Van Munnen, D., Wang, S., ... & Stanghellini, C. (2023). Fully non-invasive measurement of protein content in soybean based on spectral characteristics of the pod. *Journal of Food Composition and Analysis*, 119, 105245.
- Wildschut, J. (2016). *Minimale CO2-uitstoot door Minimale Verdamping Tulp, fase I: Verkenning kiepgevoeligheid tulp in Meerlagenteelt 2.0*. Wageningen UR/Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV, Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit.
- Wildschut, J., & van Dam, M. (2018). *Minimale CO2-uitstoot door minimale verdamping tulp: Fase 2: Tolerantie voor RV $\approx$ 100% tijdens de kiepgevoelige fase* (No. 753). Wageningen Plant Research.
- Wildschut, J., & van Dam, M. (2019). *Minimale verdamping bij de broei van tulpen: Fase III: kiepgevoeligheid, cultivars en ventilatieregime* (No. 899). Wageningen Plant Research.
- Wildschut, J., van Dam, M., Trompert, J., van Vilsteren, S. (2021). *Minimale verdamping bij de broei van tulpen: Fase IV: Minimale verdamping van tulp, factoren om rekening mee te houden*. Wageningen Plant Research.
- Wildschut, J., Trompert, J., van Dam, M., Hageraats, S., & van Vilsteren, S. (2020). *Vroege detectie kiepers in tulp met hyperspectrale camera: Verkenning van mogelijkheden om met behulp van een hyperspectrale camera kiepers in tulpen vroegtijdig te detecteren* (No. WPR-1074). Wageningen Plant Research.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research
BU Glastuinbouw
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
E glastuinbouw@wur.nl
wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1419



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
