



LED's pollinate

Invloed lichtspectrum op gedrag bestuivers

Kyra Vervoorn, Jacolien van den Dikkenberg, Anna Okula, Reinier Valstar, Rafael Reyes,
Joppe Kroeze, Nieves García en Ada Leman

Rapport WPR-1289

Referaat

De bestuivers spelen een cruciale rol in voedselproductie, ze zorgen voor hogere productie en kwaliteit van vruchten. Insecten hebben een uitstekend zicht en alle bestuivers maken gebruik van kleurwaarneming bij het zoeken naar bloemen om zich te voeden met stuifmeel en nectar. Veel onderzoeken naar de gevoeligheid van fotoreceptoren van bestuivers hebben aangetoond dat bestuivers (waaronder Apidae-soorten en Syrphidae-soorten) specifiek gevoelig zijn voor licht in het spectrum variërend van UV (300 nm) tot geel/rood (650 nm) en moeite hebben om gebruik te maken van licht van de rood tot verrood spectrum (>650 nm). Ook contrasterende kleuren van bloemen (doel versus achtergrond) spelen een grote rol bij de herkenning van bloemen. Op basis van de resultaten uit dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat LED-verlichting met verschillende lichtspectra de foerageeractiviteit van bestuivers beïnvloedt. Telers moeten er rekening mee houden dat door het verhogen van de verhouding rood licht in hun LED-verlichting, de bestuivers moeite kunnen hebben met het vinden van de bloemen, wat leidt tot een lagere bestuivingsefficiëntie. Dit onderzoek vergroot ons begrip van het effect van lichtspectra op de bestuivingsactiviteit, wat nodig is om telers het beste advies te kunnen geven voor een evenwicht in de optimalisatie van plantengroei en bestuivingsdiensten.

Abstract

It is well known that pollinators play a crucial role in crop production systems. Pollination services have a high economic importance worldwide, because they ensure a higher fruit production and a higher fruit quality. Insects pollinators have outstanding vision and all pollinators make use of colour vision when searching for flowers to feed on pollen and nectar. Many studies on the sensitivity of pollinator photoreceptors have shown that pollinators (including Apidae species and Syrphidae species) are specifically sensitive to light in the spectrum ranging from UV (300nm) to yellow/red (650nm) and struggle to make use of light from the red to far-red spectrum (>650nm). Contrasting colours of flowers (target versus background) also play a major role in the recognition of flowers. Based on the results from this study, it can be concluded that LED lighting with different light spectra affects foraging activity of pollinators. Greenhouse growers should take into consideration that by increasing the ratio of red light in their LED lighting, the pollinators may have difficulties in finding the flowers, leading to a lower pollination efficiency. This research increases our understanding of the effect of light spectra on pollination activity, which is necessary for providing the best advice to growers for a balance in the optimization of plant growth and pollination services.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1289

Projectnummer: 3742302600

DOI: <https://doi.org/10.18174/647971>

Dit project / onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van Ministerie van LNV, Glastuinbouw Nederland- Stichting Kennis in je Kas in het kader van het programma Kas als Energiebron.

Disclaimer

© 2024 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.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, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 - 48 56 06

F +31 (0)10 - 522 51 93

glastuinbouw@wur.nl

wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Observatie protocollen	10
1.1.1 Materiaal en methode	10
1.1.2 Resultaten	11
1.2 Gedrag van bestuivers onder LED belichting in de aardbeienteelt onder glas-DEMOKAS 2030	13
1.2.1 Materiaal en methode	14
1.2.2 Resultaten	15
1.2.3 Discussie en conclusies	21
1.3 Effect van LED-lampen met verschillende lichtspectra op het foerageergedrag van bestuivers (Rekken en Strekken in de Schaduw)	23
1.3.1 Materiaal en methode	23
1.3.2 Resultaten	27
1.3.3 Discussie en conclusies	35
1.4 Gedrag van hommels en zweefvliegen onder vier lichtspectra in de winteraardbeienteelt	37
1.4.1 Materiaal en methode	38
1.4.2 Resultaten	42
1.4.3 Discussie en conclusie	48
1.5 Gedrag bestuivers onder twee lichtspectra in aardbeienteelt (Kas 2030)	49
1.5.1 Observaties honingbijen en zweefvliegen in de teelt van 2020/21	49
1.5.2 Observaties hommels en zweefvliegen in de teelt van 2021/22	50
1.5.3 Discussie en conclusie	54
1.6 Foerageergedrag van hommels en zweefvliegen onder LED in bramen (Efficiënte jaarrondteelt van bramen met LED)	55
1.7 Experimenten die geen data hebben opgeleverd	57
1.7.1 Effect van LED-lampen met verschillende lichtspectra op het foerageergedrag van bestuivers (Schaduwlicht voor schaduwplanten)	57
1.7.2 Foerageergedrag van bijen onder 2 lichtplannen in bramen (Efficiënte jaarrondteelt van bramen met LED)	58
2 Algemene conclusies en aanbevelingen	59
Literatuur	60
Bijlage 1 Observatie protocollen	63
Bijlage 2	69
Bijlage 3	73

Woord vooraf

Wij willen graag alle onderzoekers en een teler bedanken die hun kassen hebben opengesteld voor ons onderzoek, zowel voor het opstellen van de observatieprotocollen als voor de experimenten. Zonder hun medewerking zou dit onderzoek nooit tot stand zijn gekomen. In het bijzonder willen wij Nieves García en Jan Janse (beide onderzoekers bij WUR) en Wouter van den Bosch (bramenteler) bedanken. Daarnaast ook tuinpersoneel dat om ons heen moest werken: Gert Vletter, Erik Doorduyn en Bram van Haaster. Ook willen we de bedrijven Biobest Group N.V. en Polyfly bedanken voor de levering van hommels en zweefvliegen die we bij de experimenten hebben gebruikt.

Hoofdstuk 1.2 "Gedrag van bestuivers onder LED-belichting in de aardbeienteelt onder glas - DEMOKAS 2030" is uitgevoerd door Jacolien van den Dikkenberg voor haar bachelor opdracht bij de HAS. Hoofdstuk 1.3 "Effect van LED-lampen met verschillende lichtspectra op het foerageergedrag van bestuivers" was onderdeel van een masterscriptie van Reinier Valstar aan Wageningen Universiteit and Research. Beiden ontvingen hun titel.

Samenvatting

Het project over het gedrag van bestuivers is gestart naar aanleiding van de problemen die zich in de praktijk voordeden bij telers die overstapten op LED-belichting. In het tweede jaar van het project was er een energiecrisis uitgebroken en begonnen telers massaal over te stappen op LED om de kosten te verlagen en toekomstbestendig te worden. Dit zonder kennis over de invloed van licht op het gedrag van insecten. Na een teeltseizoen bleek dat de hommels in de tomatenteelt niet goed functioneren.

Al het onderzoek met LED-verlichting en verschillende lichtspectra dat tot nu toe is gedaan, heeft zich geconcentreerd op de planten zelf, op groei, fotosynthese, strekking of gehalte aan inhoudstoffen. Er zijn nog steeds veel vragen over wat het beste lichtspectrum is voor elk gewas. Jaarlijks lanceren de fabrikanten nieuwe lampen, met nieuwe kleurcomposities die op basis van onderzoek tot stand zijn gekomen. Er wordt echter geen rekening gehouden met de insecten in de kassen die lichtafhankelijk zijn. Dit is een zeer belangrijke factor als het gaat om gewassen die bestoven moeten worden en afhankelijk zijn van bijen.

Binnen dit project lag de focus op bestuivers: hommels, honingbijen en een nieuwkomer, een zweefvlieg. We hebben ze waargenomen onder verschillende lichtspectra, maar altijd tijdens winterse lichtomstandigheden, natuurlijk of gesimuleerd.

De tests van dit project zijn, op één test na, uitgevoerd binnen andere experimenten die de onderzoekers ons ter beschikking hebben gesteld. Daarom werkten we onder bepaalde lichtomstandigheden. De matrix van lichtspectra, lichtkleuren en samenstelling van de kleuren, maar ook lichtintensiteit is in principe individueel voor elk lamptype van elke fabrikant.

Uit ons onderzoek is gebleken dat hommels en bijen in de winter moeite hebben met functioneren als het buiten donker is, en dat alle kunstmatige lichtbronnen hun gedrag beïnvloeden. Ook kwamen we erachter dat de zweefvlieg *Eristalis tenax* minder snel reageert op bepaalde lichtomstandigheden en een goede bestuiver is van aardbeien. Deze zweefvlieg kan, in ieder geval bij aardbeien, een aanvulling zijn op het bestuiversportfolio en meer zekerheid bieden op het gebied van continue vruchtkwaliteit.

Het meest gevoelig voor het lichtklimaat bleek de honingbij te zijn, die helemaal niet vloog in twee van de experimenten die in de winter werden uitgevoerd in aardbeien en bramen. De verkenner vlogen de kast uit en vielen dood neer bij de ingang van de kast.

Aan de andere kant hebben we ontdekt dat niet alleen de lichtbron zelf het foerageergedrag van bestuivers kan beïnvloeden, maar ook dat schermdoeken die het daglicht ernstig beperken een belangrijke rol kunnen spelen. De tomatentelers laten in de winter de energieschermen een paar uur per dag openstaan om een goede bestuiving door hommels te garanderen. Uit hun waarnemingen blijkt dat als de schermen gesloten blijven, er qua bestuiving niet veel gebeurt. De lichtdoorlatendheid van het schermmateriaal verschilt per schermtypen en fabrikant. In een van onze experimenten waarbij de energieschermen continu gesloten bleven, vertoonden de hommels en zweefvliegen vrijwel uitsluitend atypisch gedrag (lopen, rusten). Als gevolg hiervan hebben wij dit experiment stopgezet.

Het onderzoek heeft veel vragen opgeroepen bij lampen- en schermfabrikanten, hommelproducenten, maar ook bedrijven die actief zijn in teeltfaciliteiten waar helemaal geen daglicht is. De combinaties van belichting en schermen zijn wel eindeloos. We willen daarom benadrukken dat de resultaten van ons onderzoek alleen gelden voor de lichtspectra die we hebben onderzocht. De uitkomsten kunnen als richtlijn worden gebruikt door lampenfabrikanten en telers. De protocollen opgesteld voor observaties van bestuivers in verschillende gewassen kunnen bij toekomstig onderzoek onder alle lichtomstandigheden worden gebruikt.

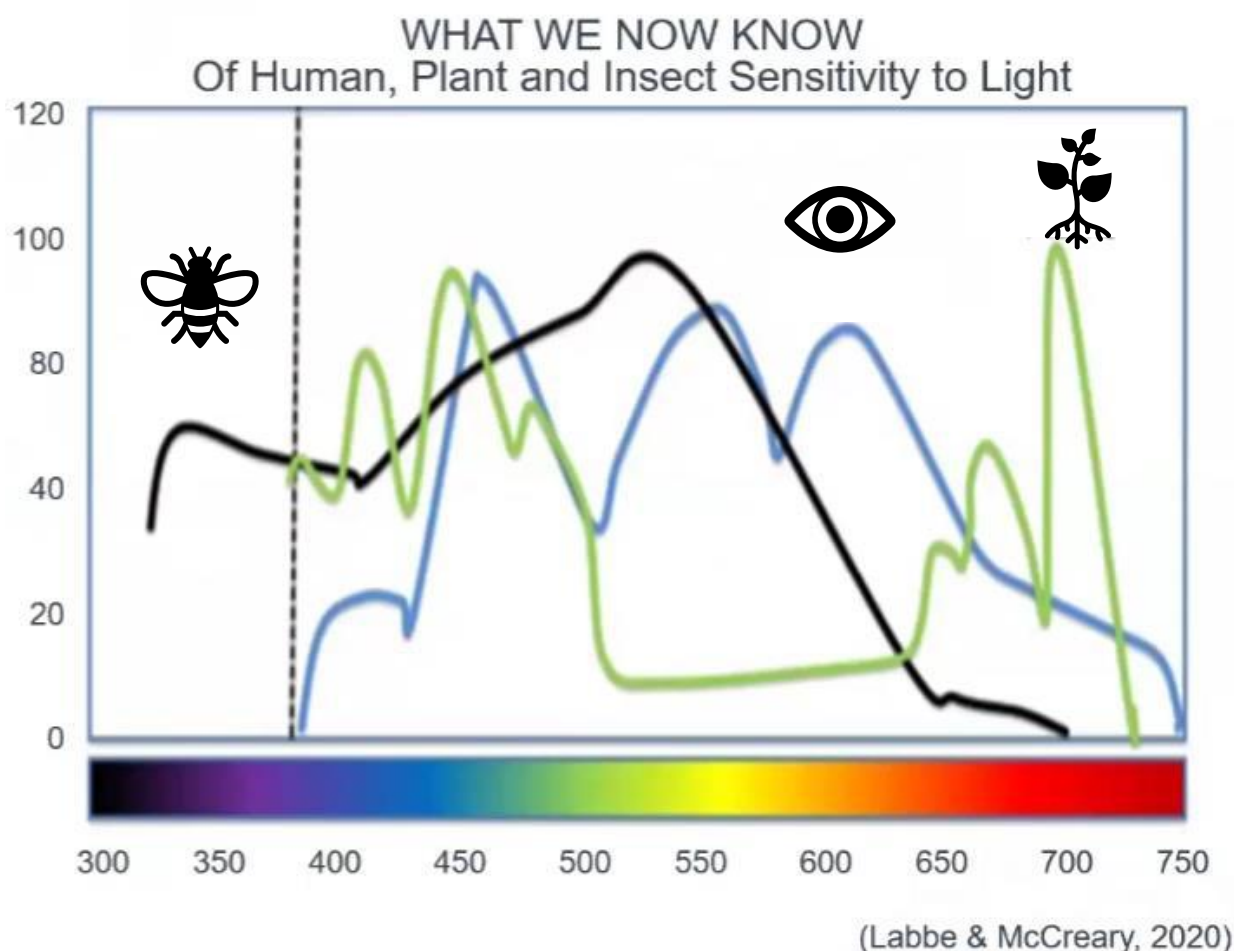
De meest interessante resultaten van bloembezoeken van geteste bestuivers zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Samenvatting van het meest interessante resultaten van bloembezoeken van vier bestuivers onder verschillende lichtspectra in aardbeien en bramen. Legende: XXX- veel bloembezoeken, XX- middelmatig aantal bloembezoeken, X- weinig bloembezoeken, (-)- niet getest.

Lichtspectrum % B:G:R+(FR)	Gewas	Periode	<i>B. terrestris</i> hommel	<i>A. mellifera</i> honingbij	<i>E. tenax</i> zweefvlieg	<i>E. aeneus</i> zweefvlieg
5:10:85	aardbeien	5 oktober - 24 november	-	XXX	XXX	-
		24 november- 22 februari	-	Geen activiteit	XXX	-
		23 februari- 2 juli	-	XXX	XXX	-
11:17:54+18	aardbeien	Simulatie winter	XXX	-	XX	Geen activiteit
13:21:40+26			XXX	-	XXX	X
22:26:26+26			XXX	-	XXX	XXX
8:6:85+1			XX	-	XX	Geen activiteit
8:11:70+11			X	-	XXX	X
8:6:85+1	aardbeien	26 oktober- 17 februari	XXX	-	XXX	-
11:17:54+18			X	-	XX	-
22:26:26+26			XX	-	XX	-
4:43:53+8 SON-T			XX	-	X	-
5:6:89+1	aardbeien	13 december- 24 februari	XXX	-	XX	-
7:12:81+10			XX	-	XXX	-
8:6:86	bramen	8- 24 december	X	Geen activiteit	XXX	-

1 Inleiding

Voor veel gewassen is het belangrijk dat ze bestoven worden door insecten. Wanneer deze planten onvoldoende of niet worden bestoven treedt er een groot productieverlies op door een onvolledige vruchtvorming (Abrol et al. 2019). Vaak gebeurt bestuiving in kassen door *Apis mellifera* (honingbij) en/of *Bombus terrestris* (aardhommel) (Guerra-Sanz 2008). Echter in kassen waar geen of weinig UV licht is, zijn de bijen minder actief (Morandin et al. 2001). Vliegen hebben een uitstekend zicht en zijn allemaal grotendeels visueel georiënteerde insecten. Ze maken gebruik van kleurwaarneming bij het bezoeken van bloemen op zoek naar stuifmeel en nectar (Lunau, 2014). Het zicht van hymenopteran-soorten (zoals *A. mellifera* en *B. terrestris*) is uitgebreid bestudeerd en laat zien dat ze in staat zijn onderscheid te maken tussen verschillende kleuren en de contrasterende kleuren (inclusief UV) te gebruiken tijdens de herkenning van bloemen (doel versus achtergrond) (Peitsch et al., 1992; Kevan et al., 2001). De grafiek uit Labbe & McCreary (2020) toont de gevoeligheid van planten, mensen en insecten voor licht op verschillende golflengten, Figuur 1. De spectrale gevoeligheid van alle insectenbestuivers is zeer beperkt voor licht uit het rode spectrum (grotere golflengten > 650 nm), waardoor rood licht mogelijk moeilijk te gebruiken is voor insecten. Zoals veel hymenopteran-insecten hebben *A. mellifera* en *B. terrestris* een trichromatisch kleurenzicht met pieken van spectrale gevoeligheid rond 340 nm (UV-licht), 430 nm (blauw licht) en 535 nm (groen licht) (Peitsch et al., 1992) en de zweefvlieg *E. tenax* heeft een spectrale gevoeligheid die vergelijkbaar is met die van bijen, ook variërend van UV tot groen licht (300-600 nm) (Lunau, 2014).



Figuur 1 Gevoeligheid van planten, insecten en mensen voor licht van verschillende lichtspectra (Labbe & McCreary, 2020).

Het is bekend dat honingbijen en hommels UV-licht gebruiken voor hun algemene navigatie en om onderscheid te maken tussen bloemen (Blacqui re, 2005; Fluence By Osram, 2021). Uit een onderzoek naar het effect van UV-licht op de activiteit van bestuivers bleek dat de activiteit van hommels 94% hoger was onder een kasdek dat UV-licht doorliet, vergeleken met een kasdek dat UV-licht grotendeels blokkeerde (Morandin et al., 2001). Meerdere onderzoeken hebben aangetoond dat *E. tenax* specifiek de voorkeur geeft aan gele kleuren boven andere kleuren om op te landen (An et al., 2018). Deze aantrekking tot gele kleuren (vooral bij UV-absorptie) houdt verband met geel stuifmeel dat UV- en blauw licht sterk absorbeert en licht reflecteert op de gele golflengte (> 520 nm) (Lunau en Wacht, 1994; Dinkel en Lunau, 2001). Deze bevindingen wijzen allemaal op het belang van kleurperceptie en contrastgevoeligheid voor bloemen bezoekende insecten (bestuivers). Uit ervaring en observaties uit de praktijk blijkt dat zowel *A. mellifera* als *B. terrestris* moeite hebben met winterse lichtomstandigheden (donkerdere dagen met minder natuurlijk licht). Tijdens de wintermaanden wordt in Nederland 75-95% van het licht in kassen gegenereerd door kunstlicht (Blacqui re en Tom, 2019). Bestuivers als *A. mellifera* en *B. terrestris* zijn dan vrijwel volledig afhankelijk van dit kunstlicht voor hun vluchtorientatie en de herkenning van bloemen (Fluence By Osram, 2021).

Probleemstelling

Het toepassen van HNT en telen onder LED verlichting in de glastuinbouw brengt nieuwe uitdagingen met zich mee voor het bestuiven van gewassen. Onderzoek naar belichting richt zich op plantengroei en plantreacties. Echter het lichtklimaat speelt een cruciale rol bij bestuivende insecten (hommels, honingbijen en zweefvliegen). De kleur van het licht kan het ori ntatie vermogen van bestuivers be nvloeden, hoe ze bloemen vinden, en hoe ze daglengte ervaren. Het weghalen of toevoegen van bepaalde lichtkleuren kan het gedrag van bestuivers sterk be nvloeden. Met als gevolg dat de opbrengst, welke afhankelijk is van de bestuiving in gewassen als tomaat, paprika of aardbei, afneemt of juist toe neemt. Het is niet bekend in welke mate de nieuwe lichtbronnen invloed hebben op hun gedrag.

Het gedrag van bestuivers wordt ook be nvloed door de weersomstandigheden buiten, zoals zonlicht. Insecten kunnen in de war gebracht worden tijdens lage niveau van zonlicht in kassen met LED verlichting, vooral in de wintermaanden.

1.1 Observatie protocollen

Voorafgaand aan de kasexperimenten zijn alle geteste bestuivers onder verschillende lichtomstandigheden (zonlicht alleen (zonder kunstmatige belichting) en SON-T) geobserveerd om vast te stellen hoe ze het beste konden worden waargenomen binnen ons project. Het gedrag van alle bestuivers werd in verschillende gewassen waargenomen. We observeerden hun activiteit in het gewas, de bloemenbezoeken en de frequentie van het verlaten/betreden van de kasten gedurende verschillende tijdsperiodes.

1.1.1 Materiaal en methode

Opstelling van observatieprotocollen

Op basis van literatuuronderzoek en kaswaarnemingen van bestuivers zijn de waarnemingsprotocollen opgesteld. Bij daglicht zijn hommels waargenomen in tomaat, aardbei en bramen. Ook is het gedrag van hommels gevolgd rondom de kasten. Op dezelfde manier is het gedrag van honingbijen in bramen (Figuur 2) en aardbeien en hun gedrag rondom de kast vastgesteld. Voor de zweefvliegen is het referentie gedrag in aardbeien waargenomen en vastgesteld in het protocol. In het kader van een ander project (PPS Biodiversiteit in en rondom de kas) is de 'observatieplant' (*Fagopyrum esculentum*- boekweit) geselecteerd en zijn de controle-observaties van bestuivingsgedrag voor zweefvliegen gedaan. Elk protocol is opgebouwd uit 3 onderdelen: 1) gedrag in het gewas (vliegen, rusten en foerageren), 2) bloembezoeken en de tijdsduur van een bloembezoek en 3) gedrag rondom de kast voor hommels en honingbijen.

Gedetailleerde protocollen zijn opgenomen als Bijlage 1. In de Bijlage 1 staan ook gedetailleerde grafieken.

1.1.2 Resultaten

Na verschillende tests besloten we herhaaldelijk de gewasactiviteit gedurende 1 minuut en de bloembezoeken gedurende 3 minuten te observeren bij aardbeien en bramen. Het waarnemen van 2 m² (2 m van de goot) bij aardbeien of 2 m² van de bramengewas gaf voldoende informatie over aantallen bestuivers in het gewas. Langere observaties van gewasactiviteit (van 3 minuten) hadden geen toegevoegde waarde. Een bloemobservatietijd van minder dan 3 minuten leverde te veel nulmetingen op. Eén minuut was ook de meest betrouwbare tijdsduur om de bijenkorven te observeren. Wanneer de bijenactiviteit hoog was, was 1 minuut ruim voldoende om de insecten te tellen. Bij lage activiteit (wanneer de meting plaatsvindt tijdens slechte weersomstandigheden) raden wij aan de observatietijd te verlengen. De waarnemingen van de hommelmasten bleken gedurende 3 minuten waarneming voldoende informatie te geven over de fitheid van de kolonie. Bij tomatenteelt hebben we de activiteit waargenomen op 6 naast elkaar staande planten.

Metingen zonder invloed van de kunstmatige lichtbron

De waarnemingen zijn in de zomermaanden onder daglicht uitgevoerd in verschillende kassen van de WUR en bij bramenteler Wouter van den Bosch uit Bergschenhoek. De oppervlakte van de kassen bij WUR varieerde tussen de 144 en 550 m². De proeven waarbij de waarnemingen werden gedaan waren diverse teeltproeven gericht op plantfysiologie en duurzaamheid. In onderstaande tabellen (tabellen 2, 3 en 4) zijn een aantal metingen opgenomen. Deze gegevens bieden meetbare duidelijkheid over het natuurlijke gedrag van bestuivers (niet beïnvloed door kunstmatige lichtbronnen) en kunnen waardevol zijn bij het vergelijken met observaties onder kunstmatige lichtbronnen om gedragsafwijkingen te identificeren.

Tabel 2 Aardbei zonder belichting (metingen uitgevoerd in de aardbeienkas 2030).

	Periode	Gem. aantal/ m ² / min	Gem. duur bloembezoek in sec.
<i>Bombus terrestris</i> (aardhommel)	21 april-1 okt 2020	1.3	6.05
<i>Aphis mellifera</i> (honingbij)	12 maart-6 juli 2021	1.6	11.4
<i>Eristalis tenax</i> (Blinde bij- zweefvlieg)	21 april-24 juli 2020, 12 maart-9 juni 2021	3.05	50.05

Tabel 3 Bramen zonder belichting (metingen zijn uitgevoerd in de kas van WUR Glastuinbouw).

	Periode	Gem. aantal/ m ² / min	Gem. duur bloembezoek in sec.
<i>Bombus terrestris</i> (aardhommel)	25 aug-2 sept 2020	0.37	5.0
<i>Aphis mellifera</i> (honingbij)	17 aug-2 sept 2020	5.6	11.4

Tabel 4 Tomaat (meting uitgevoerd in de kas van WUR Glastuinbouw).

	Periode	Gem. aantal/ 6 plantkoppen/ 3 min	Gem. duur bloembezoek in sec.
<i>Bombus terrestris</i> (aardhommel)	17 aug-2 sept 2020	2.1	7.75



Figuur 2 *Apis mellifera* (honingbij) in bramen.

Metingen onder SON-T belichting

De observaties onder SON-T belichting zijn uitgevoerd in verschillende kassen van de WUR en bij een bramenteler Wouter van den Bosch uit Bergschenhoek. Hieronder een aantal metingen verwerkt in de tabellen (Tabel 5 en 6). Deze gegevens geven meetbare duidelijkheid over het gedrag van bestuivers (beïnvloedt door kunstmatige lichtbron).

Tabel 5 *Aardbei (metingen uitgevoerd in de kas van WUR Glastuinbouw).*

	Periode	Gem. aantal/ m ² / min	Gem. duur bloembezoek in sec.
<i>Bombus terrestris</i> (aardhommel)	22 okt 2020-15 maart 2021 28 dec 2021-18 jan 2022	2.25	6.5

Tabel 6 *Bramen (metingen uitgevoerd in de kas van het bedrijf Van den Bosch in Bergschenhoek, Figuur 3).*

	Periode	Gem. aantal/ m ² / min	Gem. duur bloembezoek in sec.
<i>Bombus terrestris</i> (aardhommel)	12 febr- 12 maart	0.07	-
<i>Aphis mellifera</i> (honingbij)	12 febr- 12 maart	0.8	6.1

Alle metingen zijn uitgevoerd tussen 11.00 en 13.00 uur, wanneer de bestuiversactiviteit het hoogst is. Voor onze doeleinden telden we handmatig het aantal honingbijen en hommels dat de kasten in en uit ging. Er zijn echter tal van automatische bijentellers op de markt die aangeven hoeveel insecten de kasten verlaten en hoeveel er terugkeren. Ook zijn er sensoren op de markt die op verschillende manieren aangeven of kolonies gezond zijn. Uit één van onze onderzoeken bleek dat er een direct verband bestaat tussen de RV in de hommelkast en de achteruitgang van de kolonie. Al deze technische apparatuur kan helpen de fitheid van bestuivers te monitoren. Het kan echter de waarnemingen in het gewas niet vervangen. Het feit dat de bijen de kasten verlaten, betekent niet automatisch dat ze het gewas optimaal bestuiven.



Figuur 3 Bramenteelt onder SON-T belichting bij Bosch growers waar de observaties zijn uitgevoerd.

1.2 Gedrag van bestuivers onder LED belichting in de aardbeienteelt onder glas- DEMOKAS 2030

Om maximale productie van een gewas te behalen is het belangrijk dat het gewas vrij is van ziekten en plagen, voor sommige gewassen is het ook nodig dat ze bestoven worden. In de moderne glastuinbouw waar het belangrijk is om minder energie te gebruiken en uiteindelijk te streven naar fossiel vrij te telen wordt er steeds meer LED licht gebruikt. Echter is er nog weinig bekend over wat het effect is van LED licht op insecten. Tevens zendt LED licht geen UV licht uit wat de bestuiver *Apis mellifera* (honingbij) nodig heeft om te bestuiven. Een alternatief is *Eristalis tenax* (blinde bij), mogelijk kan deze zweefvlieg wel bestuiven wanneer er heel weinig UV licht aanwezig is. In dit onderzoek zijn er gedragsobservaties uitgevoerd op *E. tenax* en *A. mellifera* onder een combinatie van LED (200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, spectrum 85% rood, 5% blauw en 10% wit) en floweringlampen (FR/R) in de teelt van aardbei. Het effect van bestuiving op vruchtkwaliteit is beoordeeld door de geoogste aardbeien in klassen in te delen.

1.2.1 Materiaal en methode

1.2.1.1 Teeltomstandigheden

De experimenten zijn uitgevoerd in de demokas 2030 van WUR Glastuinbouw in Bleiswijk. Deze kas heeft een oppervlakte van 350 m². De aardbeienteelt was gestart op 29 augustus 2019 met Favori-planten, waarbij er acht planten per strekkende meter ofwel per bak stonden. In de kas hingen twintig goten, waarop negentien bakken van een meter stonden. Omdat de padbreedte 80 cm was, stonden er dus tien planten per m². Het was een volledig elektrische kas en er werd belicht met volledig LED licht 200 µmol/m²/s (spectrum 85% rood, 5% blauw en 10% wit) + floweringlampen (FR/R). Aan het begin van het onderzoek werd er zodanig belicht dat daglengte minimaal 14 uur was en er werd met belichten rekening gehouden met de hoeveelheid instraling afkomstig van de zon. Vanaf eind november is er 18 uur continu belicht, onafhankelijk van de instraling. De gemiddelde etmaal temperatuur was rond 15 à 16 graden. Er is gestreefd naar een relatieve luchtvochtigheid van 80 à 85%.

1.2.1.2 Gedrag observatie *E. tenax* en *A. mellifera*

14 weken lang zijn om de twee weken 500 *E. tenax* poppen uitgezet in de kas. Naast de doos met poppen is een bakje met suikerwater geplaatst, 50 gram suiker op 500 ml water. Ook stond er in de kas een bijenkast. In een bijenkast zitten ongeveer 25.000 bijen waarvan 20% bloem bezoeken. Wanneer er geen activiteit meer van *A. mellifera* was zijn er kasten bijgeplaatst. Het gedrag van *E. tenax* en *A. mellifera* is onderzocht door observaties uit te voeren op drie verschillende onderdelen: aanwezigheid, activiteit en bloembezoeken. Er is een protocol met volledige beschrijving van deze onderdelen (Bijlage 1) Deze observaties zijn uitgevoerd op een random plek in de kas. De observaties zijn twee dagen in de week op twee tijdstippen uitgevoerd, in de ochtend en in de middag. De gemiddelde activiteit per m² en het aantal en tijdsduur bloembezoeken onder verschillende weersomstandigheden is berekend.

1.2.1.3 Bestuiving en vruchtkwaliteit

Vruchtkwaliteit door bestuiving onder LED belichting is onderzocht door middel van twee behandelingen. Behandeling 1 bestond uit vijf tenten die aan de zijkanten open waren zodat daar aardbeien bestoven konden worden door *E. tenax* en *A. mellifera* (Figuur 4). Behandeling 2 bestond uit vijf tenten die volledig gesloten waren zodat daar geen bestuiving door *E. tenax* en *A. mellifera* kon plaatsvinden (Figuur 5). Wel konden de aardbeien zichzelf enigszins bestuiven maar zal hierna genoemd worden: onbestoven. De tenten waren gemaakt van klamboegaas (Abbey Mosquito net polyester white) en waren ongeveer 50 cm lang, 20 cm breed en 40 cm hoog.

De vruchtkwaliteit is beoordeeld door de aardbeien in drie klassen in te delen: Klasse 1 Groot, Klasse 1 Klein en Klasse 2. Klasse 1 Groot aardbeien waren normaal gevormd en waren groter dan 27 mm. Klasse 1 Klein waren normaal gevormd en kleiner dan 27 mm. Klasse 2 aardbeien waren misvormde aardbeien. Er is tien weken lang (week 41 t/m 50), twee maal per week geoogst. Aantallen en gewicht zijn van elke klasse geregistreerd en daaruit is het gemiddelde vruchtgewicht, week gewicht, cumulatief gewicht en productie-gewicht per m² berekend.



Figuur 4 Behandeling 1, open tent waar wel bestoven kan worden.



Figuur 5 Behandeling 2, dichte tent waar niet bestoven kan worden.

1.2.1.4 Data analyse gedrag en vruchtkwaliteit

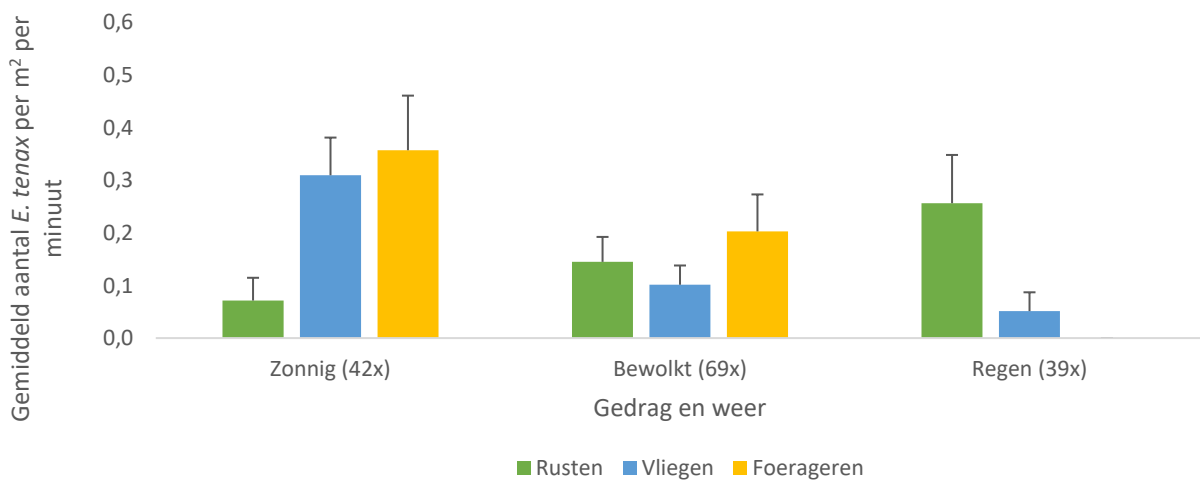
Resultaten van de bestuiving en vruchtkwaliteit experimenten zijn geanalyseerd in SPSS statistics 25. Normale verdeling is getoetst met de Shapiro-Wilk toets. Met behulp van een onafhankelijke t-toets is er getoetst of er een verschil was tussen aantal aardbeien, gemiddeld gewicht en week productie tussen de klassen van bestoven en onbestoven aardbeien ($p < 0,05$). Met een meervoudige variantieanalyse is getest of er verschil was in het cumulatief gewicht tussen de klassen van bestoven en onbestoven aardbeien ($p < 0,05$). Het aantal *E. tenax* en *A. mellifera* en weersomstandigheden verschilden zodanig veel dat er geen statistische toetsen op gedrag uitgevoerd konden worden. Met behulp van Excel zijn grafieken gemaakt die het gedrag van *E. tenax* en *A. mellifera* onder verschillende weersomstandigheden en over het verloop van de tijd weergeven.

1.2.2 Resultaten

1.2.2.1 Gedragsobservatie en bloembezoek van *E. tenax* en *A. mellifera*

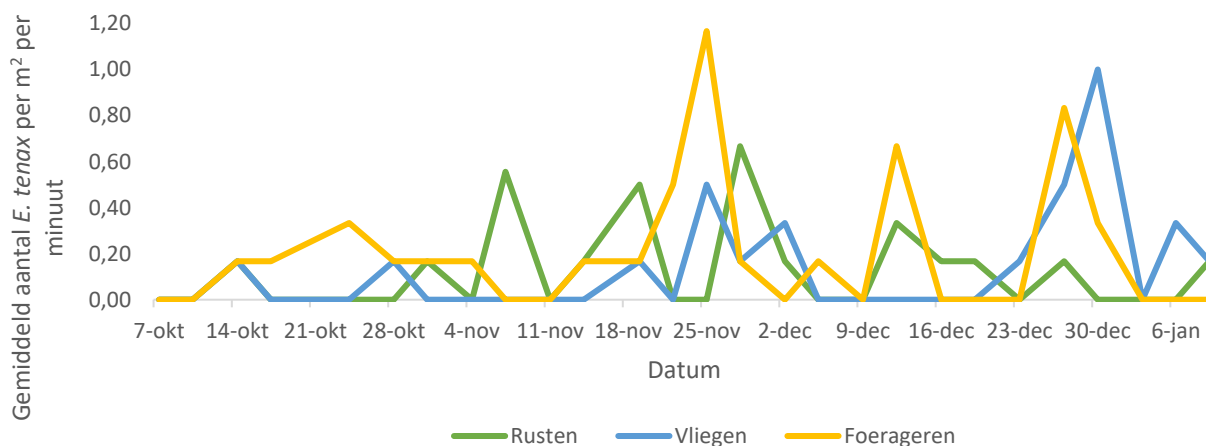
Minuut gedragsobservatie *E. tenax*

Tijdens zonnig weer zijn gemiddeld het meeste *E. tenax* waargenomen, namelijk 0.7 *E. tenax* per m² per minuut. Wanneer het zonnig was, waren 0.3 *E. tenax* aan het vliegen en 0.4 *E. tenax* aan het foerageren. De kas is 350 m² dus dat betekent dat er op een zonnige dag gemiddeld 140 *E. tenax* foerageren per minuut. Onder bewolkte omstandigheden zijn er gemiddeld 0.4 *E. tenax* waargenomen, waarvan 0.1 aan het vliegen en 0.2 *E. tenax* aan het foerageren waren, dat betekent gemiddeld 70 foeragerende *E. tenax* per minuut in de kas. Tijdens regenachtige omstandigheden zijn er gemiddeld 0.3 waargenomen, waarvan de meeste aan het rusten waren, namelijk 0.3 *E. tenax*. *E. tenax* foerageerde niet onder regenachtige omstandigheden (Figuur 6.1).



Figuur 6.1 Gemiddelde activiteit van *E. tenax* per minuut per m² onder verschillende weersomstandigheden tussen 7 oktober en 9 januari. Het getal tussen haakjes staat voor hoe vaak die weersomstandigheden voorkwamen tijdens de onderzoeksperiode. Standaardfout staat aangegeven met een errorbar.

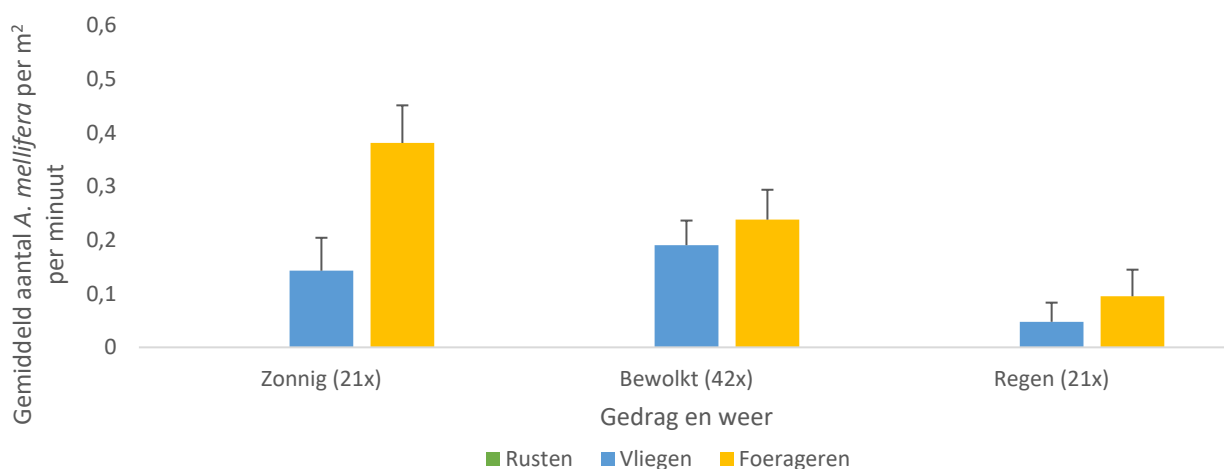
In de periode rond eind november waren de meeste *E. tenax* actief per m². Op 25 november waren er gemiddeld 1.2 *E. tenax* per m² per minuut aan het foerageren, dat is gemiddeld 420 *E. tenax* in de kas. Er is een licht verband te zien, wanneer er veel gefoerageerd werd, werden de andere gedragingen ook uitgevoerd alleen in iets mindere mate (Figuur 6.2).



Figuur 6.2 Gemiddelde activiteit van *E. tenax* over de onderzoeksperiode heen tussen 7 oktober en 9 januari.

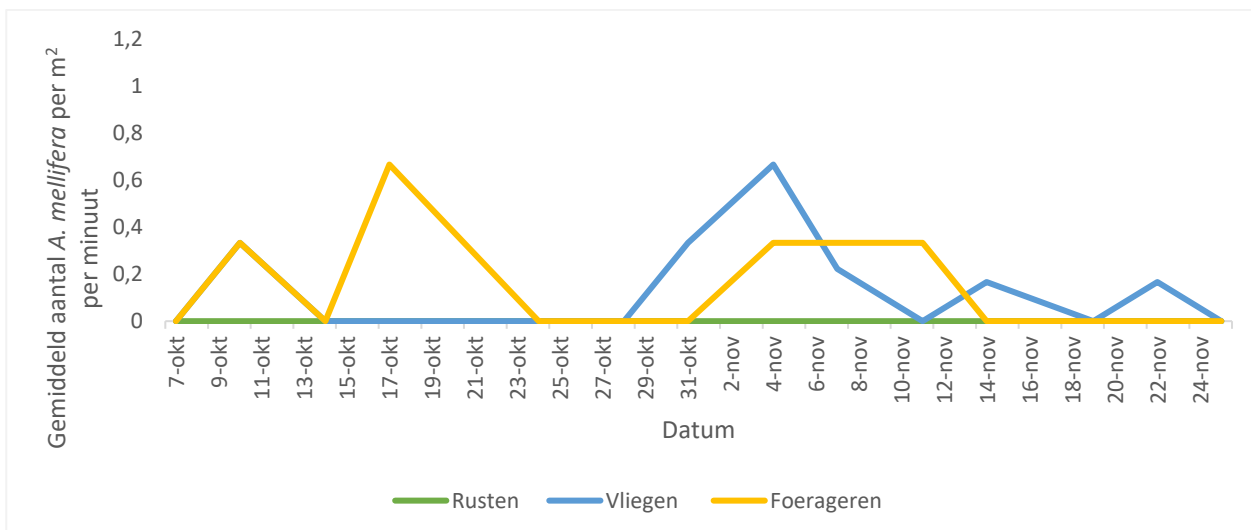
Minuut gedragsobservatie *A. mellifera*

Ook *A. mellifera* was tijdens zonnig weer het meest actief. Per m² werden er per minuut gemiddeld 0.4 *A. mellifera* waargenomen die aan het foerageren waren, dat is 140 foeragerende *A. mellifera* in de kas. Het meeste vlieg gedrag werd vertoond wanneer het bewolkt was, gemiddeld waren er dan 0.2 *A. mellifera* aan het vliegen en 0.2 aan het foerageren per m². *A. mellifera* heeft onder geen enkele weersomstandigheid in het gewas rustgedrag vertoond (Figuur 6.3).



Figuur 6.3 Gemiddelde activiteit van *A. mellifera* per minuut onder verschillende weersomstandigheden tussen 7 oktober en 25 november. Het getal tussen haakjes staat voor hoe vaak die weersomstandigheden voorkwamen tijdens de onderzoeksperiode. Standaardfout staat aangegeven met een errorbar.

A. mellifera was maar actief tot 22 november. De volgende periode tot en met 9 januari is er geen enkele activiteit van *A. mellifera* gezien in het gewas en is dus niet opgenomen in de grafieken (Figuur 6.3 en 6.4). De grafiek in 6.3 laat de gedragingen van *A. mellifera* zien in de periode toen ze wel actief waren. Op 17 oktober is een piek van foerageergedrag met een gemiddelde van 0.7 *A. mellifera* per m² per minuut, dat is gemiddeld 245 *A. mellifera* in de kas. Het meeste vlieggedrag is waargenomen van 4 tot 11 november met een gemiddelde van 0.3 *A. mellifera* per m².



Figuur 6.4 Gemiddelde activiteit van *A. mellifera* tussen 7 oktober en 25 november.

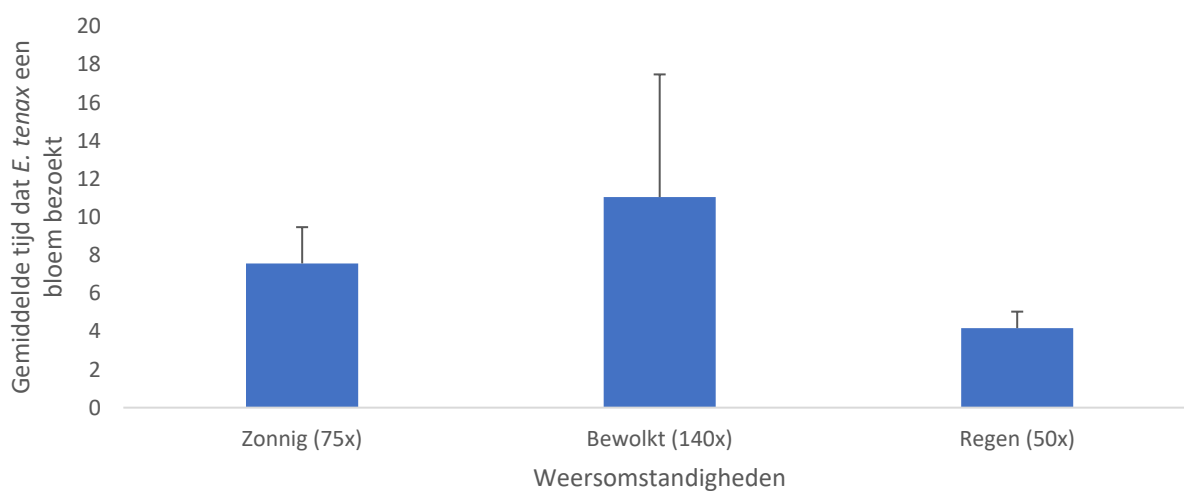
Bloembezoek door *E. tenax*

E. tenax heeft in totaal 49 bloembezoeken afgelegd, dit duurde totaal 1087 seconden. Alhoewel er ongeveer evenveel bloembezoeken zijn onder zonnige omstandigheden als onder bewolkte omstandigheden is onder bewolkte omstandigheden de totale tijd langer (Tabel 7).

E. tenax was het langste bezig met foerageren wanneer het bewolkt was, namelijk gemiddeld 11 seconden per bloembezoek. Onder zonnige omstandigheden gemiddeld 8 seconden en regenachtige gemiddeld 4 seconden (Figuur 6.5).

Tabel 7 Aantal en tijdsduur dat *E. tenax* bloemen bezocht onder verschillende weersomstandigheden tussen 7 oktober en 9 januari.

Weersomstandigheid	Aantal bloembezoeken	Totale tijd bloembezoeken (s)
Zonnig (75x)	22	499
Bewolkt (140x)	25	563
Regenachtig (50x)	2	25



Figuur 6.5 Deze grafiek laat zien hoelang *E. tenax* gemiddeld spendeert op een aardbeibloem onder verschillende weersomstandigheden in de onderzoeksperiode tussen 7 oktober en 9 januari. Het getal tussen haakjes staat voor hoe vaak die weersomstandigheden voorkwamen tijdens de onderzoeksperiode. Standaardfout staat aangegeven met een errorbar.

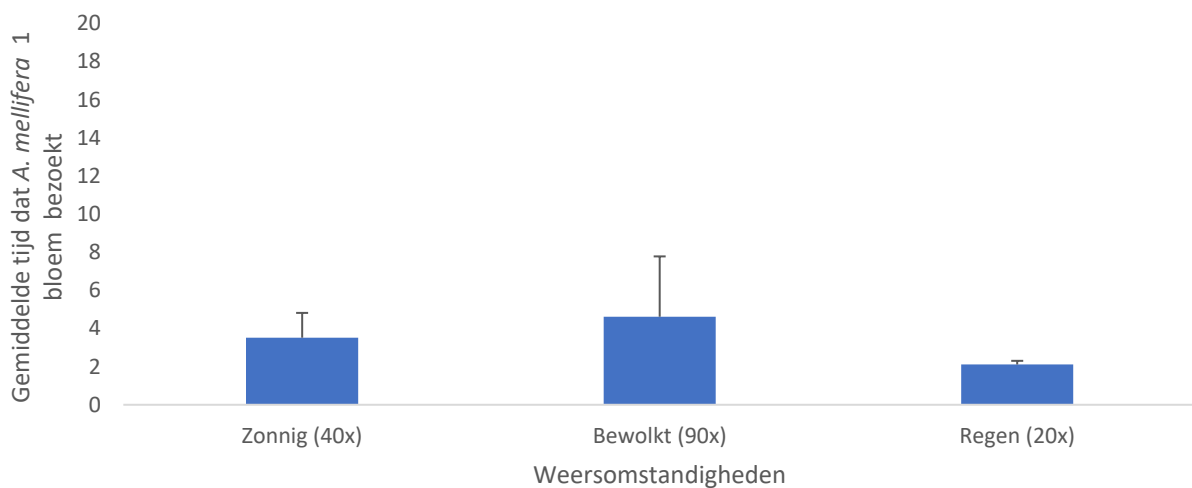
Bloembezoek door *A. mellifera*

In de periode dat *A. mellifera* actief was heeft ze in totaal 48 bloembezoeken afgelegd, dit duurde in totaal 436 seconden (Tabel 8). Het meeste aantal bezoeken was onder zonnige weersomstandigheden.

Tabel 8 Aantal bloemenbezoeken en duur van de bezoeken door *A. mellifera* onder verschillende weersomstandigheden tussen 7 oktober en 25 november.

Weersomstandigheid	Aantal bloembezoeken	Totale tijd bloembezoeken (s)
Zonnig (40x)	22	232
Bewolkt (90x)	13	180
Regenachtig (20x)	3	25

Gemiddeld bezocht *A. mellifera* een bloem het langst wanneer het bewolkt was, dat duurde gemiddeld 5 seconden. Bezoektijd onder zonnige omstandigheden lag dichtbij bewolkt, namelijk 4 seconden. (Figuur 6.6).



Figuur 6.6 Deze grafiek laat zien hoelang *E. tenax* gemiddeld spendeert op een aardbeibloem onder verschillende weersomstandigheden in de onderzoeksperiode tussen 7 oktober en 25 november. Het getal tussen haakjes staat voor hoe vaak die weersomstandigheden voorkwamen tijdens de onderzoeksperiode. Standaardfout staat aangegeven met een errorbar.

1.2.2.2 Vruchtkwaliteit door bestuiving *E. tenax* en *A. mellifera*

Aantal bestoven en onbestoven aardbeien

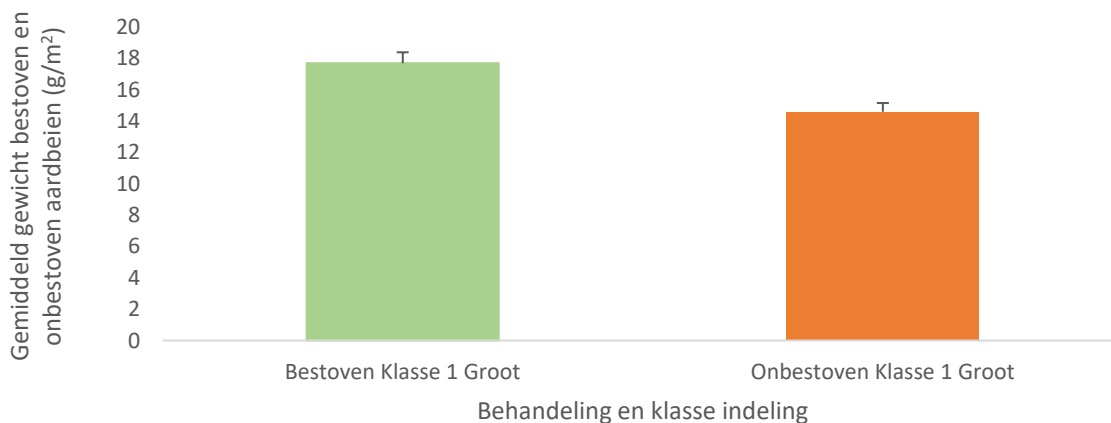
De aardbeiplanten die bestoven zijn door *E. tenax* en *A. mellifera* hebben in totaal (alle klassen) 318 aardbeien per m² geproduceerd, waarvan 234 Klasse 1 Groot (Tabel 9). Ook per week hebben ze significant meer Klasse 1 Groot geproduceerd dan de onbestoven groep ($p=0,028$). De onbestoven aardbeien hebben in totaal (alle klassen) 360 aardbeien geproduceerd per m², dit verschilde niet significant van de bestoven aardbeien. Echter waren het vooral Klasse 2 aardbeien, namelijk 182 en dat was significant meer dan de bestoven groep. ($p= 0,010$).

Tabel 9 Aantal bestoven en onbestoven aardbeien. De bestoven aardbeien hebben significant meer Klasse 1 Groot aardbeien geproduceerd. De onbestoven aardbeien hebben significant meer Klasse 2 aardbeien geproduceerd. Asterisk geeft aan dat er een significant verschil is ($p < 0,05$). Getoetst met een onafhankelijke t-toets.

Klasse indeling	Aantal aardbeien per m ²	
	Bestoven	Onbestoven
Klasse 1 Groot	234*	109
Klasse 1 Klein	51	69
Klasse 2	33	182*
Totaal	318	360

Gemiddeld vruchtgewicht bestoven en onbestoven aardbeien

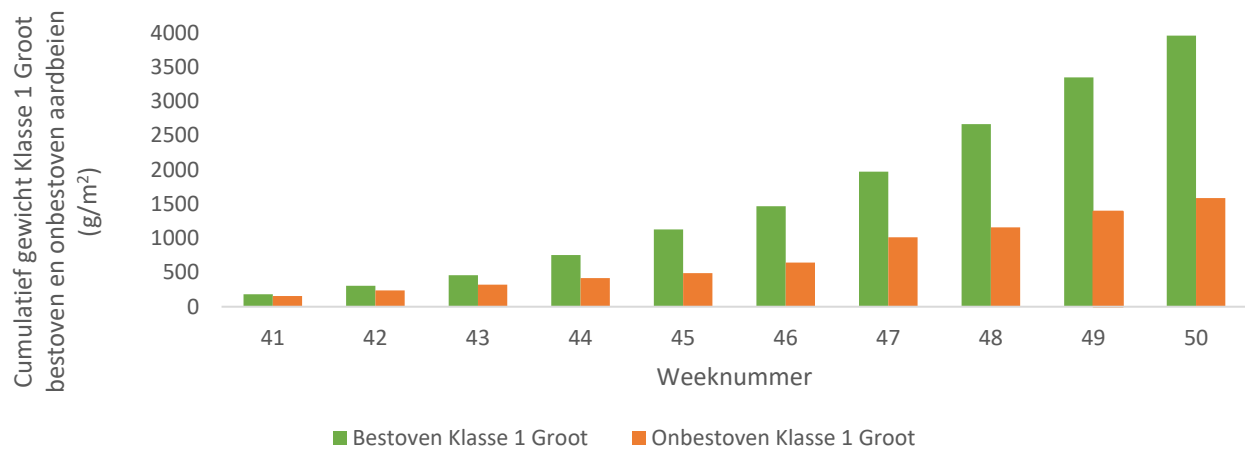
Het gemiddelde vruchtgewicht van de bestoven Klasse 1 Groot aardbeien was significant hoger dan de Klasse 1 Groot onbestoven aardbeien ($p = 0,003$) (fig. 6.7). Er was geen significant verschil in gemiddeld vruchtgewicht in Klasse 1 Klein en Klasse 2 tussen bestoven en onbestoven aardbeien.



Figuur 6.7 Deze grafiek geeft het gemiddelde vruchtgewicht van de bestoven en onbestoven aardbeien weer. Gewicht in gram. De bestoven planten hebben significant meer Klasse 1 Groot aardbeien geproduceerd dan de onbestoven planten ($p = 0,003$). Letters geven aan dat er een significant verschil was. Er was geen verschil in Klasse 1 Klein en Klasse 2. Standaardfout staat aangegeven met errorbar. Getoetst met de onafhankelijke t-toets.

Cumulatief gewicht bestoven en onbestoven aardbeien

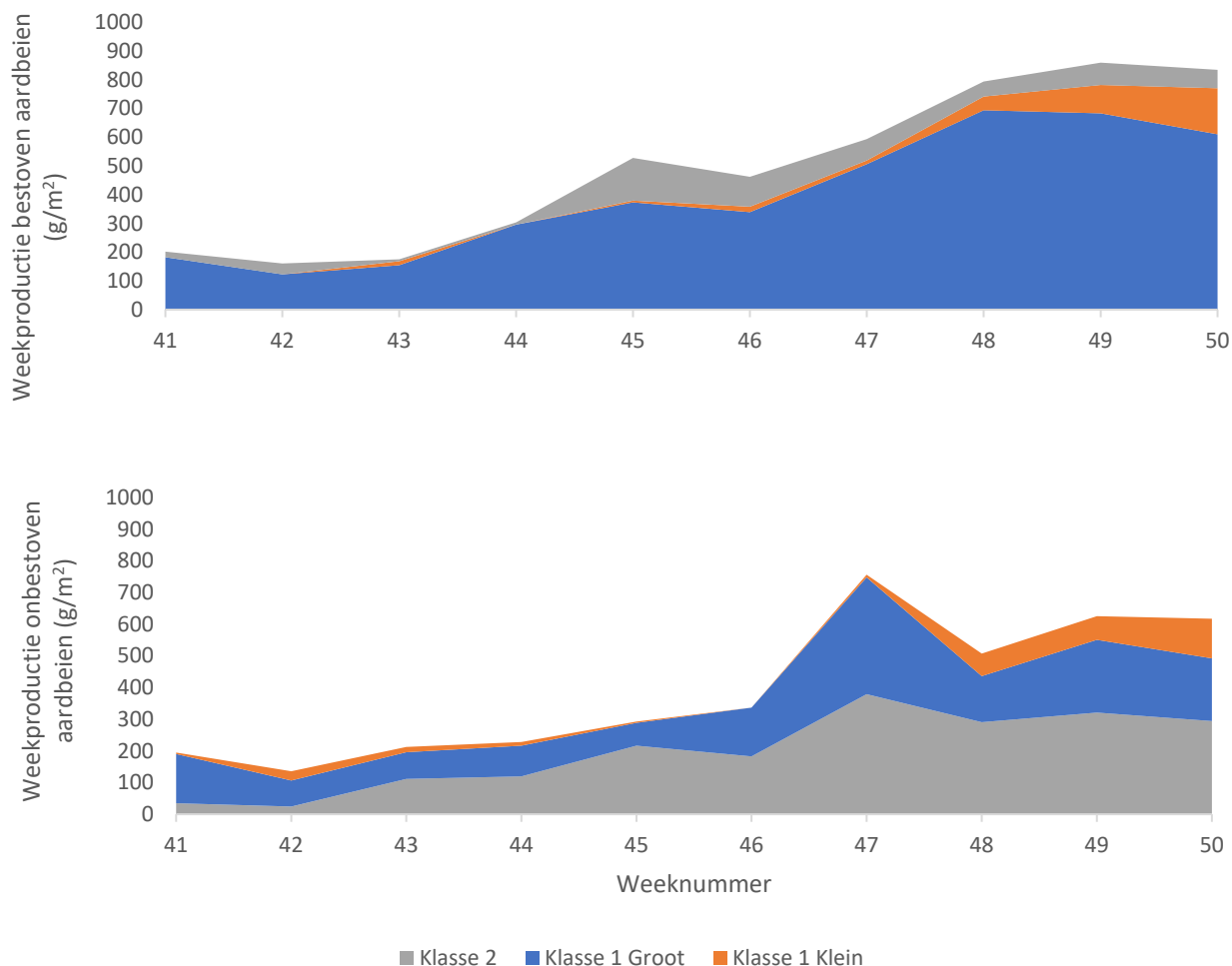
Vanaf week 46 was er een significant verschil in Klasse 1 Groot cumulatief gewicht tussen bestoven en onbestoven aardbeien. Week 46 ($p = 0,038$) en week 47 ($p = 0,016$). Vanaf week 48 tot 50 was er een nog grotere significantie ($p = 0,000$) (Figuur 6.8). In cumulatief Klasse 1 Klein gewicht is geen significant verschil tussen bestoven en onbestoven waargenomen. Over de onderzoeksperiode heen hebben de bestoven planten totaal (alle klassen) 9788,69 gram aardbeien geproduceerd (2 m²). Daarvan kwam het meeste gewicht van de Klasse 1 Groot namelijk: 7918,85 gram, dat is 3,9 kg per m². De onbestoven planten hebben totaal 7808,83 gram aardbeien geproduceerd waarvan 3172,44 gram Klasse 1 Groot, dat is 1,5 kg per m². Echter hebben ze het meeste Klasse 2 geproduceerd: 3945,38 gram, dat is 1,9 kg per m².



Figuur 6.8 Deze grafiek geeft weer het geaccumuleerde gewicht van de aardbeien Klasse 1 Groot die bestoven en onbestoven zijn. Gewicht in gram. Er is een significant verschil in cumulatief gewicht Klasse 1 Groot vanaf week 46 tussen bestoven en onbestoven, significantie is aangegeven met asterisk * ($p < 0,05$) en ** ($p < 0,001$). Statistisch getoetst met meervoudige variantieanalyse.

Weekproductie bestoven en onbestoven aardbeien

De bestoven planten produceerden significant meer gewicht aan Klasse 1 Groot aardbeien per week dan de onbestoven planten ($p = 0,008$). Met een piek in week 48 waarbij het week gewicht van Klasse 1 Groot op 693,54 gram per m^2 lag. De hoogste productie van de onbestoven planten was in week 47 waar er 368,71 gram Klasse 1 Groot aardbeien werden geproduceerd. Van Klasse 2 is er toen 378,71 gram per m^2 geproduceerd. De onbestoven planten produceerden significant meer Klasse 2 aardbeien per week ($p = 0,006$). Er was geen significant verschil in Klasse 1 Klein aardbeien tussen de bestoven en onbestoven aardbeien (Figuur 6.9).



Figuur 6.9 Bovenste gestapelde grafiek geeft weer het gewicht per m² per week van de bestoven aardbeien. Onderste gestapelde grafiek geeft het week gewicht weer per week per m² van de onbestoven aardbeien, gewicht is in gram. De bestoven planten hebben significant meer gewicht aan Klasse 1 groot aardbeien per week geproduceerd ($p=0,008$). De onbestoven planten hebben significant meer gewicht aan Klasse 2 aardbeien per week geproduceerd ($p=0,006$). Tussen de bestoven en onbestoven planten zat geen verschil in weekproductie Klasse 1 Klein aardbeien. Statistisch getoetst met de onafhankelijke t-toets.

1.2.3 Discussie en conclusies

De vruchtkwaliteit van de bestoven aardbeien was van significant hogere kwaliteit dan de onbestoven groep. De bestoven groep had namelijk significant meer, maar ook zwaardere Klasse 1 Groot aardbeien dan van de onbestoven aardbeien. Dit onderzoek wijst uit dat onder LED licht in de winter een zeer hoge bestuivingsgraad behaald kan worden met *E. tenax* en gedeeltelijk *A. mellifera*. Het aantal Klasse 1 Groot aardbeien was significant hoger bij de bestoven aardbeiplanten. Ook produceerden deze per week en cumulatief meer gewicht aan Klasse 1 Groot aardbeien. Daarnaast was het gemiddelde vruchtgewicht hoger dan bij onbestoven aardbeien. In dit onderzoek waren 12% van de bestoven aardbeien misvormd (Klasse 2) tegenover maar liefst 50% bij de onbestoven planten. Recent onderzoek van Abrol et al. (2019) waarin verschillende soorten bestuivers werden gebruikt, gaf voor de bestoven groep ongeveer vergelijkbare resultaten. Daarin waren 11% van de bestoven en 17% van de onbestoven aardbeien misvormd. Onderzoek van Free (1968) geeft ook vergelijkbare resultaten met de onbestoven groep waar 48% van misvormd was. In vervolgonderzoek is het interessant om te kijken naar de verschillen tussen *E. tenax*, *A. mellifera* en *B. terrestris* in de vruchtkwaliteit van bestoven aardbeien. Ook kan er gekeken worden naar de verschillen in hoeveel stuifmeel ze op hun lichaam dragen om de effectiviteit per bloem bezoek per bestuiver te bestuderen.

Opvallend is dat bij het gedragsexperiment met *E. tenax* en *A. mellifera* de *A. mellifera* vanaf week 48 geen activiteit meer vertoonde. Een bijenkast bevat ongeveer 25.000 bijen, waarvan er ongeveer 5.000 bezig zijn met bloemen bezoeken. In dit onderzoek, zijn vanaf week 48, geen bijen meer gezien in de kas. De bijenkast is vervangen in week 49 en 51 met nieuwe kasten maar nog steeds vlogen de *A. mellifera* niet uit. Om die reden lopen de grafieken van *A. mellifera* ook maar tot week 48. De inactiviteit van *A. mellifera* kan komen doordat er te weinig UV in de kas was. *A. mellifera* kon zich daardoor mogelijk niet voldoende oriënteren om uit te vliegen (Morandin et al, 2012). Volgens de Nederlandse Bestuivingscommissie (2020) is het daarnaast belangrijk dat de kasten op gelijke hoogte staan met het gewas zodat de bijen zich goed kunnen oriënteren op het gewas. Ook is het belangrijk dat kasten hoog staan en dat het bij de opening ook voldoende warm (boven 16°C) is zodat *A. mellifera* sneller uitvliegt, dat was in dit onderzoek niet het geval. *E. tenax* bleef wel actief gedurende de hele onderzoeksperiode, de poppen van *E. tenax* waren uitgezet in het gewas dus deze zaten wel op gelijke hoogte en konden zich mogelijk makkelijker oriënteren. Voor vervolgonderzoek is het interessant om de hoeveelheid UV licht in de kas te meten onder verschillende weersomstandigheden en hoeveel UV licht minimaal nodig is voor een goede oriëntatie van *A. mellifera* en *E. tenax*.

In de periode dat *A. mellifera* wel actief was foerageerde ze het meest wanneer het zonnig was, namelijk 0.4 per m², dat is 140 foeragerende *A. mellifera* in de kas. In een onderzoek van Chagnon et al. (1986) (buitenteelt) werd gesteld dat om adequate bestuiving in aardbei te hebben het nodig is om vier bezoeken met een totaal gemiddelde van 40 seconden te hebben. Echter, *A. mellifera* komt onder geen enkele weersomstandigheid aan een gemiddelde van 10 seconden per bloembezoek in dit onderzoek. Over het algemeen kunnen *A. mellifera* te weinig kwalitatief stuifmeel/nectar verzamelen van aardbeibloemen (Nederlandse bestuivingscommissie, 2016). Dit kan een reden zijn waarom ze niet boven een gemiddelde van 10 seconden per bloembezoek komen. Echter, aangezien *A. mellifera* maar een korte periode actief was en er dus weinig data van is, kan hier niets definitiefs over gezegd worden. *E. tenax* foerageerde het meeste wanneer het zonnig was met een gemiddelde van 0.4 per m², dat is hetzelfde als *A. mellifera*. Echter, foerageert *E. tenax* het langst wanneer het bewolkt is met een gemiddelde van 11 seconden. Dat zou dus volgens Chagnon et al. (1986) voldoende zijn en waarschijnlijk ook de reden dat de aardbeien in de kas van goede kwaliteit waren. Een mogelijke verklaring waarom bestuivers onder bepaalde weersomstandigheden meer of minder foerageren kan bloemtemperatuur zijn. Bloemen hebben een aantal eigenschappen waarmee ze insecten aantrekken zodat ze bestoven worden, bloem temperatuur is daar één van. Bloemen worden verwarmd door zonnestralen en dat kunnen bijen waarnemen met hun antenne en tarsi (Harrap et al. 2017). Of dit ook geldt voor *E. tenax* is niet bekend aangezien daar geen data van beschikbaar is. Daarnaast helpen warme bloemen de lichaamstemperatuur van insecten te verhogen zodat ze ook onder koude omstandigheden kunnen foerageren (Herrera 1995). Een mogelijke verklaring voor het hogere aantal bloembezoeken tijdens zonnig weer is dat *E. tenax* dan makkelijker wordt aangetrokken. De langere tijdsduur van de bezoeken onder bewolkt weer kan mogelijk verklaard worden met de theorie dat *E. tenax* zich dan aan het opwarmen was. Echter zal er onderzoek gedaan moeten worden of bloemtemperatuur werkelijk invloed heeft op *E. tenax*.

De aanwezigheid van *E. tenax* en *A. mellifera* samen, zou de bestuivingseffectiviteit van *A. mellifera* mogelijk kunnen verhogen. Uit onderzoek van Greenleaf & Kremen (2016) blijkt dat wilde bijen de bestuivingseffectiviteit van *A. mellifera* verhogen. Dat kwam doordat soms mannelijke wilde bijen probeerden te paren met *A. mellifera*. Doordat hun lichamen met elkaar in aanraking komen wordt er stuifmeel uitgewisseld en neemt *A. mellifera* dat mee naar de volgende bloemen. Deze gedragsinteracties komen ook voor tussen verschillende soorten Syrphidae doordat mannelijke Syrphidae ook vaak proberen te paren met andere soorten (Reemer et al. 2009). Of deze gedragsinteracties ook voorkomen tussen *E. tenax* en *A. mellifera* is onbekend en zou onderzocht kunnen worden in een vervolg onderzoek.

1.3 Effect van LED-lampen met verschillende lichtspectra op het foerageergedrag van bestuivers (Rekken en Strekken in de Schaduw)

Vliegen hebben een uitstekend zicht en zijn allemaal grotendeels visueel georiënteerde insecten. Ze maken gebruik van kleurwaarneming bij het bezoeken van bloemen op zoek naar stuifmeel en nectar (Lunau, 2014). Het zicht van hymenopteran-soorten (zoals *A. mellifera* en *B. terrestris*) is uitgebreid bestudeerd en laat zien dat ze in staat zijn onderscheid te maken tussen verschillende kleuren en de contrasterende kleuren (inclusief UV) te gebruiken tijdens de herkenning van bloemen (doel versus achtergrond) (Peitsch et al., 1992; Kevan et al., 2001). De grafiek uit (Labbe & McCreary, 2020) toont de gevoeligheid van planten, mensen en insecten voor licht op verschillende golflengten, zie Figuur 1. De spectrale gevoeligheid van alle insectenbestuivers is zeer beperkt voor licht uit het rode spectrum (langere golflengten dan 650 nm), waardoor rood licht mogelijk moeilijk te gebruiken is voor insecten. Zoals veel hymenopteran-insecten hebben *A. mellifera* en *B. terrestris* een trichromatisch kleurenzicht met pieken van spectrale gevoeligheid rond 340 nm (UV-licht), 430 nm (blauw licht) en 535 nm (groen licht) (Peitsch et al., 1992) en *E. tenax* heeft een spectrale gevoeligheid die vergelijkbaar is met die van bijen, ook variërend van UV tot groen licht (300-600 nm) (Lunau, 2014). Het is bekend dat honingbijen en hommels UV-licht gebruiken voor hun algemene navigatie en om onderscheid te maken tussen bloemen (Fluence By Osram, 2021; Blacqui re, 2005). Uit een onderzoek naar het effect van UV-licht op de activiteit van bestuivers bleek dat de activiteit van hommels 94% hoger was onder een kasdek dat UV-licht doorliet, vergeleken met een kasdek dat UV-licht grotendeels blokkeerde (Morandin et al., 2001). Meerdere onderzoeken hebben aangetoond dat *E. tenax* specifiek de voorkeur geeft aan gele kleuren boven andere kleuren om op te landen (An et al., 2018). Deze aantrekking tot gele kleuren (vooral bij UV-absorptie) houdt verband met geel stuifmeel dat UV- en blauw licht sterk absorbeert en licht reflecteert op de gele golflengte (> 520 nm) (Lunau en Wacht, 1994; Dinkel en Lunau, 2001). Deze bevindingen wijzen allemaal op het belang van kleurperceptie en contrastgevoeligheid voor bloemenbezoekende insecten (bestuivers). Uit ervaring en observaties uit de praktijk blijkt dat zowel *A. mellifera* als *B. terrestris* moeite hebben met winterse lichtomstandigheden (donkerdere dagen met minder natuurlijk licht). Tijdens de wintermaanden wordt in Nederland 75-95% van het licht in kassen gegenereerd door kunstlicht (Blacqui re en Tom, 2019). Bestuivers als *A. mellifera* en *B. terrestris* zijn dan vrijwel volledig afhankelijk van dit kunstlicht voor hun vluchtorientatie en de herkenning van bloemen (Fluence By Osram, 2021).

1.3.1 Materiaal en methode

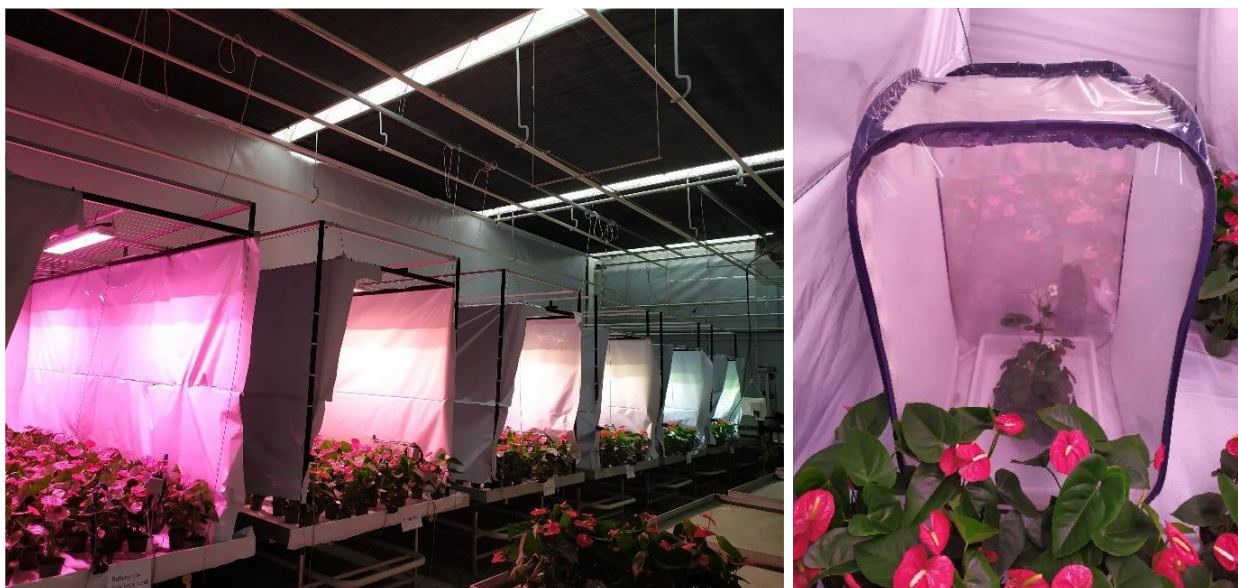
Het doel van dit onderzoek was om te onderzoeken hoe LED-verlichting met verschillende lichtspectra de foerageeractiviteit van verschillende bestuivers be nvloedt. In de proefkassen van WUR Glastuinbouw (in Bleiswijk) is een experiment uitgevoerd naar de foerageeractiviteit van de hommel *B. terrestris* en twee zweefvliegsoorten *E. tenax* en *E. aeneus* onder gesimuleerde winteromstandigheden (wanneer kunstlicht het belangrijkste is in kassen). Zes lichtbehandelingen met verschillende verhoudingen van blauw (400-500 nm), groen (500-600 nm), rood (600-700 nm) en verrood (>700 nm) en een zevende aanvullende behandeling met UV-A (320-400 nm) licht werden ingericht. De resultaten van dit experiment geven inzicht in hoe het gedrag van bestuivers wordt be nvloed door deze verschillende lichtspectra. Deze informatie zou mogelijk nuttig kunnen zijn bij de keuze in lichtspectra van LED-verlichting in kassen, bij het beoordelen van de effectiviteit van gewasbestuiving.

1.3.1.1 Kas compartiment

Het experiment werd uitgevoerd in een kascompartiment (144 m²) waar constante winterlichtomstandigheden (wanneer kunstlicht het meest wordt gebruikt) werden gesimuleerd. Dat wil zeggen dat maximaal 2 Mol PAR/m² natuurlijk licht per dag het compartiment bereikte, zoals in een Nederlandse winterdag. Om dit te bereiken werden twee horizontale schermen onder het kasdek gebruikt:

- Een zonlicht dimmend scherm (XLS16, ca. 60% lichtreductie) bedekte permanent het gehele compartiment.
- Een zonlicht blokkerend scherm (obscura, ca. 99% lichtreductie) werd gedeeltelijk gesloten afhankelijk van de hoeveelheid instraling van de zon. Tijdens zonnige dagen (meer dan 800 W/m²) kon dit zonlicht blokkerende scherm tot ongeveer 90% gesloten zijn, terwijl bij bewolking (vari rend van 300 tot 800 W/m²) dit scherm tussen 0 en 85% kon sluiten.

Binnen dit kascompartiment werd de relatieve vochtigheid tussen 70 en 80% gehouden met behulp van verneveling en de temperatuur tussen 19 en 25°C. Gemiddeld is 22.5 °C en 79% RV gerealiseerd. Binnen dit kascompartiment bevonden zich 14 eb-vloed tafels (7 m²). Voor zes van deze tafels werd een constructie gebouwd met LED-verlichting (200 µmol/m²/s) op 1,5 tot 1,8 meter boven de tafel om dezelfde lichtintensiteit te bereiken op plant niveau, en beide zijden werden bedekt met witte plastic om de lichtomstandigheden op elk van de tafels te homogeniseren en voorkomen dat het licht van de ene tafel de planten op de andere tafels beïnvloedt, Figuur 7. Op een zevende tafel werd een UV-lamp (BeamZ 25W E27 UV) geïnstalleerd om te zien hoe ultraviolet licht (320-400nm) de bestuiver zou beïnvloeden. De lampen boven de tafels hadden een 16L:8D lichtschema. Op elke tafel werd een insectenkooi van Vermandel-gaas (60x60x90cm) geplaatst waarin tijdens het experiment de bloeiende planten (aardbei of boekweit) en een enkele bestuiver (*B. terrestris*, *E. aeneus* of *E. tenax*) werden geplaatst. Deze kooien waren omringd door potanthuriumplanten die voor een ander experiment werden gebruikt, Figuur 7.



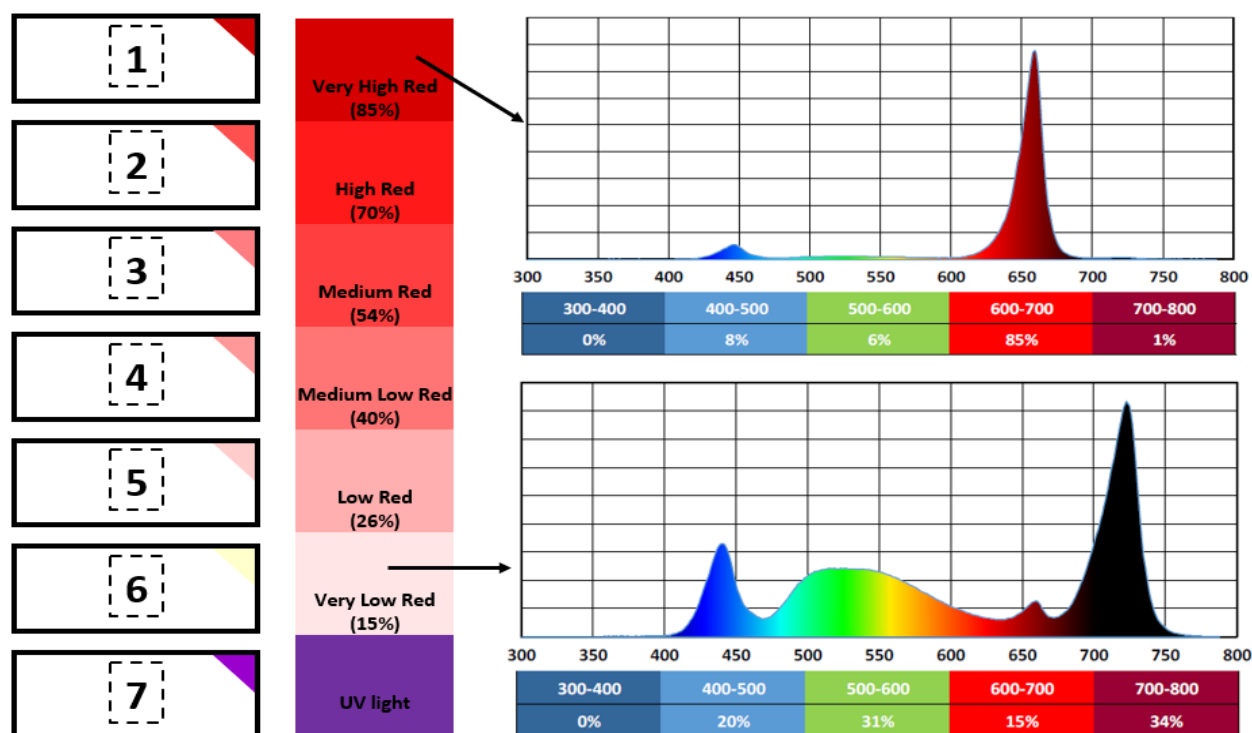
Figuur 7 Op de afbeelding links is het kascompartiment (7.02) te zien waarin dit experiment plaatsvond. Bovenop de overstromingstafels werden behandelingen uitgevoerd door twee LED-lampen die boven de tafels hingen. Aan de zijkanten van de tafel zijn witte plastic platen aangebracht om invloed van aangrenzende tafels te voorkomen. Winterlichtomstandigheden werden gesimuleerd met behulp van een dimscherf aan het plafond om de hoeveelheid zonlicht die dit kascompartiment binnendringt te verminderen. De foto rechts toont een Vermandel-gaaskooi (60x60x90cm) waarin een bloeiende plant werd geplaatst met een enkele bestuiver.

1.3.1.2 Proefopzet

Oorspronkelijk werden zes behandelingen met verschillende verhoudingen van PAR (fotosynthetisch actieve straling) en verrood licht uitgevoerd, waarbij de verhouding van rood licht (600-700 nm) varieerde van 85% tot 15%, Figuur 8. Een overzicht van de exacte spectrale verdelingen van alle behandelingen is weergegeven in Tabel 10. De behandeling ('Zeer laag rood'), met de laagste verhouding rood licht (15%), simuleerde 'natuurlijke schaduw-omstandigheden zoals onderaan in een jungle omgeving, vanwege het hoge aandeel verrood licht. De behandeling ('Laag rood') komt het dichtst in de buurt van normaal daglicht (binnen de golflengten gebied tussen 400 en 800 nm) dus zonder ultraviolet licht. Omdat we geïnteresseerd waren hoe UV-licht het gedrag van de bestuivers zou beïnvloeden, besloten we een zevende behandeling met een UV-A-lamp toe te voegen. Helaas was het niet mogelijk om dit UV-licht te combineren met de LED-opstelling en ook de zevende tafel beschikte niet over de reflecterende plastic rondom de tafel. De spectrale verdeling van de behandeling met de hoogste verhouding rood licht ('Zeer hoog rood') en de laagste verhouding rood licht ('Zeer laag rood') is te zien in Figuur 8.

Tabel 10 Overzicht van de lichtbehandelingen met de bijbehorende verhoudingen (%) van 'Blauw', 'Groen', 'Rood' en 'Verrood' licht. Bij de behandeling 'UV-licht' waren geen LED-lampen geïnstalleerd en was er geen registratie van de specifieke lichtomstandigheden beschikbaar.

Treatment	Light spectrum			
	Blue (400-500nm)	Green (500-600nm)	Red (600-700nm)	Far-Red (700-800nm)
Very High Red (85%)	8	6	85	1
High Red (70%)	8	11	70	11
Medium Red (54%)	11	17	54	18
Medium-Low Red (40%)	13	21	40	26
Low Red (26%)	22	26	26	26
Very Low Red (15%)	20	31	15	34
UV light	-	-	-	-



Figuur 8 Links een schematisch overzicht van de zeven tafels met verschillende lichtspectra. Per behandeling wordt de verhouding (%) rood licht (golflengte van 600-700 nm) aangegeven. Aan de rechterkant twee spectrale distributiegrafieken die de behandelingen 'Very High Red' en 'Very Low Red' tonen. Onder beide grafieken het golflengtebereik (nm) dat overeenkomt met de kleuren en de verhouding (%) van het licht in deze kleur, voor beide weergegeven behandelingen.

1.3.1.3 Planten en insecten

Voor dit experiment gebruikten we bloeiende planten van de volgende twee plantensoorten, boekweit (*Fagopyrum esculentum*) en aardbei (*Fragaria ananassa*). Tijdens dit experiment werden boekweitplanten (zaden van MediGran, Hoorn) gekweekt in de kassen van Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk. De aardbeiplanten zijn geleverd door Van der Avoird Trayplant B.V., Bavel en Intratuin Nederland B.V., Zoetermeer. Elke week werden er nieuwe boekweitplanten verzameld uit een 'schone' kasafdeling en in een kasafdeling (6.07) geplaatst om te worden opgeslagen totdat ze voldoende bloemen hadden. Boekweitplanten konden slechts een paar dagen worden gebruikt voordat de zaden zich begonnen te vormen. Aardbeiplanten konden ook enkele dagen gebruikt worden totdat de planten door de vorming van de vruchten niet meer voldoende bloemen hadden. In compartiment 6.07 zijn aardbeiplanten zonder bloemen geplaatst en opgeslagen en zijn vruchten verwijderd om de aanmaak van nieuwe bloemen te bevorderen.

Tijdens dit experiment werden de volgende soorten insectenbestuivers gebruikt: *Bombus terrestris* (hommel), *Eristalinus aeneus* (zweefvlieg) en *Eristalis tenax* (zweefvlieg). Wekelijks ontvingen wij het Masculino-System (B.t.) (Biobest), een doos met daarin ongeveer 50 drones (volwassen mannelijke hommels). Deze dozen bevatten voerstations die gevuld zijn met 'biogluc' (suikerwater) om de hommels tijdens het reizen te ondersteunen. Eenmaal aangekomen bij het laboratorium in Bleiswijk werd dit Masculino-systeem geopend in een Vermandel-gaskooi (met mouwen) en indien nodig voorzien van extra suikerwater, Figuur 9. *B. terrestris* werd vervolgens in een donkere kamer bewaard om de hommels kalm te maken. In deze kooi konden de hommels zich vrij bewegen. Voordat de hommels naar de experimentele kooien werden vervoerd, werden ze in normale lichtomstandigheden geplaatst om ongeveer 30 minuten aan het licht te wennen.



Figuur 9 Aanzicht van een Vermandel gaaskooi (met mouwen) met daarin *B. terrestris* van twee 'Masculino-Systems'. Rechter foto toont het individualiseringsproces van *B. terrestris* met behulp van een kleine container (280 ml) met gaasdeksel.

Voor de zweefvliegen ontvingen wij Queenfly- en Goldfly-pakketten van Polyfly (Almeria, Spanje), waarin poppen van respectievelijk *E. tenax* en *E. aeneus* zaten. Poppen van beide soorten werden in een Vermandel-kooi geplaatst met suikerwater en wat extra stuifmeel als voedsel voor de opkomende volwassenen. Deze kooi werd vervolgens in een kascompartiment (9.03) geplaatst met een temperatuur van ± 25 °C, een relatieve vochtigheid van 70-80% en natuurlijke lichtomstandigheden.

Alle bestuivers die tijdens dit experiment werden gebruikt, werden eerst individueel uit de Vermandel-kooi gevangen met behulp van plastic containers (280 ml) met een gaasdeksel. Nadat de bestuivers in de experimentele kooien waren vrijgelaten, mochten ze eerst minimaal 30 minuten acclimatiseren voordat met de waarnemingen werd begonnen.

1.3.1.4 Waarnemingen

Voor dit experiment werden de gegevens verzameld door 2 soorten waarnemingen uit te voeren. Vóór elke waarneming werd het starttijdstip en de stand (percentage gesloten) van het zonlicht blokkerende scherm aan het plafond geregistreerd. Tijdens elke observatie werd één enkele bestuiver vanaf de zijkant van de tafel waargenomen.

Er werd een drie minuten durende 'bloemenbezoek'-observatie uitgevoerd, waarbij zowel het aantal bloemenbezoeken als de duur (in seconden) van elk bloemenbezoek werd geregistreerd. Wanneer de bestuiver zich op een bloem bevond maar niet actief aan het foerageren was (bijvoorbeeld: rustend of schoonmakend), werd een notitie toegevoegd om de gegevens te corrigeren. Daarnaast werd een één minuut durende observatie van het 'foeragegedrag van bestuivers' uitgevoerd, waarbij het gedrag van de bestuiver werd geregistreerd als (ja/nee) binomiale gegevens. De gedragsparameters waren: rusten (op wanden, grond of de plant), lopen (op wanden, grond of de plant), foerageren op bloemen, foerageervlucht en vrije vlucht. Waarnemingen werden gedaan tussen 11.00 en 15.00 uur, omdat dit het tijdstip zou zijn waarop de bestuivers onder normale lichtomstandigheden het meest actief zouden zijn. Voor meer details over de observatieprotocollen, zie Bijlage 2.

1.3.1.5 Gegevensanalyse

Om het effect van de lichtbehandelingen op de foerageertijd te begrijpen, werd een gegeneraliseerd lineair model (GLM) met binominale verdeling gebruikt. Vanwege de beperkte duur van de waarnemingen werd als responsvariabele een verhouding van de foerageertijd per drie minuten (totale observatietijd) gebruikt, met de behandelingen (verschillende lichtspectra) als onafhankelijke variabele. Voor het gemiddelde aantal bloemenbezoeken is gebruik gemaakt van een GLM met poison verdeling, met het gemiddelde aantal bloemenbezoeken als afhankelijke variabele en behandeling als onafhankelijke variabele. In geval van "overdispersion" werd in plaats daarvan de 'quasi'-versie van de verdeling gebruikt. Er werd een post-hoc Tukey-procedure uitgevoerd om paarsgewijze vergelijkingen tussen alle behandelingen mogelijk te maken.

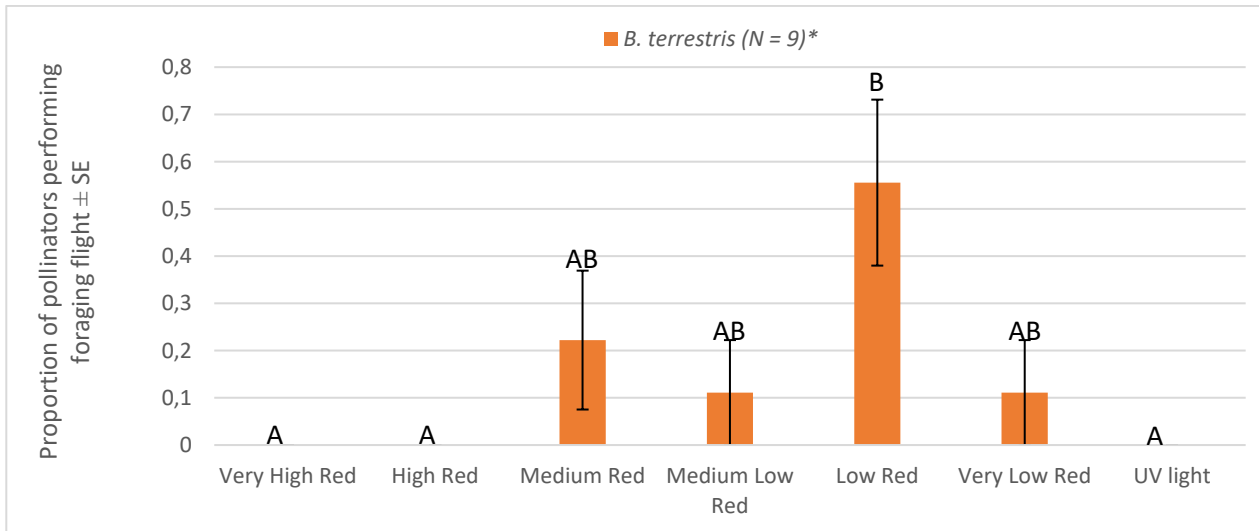
De verhoudingen van bestuivers die een foerageervlucht uitvoerden, werden geanalyseerd met behulp van een GLM met binominale verdeling. Met foerageervlucht (ja/nee) als afhankelijke variabele en behandeling als onafhankelijke variabele. Door een groot aantal nul waarden voor deze verhoudingen gaf de uitkomst van de GLM-modellen vreemde waarden. Daarom werd een proportietest (test met zeven monsters voor gelijkheid van proporties) uitgevoerd om te zien of de proporties bestuivers die een foerageervlucht uitvoerden, aan elkaar gelijk waren. Wanneer een significant verschil werd gevonden, werden paarsgewijze proportietests (test met twee monsters voor gelijkheid van proporties) uitgevoerd om te bepalen welke behandelingen daadwerkelijk significant van elkaar verschilden. Alle statistische analyses werden voor dit experiment uitgevoerd in R (versie R-4.1.0).

1.3.2 Resultaten

1.3.2.1 Effect van verschillende lichtspectra op de foerageeractiviteit van *B. terrestris*

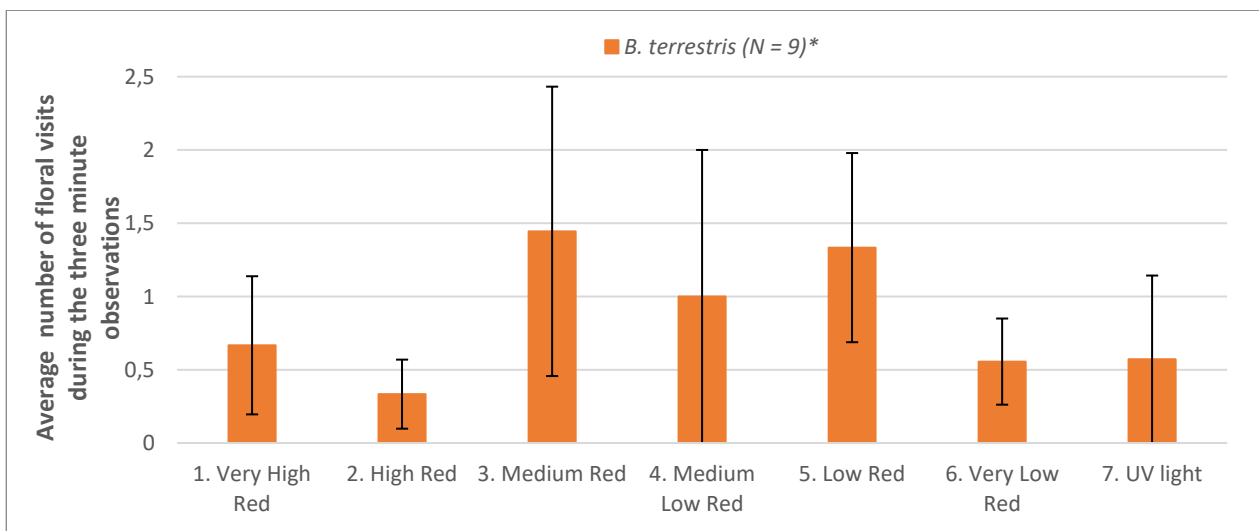
Foerageeractiviteit in aardbeien

Over het algemeen voerden grotere hoeveelheden *B. terrestris* een foerageervlucht uit naar aardbeibloemen in lichtomstandigheden met een lagere verhouding (%) rood licht (behandelingen van 'Medium rood' tot 'Zeer laag rood') vergeleken met lichtomstandigheden met een hogere verhouding (%) rood licht (behandelingen '(Zeer) Hoog Rood'). Een aanzienlijk groter deel van de *B. terrestris* voerde een foerageervlucht uit onder 'Laag rood'-omstandigheden vergeleken met '(Zeer) Hoog Rood'-omstandigheden (X^2 -kwadraat = 4,4308, $df = 1$, p -waarde = 0,0353). Bij de meest 'normale' lichtomstandigheden (behandeling 'Laag Rood') was 56% van *B. terrestris* actief op zoek naar de aardbeibloemen, terwijl onder alle overige lichtomstandigheden minder dan 23% een foerageervlucht uitvoerde, zie Figuur 10.

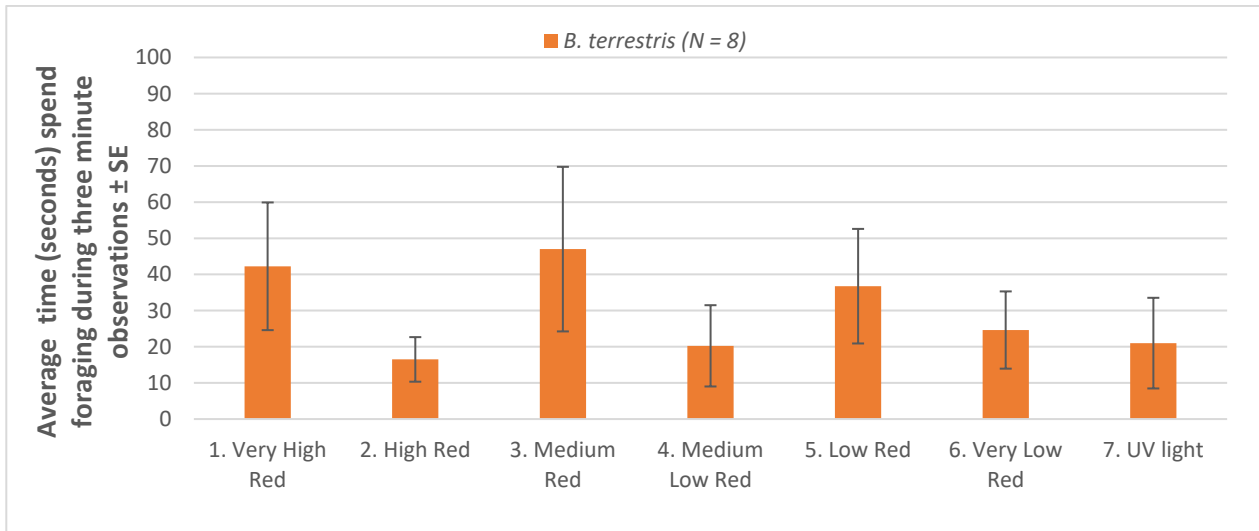


Figuur 10 Proportie *B. terrestris* dat een foerageervlucht uitvoert tijdens de observaties van één minuut met aardbeiplanten. De specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 4. Significante verschillen ($p < 0,05$) worden aangegeven met de letters boven elke balk. N = aantal replica's (behalve voor de UV-behandeling die 7 replica's had).

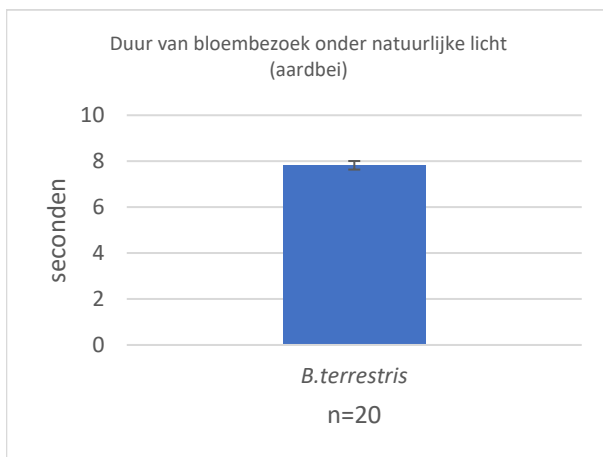
Voor het gemiddelde aantal door *B. terrestris* bezochte aardbeibloemen is er een trend dat er in de lichtomstandigheden met (zeer) hoge roodverhoudingen minder bloemen werden bezocht vergeleken met de middelmatige tot lage roodverhoudingen, Figuur 11. Deze trend is niet zichtbaar in de gemiddelde foerageertijd van *B. terrestris* (Figuur 12), maar de tijd die aan de bezoeken werd besteed was 2 tot 5 keer langer dan bij de controle zonder verlichting (Figuur 13), wat erop kan wijzen dat de hommels zich niet op natuurlijke wijze gedroegen. Vermeldenswaardig is dat bij de controle die werd uitgevoerd na afloop van het project en wanneer er geen licht aan was en de schermen open waren, het aantal bloembezoeken van *B. terrestris* minstens twee keer zo hoog was als in de lichtbehandelingen, Figuur 14. Metingen in de behandeling en de controle zijn niet direct met elkaar te vergelijken, omdat ze niet samen zijn uitgevoerd, maar geven wel een indicatie dat alle lichtspectra (waarschijnlijk in combinatie met het schermen om winterse lichtomstandigheden te creëren) het natuurlijke gedrag van hommels verstoren.



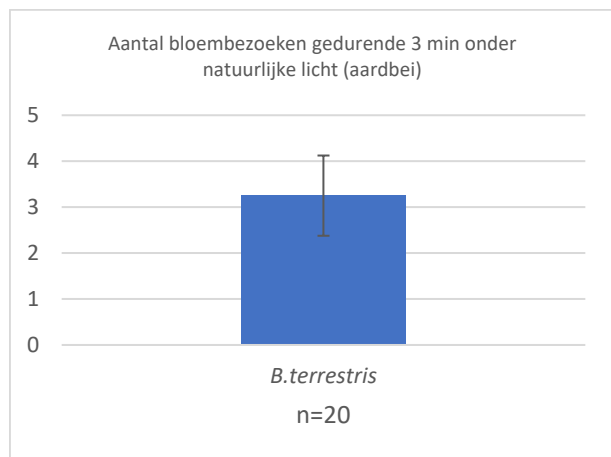
Figuur 11 Gemiddeld aantal aardbeibloemen bezocht door *B. terrestris* tijdens de drie minuten durende waarnemingen. De specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 4. N = aantal replica's (verwacht voor de UV-behandeling die 7 replica's had).



Figuur 12 Gemiddeld tijd van bloembezoeken door *B. terrestris* tijdens de drie minuten durende waarnemingen. De specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 4. N = aantal replica's (verwacht voor de UV-behandeling die 7 replica's had).



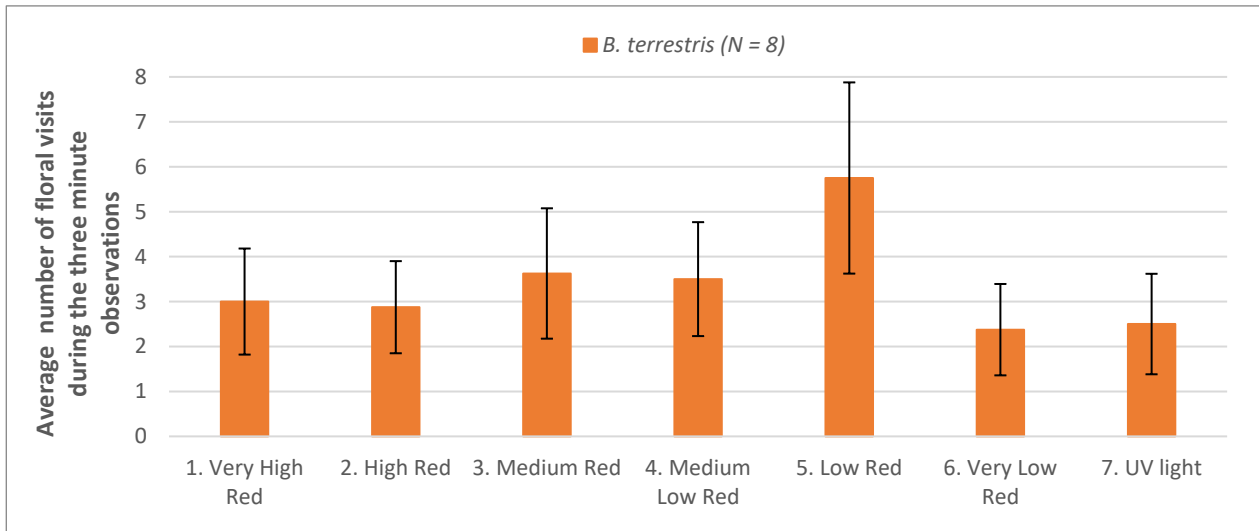
Figuur 13 Duur van bloembezoek in de controle behandeling die werd uitgevoerd na afloop van het experiment. N=aantal replica's.



Figuur 14 Het aantal bloembezoeken in de controle behandeling uitgevoerd na afloop van het experiment. N=aantal replica's.

Foerageeractiviteit in boekweit

B. terrestris bezoekt het hoogste aantal boekweitbloemen in de 'Low Red'-behandeling. De verschillen tussen de behandelingen zijn echter relatief klein, Figuur 15. Er zijn geen significante verschillen gevonden in het aandeel hommels dat een foerageervlucht maakt op boekweitplanten, noch in de gemiddelde tijd die wordt besteed aan het foerageren op boekweitbloemen, met betrekking tot de verschillende lichtomstandigheden, zie Bijlage 2.

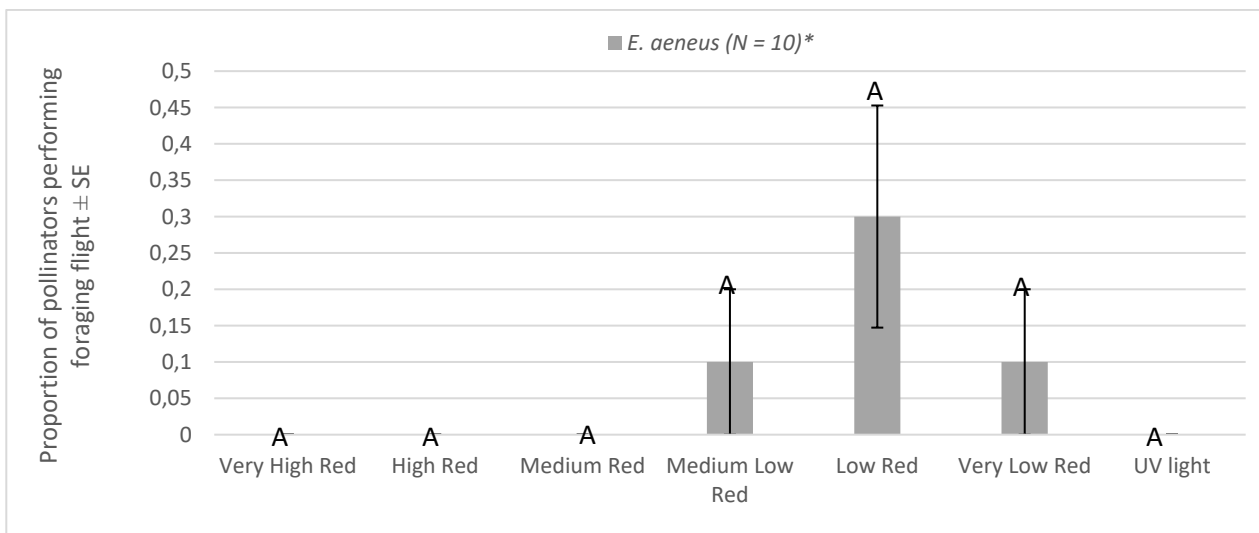


Figuur 15 Gemiddeld aantal boekweitbloemen bezocht door *B. terrestris* tijdens de drie minuten durende waarnemingen. Specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 4. N = aantal replica's.

1.3.2.2 Effect of different light spectra on foraging activity of *E. aeneus*

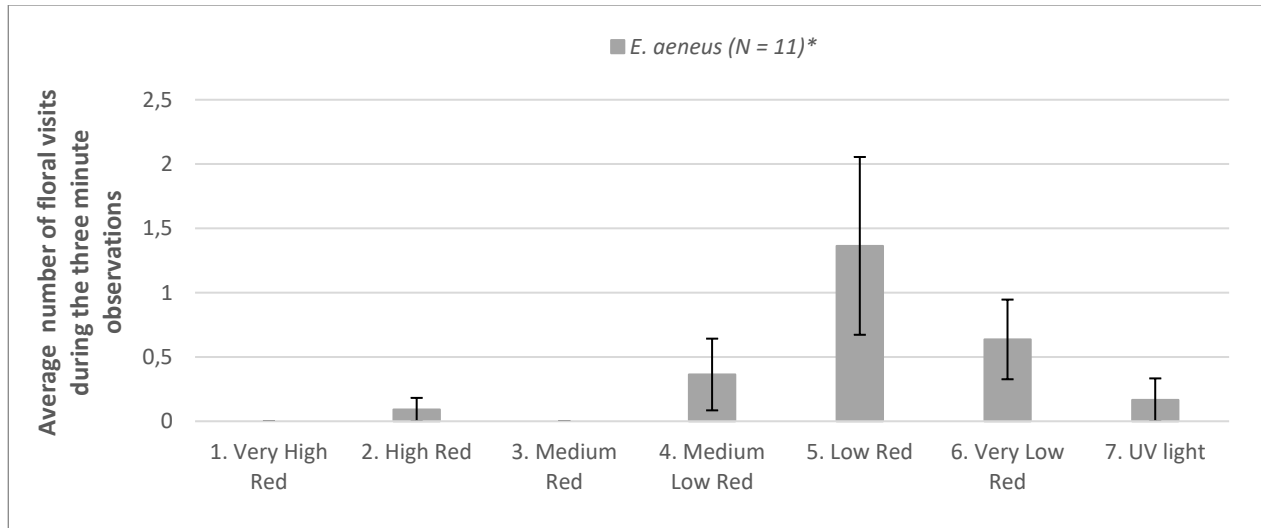
Foerageeractiviteit in aardbeien

E. aeneus leek de aardbeibloemen gemakkelijker te kunnen lokaliseren bij minder rood licht in het spectrum. Het grootste deel van de *E. aeneus* voerde een foerageervlucht uit onder de 'Low Red'-lichtomstandigheden, maar er werden geen significante verschillen gevonden bij het vergelijken van alle verschillende behandelingen (X-kwadraat = 9,8495, df = 6, p-waarde = 0,1311), Figuur 16.

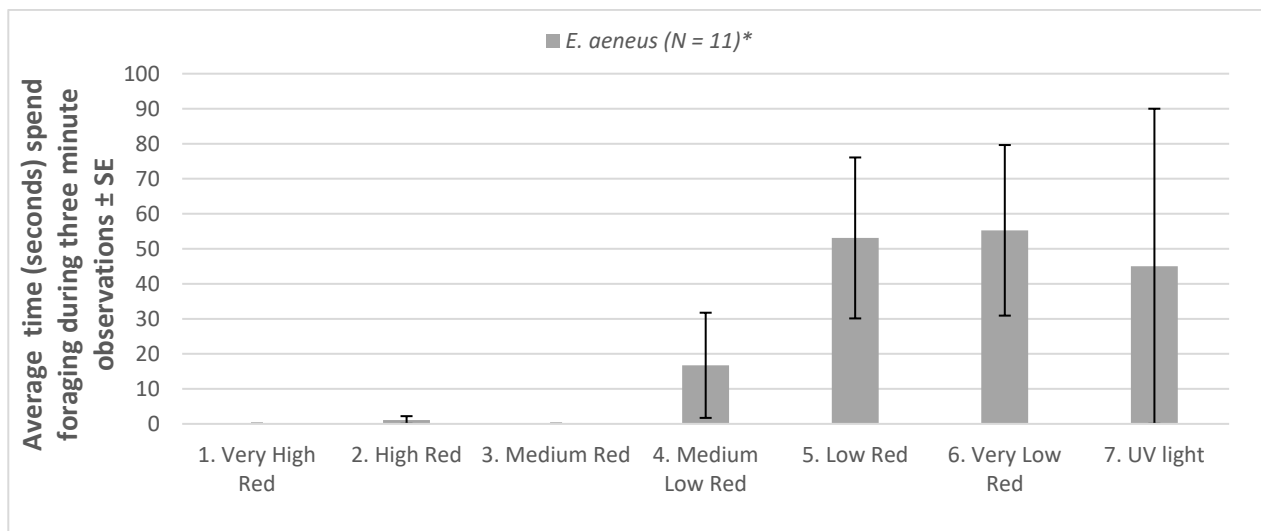


Figuur 16 Proportie *E. aeneus* dat een foerageervlucht uitvoert tijdens de observaties van één minuut in aardbeiplanten. Specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 4. Significante verschillen ($p < 0,05$) worden aangegeven met de letters boven elke balk. N = het aantal replica's (behalve voor de UV-behandeling die 4 replica's had).

E. aeneus bezocht de aardbeibloemen vaker en bracht gemiddeld meer tijd door met foerageren onder de lagere roodlichtomstandigheden ('Medium Low Red', 'Low Red' en 'Very Low Red') vergeleken met behandelingen met een hogere roodlichtverhouding ('Middelrood' en '(Zeer) Hoog Rood'), zie Figuur 17 en 18. Gemiddeld besteedde *E. aeneus* meer dan 50 seconden aan het foerageren op aardbeibloemen met een (zeer) lage roodlichtverhouding, terwijl hij bijna niet foerageeractiviteit vertoonde met (zeer) hoge of gemiddelde roodlichtverhoudingen. Er werd echter geen significant effect van de lichtbehandelingen gevonden op de foerageertijd en de frequentie van bloemenbezoeken.



Figuur 17 Gemiddeld aantal aardbeibloemen bezocht door *E. aeneus* tijdens de drie minuten durende waarnemingen. De specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 4. N = het aantal replicaties (verwacht voor de UV-behandeling die 4 replicaties had).

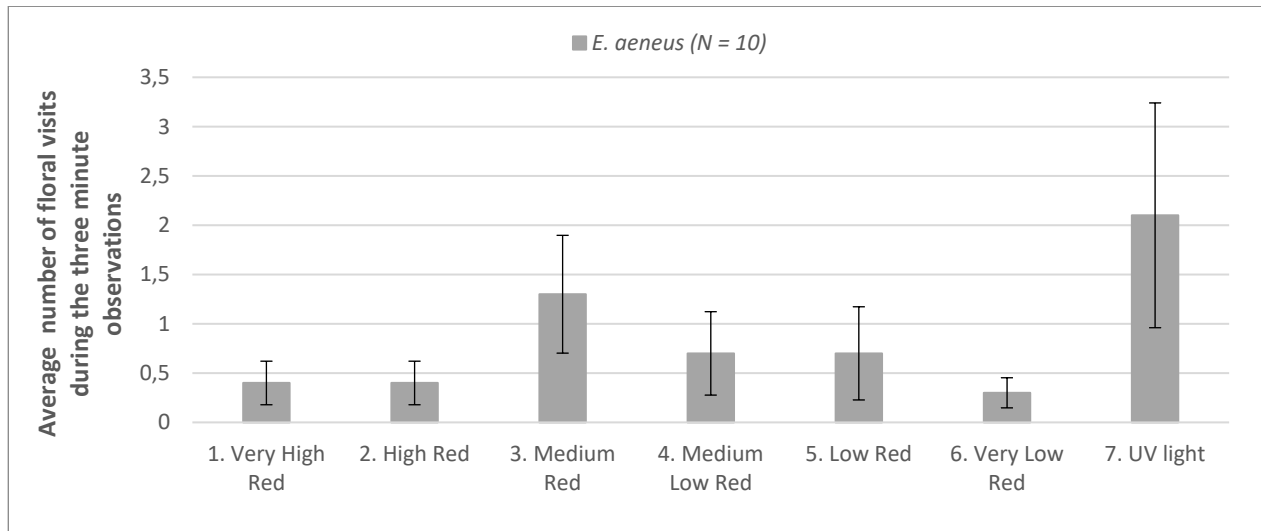


Figuur 18 Gemiddelde tijd die *E. aeneus* besteedt aan het foerageren op aardbeibloemen tijdens de drie minuten durende observaties. De specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 1. N = aantal replica's (verwacht voor de UV-behandeling die 4 replica's had).

Foerageeractiviteit in boekweit

Er werd geregistreerd dat *E. aeneus* foerageerde op de boekweitbloemen in alle verschillende lichtbehandelingen. De gemiddelde tijd die besteed werd aan het foerageren lag tussen 12,9 – 42,2 seconden. Over het algemeen werd de meeste foerageeractiviteit geregistreerd bij de behandeling met UV-A, maar er konden geen duidelijke trends worden gevonden tussen de behandelingen met verschillende verhoudingen rood licht op de foerageeractiviteit van *E. aeneus*, zie Bijlage 2.

E. aeneus had het hoogste aantal bloemenbezoeken (2,1) bij de UV-behandeling en het laagste aantal bloemenbezoeken (0,3) bij de 'Very Low Red'-behandeling, Figuur 19. Uit meerdere vergelijkingen met de Tukey-test bleek echter dat er geen aanzienlijke verschillen tussen de lichtbehandelingen.

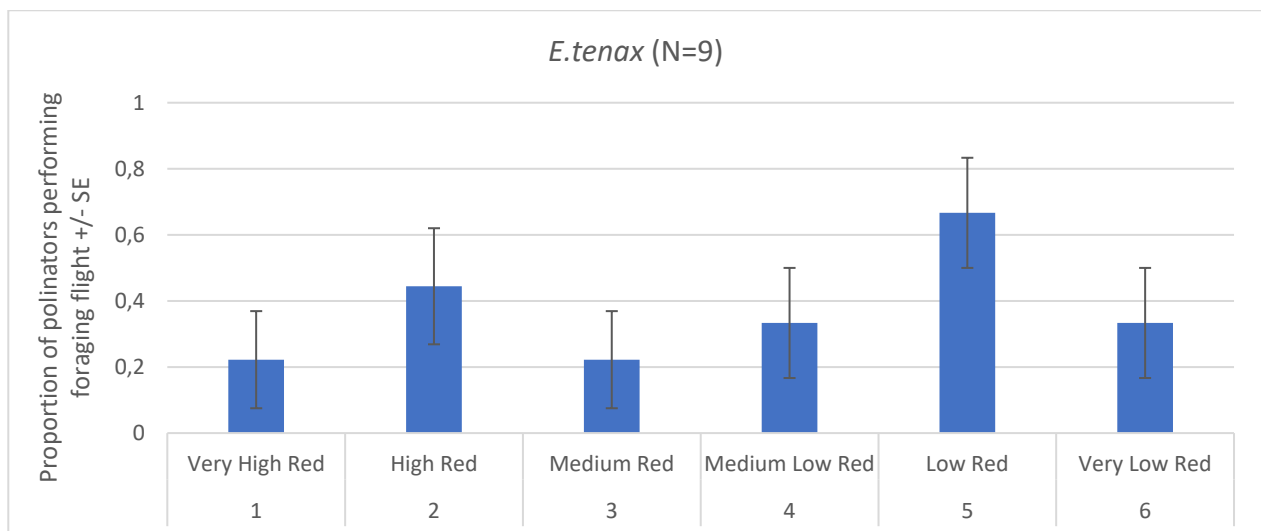


Figuur 19 Gemiddeld aantal boekweitbloemen bezocht door *E. aeneus* tijdens de drie minuten durende waarnemingen. De specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 4. N = het aantal replicaties (verwacht voor de UV-behandeling die 4 replicaties had).

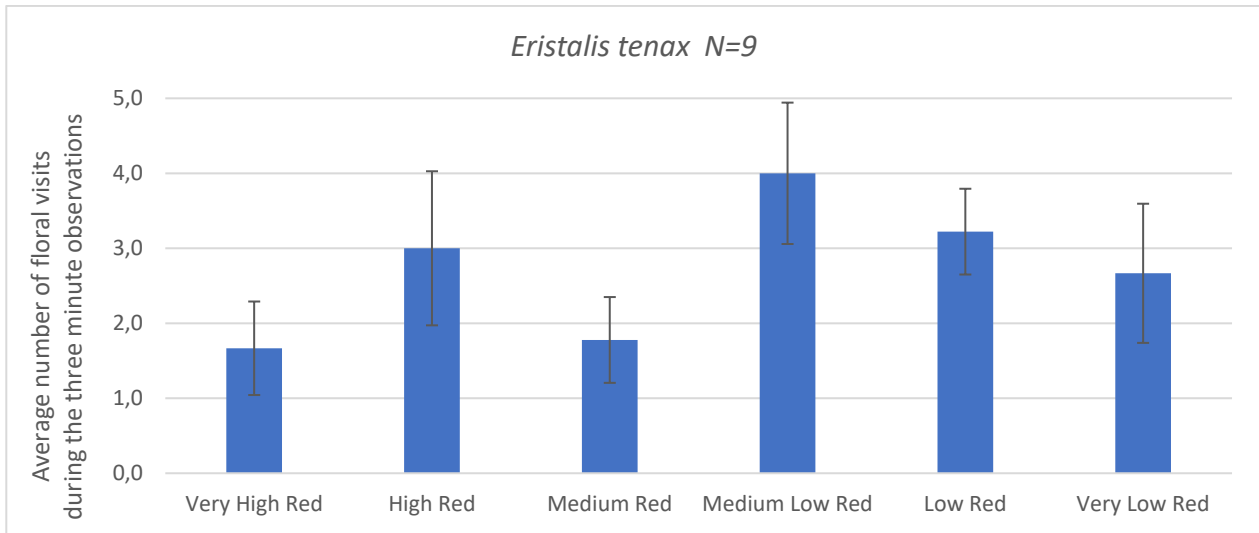
1.3.2.3 Effect van verschillende lichtspectra op de foerageeractiviteit van *E. tenax*

Foerageeractiviteit in aardbeien

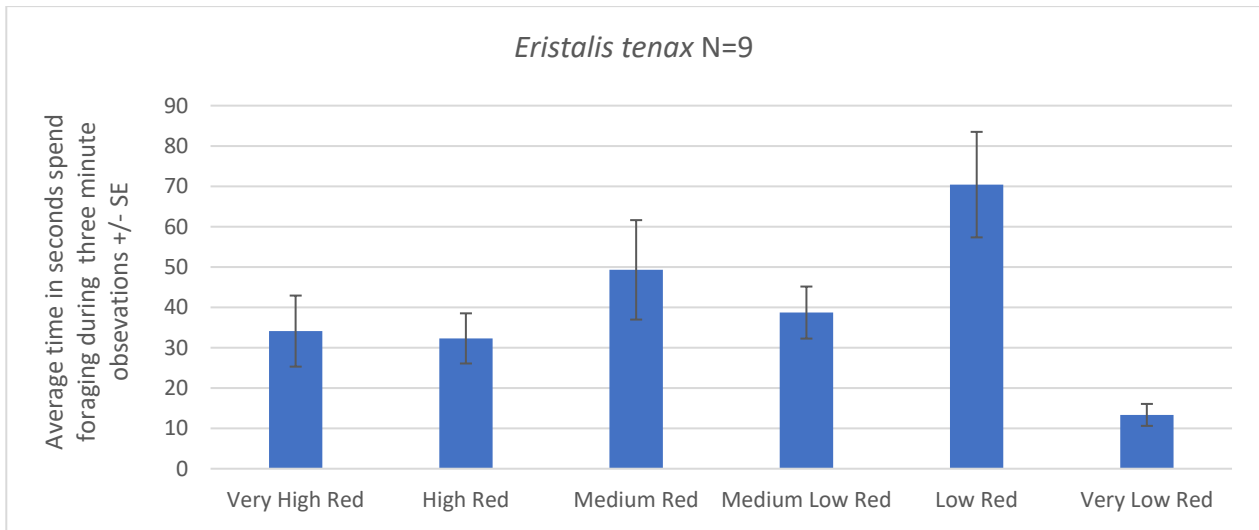
E. tenax voerde foerageervluchten uit onder alle lichtomstandigheden, Figuur 20. Er waren geen verschillen tussen de verschillende licht spectra. Ook het aantal bloembezoeken was onder alle licht spectra vergelijkbaar, Figuur 21. Enkel de tijd die *E. tenax* besteedde aan bloemenbezoek was korter bij de behandeling met "very low red" licht (jungle schaduw), Figuur 22.



Figuur 20 Proportie *E. tenax* dat een foerageervlucht uitvoert tijdens de observaties van één minuut in aardbeiplanten.



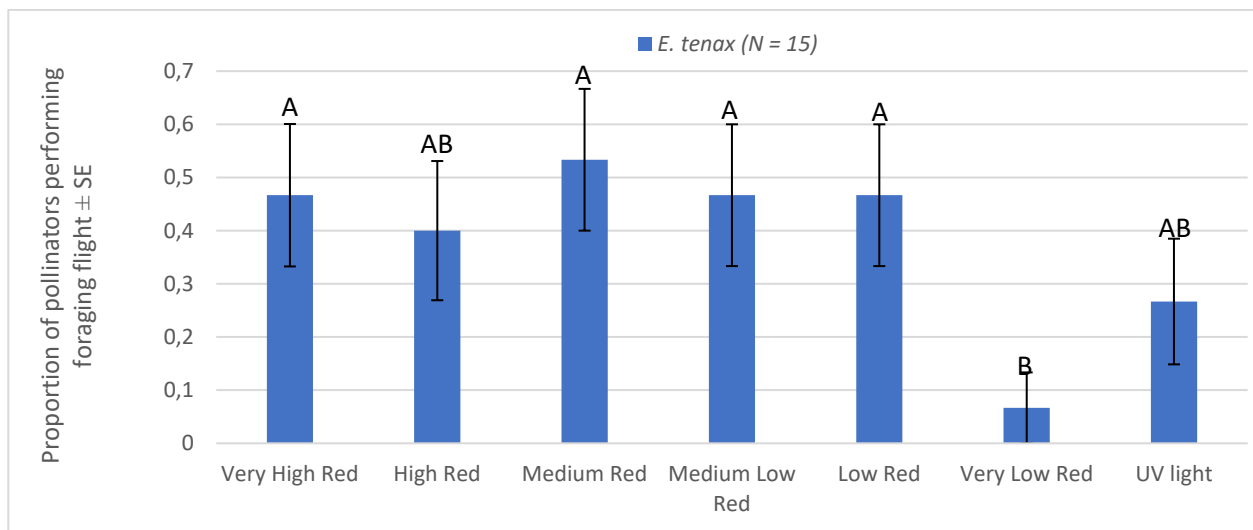
Figuur 21 Gemiddeld aantal aardbeibloemen bezocht door *E. tenax* tijdens de drie minuten durende waarnemingen.



Figuur 22 Gemiddelde tijd die *E. tenax* besteedt aan het foerageren op aardbeibloemen tijdens de drie minuten durende observaties.

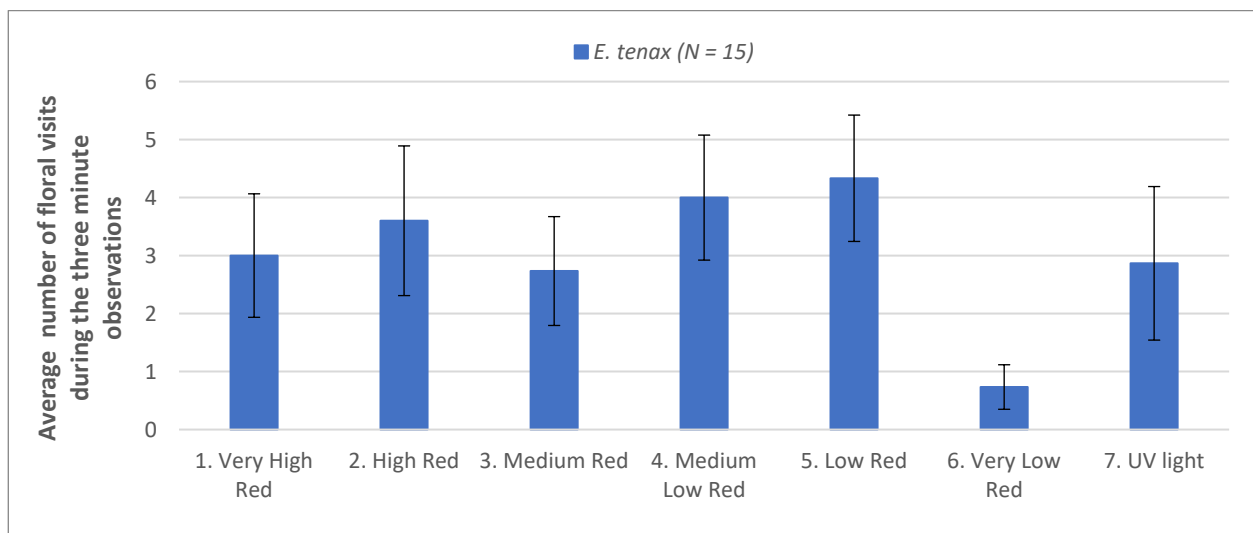
Foerageeractiviteit in boekweit

Tijdens de drie minuten durende observaties werd geen duidelijke trend gevonden met betrekking tot het effect van de verhouding rood licht op de foerageeractiviteit van *E. tenax* met boekweit. Slechts één behandeling ('Very Low Red') had significant verschillende verhoudingen van *E. tenax* die foerageervluchten uitvoerde vergeleken met de behandelingen met een hogere verhouding rood licht (vergeleken met 'Medium Red': X-kwadraat = 5,7143, df = 1, p-waarde = 0,01683; vergeleken met 'Very High Red', 'Medium Low Red' of 'Low Red': X-kwadraat = 4,2614, df = 1, p-waarde = 0,03899), Figuur 23.

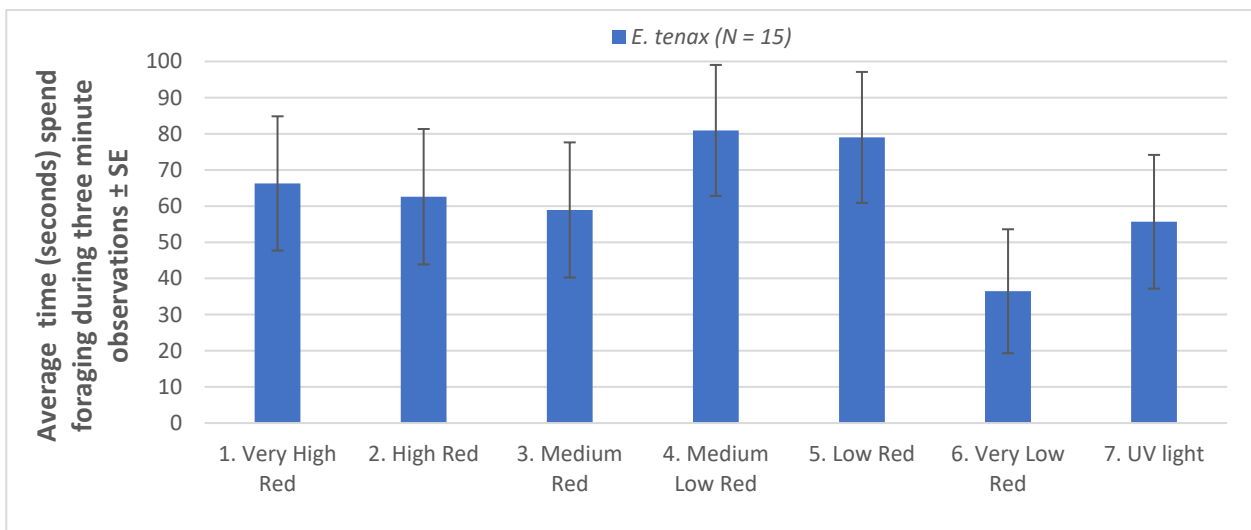


Figuur 23 Proportie *E. tenax* dat een foerageervlucht uitvoert tijdens de observaties van één minuut in boekweitplanten. De specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 4. Significante verschillen ($p < 0,05$) worden aangegeven met de letters boven elke balk. N = het aantal replicaties.

Tijdens de drie minuten durende observaties bezocht *E. tenax* een vergelijkbaar aantal boekweitbloemen onder de lichtbehandelingen, met gemiddelden variërend van 2,7 bloemenbezoeken bij 'Medium Red' tot 4,3 bij 'Low Red'. Opnieuw viel de 'Very Low Red'-behandeling op met een laag gemiddelde van slechts 0,7 bloemenbezoeken, Figuur 24. De post-hoc Tukey-analyse gaf echter geen significant verschil aan tussen de 'Very Low Red'-behandeling en welke andere behandeling dan ook (bij een vergelijking van 'Very Low Red'-behandeling). Laag Rood' met 'Laag Rood': $t = -2,336$, $p = 0,217$). Voor de gemiddelde foerageertijd werden vergelijkbare resultaten gevonden als voor het aantal bloemenbezoeken, Figuur 25.



Figuur 24 Gemiddeld aantal boekweitbloemen bezocht door *E. tenax* tijdens de drie minuten durende waarnemingen. Specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 3. N = het aantal replicaties.



Figuur 25 Gemiddelde tijd die *E. tenax* besteedt aan het foerageren op boekweitbloemen tijdens de drie minuten durende observaties. Specifieke spectrale verdeling van de verschillende lichtbehandelingen op de Y-as is te vinden in Tabel 1. N = aantal replicaties.

1.3.3 Discussie en conclusies

1.3.3.1 Effect van LED-lichtspectra op de foerageeractiviteit van bestuivers in aardbeienplanten

De foerageeractiviteit van de bestuivers die tijdens dit onderzoek werden gebruikt, leek te worden beïnvloed door de verschillende LED-lichtspectra. De 'Very High Red'-spectrum, die gunstig is voor de plantengroei vanwege het hoge aandeel rood licht (voor fotosynthese), zou naar verwachting een negatief effect hebben op de foerageeractiviteit van onze bestuivers, gebaseerd op het feit dat bestuivers het moeilijk hebben om gebruik te maken van licht van het rode tot verrode spectrum voor hun algemene oriëntatie en het zoeken naar bloemen (Peitsch et al., 1992; Blacqui re, 2005; Fluence By Osram, 2021). In ons onderzoek leek dit het geval te zijn voor *B. terrestris* en *E. aeneus* op aardbeiplanten. De algehele foerageeractiviteit was lager wanneer *B. terrestris* en *E. aeneus* werden blootgesteld aan LED-lampen met een hoog aandeel rood (600-700 nm) licht. De foerageervlucht richting aardbeibloemen werd het meest geregistreerd (56% voor *B. terrestris* en 30% voor *E. aeneus*) in de kooien met gesimuleerde natuurlijke daglichtomstandigheden ('Low Red'-behandeling) en het minst (0% voor beide bestuivers) in de kooien met (zeer) hoge hoeveelheden rood licht. Voor *B. terrestris* en *E. aeneus* werd deze trend ook gevonden als gekeken werd naar het aantal bloemenbezoeken en de gemiddelde foerageertijd. De 'Low Red'-behandeling die in ons experiment werd gebruikt, simuleerde natuurlijk daglicht met gelijke lichtverdelingen langs het PAR-lichtspectrum (400-700 nm). Op basis van wat bekend is over de visie van bestuivers, werd verwacht dat met dit licht de bloemen het meest zichtbaar zouden zijn voor de bestuivers, wat zou resulteren in de hoogste foerageeractiviteit, wat in lijn was met onze bevindingen. De 'Very Low Red'-behandeling, die 'jungle-schaduw'-spectrum met een hoog aandeel verrood licht simuleerde, leek de 'foerageervlucht'-activiteit bij aardbeiplanten negatief te beïnvloeden in het geval van alle bestuivers.

1.3.3.2 Effect van LED-lichtspectra op de foerageeractiviteit van bestuivers op boekweitplanten

Interessant is dat we zulke duidelijke trends niet hebben gevonden voor het effect van de verschillende roodlichtverhoudingen op de foerageeractiviteit van bestuivers op de boekweitplanten. Kijkend naar de activiteit 'foerageervlucht' richting de boekweitbloemen, lieten zowel *B. terrestris* als *E. aeneus* geen verschillen zien tussen de lichtbehandelingen. Misschien zijn de kleuren en patronen op de bloemen van aardbei en boekweit verschillend, zoals waargenomen door de bestuivers (Lunau, 1992), of speelde de hoeveelheid bloemen (die bij boekweit veel hoger is dan bij aardbei) een rol. Interessant is dat aanzienlijk minder *E. tenax* een 'foerageervlucht' naar de boekweitbloemen uitvoerde met de 'Very Low Red'-behandeling vergeleken met de andere lichtbehandelingen. Zowel voor het gemiddelde aantal bloemenbezoeken als voor de gemiddelde foerageertijd vertoonde *E. tenax* een vergelijkbare trend met de

laagste foerageeractiviteit in de 'jungle shade'-omstandigheden. Op dezelfde manier had *E. aeneus* het laagste aantal bloemenbezoeken met de 'Very Low Red'-behandeling. De lagere foerageeractiviteit in boekweit van *E. tenax* en *E. aeneus* bij 'Very Low Red' zou verklaard kunnen worden door het relatief hoge aandeel verrood licht. Pietsch et al., (1992) stellen dat bestuivers die normaal gesproken onder fel licht vliegen (open veld of op grotere hoogte) gevoelig zijn voor kortere golflengten van licht, terwijl bestuivers die voornamelijk in het struikgewas van dichte bossen vliegen spectrale receptoren hebben met een gevoeligheid voor langere golflengten van licht. In Europa zijn verschillende soorten *Eristalis* en *Eristalinus* te vinden op grotere hoogte en in Nederland worden ze vaak aangetroffen in de open velden (Reemer, 2009).

1.3.3.3 Recente onderzoeken naar het effect van lichtspectra op insecten

Twee recente onderzoeken naar het effect van kunstlicht met verschillende spectra op het gedrag van insectenbestuivers lieten een negatief effect van rood licht zien, in lijn met de bevindingen van ons onderzoek. Ten eerste het onderzoek van Boom et al. (2020), waar werd gekeken naar het effect van kunstlicht met verschillende kleurspectra op de plant-insectinteracties in het *Silene latifolia-Hadena bicruris*-systeem. Hoewel ze geen significant effect vonden van de lichtbehandelingen op het aandeel bloemen dat werd bevrucht, werd het laagste aandeel gevonden onder omstandigheden met rood licht. Wel vonden ze een significant effect van de lichtbehandelingen op het aandeel met *H. bicruris* besmette vruchten. Met een aanzienlijk hoger aandeel gevonden bij de behandeling met groen en wit licht vergeleken met de behandeling met rood licht. Ten tweede, een onderzoek van De Vries et al. (2020) over het effect van LED-lichtspectra op hommels, toonde een negatief effect aan van de rood-blauwe lichtspectrum op de vluchtdynamiek (landingsmanoeuvres) van *B. terrestris*, vergeleken met breedspectrum witlichtomstandigheden.

1.3.3.4 B. terrestris op boekweitplanten

De boekweitplanten die we tijdens dit experiment gebruikten groeiden erg snel en konden te groot worden voor de Vermandel-kooien. De stengels en/of bloemen van deze boekweitplanten leunden soms tegen de wanden van de kooi. Dit had regelmatig tot gevolg dat *B. terrestris* per ongeluk tegen de boekweitbloemen 'botste'. Nadat hij 'per ongeluk' de boekweitbloemen had bereikt, begon hij te foerageren, wat van invloed was op het gemiddelde aantal bezochte bloemen en de gemiddelde tijd die aan het foerageren werd besteed. Het maakte het ook moeilijk (subjectief) om te zien of de hommels doelbewust een 'foerageervlucht' uitvoerden of niet. De resultaten van de combinatie met *B. terrestris* en boekweit moeten daarom met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Bij de aardbeiplanten kwamen we geen soortgelijk probleem tegen, aangezien deze bloemen nooit de muren raakten en er niet per ongeluk tegen de aardbeibloemen werd 'gestoten'.

1.3.3.5 Stress en mortaliteit van B. terrestris

Opgemerkt moet worden dat dit experiment een zeer kunstmatige opzet had (geforceerde opzet) en dat tijdens de waarnemingen veel van de bestuivers (vooral *B. terrestris*) onder stress leken te staan. Ze verstopten zich vaak in de hoek van de kooi of vlogen voortdurend tegen de wanden. Dit gedrag werd voor alle lichtbehandelingen geregistreerd. Het is bekend dat hommels 'helikoptervluchten' uitvoeren voor hun algemene oriëntatie en voor het zoeken naar potentiële voedselbronnen (bloemen) (Osborne et al., 2013). De relatief kleine opsluiting van de experimentele opstelling verhinderde dat *B. terrestris* dergelijke 'oriëntatievluchten' kon maken, wat er wellicht toe leidde dat de hommels een uitweg uit de kooi probeerden te vinden. Deze stress, gecombineerd met de beperkte nectarbronnen, putte de hommels uit en speelde hoogstwaarschijnlijk een rol in het hoge sterftcijfer en de korte levensduur van *B. terrestris*. Er werd een kleine 'overlevingsproef' uitgevoerd om de levensduur van de hommels onder deze verschillende lichtomstandigheden te onderzoeken. Vijf *B. terrestris* werden in kooien met kleine mazen (Vermandel 30x30x30cm) met wat suikerwater geplaatst, zowel onder de 'Very High Red' omstandigheden als onder de 'Very Low Red' omstandigheden. Bij beide behandelingen overleefde *B. terrestris* 6-9 dagen, wat aangeeft dat het gebrek aan voldoende voedselbronnen in ons experiment de oorzaak was van deze hoge sterfte. Het gebrek aan voedsel werd veroorzaakt door een beperkte oriëntatie en het vermogen om voedsel te vinden.

1.3.3.6 Aanbevelingen

Met de opzet van ons experiment was het niet mogelijk om een positieve controlegroep te hebben. Het zou interessant zijn om het gedrag van de bestuivers in dezelfde experimentele opstelling te vergelijken, maar dan met natuurlijk daglicht over het volledige spectrum. De verwachting is dat de bestuivers dan actiever zullen zijn en meer foerageervluchten zullen uitvoeren, vanwege betere omstandigheden voor het detecteren van de bloemen.

Tijdens dit experiment werd een UV-behandeling ingesteld, omdat bekend is dat de meeste bestuivers (inclusief de bestuivers die voor dit onderzoek zijn gebruikt) zeer gevoelig zijn voor UV-licht, dat een belangrijke rol speelt in hun algemene oriëntatie en het vermogen om onderscheid te maken tussen bloemen (Peitsch et al., 1992; Kevan et al., 2001; Morandin et al., 2001; Blacqui re, 2005; An et al., 2018; Fluence By Osram, 2021). Deze UV-behandeling had echter niet dezelfde experimentele opzet met LED-verlichting en reflecterende witte kunststoffen, waardoor het moeilijk was om de resultaten te vergelijken met de rest van de behandelingen. In het vervolg zou het interessant zijn om UV-lampen te combineren met de LED-verlichting om te kijken of dit de foerageeractiviteit zou vergroten. Door dit toe te voegen aan de 'Low Red'-behandeling ontstaat kunstmatige verlichting die nog dichter bij het spectrum van natuurlijk zonlicht komt. Wit licht, inclusief licht uit het UV-spectrum, heeft een positief effect op de aantrekkingskracht van alle insecten (inclusief bestuivers uit de families Diptera en Hymenoptera) naar dit licht (Barghini en Medeiros, 2012). Kassen die gebruik maken van een breed spectrum licht (inclusief UV) kunnen mogelijk nuttige insecten van buitenaf naar het gewas lokken. Hetzelfde geldt echter voor het aantrekken van 'ongewenste' insecten.

Als uitbreiding van dit project zou het interessant zijn om een experiment uit te voeren met grotere kooien waar het foerageergedrag van deze bestuivers onder de verschillende lichtspectra zou kunnen worden waargenomen. Het hebben van grotere kooien zou een scenario cre ren dat meer in lijn zou zijn met echte productiekassen. Omdat dit soort experimenten duur en tijdrovend zijn, verdient het aanbeveling een selectie te maken van de meest interessante lichtomstandigheden. Op basis van de bevindingen van dit experiment zouden de omstandigheden 'Very High Red' en 'Low Red' de best contrasterende omstandigheden bieden voor toekomstige voortzetting van dit project. Omdat de 'Very High Red'-behandeling waarschijnlijk het beste zou zijn voor de plantengroei en 'Low Red' waarschijnlijk het beste zou zijn voor de bestuiversactiviteit. Op basis van de voorlopige resultaten uit dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat LED-verlichting met verschillende lichtspectra de foerageeractiviteit van bestuivers be nvloedt. Tuinders moeten er rekening mee houden dat door het verhogen van de verhouding rood licht in hun LED-verlichting de bestuivers moeite zullen hebben de bloemen te vinden, wat leidt tot een lagere bestuivingseffici ntie. Verder onderzoek zal ons begrip vergroten van het effect van lichtspectra op de bestuivingsactiviteit, wat nodig is om telers het beste advies te kunnen geven voor een evenwicht in de optimalisatie van plantengroei en bestuivingsdiensten.

1.4 Gedrag van hommels en zweefvliegen onder vier lichtspectra in de winteraardbeienteelt

In traditionele kasomgevingen spelen *Apis mellifera* (honingbijen) en *Bombus terrestris* (aardhommels) een cruciale rol als bestuivers. Echter, deze omgevingen brengen uitdagingen met zich mee, vooral tijdens donkere wintermaanden wanneer kunstverlichting essentieel is. Onderzoek (Blacqui re, Cornelissen, & Donders, 2007) wijst uit dat deze bestuivers in minder gunstige lichtomstandigheden moeite kunnen hebben, aangezien ze afhankelijk zijn van kleurenzicht binnen een specifiek lichtspectrum, van UV tot geel/rood, om effici nt bloemen te identificeren en te bestuiven (Menzel & Backhaus, 1991).

Het is gebleken dat de kleur van het licht een aanzienlijke invloed heeft op het gedrag en de ori ntatie van bestuivers, waaronder hun vermogen om bloemen te lokaliseren en hun ervaring van daglengte. De meeste insectenbestuivers hebben een beperkte gevoeligheid voor licht in het rode spectrum (golflengten > 650 nm), wat kan resulteren in moeilijkheden bij het gebruik van rood licht door deze insecten. Door bepaalde lichtkleuren toe te voegen of weg te nemen, kan het gedrag van deze bestuivers drastisch veranderen. Dit heeft rechtstreekse gevolgen voor de opbrengst, vooral in gewassen zoals aardbeien, die sterk afhankelijk zijn van een effectieve bestuiving.

Ons eerdere onderzoek heeft twee specifieke lichtspectra ge identificeerd die effectief zijn in het stimuleren van bestuivers. Dit onderzoek bouwde voort op deze bevindingen en onderzocht vier verschillende lichtspectra:

- SON-T (controle)
- 8B:6G:85R:1FR
- 22B:26G:26R:26FR
- 11B:17G:54R:18FR

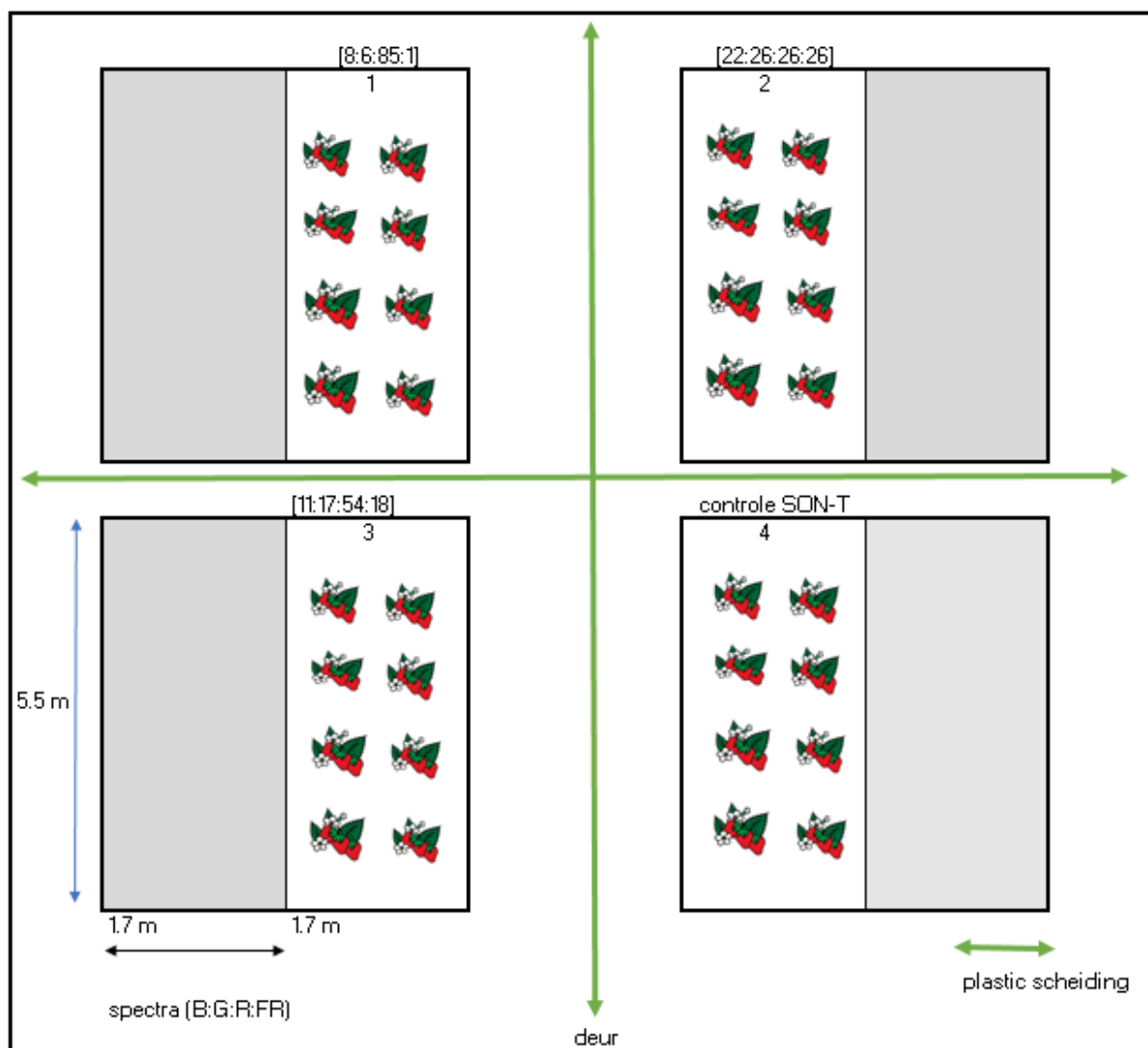
Behandeling	Licht spectrum			
	Blauw (400-500nm)	Groen (500-600nm)	Rood (600-700nm)	Ver rood (700-800nm)
SON-T				
Zeer hoog rood (85%)	8	6	85	1
Medium Rood (54%)	11	17	54	18
Laag Rood (26%)	22	26	26	26

Dit onderzoek richt zich op de impact van de verschillende lichtspectra op het gedrag van bestuivers, met een specifieke focus op hommels (*Bombus terrestris*) en de zweefvlieg *Eristalis tenax*. We onderzoeken tevens hoe deze veranderingen in gedrag vervolgens van invloed zijn op de productie en kwaliteit van de vruchten.

1.4.1 Materiaal en methode

1.4.1.1 Kasopzet

Het experiment vond plaats in een kas van 144 m² bij Wageningen UR in Bleiswijk en duurde 16 weken (begin week 43, 2022, einde week 7, 2023). De kasproef liep van 24 oktober tot 17 februari. De gemiddelde temperatuur in de kas was 20,1 °C (bereik 14,6-30,2 °C) en de gemiddelde relatieve vochtigheid was 76% (bereik 45-99%). De klimatologische omstandigheden waren in lijn met het commerciële teeltsysteem. De energiescherm was open gedurende enkele uren elke dag. De kas was verdeeld in 4 loopkooien, elk met afmetingen van 1,7 x 5,5 m, wat resulteerde in een totale oppervlakte van 9,35 m² (Figuur 26). De kooien waren gemaakt van aluminium frames en insectengaas (maaswijdte van 0,22 x 0,31 mm). In elke kooi waren twee rijen aardbeiplanten geplant, waarbij elke rij bestond uit 3 plastic bakken van 100 x 17 x 14 cm (l x b x h) van Bato Plastics B.V. (Zuthpen, Nederland). De bakken waren gevuld met 100% kokosvezelsubstraat (Lensli substrates B.V. Bleiswijk, Nederland). De aardbeiplanten cv. Favori werden geleverd door van der Avoird Trayplant B.V. (Bavel, Nederland) in week 40 als bevroren minitrays en na drie dagen ontdooien met zes per container geplant. Per plant werd een druppelaar geplaatst om de planten van voedingsstoffen en water te voorzien.



Figuur 26 Kas indeling.

1.4.1.2 Lichtspectra

Het optimale spectrum voor plantengroei werd vergeleken met 2 lichtspectra die de hoogste effectiviteit vertoonden in het verbeteren van het gedrag van bestuivers in de vorige proef. Voor het genereren van deze spectra werden LED-lampen (TUNGSRAM Top lighting TUAS GLIN) gebruikt in het experiment. Als controle werd een SON-T lamp gebruikt. In tegenstelling tot de andere lampen werd deze buiten de kooien gebruikt om de geproduceerde warmte beter te verspreiden en hoge temperaturen in de kooi te voorkomen. Dit compromis had invloed op lichtintensiteit, die was 50% lager in de kooi met SON-T. dan in de andere 3 behandelingen. De behandelingen bestonden dus uit vier verschillende lichtspectra, waaronder SON-T (4B: 43G: 53R: 8FR) (i), 8B:6G:85R:1FR ("zeer hoog rood") (ii), 22B:26G:26R:26FR ("laag rood") (iii), 11B:17G:54R:18FR ("medium rood") (iv) (Figuur 27).



Figuur 27 Lichtspectra in de kooien.

1.4.1.3 Bestuivers

Deze lichtspectra werden getest op twee bestuivende insecten, hommels (*Bombus terrestris*) en zweefvliegen (*Eristalis tenax*). Beide bestuivers werden ondersteund door feeders (Figuur 28) om optimale voedselhoeveelheden te garanderen en mogelijke voedseltekorten te elimineren. De optimale voedselbron werd geselecteerd op basis van het PPS-project "Biodiversiteit in en rond de kas", waarbij Biogluc en bijenpollen werden gebruikt. Het stuifmeel werd wekelijks bijgevuld of tweemaal per week indien nodig.

Met een tweewekelijkse interval werden in totaal 10 hommels en 20 zweefvliegen verzameld in plastic containers en in elke kooi vrijgelaten. *Bombus terrestris* werd als drones geleverd door Biobest B.V. (Westerloo, België) en werd op dezelfde dag geïntroduceerd. *Eristalis tenax* werd als poppen een week voor de introductie geleverd door Polyfly (Almería, Spanje). De poppen werden in de gaaskooien (40 x 40 x 40 cm, Vermandel Hulst, Nederland) in een klimaatkamer geplaatst met een temperatuur van 25 °C en een relatieve vochtigheid van 70%. De zweefvliegen werden aangevuld met Biogluc en bijenpollen en mochten uitkomen.

1.4.1.4 Natuurlijke vijanden

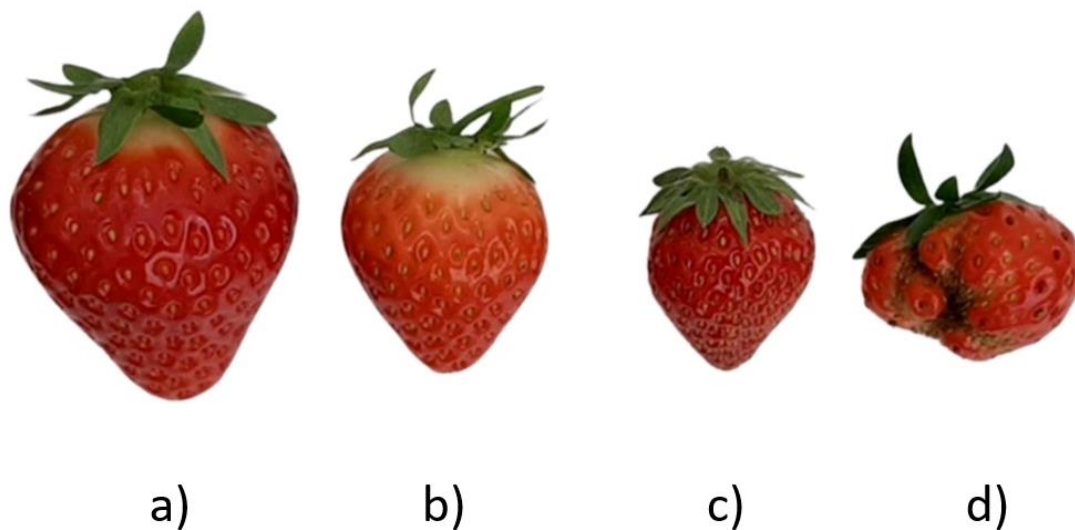
Natuurlijke vijanden werden preventief en curatief vrijgelaten tegen bladluizen, wittevlies, Californische trips en spint. Uitgezette biologische bestrijdingsmiddelen omvatten: *Micromus angulatus*, *Aphidoletes aphidimyza*, *Chrysoperla carnea*, *Phytoseiulus persimilis*, *Encarsia formosa*, *Amblyseius cucumeris* (zakjes), *Traneius montdorensis* (zakjes) en *Orius laevigatus*. Alle biologische bestrijdingsmiddelen werden geleverd door Biobest Group N.V. (Westerlo, België) en in gelijke aantallen uitgezet in alle kooien.



Figuur 28 Feeder. Een plastic container gevuld met biogluc, gepresenteerd op een geel doek. Op het deksel van de container is bijenpollen gedeponneerd. De container heeft een gele basis, ontworpen om aantrekkelijk te zijn voor bestuivers.

1.4.1.5 Beoordelingen

De bestuivingscore en oogstkwaliteit werden gemeten om de prestaties van de lichtspectra te beoordelen. Het gedrag van bestuivers werd wekelijks beoordeeld en omvatte het opsplitsen van elke kooi in twee observatiereplicaties per kooi. Voor elke observatie werd het aantal open bloemen in elke helft van de kooi bepaald. Observaties werden gedurende één minuut uitgevoerd, waarbij de zichtbare activiteit van bestuivers werd geregistreerd, waaronder het aantal bestuivers in vlucht, rustend, foeragerend op aardbeibloemen en foeragerend op feeders. Bovendien werd tijdens elke observatie willekeurig één bloem geselecteerd en gedurende drie minuten geobserveerd om bloembezoeken te registreren. De duur (s) van elk bezoek werd genoteerd. Observaties werden wekelijks gedurende de gehele duur van de proef uitgevoerd, en nauwkeurige tijdsregistratie werd gegarandeerd met behulp van een stopwatch. De observaties werden consequent uitgevoerd binnen een specifiek tijdsbestek, beginnend tussen 11:00 en 12:00 uur. Tijdens de weken 48-7 werd wekelijks een oogst van aardbeien uit elke kooi uitgevoerd, en de totale productie werd gemeten door de aardbeien in grammen te wegen en het aantal aardbeien in elke kooi te tellen. Bovendien werd de kwaliteit van de aardbeien in elke kooi beoordeeld op basis van hun grootte met behulp van een classificatieschaal, met A) Klasse 1 >30 mm; B) Klasse 1 >27; C) Klasse 1 <27; en D) Klasse 2 (misvormd) (Figuur 29).

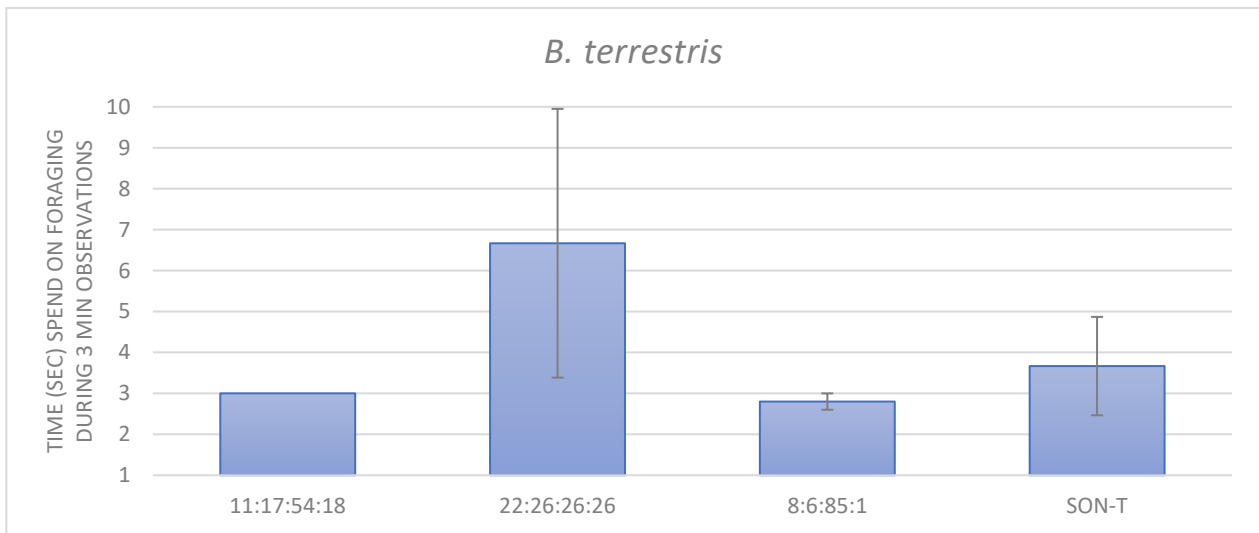


Figuur 29 Verschillende kwaliteitsgradaties van aardbeien: a) Klasse 1: >30 mm. b) Klasse 1: >27 mm. c) Klasse 1: <27 mm. d) Klasse 2: misvormde vruchten.

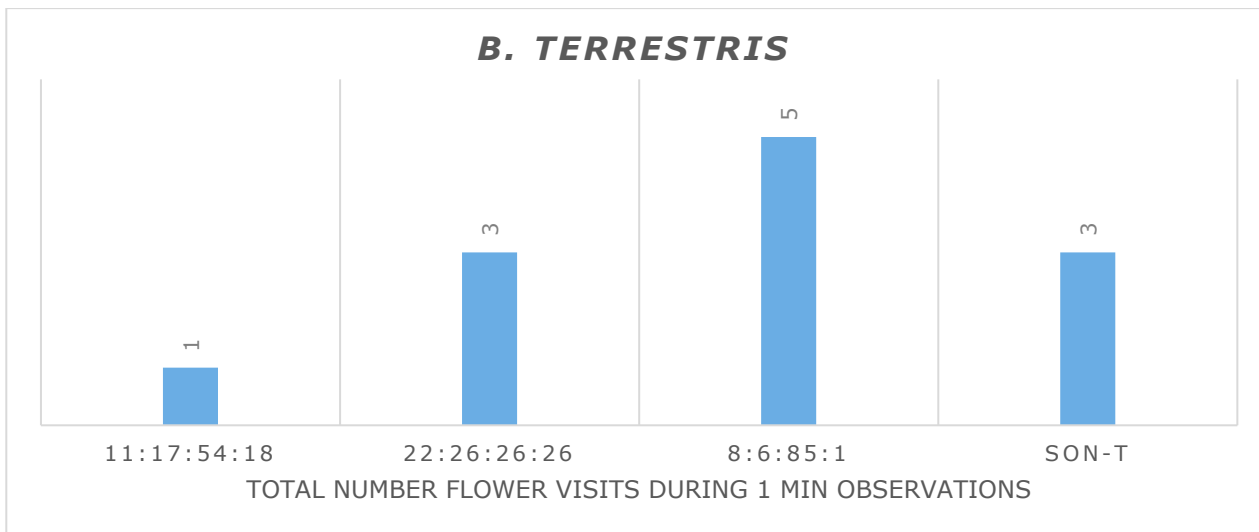
1.4.2 Resultaten

1.4.2.1 Gedrag *B. terrestris*

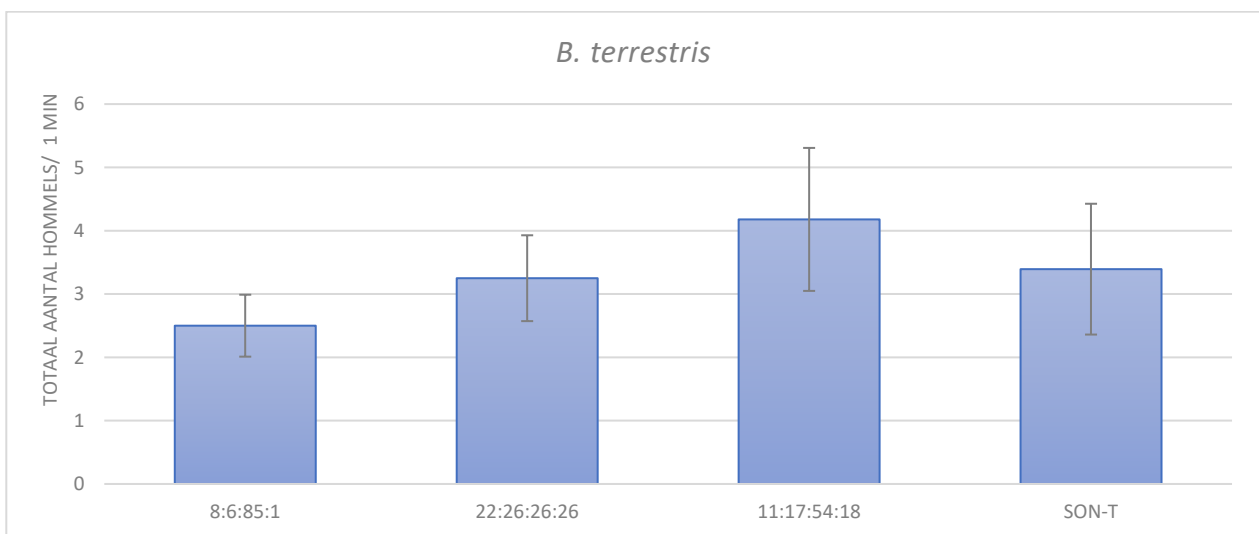
De tijd die de hommels besteedden aan het foerageren verschilde niet tussen de verschillende lichtspectra (Figuur 30), maar was iets langer in de behandeling met het "laag rode" spectrum (22:26:26:26) en duurde 6.7 seconde terwijl bij "zeer hoog rood" spectrum het bezoek duurde iets minder dan 3 seconden. De meeste bloembezoeken werden waargenomen bij de behandeling met het meeste rode licht in het spectrum (8:5:85:1) (Figuur 31), maar omdat het aantal bezoeken over het algemeen zeer laag bleef kunnen er geen conclusies aan worden verbonden. Het totaal aantal hommels waargenomen tijdens de observaties was bijna gelijk onder alle lichtspectra, tussen 2,5 en 4 hommels per minuut (Figuur 32). Echter zijn er verschillen waargenomen in het type gedrag (foeragerend, vliegend, rustend) (Figuur 33. 1, 2, 3, 4). Bij de behandeling met SON-T leken de hommels meer te rusten (factor 4) dan bij de andere behandelingen (Figuur 33.4).



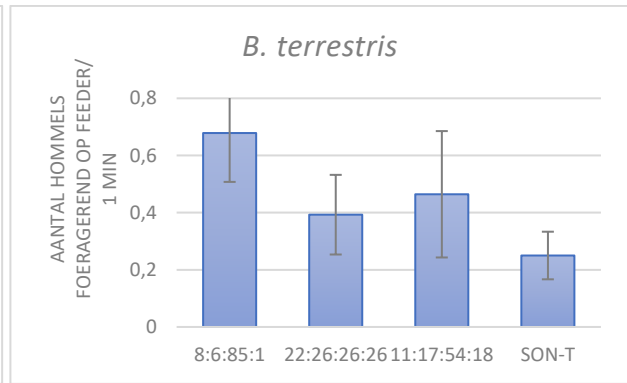
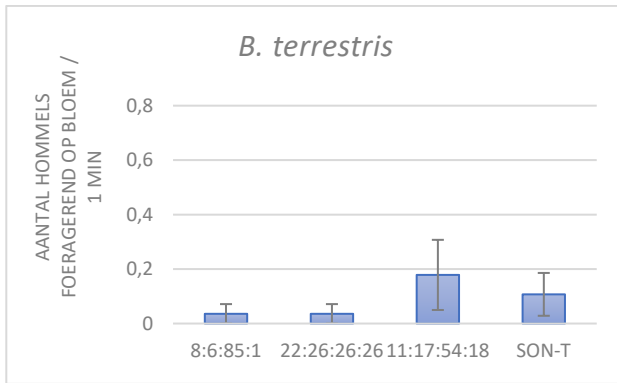
Figuur 30 Gemiddelde tijd die *B. terrestris* besteedt aan het foerageren op aardbeienbloemen tijdens de drie minuten durende observaties.



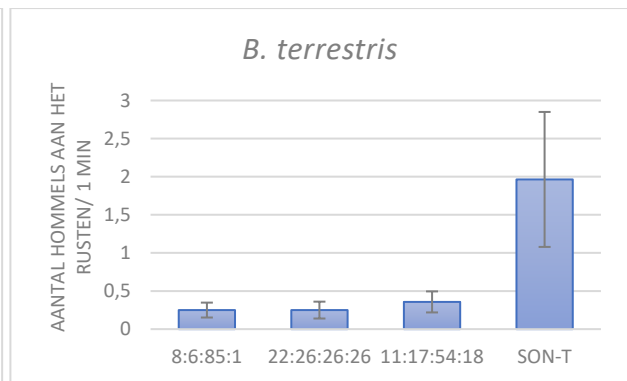
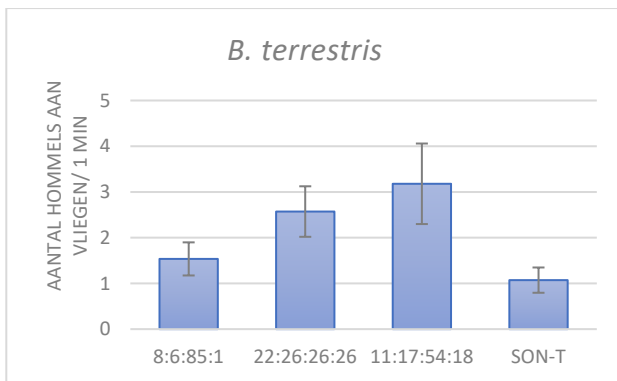
Figuur 31 Aantal bloemen bezocht door *B. terrestris* tijdens de drie minuten durende waarnemingen.



Figuur 32 Aantal *B. terrestris* waargenomen tijdens een minuut durende observaties.



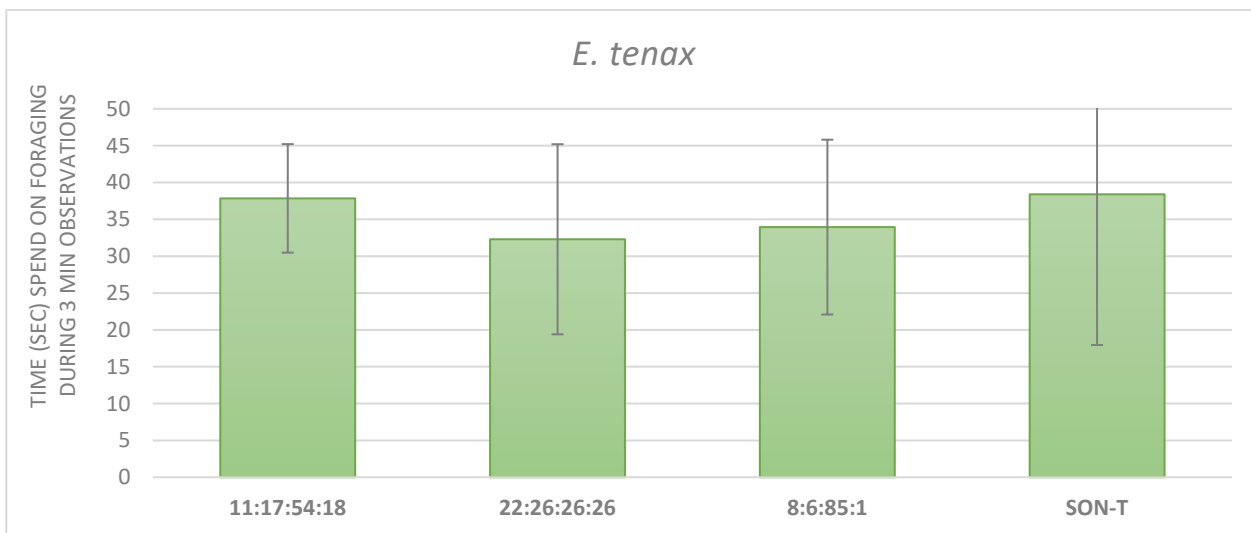
Figuur 33.1 links en **Figuur 33.2** rechts. Gemiddelde aantallen *B. terrestris* foeragerend op bloemen of feeder tijdens de een minuut durende waarnemingen.



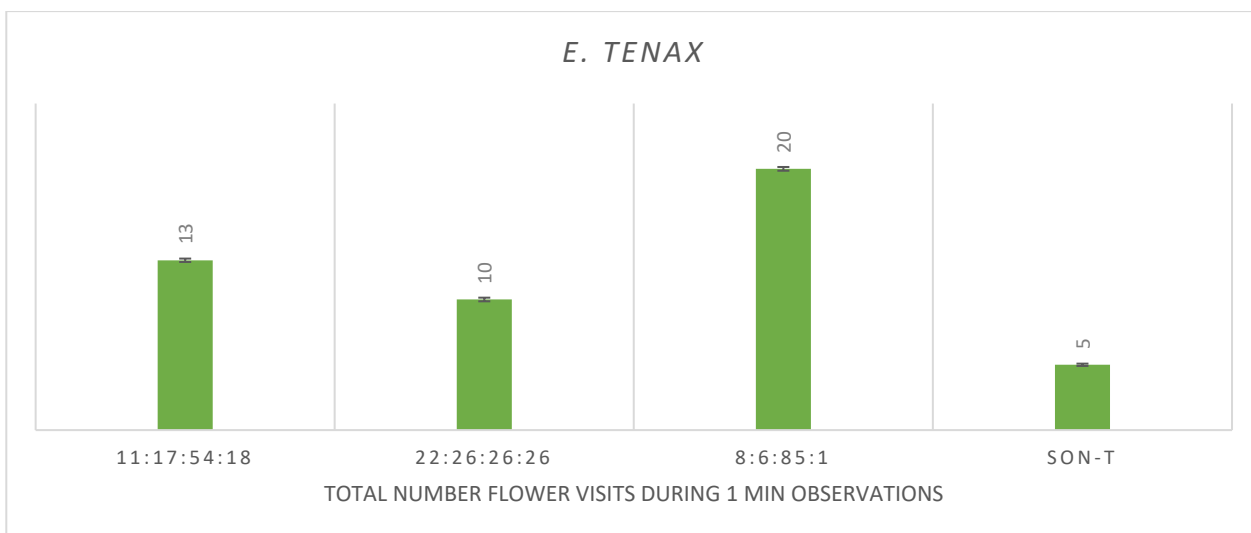
Figuur 33.3 links en **Figuur 33.4** rechts. Gemiddelde aantallen *B. terrestris* aan het vliegen en rusten tijdens de een minuut durende waarnemingen.

1.4.2.2 Gedrag *E. tenax*

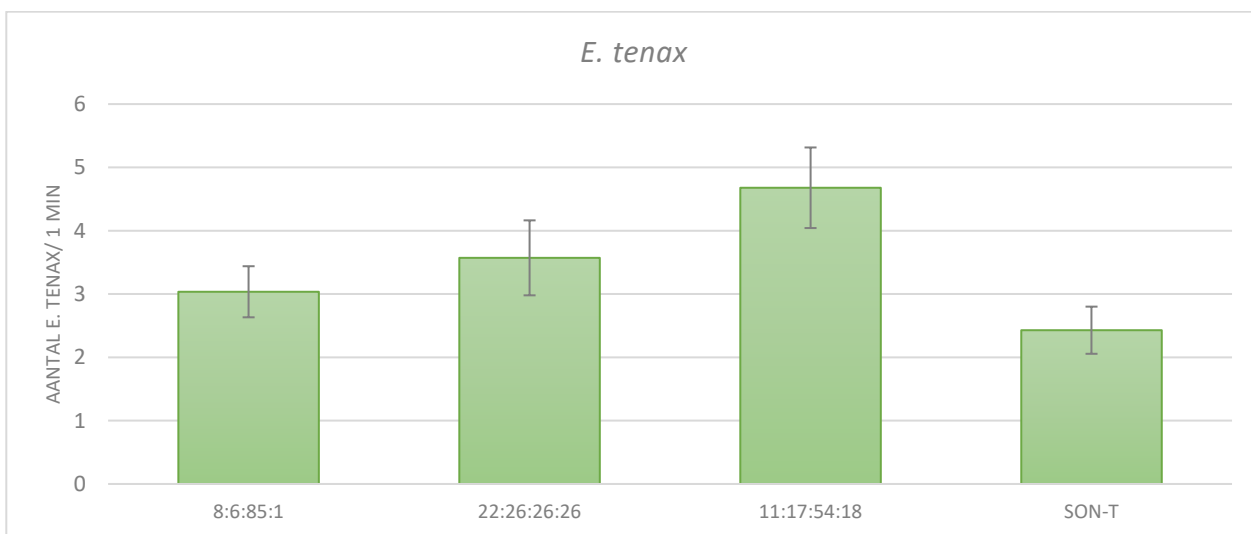
E. tenax heeft hetzelfde gedragspatroon getoond als *B. terrestris* wat betreft tijd besteed aan het foerageren (Figuur 34) en het aantal bloembezoeken (Figuur 35). Er waren geen verschillen in de tijd besteed aan het foerageren en de meeste bloembezoeken werden geobserveerd onder de "zeer hoog rood" spectrum. De duur van de bezoeken zoals het aantal lagen dan hoger bij *E. tenax* wat is te wijten aan de hogere aantallen geïntroduceerd en het eigen bestuivingsgedrag van de zweefvliegen die veel subtieler bloembezoeken uitbrengen. De totale aantallen waargenomen zweefvliegen bleken het laagst te zijn in de SON-T behandeling, maar verschillende niet van de "hoog rood". De meeste bestuivers werden gescoord onder "medium rood" licht (Figuur 36). Wat betreft specifieke gedragingen was er duidelijk te zien dat het minste foeragerende zweefvliegen werden geobserveerd in de behandeling met SON-T belichting terwijl in de andere behandelingen was er geen verschil (Figuur 37.1 en 2). In het geval van vliegende of rustende zweefvliegen verschilde de behandelingen niet (Figuur 37.3 en 4).



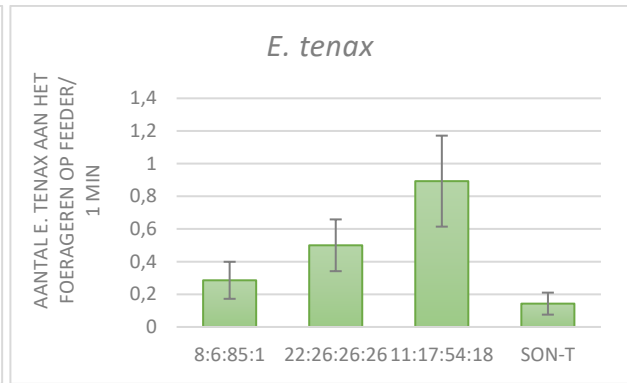
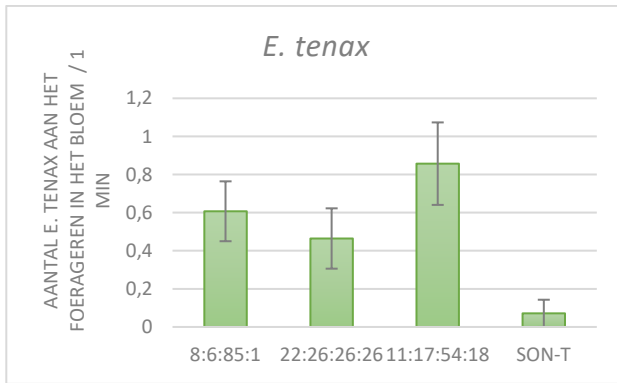
Figuur 34 Gemiddelde tijd die *E. tenax* besteedt aan het foerageren op aardbeienbloemen tijdens de drie minuten durende observaties.



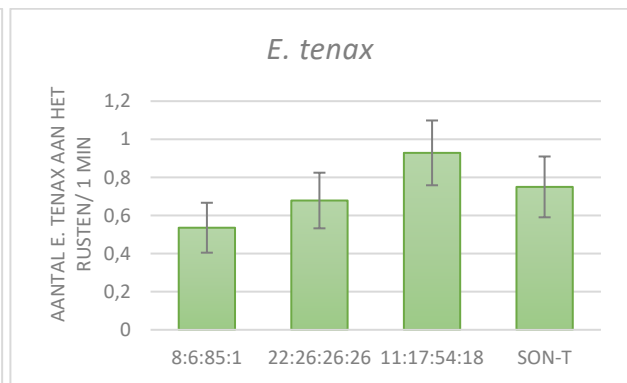
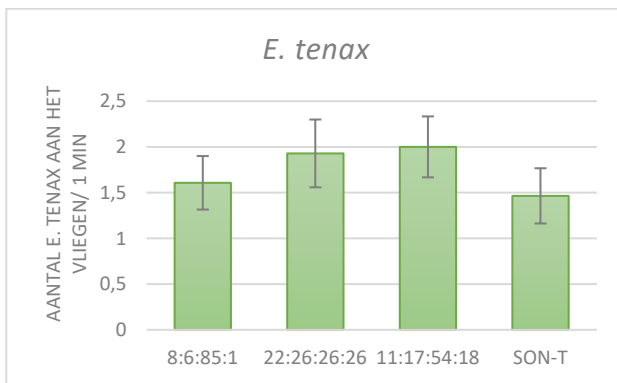
Figuur 35 Aantal bloemen bezocht door *E. tenax* tijdens de drie minuten durende observaties.



Figuur 36 Gemiddeld aantal *E. tenax* waargenomen tijdens een minuut durende observaties.



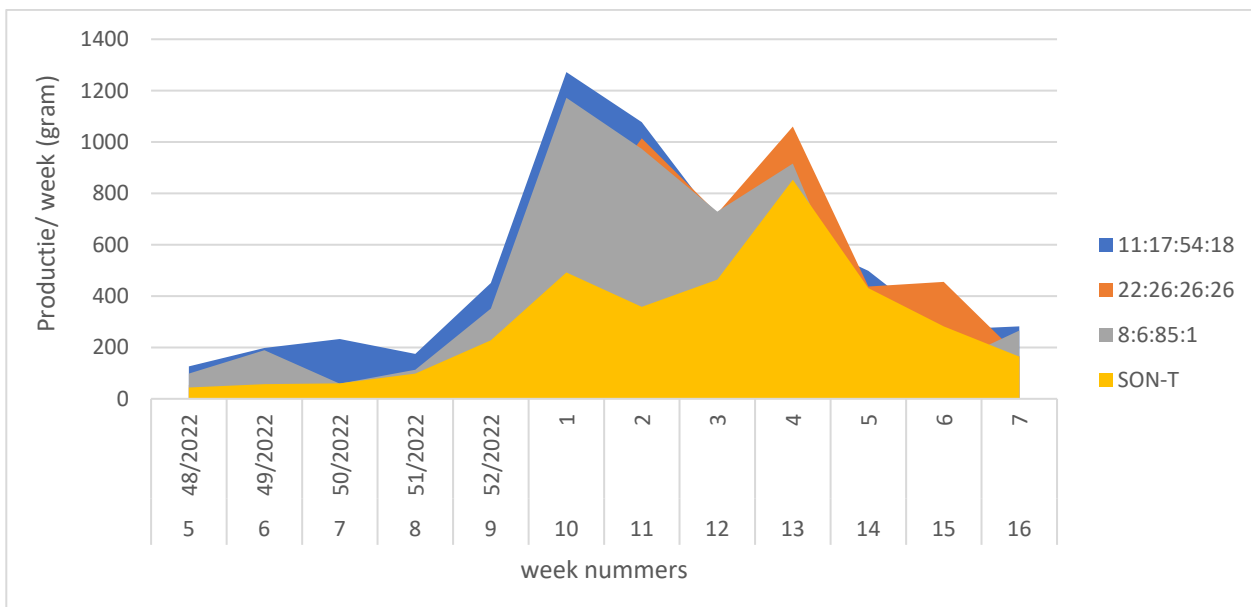
Figuur 37.1 links en **Figuur 37.2** rechts. Gemiddelde aantallen *E. tenax* foeragerend op bloemen of feeder tijdens de een minuut durende waarnemingen.



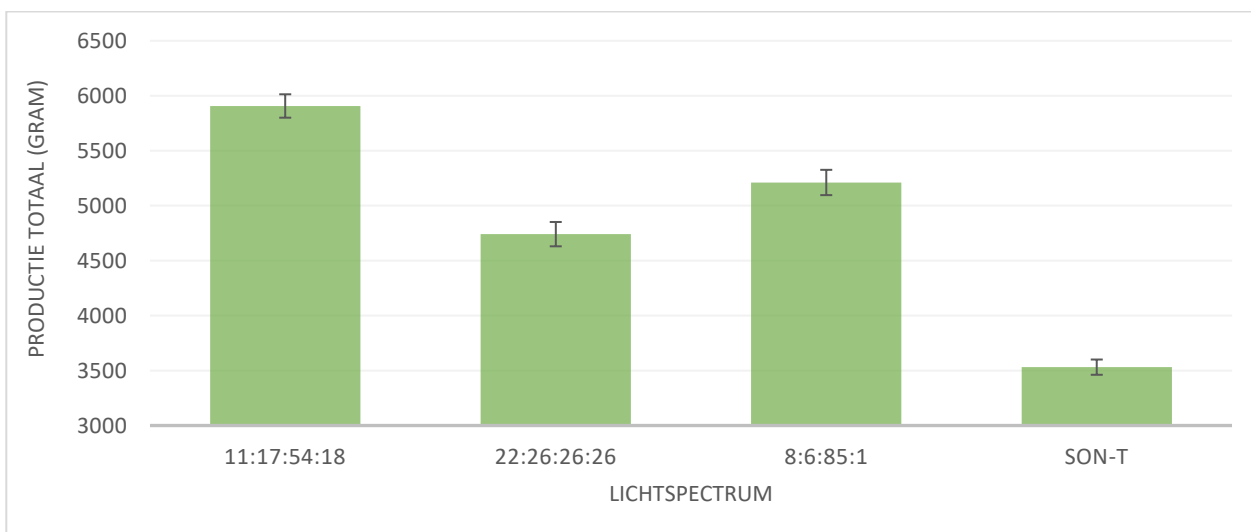
Figuur 37.3 links en **Figuur 37.4** rechts. Gemiddelde aantallen *E. tenax* aan het vliegen en rusten tijdens de een minuut durende waarnemingen.

1.4.2.3 Productie

De productie van aardbeien is afhankelijk van verschillende factoren die de planten beïnvloeden, waaronder licht. En het licht had waarschijnlijk de grootste invloed op de productie die we behaalden. Ook al had de vraag van ons onderzoek geen betrekking op de productie, toch vinden wij het interessant om deze cijfers te presenteren. Het is duidelijk te zien dat de hoogste opbrengst werd behaald door de planten die groeiden onder het spectrum met de meest rode kleur, 54 en 85 respectievelijk. (Figuur 39 en 40). De laagste oogst werd behaald onder het SON-T licht, wat mogelijk verklaard kan worden door de lage lichtintensiteit vergeleken met de andere behandelingen.



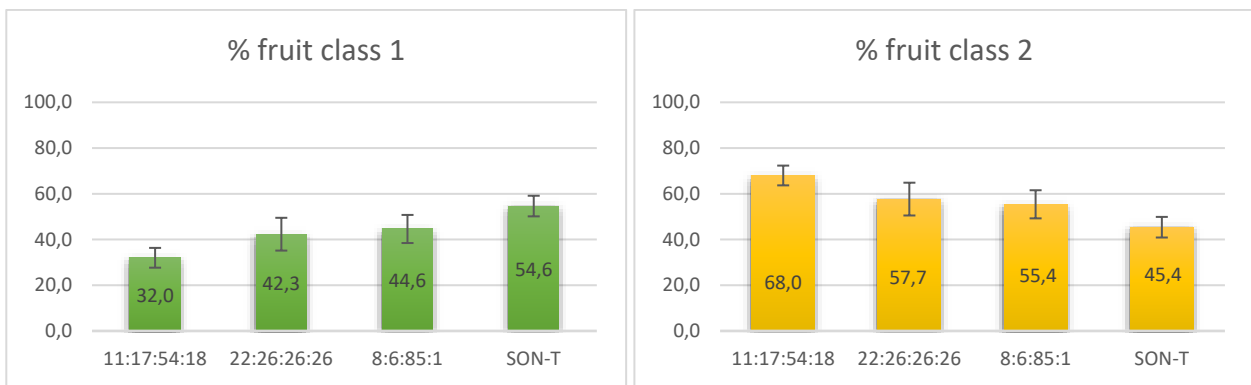
Figuur 39 De productie van de aardbeien in de loop van de tijd.



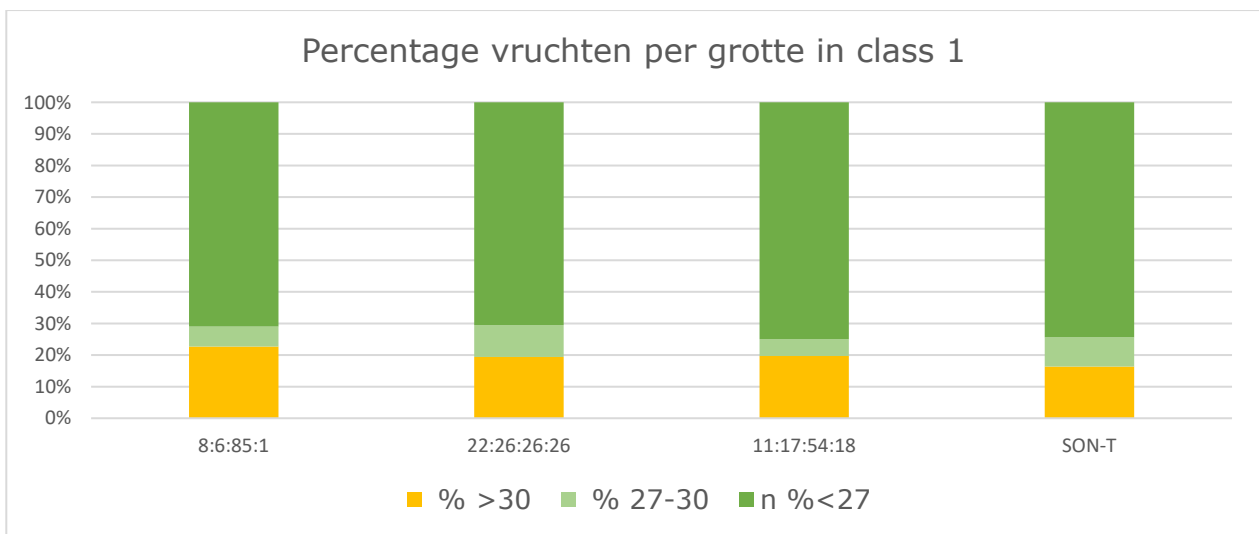
Figuur 40 De totale productie van aardbeien gedurende 16 weken.

1.4.2.4 Vruchtkwaliteit

De kwaliteit van de vruchten in aardbeien is sterk afhankelijk van de bestuivers. Aardbeien kunnen zichzelf tot bepaalde mate bestuiven, vooral door de wind (in de buitenteelt). Echter binnen de kassenteelt ontbreekt enige vorm van luchtbeweging en de bestuiving van bloemen leunt volledig op de geïntroduceerde bestuivers. Verassend genoeg hebben we in ons proef het meeste vruchten in de eerste klasse geoogst in het gewas die onder de SON-T groeide en het minste in de "medium red" (Figuur 41 en 42). Dat is precies andersom tot de productie resultaten en kan te maken hebben met plant belasting maar meer waarschijnlijk met samengaannde factoren, waarbij ook functioneren van bestuivers bij hoort. In ons proefopzet hebben we twee bestuivers samen ingezet in de kooien. Beide hebben andere temperatuur bereik en gedragen zich anders onder verschillende lichtspectra. Het is het meest waarschijnlijk dat hommels en zweefvliegen hebben elkaars gedrag aangevuld en gezorgd voor goed vrucht kwaliteit onder de SON-T behandeling.



Figuur 41 links en **Figuur 42** rechts. Percentage eerste- en tweedeklasfruit dat tijdens het experiment is geoogst.



Figuur 43 Percentage vruchten per categorie binnen de eerste klasse.

Het verschil in het percentage grootste vruchten (> 30 mm, het meest gewild door de telers) was 6% tussen de SON-T en een "high red" behandeling.

1.4.3 Discussie en conclusie

Werken met hommels op kleine percelen met gewassen als aardbeien brengt risico's met zich mee. Enerzijds moeten aantallen hommels worden ingevoerd om waarnemingen mogelijk te maken. Aan de andere kant zijn er in de aardbeienteelt maar heel weinig hommels nodig om misvormingen door overvliegen te veroorzaken. Daarom is het voor ons moeilijk om de onderliggende reden voor bijvoorbeeld meer misvormde vruchten te achterhalen. Om deze resultaten (van de vergelijking tussen de lichtspectra) te vergelijken is het noodzakelijk om niet alleen aandacht te vestigen op de kwaliteit van de vruchten, maar ook op het gedrag van bestuivers in het gewas.

In ons experiment had de SON-T een iets meer versturende effect op het foerageergedrag van de zweefvliegen dan dat van de hommels. Er foerageerden duidelijk minder *E. tenax* op de bloemen of op de feeder dan onder de andere lichtspectra. Ook het aantal bloemenbezoeken was duidelijk lager bij de SON-T, maar de duur van het bezoek verschilde niet tussen de behandelingen. We kunnen niet met honderd procent zekerheid zeggen dat alleen het lichtspectrum in dit geval een rol speelde, omdat de lichtintensiteit lager was dan bij de andere behandelingen.

Afhankelijk van de lichtbehandeling vertoonden de hommels zeer wisselend gedrag. Het is duidelijk dat de meeste hommels die onder SON-T werden waargenomen, aan het rusten waren. Rusten is atypisch gedrag voor hommels. Ook was het aantal vliegende hommels onder alle lichtspectra hoger dan onder de SON-T. De meeste bloemenbezoeken en het aantal hommels dat op de feeder foerageerde werden waargenomen bij de behandeling "zeer hoog rood", maar de bloemenbezoeken duurden in dit geval het kortst, wat niet noodzakelijk negatief hoeft te zijn in termen van de risico van overbevliegen.

Vruchtkwaliteit is het belangrijkste meetbare resultaat van het gedrag van bestuivers in het gewas over een langere periode. In ons experimentele ontwerp hebben we de meeste klasse 1-vruchten geoogst onder de SON-T-belichting, waar de productie het laagst was. Het verschil in hoeveelheid klasse 1-vruchten tussen de SON-T en het minst lichtspectrum (11:17:54:18) bedroeg ongeveer 20%. De productie was echter het hoogst onder dit spectrum, wat kan duiden op overbelasting van de planten en veel kleinere vruchten, maar dit verklaart de misvorming niet. Een verklaring hiervoor kan het waargenomen hoogste aantal hommels zijn dat op bloemen foerageert. Dat kon overbevlieving van de bloemen veroorzaken met als gevolg een misvorming.

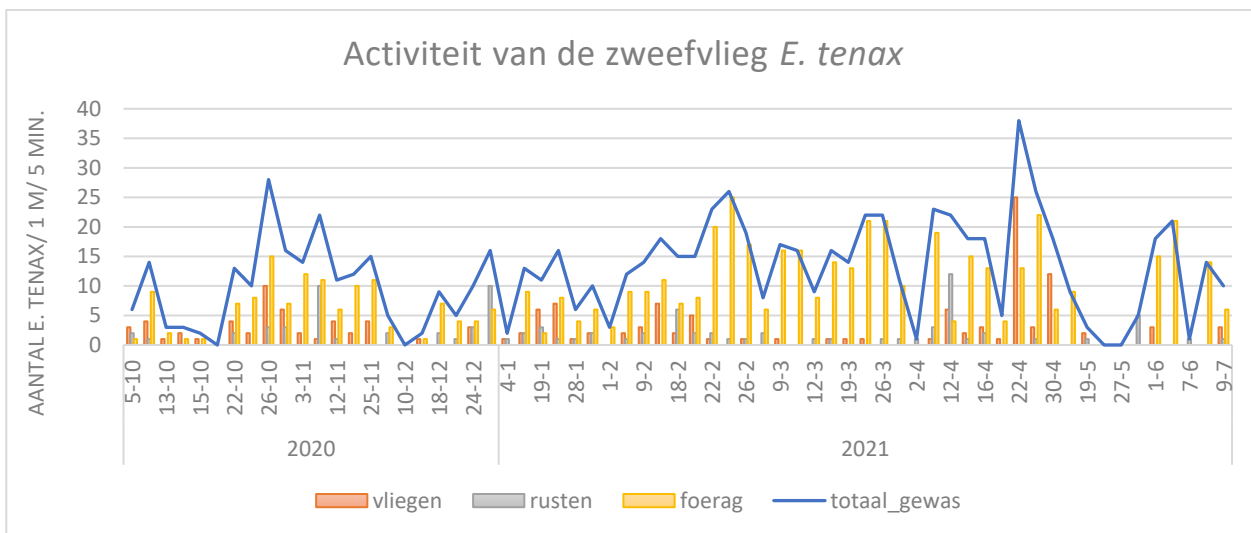
1.5 Gedrag bestuivers onder twee lichtspectra in aardbeienteelt (Kas 2030)

De waarnemingen van hommels, honingbijen en zweefvliegen zijn uitgevoerd in twee opeenvolgende aardbeienteelten in de kas 2030 in de winterperiode van 2021 en 2022. Tijdens deze periodes hebben we alle drie de bestuivers onder verschillende lichtomstandigheden waargenomen.

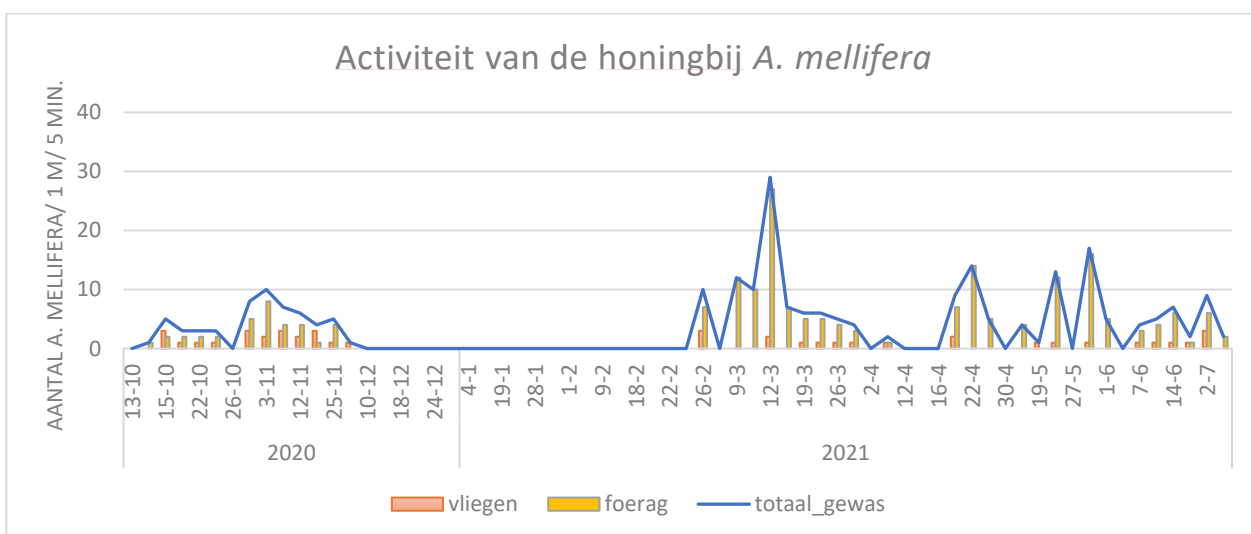
In de winter van 2020/21 werden honingbijen en zweefvliegen ingezet om de planten te bestuiven. In de daaropvolgende teelt van 2021/22 zijn samen met de zweefvliegen hommels geïntroduceerd omdat bij de eerste teelt bleek dat de bijen niet in onze kas konden foerageren.

1.5.1 Observaties honingbijen en zweefvliegen in de teelt van 2020/21

De gedetailleerde beschrijving van de kasomstandigheden inclusief lichtklimaat is beschreven in hoofdstuk 1.2.1.1 (200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, spectrum 85% rood, 5% blauw en 10% wit + ver roodlampen). Het in het genoemde hoofdstuk beschreven experiment eindigde op 6 januari. De waarnemingen werden echter verlengd tot juli 2021. Hierdoor hebben we kunnen zien dat het gedrag van de zweefvlieg *Eristalis tenax* consistent bleef gedurende de gehele observatieperiode (Figuur 44), terwijl de honingbij *Apis mellifera* meer dan 2 maanden was gestopt met vliegen, tussen 10 december en 22 februari (Figuur 45). Gedurende deze periode hebben we de bijenkasten 3 keer vervangen zonder resultaat. Vanaf 22 februari begonnen de bijen weer te vliegen en te foerageren. Het extreme gedrag van de bijen heeft waarschijnlijk niet alleen te maken met het spectrum in de lampen, maar ook met de kleine afmetingen van de kas (350 m^2) en het gebruik van schermen in de kas. Tot deze conclusie kwamen we achteraf tijdens het experiment beschreven in hoofdstuk 1.5.



Figuur 44 Gedrag van de zweefvlieg *E. tenax* gedurende de gehele aardbeienteeltperiode.



Figuur 45 Gedrag van de honingbij *Apis mellifera* gedurende de gehele aardbeienteeltperiode, met een lange onderbreking tussen 10 december en 22 februari.

1.5.2 Observaties hommels en zweefvliegen in de teelt van 2021/22

De waarnemingen van de bestuivers werden uitgevoerd in dezelfde kas maar onder een ander lichtklimaat zoals weergegeven in Tabel 11. De kas werd in tweeën gedeeld, met in elk deel van de kas een ander lightspectrum. Het spectrum aan de linkerkant van de kas bleef gedurende de hele observatieperiode hetzelfde. Aan de rechterkant veranderde het spectrum, werd de hoeveelheid blauw/groen licht verminderd en het rode licht vergroot. Ook de lichtintensiteit varieerde, van minimaal 136 micromol in oktober tot maximaal 235 micromol in december. De observatiepunten bevonden zich in het midden van elke helft van de kas om eventuele lichtvervuiling invloeden uit te sluiten.

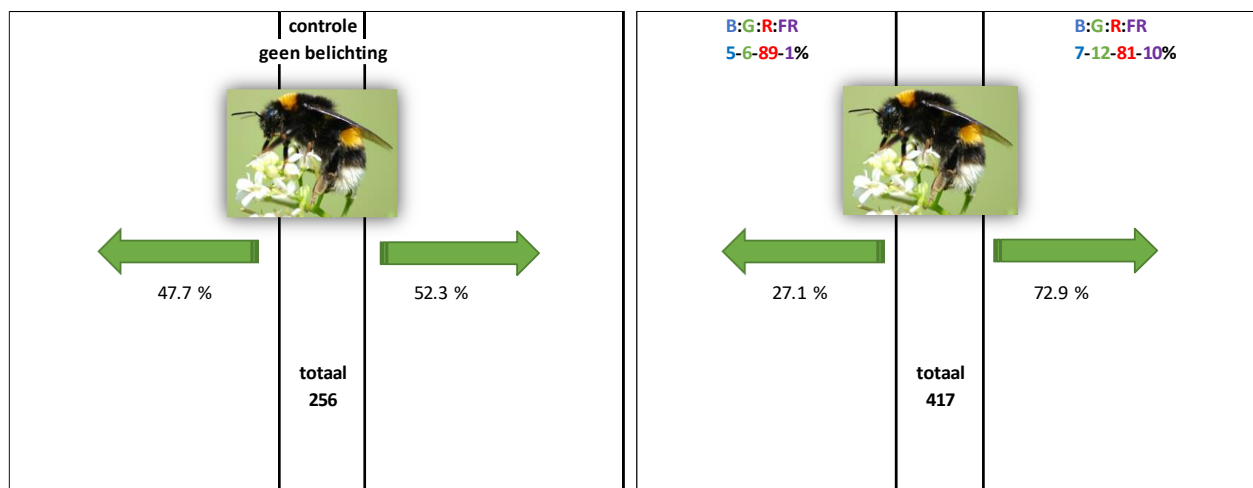
Tabel 11 Lichtklimaat in de kas tijdens verloop van de proef.

	B:G:R:FR		B:G:R:FR
11-okt	5-6-89-1%	136micromol	9-16-74-10%
2-nov	5-6-89-1%	190 micromol	8-15-77-10%
30-nov	5-6-89-1%	235 micromol	7-12-81-10%
17-1-2022	5-6-89-1%	190 micromol	7-12-81-10%

1.5.2.1 Keuzeproef hommels

Wekelijks werden er minimaal 50 *Bombus terrestris*-darren in de kas uitgezet. Midden in de kas werd een doos met 50 hommels geplaatst. Uitvliegende hommels (die naar links of naar rechts vliegen) werden geteld met behulp van 2 handkliktelers. De proef vond plaats tussen 8 december 2021 en 9 februari 2022, en werd uitgevoerd op hetzelfde tijdstip en met gesloten schermen. In de periode van 22 februari tot en met 23 maart is een controle behandeling uitgevoerd met de schermen open en zonder verlichting.

Uit de controlebehandeling bleek dat de hommels geen voorkeur hadden voor een bepaalde kant van de kas. De verdeling bleef ongeveer hetzelfde, Figuur 46. Onder belichting en gesloten schermen had het overgrote meerderheid van de hommels, 73%, bij het uitvliegen de rechterkant van de kas gekozen (Figuur 47).



Figuur 46 Percentage hommels met een voorkeur voor de het deel van de kas zonder invloed van belichting.

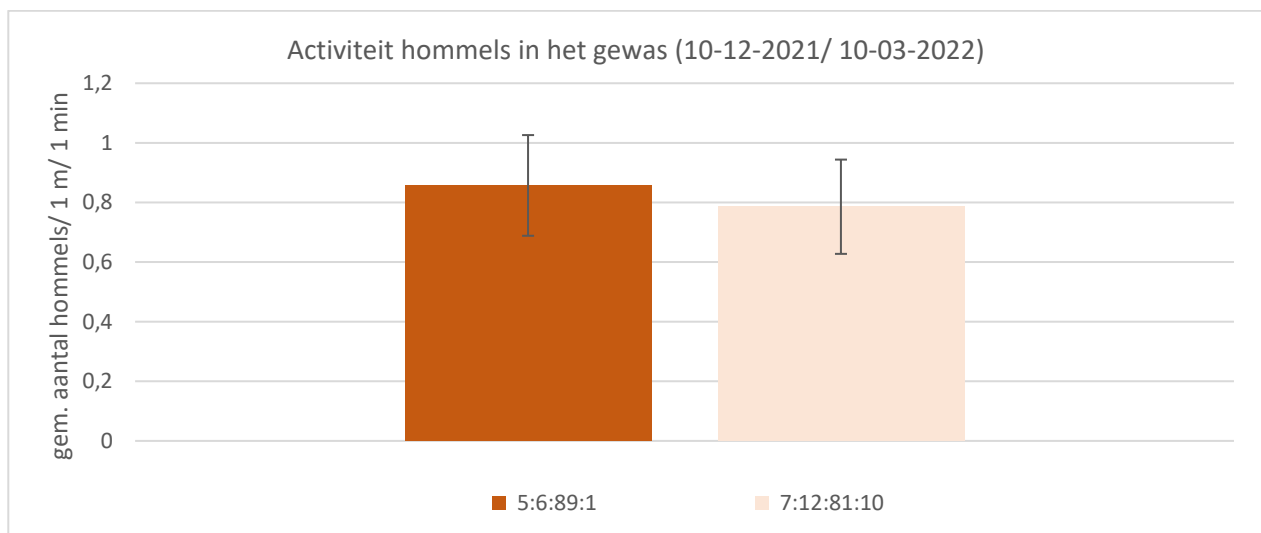
Figuur 47 Percentage hommels met een voorkeur voor de lichtbehandeling.

1.5.2.2 Activiteit hommels en zweefvliegen

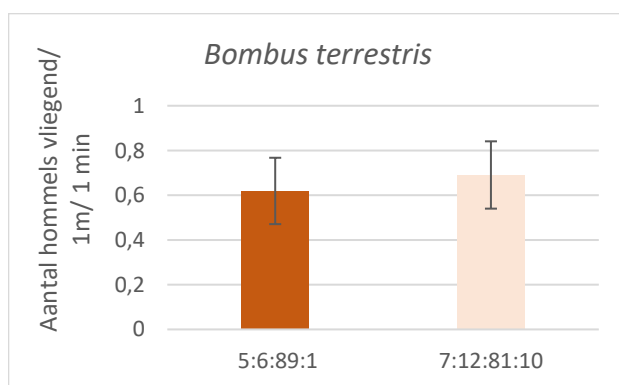
In dezelfde teeltperiode hebben we ook gedragsobservaties gedaan van hommels en zweefvliegen in het gewas. Deze vonden plaats tussen 10 december 2021 en 10 maart 2022. Hommels werden in de teelt geïntroduceerd in standaard hommelkasten. Zweefvliegen werden elke twee weken als poppen in de kas gebracht. Er werd gekeken naar de totale aantallen in het gewas, maar ook naar de aantallen vliegende en foeragerende bestuivers. Ook werd de duur van het bloemenbezoek gemeten. Alle waarnemingen zijn uitgevoerd op een tijdstip waarop de schermen gesloten waren, tussen 11.00 en 12.00 uur.

Gedrag hommels

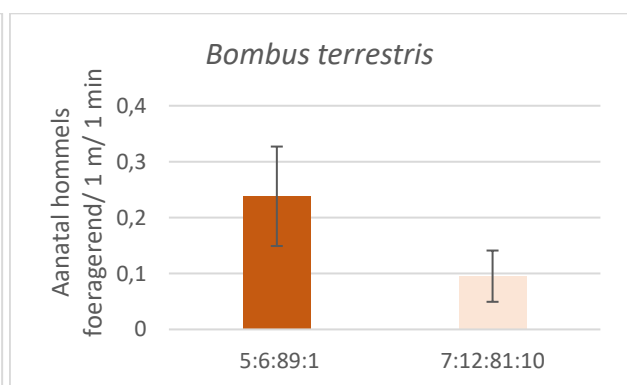
Er waren geen verschillen in de totale aantallen hommels en de aantallen die onder beide lichtspectra vlogen (Figuur 48 en 49). Er was een verschil in het aantal hommels dat op de bloemen foerageerde en het aantal geregistreerde bloemenbezoeken (Figuur 50). Het grootste verschil lag in de duur van de bloemenbezoeken. Hommels onder het spectrum B:G:R:FR 7:12:81:10 besteedden bijna vier keer meer tijd (bijna 20 seconden) aan het bezoek dan de hommels onder het andere lichtspectrum (ongeveer 5 seconden) (Figuur 51). Het lagere aantal bloemenbezoeken onder het 7:12:81:10 spectrum komt overeen met het lagere aantal foeragerende hommels. De bloemenbezoekduur van 20 seconden kan als abnormaal gedrag worden gezien. Er kan ook een relatie zijn tot verrood licht die het gedrag van hommels beïnvloedt. In het onderzoek van Meijer et al., 2023 is onderzocht wat voor invloed heeft verrood licht op *Bombus terrestris* in tomatenteelt. Ze vergeleken het toevoegen van verrood aan de breed spectrum belichting met behandeling zonder verrood in het spectrum. In dit onderzoek brachten hommels liever meer tijd door foerageren op verrood behandelde planten en uitbrengen van meer bloemenbezoeken. Ze concluderen dat blootstelling van planten aan verrood licht leidt tot veranderingen in bloemeigenschappen waardoor de aantrekkingskracht voor hommels toeneemt. In ons geval hadden we 2 verschillende verrood niveaus bij twee verschillende lichtspectra. We kunnen niet uitsluiten dat verrood een belangrijke rol heeft gespeeld in deze experiment maar ook in andere proeven.



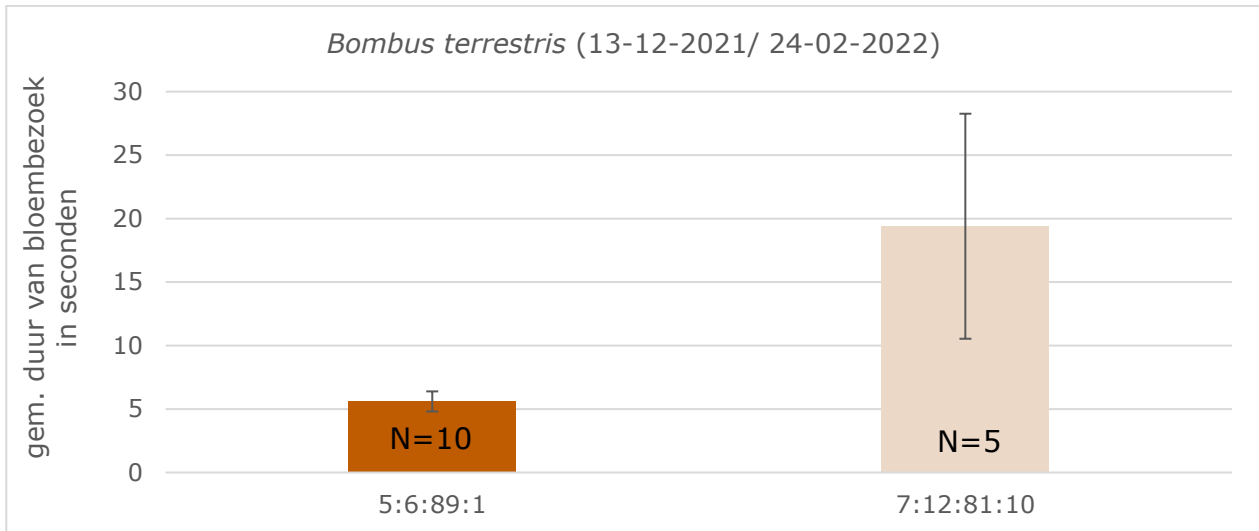
Figuur 48 Gemiddeld aantal hommels waargenomen in het gewas tijdens 1 minuut observaties.



Figuur 49 Gemiddeld aantal vliegende hommels tijdens 1 minuut observaties.



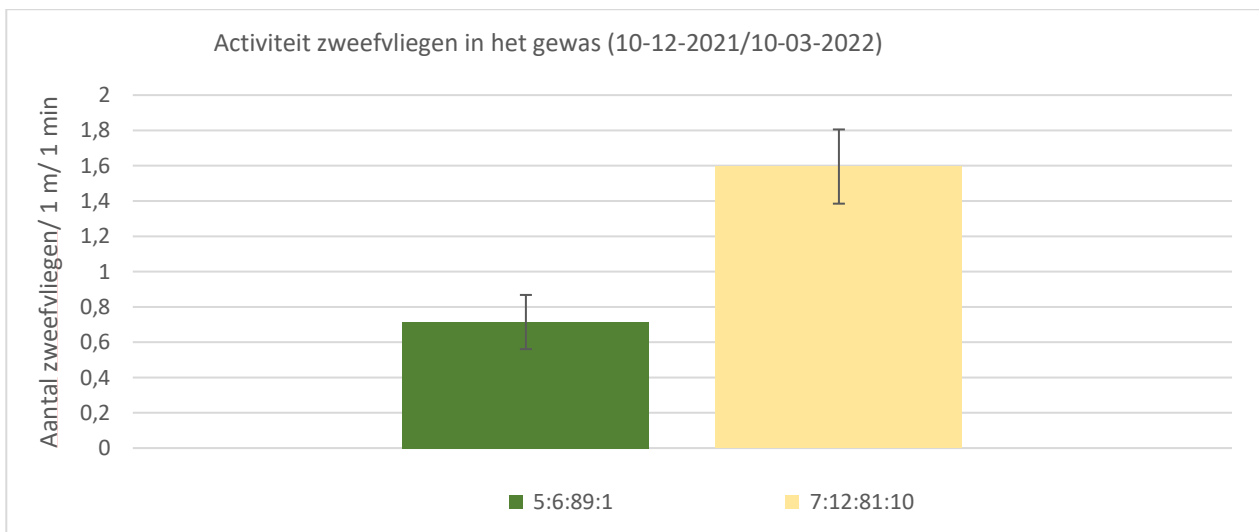
Figuur 50 Gemiddeld aantal foeragerende hommels tijdens 1 minuut observaties.



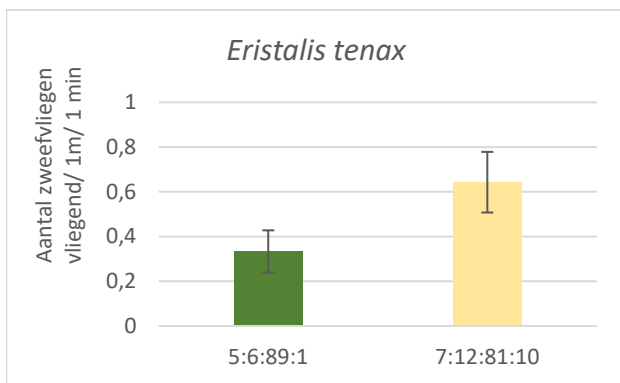
Figuur 51 Gemiddelde duur van bloembezoeken en het aantal van bloembezoeken (N) gemeten tijdens 3 minuten observaties.

Gedrag zweefvliegen

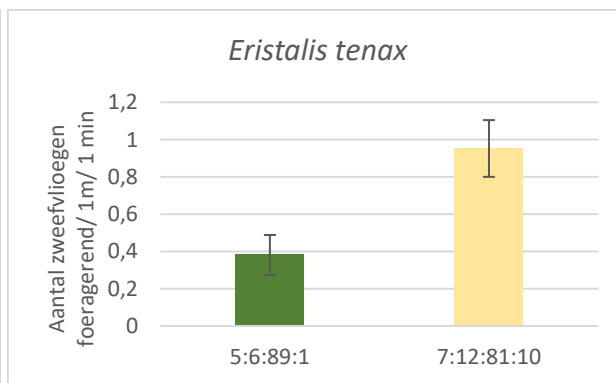
In tegenstelling tot hommels was de zweefvlieg actiever onder het licht met meer blauw/groene kleuren in het spectrum (Figuur 52). Meer vliegende en foeragerende zweefvliegen (Figuur 53 en 54), meer bloemenbezoeken (Figuur 55) (25 tegenover 15 onder 5:6:89:1 spectrum) en ook langduriger bezoeken (Figuur 55). De langere bezoektijd (bijna 60 seconden) is typischer gedrag *van E. tenax* dan de 26,5 seconden onder het spectrum met minder blauw/groene kleur, maar de kortere tijd is geen atypisch gedrag voor de zweefvlieg.



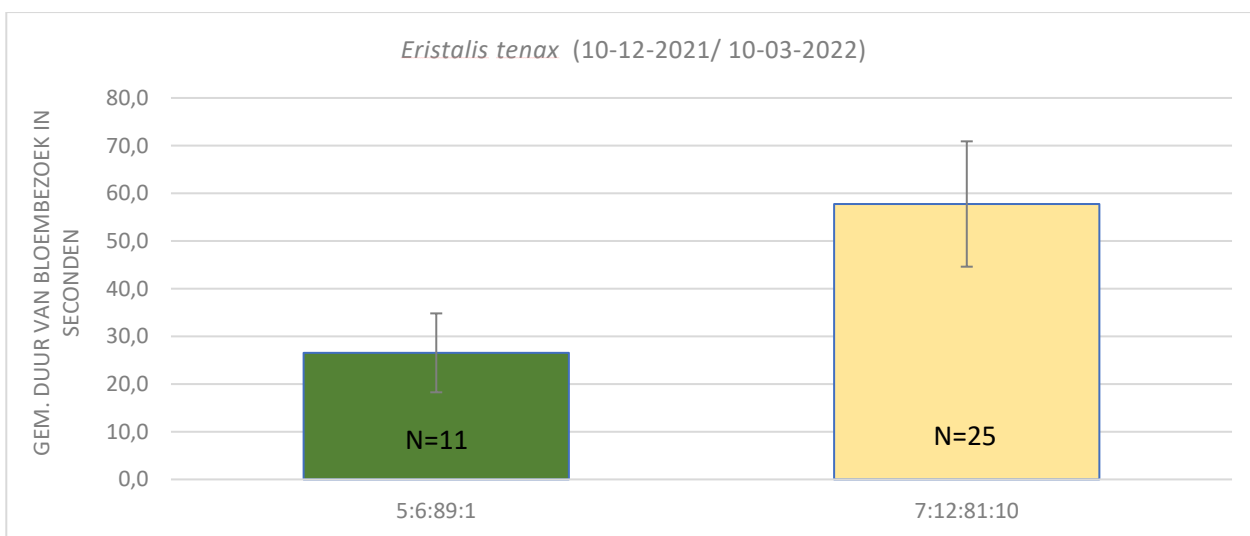
Figuur 52 Gemiddeld aantal zweefvliegen waargenomen in het gewas tijdens 1 minuut observaties.



Figuur 53 Gemiddeld aantal vliegende zweefvliegen tijdens 1 minuut observaties.



Figuur 54 Gemiddeld aantal foeragerende zweefvliegen tijdens 1 minuut observaties.



Figuur 55 Gemiddelde duur van bloembezoeken en het aantal van bloembezoeken (N) gemeten tijdens 3 minuten observaties.

1.5.3 Discussie en conclusie

Deze resultaten waren verrassend in het geval van beide bestuivers. In de andere experimenten was *E. tenax* minder gevoelig dan de andere bestuivers voor lichtspectra. Hier zien we dat hij een duidelijke voorkeur heeft voor meer blauw/groene kleur. Ook het foerageergedrag van de hommels was verrassend. De hommels hadden bij het uitvliegen een sterke voorkeur om de kant van de kas te kiezen met meer blauw/groen in het spectrum, maar het foerageren was beter in de helft van de kas met meer rode kleur in het spectrum. Bij de andere experimenten was dat anders. Door de 'te lange' bloembezoeken vermoeden we dat de hommels moeite hadden met het lokaliseren van de bloemen onder 7:12:81:10 spectrum en zodra ze een bloem hadden gevonden, bleven ze er langer op zitten om 'bij te tanken'. Dit gedrag van hommels bij aardbeien kan door overvliegen snel leiden tot vervorming van de vruchten. Het is onmogelijk om erachter te komen welke rol energieschermen in deze opstelling speelden in het gedrag van bestuivers. Maar de belichting mag niet los van de schermen worden gezien. Wij hadden in deze teelt echter geen problemen met de bestuiving ondervonden. De vruchten waren van goede kwaliteit. Waarschijnlijk heeft het gebruik van twee bestuivers ervoor gezorgd dat de bestuiving in de winter zonder problemen heeft plaatsgevonden.

1.6 Foeragegedrag van hommels en zweefvliegen onder LED in bramen (Efficiënte jaarrondteelt van bramen met LED)

Dit onderzoek is uitgevoerd in het winterseizoen van 2020-2021. Deze proef is opgezet om de effecten van lichtintensiteit en belichtingsduur te onderzoeken in braam. Het onderzoek werd uitgevoerd in twee kassen, waarin in de ene kas een korte belichtingsduur werd gehanteerd en in de andere een lange belichtingsduur. Beide kassen waren uitgerust met LED-lichtarmaturen (LED-toplicht DR/W-LB, Signify, Eindhoven, Nederland) die werden ingezet als toplicht, met een lightspectrum van 86% rood, 6% groen en 8% blauw. De behandelingen bestonden uit verschillende combinaties lichtintensiteit*belichtingsduur, namelijk: laag*kort (L13), hoog*kort (M13), laag*lang (M18) en hoog*lang (H18) (Figuur 2). De lage lichtintensiteit was 102/98 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (korte duur/lange duur) en de hoge lichtintensiteit 134/140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (korte duur/lange duur).

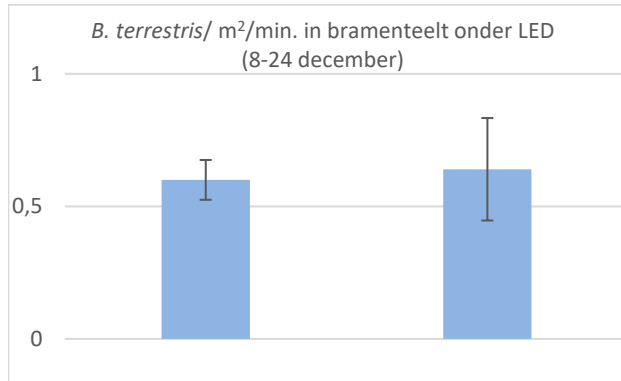
De dagelijkse lightsom (DLI) van de LEDs werd vanaf 'budbreak' in stappen gedurende het onderzoek verhoogd door de belichtingsduur geleidelijk langer te maken. Op 22 oktober werd gestart met een belichtingsduur van resp. ruim 6 en 9 uur, op 1 november werd dit verhoogd naar resp. ruim 11 en 15 uur, op 20 november naar resp. 13.2 en 18 uur en deze werd pas weer verlaagd op 20 februari naar resp. ruim 11 en 15 uur. De stapsgewijze veranderingen werden mede op advies van de BCO uitgevoerd. Met de belichtingsduur is gestuurd op exact gelijke hoeveelheid PAR/dag bij de middelste lightsommen (M13 en M18). Dit is gedaan door in de kas met de kortste belichtingsduur, iets meer minuten te belichten dan in de andere kas. De LEDs met de hoogste lichtintensiteit waren aan weerszijden van de gevel tussenin beide kassen aangebracht, zodat wat het LED-licht betreft, de twee kassen gespiegeld waren.

Hommels verzamelen weinig nectar die de bramenbloemen in overvloed produceren. Als nectar achter blijft kan die beschimmelen en dat kan gevolgen voor de productie hebben. Daarom wordt er gewerkt zowel met hommels als met honingbijen. Honingbij verzamelt de nectar wel. In beide kassen werden in het begin samen met de hommelskasten ook bijenvolken uitgezet. Helaas hebben de bijen in dit experiment het grootste deel van de tijd helemaal niet gevlogen, zie paragraaf 1.7.2. Als vervanger voor de bijen en hulp voor de hommels werden er zweefvliegen *Eristalis tenax* uitgezet, Figuur 56 a en b. Zweefvliegen zijn wat nectar betreft vergelijkbaar met de bijen.

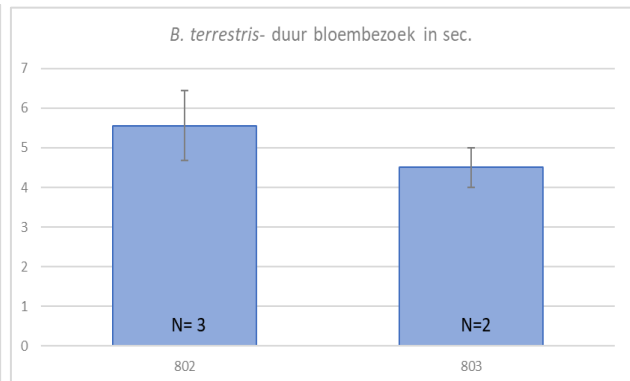


Figuur 56 a en b Zweefvlieg *E. tenax* tijdens foerageren in bramenbloemen.

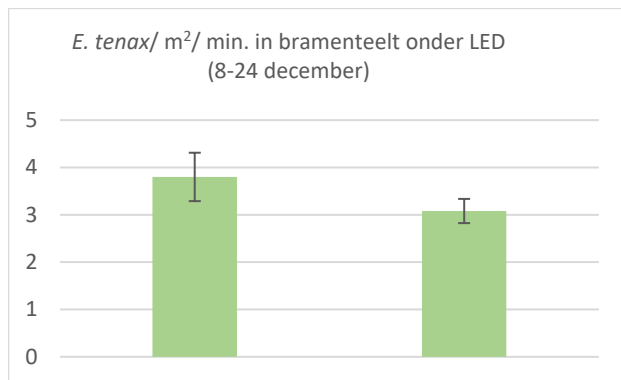
De bestuiving met hommels en zweefvliegen verliep in beide kassen zonder problemen. Omdat het lichtplan in beide kassen hetzelfde was hadden we geen verschillen verwacht en die waren er ook niet. De aantallen hommels, duur van bloembezoeken en het aantal bloembezoeken verschilde niet tussen de kassen, Figuur 57 en 58. Hetzelfde was in het geval van de zweefvliegen (Figuur 59 en 60). Echter konden we zien dat de hommels het moeilijk hadden. De aantallen die vlogen waren heel laag (Figuur 57) en de activiteit rondom de hommelskasten was nihil. We hebben ook veel hommels gevonden langs de gevels, Figuur 61. Dit is een indicatie dat ook de hommels moeite hadden om zich te oriënteren in de winter onder de geteste lichtomstandigheden.



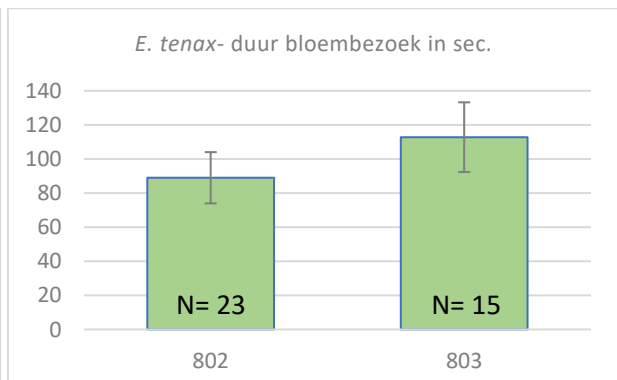
Figuur 57 Gemiddeld aantal hommels in het gewas in beide kassen waargenomen tijdens 1 minuut observaties.



Figuur 58 Gemiddelde duur van bloembezoeken en het aantal bloembezoeken (N) gemeten tijdens 3 minuten observaties.



Figuur 59 Gemiddeld aantal zweefvliegen in het gewas in beide kassen waargenomen tijdens 1 minuut observaties.



Figuur 60 Gemiddelde duur van bloembezoeken en het aantal bloembezoeken (N) gemeten tijdens 3 minuten observaties.



Figuur 61 Verwarde hommels langs de kasgevels.

1.7 Experimenten die geen data hebben opgeleverd

1.7.1 Effect van LED-lampen met verschillende lightspectra op het foerageergedrag van bestuivers (Schaduwlicht voor schaduwplanten)

In de winterperiode 2023/23 wilden we de test "Effect van LED-lampen met verschillende lightspectra op het foerageergedrag van bestuivers" herhalen, maar dan binnen het project "Schaduwlicht voor schaduwplanten", onder andere lightspectra, zie Tabel 12. De opzet van het experiment was hetzelfde als het bovengenoemde experiment, waarbij tafels van elkaar werden gescheiden met witte folie en boven elke tafel een lamp met een ander spectrum hing. Het onderzoek is gestart in de lichtarme maanden van het jaar; in die periode is nauwelijks nog tegen zonlicht geschermd, en alleen om de temperatuur te kunnen halen is een energiedoek dicht gehouden. De lampen in dit experiment waren ook anders en hingen vrijwel over de hele oppervlakte van de tafel en niet als in de vorige proef alleen boven de middelste gedeelte, zie Figuur 62. De proef zou uitgevoerd zijn onder de 12 uur daglengte behandelingen, tussen 6:00 uur en 18 uur.

Voor 6 uur en na 18 is het donkerdoek altijd dicht samen met de gevelschermen. Dan is er geen daglicht (als in een winterdag). Het zonnescherm bleef altijd dicht.

Bij 12 uur daglengte leverden de lampen (bij de beoogde $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) al een lichtsom van ca. 8.6 Mol/dag. Het daglicht mag deze daglichtsom aanvullen tot ca. 10 Mol (maximaal 1.4 Mol/dag aan natuurlijk licht mag de kas bereiken).

Het donkerdoek was het grootste deel van de dag (deels) dicht. Het doek liep 's nachts (van zon onder tot zon op) dicht op temperatuur; om 6 uur even helemaal open om wat van het ochtend licht binnen te laten. Overdag in een lichttraject van $150 \text{ W}/\text{m}^2$ tot $800 \text{ W}/\text{m}^2$ globale straling buiten sluit het donkerdoek, waarbij de maximale sluiting 90% bedraagt (een kier van 10%). De gemiddelde schermstand over de duur van de proef was 61%.

We merkten dat de hommels zich anders gedroegen dan in de vorige test. Nadat we alle verschillen tussen beide experimenten hadden doorgenomen, kwamen we tot de conclusie dat het sluiten van het energiescherm de hoofdfactor was die de hommels in het nieuwe experiment beïnvloedde. Het bleek onmogelijk om de waarnemingen van de hommels uit te voeren, omdat deze vrijwel uitsluitend atypisch gedrag vertoonden (lopen en rusten). Daarom zijn we niet verder gegaan met verdere waarnemingen van de hommels. De uitgevoerde waarnemingen zijn te vinden in de Bijlage 3.



Figuur 62 Vergelijking tussen proefopstellingen van het project "Schaduw licht voor schaduw planten" (links) en "Rekken en strekken"(rechts).

Tabel 12 Spectrum behandelingen (samenstelling lightspectra en lichtintensiteit afhankelijk van definitie variant).

Intensiteit variant ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Naam in proef	Spectrum verhoudingen BGR FR (in %)	% sum	Lichtintensiteit PAR (400-700 nm) ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Lichtintensiteit TOTAAL=PFD (400-700 nm) ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
200 TOTAAL	middel rood ppfd	10 – 15 – 56 – 19	100	162	200
200 TOTAAL	middellaag rood ppfd	12 – 19 – 42 – 27	100	146	200
200 TOTAAL	zeer laag rood ppfd	18 – 29 – 19 – 34	100	132	200
REF 200 geen FR	zeer hoog rood REF	8 – 6 – 85 – 1	100	200	200
200 PAR+FR	middel rood pfd	12 – 19 – 69 + 19	119	200	238
200 PAR+ FR	middellaag rood pfd	16 – 26 – 58 + 27	127	200	254
200 PAR+ FR	zeer laag rood pfd	27 – 44 – 29 + 34	134	200	268

1.7.2 Foerageergedrag van bijen onder 2 lichtplannen in bramen (Efficiënte jaarrondteelt van bramen met LED)

Dit onderzoek is uitgevoerd in het winterseizoen van 2020-2021. Proefcondities zijn beschreven in de hoofdstuk 1.6.

Onder deze lichtomstandigheden werden er bijenkasten geplaatst in november. De bijen zijn nooit gaan foerageren gedurende de observatieperiode (november, december). Enkele bijen vlogen voor het verkennend vlucht uit de kast maar vielen dood in de buurt van de kast onderweg terug (Figuur 63). Ze konden de bloemen niet goed vinden en de ingang van de kast lokaliseren.

We vermoeden dat dit extreem gedrag had niet alleen met het lightspectrum te maken. De kassen hadden een dubbele gevel aan een kant (corridor- en kasgevel) en het gewas was hoog en stond dicht bij elkaar. Deze condities naast de LED belichting konden de oriëntatie vermogen van de bijen sterk beïnvloeden.



Figuur 63 Bijenkast met dode bijen eromheen.

2 Algemene conclusies en aanbevelingen

Dit project laat zien dat alle geteste kunstlichtbronnen het gedrag van bestuivers op verschillende manieren beïnvloeden. Het is duidelijk dat licht het grootste rol speelt (in periodes van het jaar met zeer lage natuurlijke instraling buiten). Het is niet duidelijk welke van de geteste spectra de grootste hindernis vormen voor bestuivers, omdat onze resultaten soms tegenstrijdig zijn. Het kan zijn dat de lampen die een fractie UV-licht in het blauwe kleurgebied hebben voldoende zijn voor hommels en bijen om te foerageren. Deze worden binnenkort aangeboden door de fabrikanten.

Achteraf weten we dat niet alleen de lichtspectra maar ook de energieschermen een obstakel kunnen vormen voor de bestuivers. Daarnaast ook de verroodlicht die de bloemeigenschappen verandert waardoor de aantrekkingskracht voor hommels toeneemt is een onbekende factor in ons onderzoek.

Met zekerheid kunnen we zeggen dat introduceren van meerdere bestuivende insecten in aardbeien- en bramenteelt kan de nadelige invloed van alle andere factoren verminderen. Inzetten op meerdere bestuivers die anders reageren op lichtklimaat verkleint het risico van periodes zonder bestuiving.

Wat betreft tijdig volgen van de bestuivingsactiviteiten in de teelten raden we aan om de hommel- en/ of bijenkasten in te richten met sensoren die de gezondheid van de volken volgen. Daarnaast kan een teller om de aantallen bijen die de kasten verlaten helpen inzicht te geven in de bestuiving. Het is wel heel belangrijk dat ook regelmatig wordt gekeken in het gewas zelf hoeveel foeragerende insecten er te vinden zijn.

Hieronder staan onze adviezen over de optimale condities voor het inzetten van bestuivers:

- Combineren van verschillende bestuivende insecten indien mogelijk
- Lampen aanzetten voordat de kasten open gaan
- De lichtspectra niet veranderen tijdens de foerageertijd
- Volgen fitheid van de volken met sensoren aangesloten op bijvoorbeeld telefoonapplicaties
- Volgen het gedrag van bestuivers in het gewas

Omdat er nog heel veel vragen open staan wat betreft combinatie licht- energieschermen bevelen we aan om volgende vragen in toekomstig onderzoek te beantwoorden:

- Wat is de lichtdoorlatendheid van verschillende schermdoeken en speelt dit een rol bij het gedrag van insecten met en zonder kunstlicht?
- Welke rol speelt verrood licht in de bloemkwaliteit van verschillende gewassen en houdt dit verband met de aantrekkelijkheid voor verschillende bestuivers?

Literatuur

- Abrol, D. P., Gorka, A. K., Ansari, M. J., Al-Ghamdi, A., & Al-Kahtani, S. (2019). Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(3), 524-530.
- Albano, S., Mexia, A., Borges, P. A., Salvado, E. (2009). Floral Visitors, Their Frequency, Activity Rate and Index of Visitation Rate in the Strawberry Fields of Ribatejo, Portugal: Selection of Potential Pollinators: Part 1. Floral Visitors, Their Frequency, Activity Rate and Index of Visitation Rate in the Strawberry Fields of Ribatejo, Portugal, 1000-1008.
- Barghini, A., & Souza de Medeiros, B. A. (2012). UV radiation as an attractor for insects. *Leukos*, 9(1), 47-56.
- Bessin, R., Townsend, L.H., Anderson, R. G. (z.d.). Greenhouse Insect Management. <https://entomology.ca.uky.edu/ent60> Verkregen op 18-02-2020.
- Blacqui re, T., van der Aa-Furn e, J., Cornellissen B., Donders, J. (2006). Behaviour of honey bees and bumble bees beneath three different greenhouse claddings. *Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting 17*: 93-102.
- Blacqui re, T., Cornelissen, B., & Donders, J. N. L. C. (2007). Bumble bee colony decline in greenhouses with supplemental lighting. In *Proceedings of the Netherlands entomological society meeting, Amsterdam, The Netherlands, 15 December, 2006* (Vol. 18, pp. 71-77). NEV. <https://edepot.wur.nl/52431>.
- Blacqui re, T., (2005). Groeilicht en bestuivende insecten. Wageningen University and Research.
- Blacqui re, T., Tom, J., (2019). Het nieuwe telen en bestuivende insecten. Wageningen University and Research.
- Boom, M. P., Spoelstra, K., Biere, A., Knop, E., Visser, M. E. (2020). Pollination and fruit infestation under artificial light at night: light colour matters. *Scientific reports*, 10(1), 1-6.
- Chagnon, M., Gingras, J. De Oliveira, D. (1986). Effect of Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Visits on the Pollination Rate of Strawberries. *Journal of Economic Entomology* 82: 1350-1353.
- Corbet, S. A., Fussell, M., Ake, R., Fraser, A., Gunson, C., Savage, A., Smith, K. (1993). Temperature and the pollinating activity of social bees. *Ecological entomology*, 18(1), 17-30.
- de Vries, L. J., Van Langevelde, F., Van Dooremalen, C., Kornegoor, I. G., Lankheet, M. J., Van Leeuwen, J. L., Muijres, F. T. (2020). Bumblebees land remarkably well in red-blue greenhouse LED light conditions. *Biology open*, 9(6), bio046730.
- Dijkstra, J. (1990). De teelt van aardbeien onder glas. Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw.
- Dikkenberg, v.d. J. (2020). Gedrag van bestuivers en roofwantsen onder LED belichting in de aardbeienteelt onder glas. Wageningen University and Research.
- Dinkel, T., & Lunau, K. (2001). How drone flies (*Eristalis tenax* L., Syrphidae, Diptera) use floral guides to locate food sources. *Journal of Insect Physiology*, 47(10), 1111-1118.
- Fluence By Osram (2021). Q&A Panel: Insect Activity Under Different Light Spectra, https://fluence.science/webinar/qa-panel-insect-activity-under-different-light-spectra/?utm_source=salesfusion&utm_medium=email&utm_campaign=insect-webinar-follow-up-recording.
- Free, J.B. (1968). The pollination of strawberries by honeybees. *Journal of Horticultural Science* 43: 107-111.

- Goulson, D. (2003).
Bumblebees: their behaviour and ecology. Oxford University Press, USA.
- Greenleaf, S.S & Kremen, C. (2006).
Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 103: 13890-13895.
- Guerra-Sanz, J.M. (2008).
Crop Pollination In Greenhouses. In: James, R.R. & Pitts-Singer, T.L. Bee Pollination in Agricultural Ecosystems. Oxford University Press, New York: 27-30.
- Harrap, M.J.M. & Rands, S.A. & Hempel de Ibarra, N. & Withney, H.M (2017).
The diversity of floral temperature patterns, and their use by pollinators 1: 1-18.
- Herrera, C.M. (1995).
Floral Biology, Microclimate, and Pollination by Ectothermic Bees in an Early-Blooming Herb. Ecology 76: 218-228.
- Kevan, P. G., Chittka, L., Dyer, A. G. (2001).
Limits to the salience of ultraviolet: lessons from colour vision in bees and birds. Journal of Experimental Biology, 204(14), 2571-2580.
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Tscharntke, T. (2007).
Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the royal society B: biological sciences, 274(1608), 303-313.
- Kleukers, R (2020).
Werkster honingbij [foto] <https://www.bestuivers.nl/bedreiging/sterfte-honingbijen> Verkregen op 22-02-2020.
- Kraus, F. B., Szentgyörgyi, H., Rozej, E., Rhode, M., Morón, D., Woyciechowski, M., & Moritz, R. F. (2011).
Greenhouse bumblebees (*Bombus terrestris*) spread their genes into the wild. Conservation Genetics, 12(1), 187-192.
- Kwon, Y. J., & Saeed, S. (2003).
Effect of temperature on the foraging activity of *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae) on greenhouse hot pepper (*Capsicum annuum* L.). Applied Entomology and Zoology, 38(3), 275-280.
- Labbé R., McCreary C., (2020).
Arthropods and greenhouse lighting: like moths to a flame, <https://www.greenhousecanada.com/arthropods-and-greenhouse-lighting-like-moths-to-a-flame/>.
- Lazzarin, M., Meisenburg, M., Meijer, D., van Ieperen, W., Marcelis, L. F. M., Kappers, I. F., Dicke, M. (2020).
LEDs Make It Resilient: Effects on Plant Growth and Defense. Trends in Plant Science.
- Lunau, K. (2014).
Visual ecology of flies with particular reference to colour vision and colour preferences. Journal of Comparative Physiology A, 200(6), 497-512.
- Lunau, K., & Wacht, S. (1994).
Optical releasers of the innate proboscis extension in the hoverfly *Eristalis tenax* L. (Syrphidae, Diptera). Journal of Comparative Physiology A, 174(5), 575-579.
- Meijer, D., van Doesburg F., Jungerling L., Weldegergis B. T, Kappers I. F, van Oystaeyen, A., van Loon J. A., Dicke, M. (2023).
Supplemental far-red light influences flowering traits and interactions with a pollinator in tomato crops. Environmental and Experimental Botany, vol. 213. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105438>.
- Morandin, L. A., Lavery, T. M., Kevan, P. G., Khosla, S., & Shipp, L. J. T. C. E. (2001).
Bumble bee (Hymenoptera: Apidae) activity and loss in commercial tomato greenhouses. The Canadian Entomologist, 133(6), 883-893.
- Morandin, L.A., Lavery, T.M., Kevan, P.G., Khosla, S. (2001).
Bumble bee (Hymenoptera: Apidae) activity and loss in commercial tomato greenhouses. The Canadian Entomologist 94: 462-467.
- Nederlandse Bestuivingscommissie. (2016)
Bestuivingsinformatie Aardbei. <http://www.nederlandsebestuivingscommissie.nl/bestuivingsinformatie/> verkregen op 7-2-2020.
- Nederlandse Bestuivingscommissie. (2020).
Bestuiving <https://www.imkersnederland.nl/over-bijen/bestuiving>.

-
- Neimann, A., Eberling, E., Algora, H., Brings, S., Lunau, K. (2018).
The yellow specialist: Dronefly *Eristalis tenax* prefers different yellow colours for landing and proboscis extension. *Journal of Experimental Biology*, 221(22), jeb184788.
- Osborne, J. L., Smith, A., Clark, S. J., Reynolds, D. R., Barron, M. C., Lim, K. S. Reynolds, A. M. (2013).
The ontogeny of bumblebee flight trajectories: from naïve explorers to experienced foragers. *Plos one*, 8(11), e78681.
- Ottenheim, M.M. & Holloway, G.J. (1994).
The Effect of Diet and Light on Larval and Pupal Development of Laboratory-Reared *Eristalis Arbustorum* (Diptera: Syrphidae). *The Netherlands Journal of Zoology* 45: 305-314.
- Peitsch, D., Fietz, A., Hertel, H., de Souza, J., Ventura, D. F., Menzel, R. (1992).
The spectral input systems of hymenopteran insects and their receptor-based colour vision. *Journal of Comparative Physiology A*, 170(1), 23-40.
- Polyfly (2020).
Polyfly Hoverfly pollination queenfly. <http://polyfly.es/en/>.
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V.,
Vanbergen, A. J. (2016).
The assessment report on pollinators, pollination and food production: summary for policymakers.
Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Reemer, M. & Renema, W., van Steenis, W., Zeegers, Th., Barendregt, A., Smit, J.T., van Veen, M.P.,
van der Leij, L.J.J.M. (2009).
De Nederlandse Fauna 8. De Nederlandse Zweefvliegen (Diptera: Syrphidae). – Nederlandse Fauna 8.
KNNV Uitgeverij. Leiden, 422 p.
- Reemer, M. (2009).
Nederlandse Fauna deel 8: De Nederlandse Zweefvliegen, KNNV uitgeverij.
- Sakai, T., Isono K., Tomaru, M., Fukatami, A. & Oguma, Y. (2002).
Light wavelength dependency of mating activity in the *Drosophila melanogaster* species subgroup 77:
187-195.
- Searchinger, T., Waite, R., Hanson, C., Ranganathan, J. (2019).
Creating a sustainable foodfuture. *World resources report*. 556 P.
- Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., Roth, B. (2015).
LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49: 139-147.
- Ssymank, A., Kearns, C.A., Pape, T., Thompson C. (2011).
Pollinating Flies (Diptera): A major contribution to plant diversity and agricultural production.
Biodiversity & Agriculture 9: 86-89.
- United Nations report (2019).
Growing at a slower pace, world population is expected to reach 9.7 billion in 2050 and could peak at
nearly 11 billion around 2100 <http://www.un.org/development>.
- Wageningen Universiteit & Research (2019).
KAS2030: Duurzaam telen met toekomst. <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/>.
- Wakefield, A., Broyles, M., Stone, M.L., Jones, G., Harris, S. (2016).
Experimentally comparing the attractiveness of domestic lights to insects: Do LEDs attract fewer insects
than conventional light types? *Ecology and Evolution* 6: 8028-8036.
- Wang, S., Liang, X., Michaud, P.J., Zhang, F., Guo, X. (2013).
Light intensity and wavelength influence development, reproduction and locomotor activity in the
predatory flower bug *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae). *BioControl* 58: 667-674.
- Weisser, W.W. & Siemann, E. (2007).
Insects and Ecosystem Function. *Ecological Studies* 173: 1- 3.

Bijlage 1 Observatie protocollen

Protocol observaties *Apis mellifera* (honingbij) in bramen (volle bloei).

Algemeen: alle observaties worden uitgevoerd tussen **11 en 13 uur**, wanneer de activiteit van bestuivende insecten het hoogst is in de winteromstandigheden.

Gemiddelde aantal bloemen per m², weeromstandigheden buiten, stand van ramen en schermen, stand van belichting en kasklimaat worden geregistreerd.

Benodigdheden: 2 timers, 1 klickteller, telformulier.

Bijenkast observaties:

1 tot 3 metingen van 1 minuut: gedurende de tijd worden de bijen die de korf betreden en verlaten geteld. Observaties uitvoeren 2 keer per week. Bij lage activiteit observatietijd verlengen.

Gedrag observaties:

3 tot 5 observaties van 1 minuut van de oppervlakte van 2m². Aantallen bijen aanwezig in het gewas gedurende 1 minuut tellen (fotografische opname van de oppervlakte). De bijen verdelen in 2 categorieën: vliegende, foeragerende. Meting uitvoeren op 3-5 verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Bloembezoeken:

1 bloem selecteren en observeren gedurende 3 minuten. Elk bijenbezoek registreren en tijd van foerageren meten in seconden. Meting uitvoeren op 3-5 verschillende bloemen op verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Protocol observaties *Apis mellifera* (honingbij) in aardbeien (volle bloei).

Algemeen: alle observaties worden uitgevoerd tussen **11 en 13 uur**, wanneer de activiteit van bestuivende insecten het hoogst is.

Gemiddelde aantal bloemen per m², weeromstandigheden buiten, stand van ramen en schermen, stand van lichten en kasklimaat worden geregistreerd.

Benodigdheden: 2 timers, 1 klickteller, telformulier.

Bijenkorf observaties:

1 tot 3 metingen van 1 minuut: gedurende de tijd worden bijen die de korf betreden en verlaten geteld. Observaties uitvoeren 2 keer per week. Bij lage activiteit observatietijd verlengen.

Gedrag observaties:

3 tot 5 observaties van 1 minuut van de oppervlakte van 2m²- 2 goten 2 m lang. Aantallen bijen aanwezig in het gewas gedurende 1 minuut tellen (fotografische opname van de oppervlakte). De bijen verdelen in 2 categorieën: vliegende, foeragerende. Meting uitvoeren op 3-5 verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer week.

Bloembezoeken:

1 bloem selecteren en observeren gedurende 3 minuten. Elk bijenbezoek registreren en tijd van foerageren meten in seconden. Meting uitvoeren op 3-5 verschillende bloemen op verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Protocol observaties *Bombus terrestris* (hommel) in tomaat.

Algemene observaties: alle observaties worden uitgevoerd tussen **11 en 13 uur**, wanneer de activiteit van bestuivende insecten het hoogst is in de winteromstandigheden.

Gemiddelde aantal bloemen van 6 planten, weeromstandigheden buiten, stand van ramen en schermen, stand van lichten en kasklimaat worden geregistreerd.

Benodigdheden: 2 timers, 1 klickteller, telformulier.

Hommelkast observaties:

1 tot 3 metingen van 3 minuten: gedurende de tijd worden hommels die de kast betreden en verlaten geteld. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Gedrag observaties:

3 observaties van 3 minuten van 6 planten. Aantallen hommels aanwezig in het gewas gedurende 3 minuten tellen (fotografische opname van de oppervlakte). De hommels verdelen in 2 categorieën: vliegende, foeragerende. Meting uitvoeren op 3 verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Bloembezoeken:

1 bloem selecteren en observeren gedurende 3 minuten. Elk hommelbezoek registreren en tijd van foerageren meten in seconden. Meting uitvoeren op 3-5 verschillende bloemen op verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Protocol observaties *Bombus terrestris* (hommel) in aardbeien en bramen (volle bloei).

Algemeen: alle observaties worden uitgevoerd tussen **11 en 13 uur**, wanneer de activiteit van bestuivende insecten het hoogst is.

Gemiddelde aantal bloemen per m², weeromstandigheden buiten, stand van ramen en schermen, stand van lichten en kasklimaat worden geregistreerd.

Benodigdheden: 2 timers, 1 klickteller, telformulier.

Hommelkast observaties:

3 metingen van 3 minuten: gedurende de tijd worden hommels die de kast betreden en verlaten geteld.

Gedrag observaties:

3 observaties van 3 minuten van de oppervlakte van 2m²- 1 goot 2 m lang. Aantallen hommels aanwezig in het gewas gedurende 3 minuten tellen (fotografische opname van de oppervlakte). De hommels verdelen in 2 categorieën: vliegende, foeragerende. Meting uitvoeren op 3 verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Bloembezoeken:

1 bloem selecteren en observeren gedurende 3 minuten. Elk hommelbezoek registreren en tijd van foerageren meten in seconden. Meting uitvoeren op 3-5 verschillende bloemen op verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Protocol observaties *Bombus terrestris* (hommel) op Alyssum (nectarplant) in geval dat andere gewassen ontbreken.

Gedrag observaties:

3 observaties van 3 minuten van de oppervlakte van 1 boekweitplant in volle bloei. Aantallen hommels aanwezig in en rond de plant. De hommels verdelen in 2 categorieën: vliegende, foeragerende. Meting uitvoeren op 3 verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Bloembezoeken:

1 bloem selecteren en observeren gedurende 3 minuten. Elk bijenbezoek registreren en tijd van foerageren meten in seconden. Meting uitvoeren op 5 verschillende bloemen op verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Protocol observaties *Eristalis tenax* (zweefvlieg) in bramen en aardbeien (volle bloei).

Algemeen: alle observaties worden uitgevoerd tussen **11 en 13 uur**, wanneer de activiteit van bestuivende insecten het hoogst is.

Gemiddelde aantal bloemen per m², weeromstandigheden buiten, stand van ramen en schermen, stand van licht en kasklimaat worden geregistreerd.

Benodigdheden: 2 timers, 1 klickteller, telformulier.

Gedrag observaties:

3 observaties van 1 minuut van de oppervlakte van 2m². Aantallen zweefvliegen aanwezig in het gewas gedurende 1 minuut tellen (fotografische opname van de oppervlakte). De zweefvliegen verdelen in 3 categorieën: vliegende, foeragerende, rustende. Meting uitvoeren op 3-5 verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Bloembezoeken:

1 bloem selecteren en observeren gedurende 3 minuten. Elk zweefvliegbezoek registreren en tijd van foerageren meten in seconden. Meting uitvoeren op 3-5 verschillende bloemen op verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Protocol observaties *Eristalis tenax* (zweefvlieg) in boekweit (nectarplant) in geval dat andere gewassen ontbreken.

Gedrag observaties:

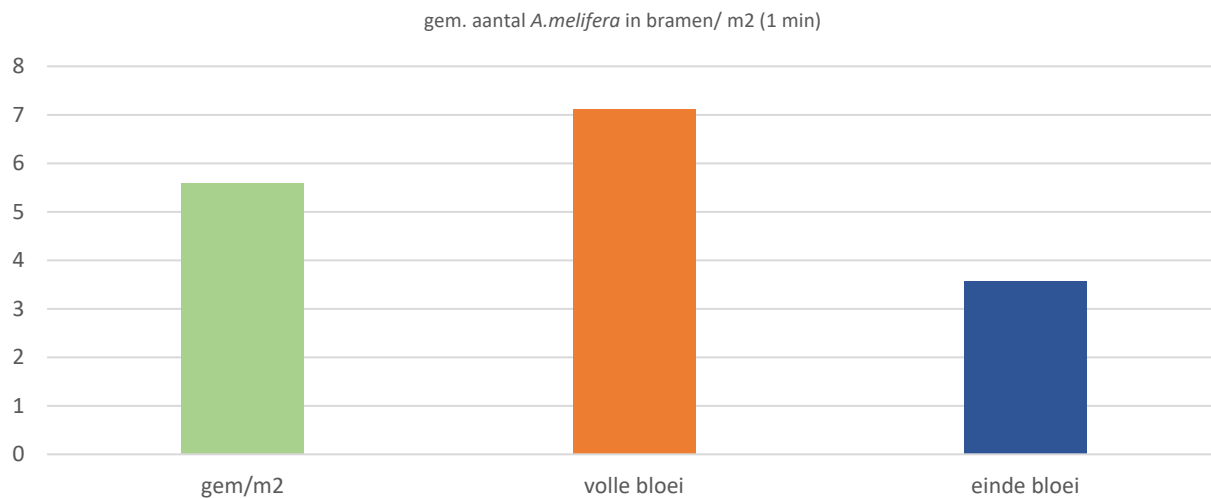
3 observaties van 1 minuut van de oppervlakte van 2m². Aantallen zweefvliegen aanwezig in het gewas gedurende 1 minuut tellen (fotografische opname van de oppervlakte). De zweefvliegen verdelen in 3 categorieën: vliegende, foeragerende, rustende. Meting uitvoeren op 3 verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

Bloembezoeken:

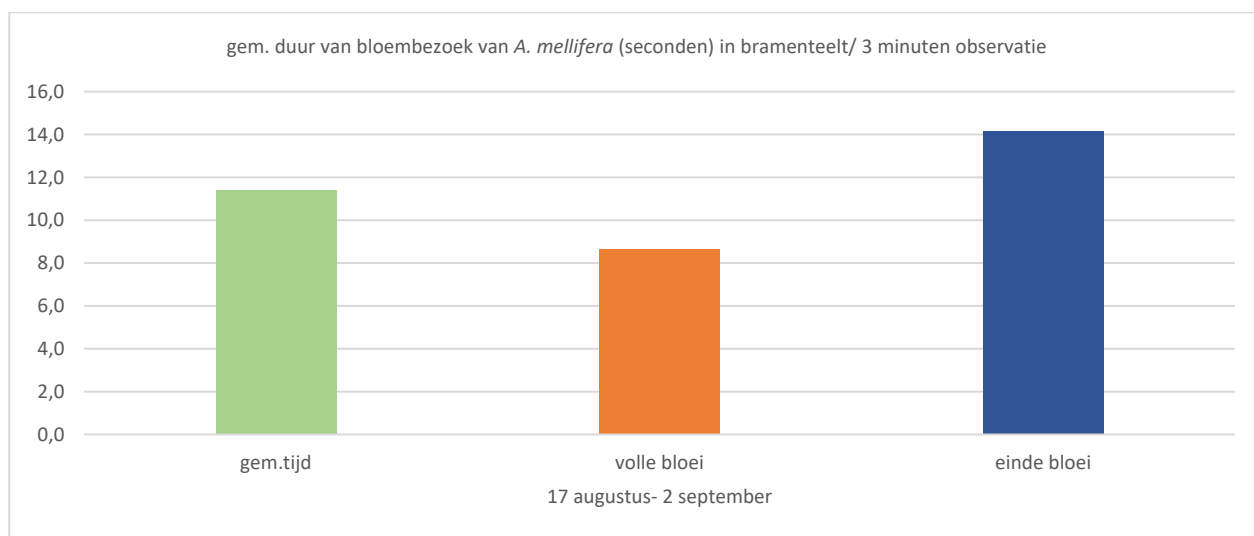
1 bloem selecteren en observeren gedurende 3 minuten. Elk zweefvliegbezoek registreren en tijd van foerageren meten in seconden. Meting uitvoeren op 5 verschillende bloemen op verschillende plekken in de kas. Observaties uitvoeren 2 keer per week.

De grafieken onderin weergeven het normaal gedrag in verschillende gewassen, in de zomermaanden afhankelijk van de buitenlichtomstandigheden of bloeifase. Alle metingen zijn uitgevoerd zonder toevoeging van licht (Figuur 64-74).

Apis mellifera- honingbij in bramenteelt zonder belichting

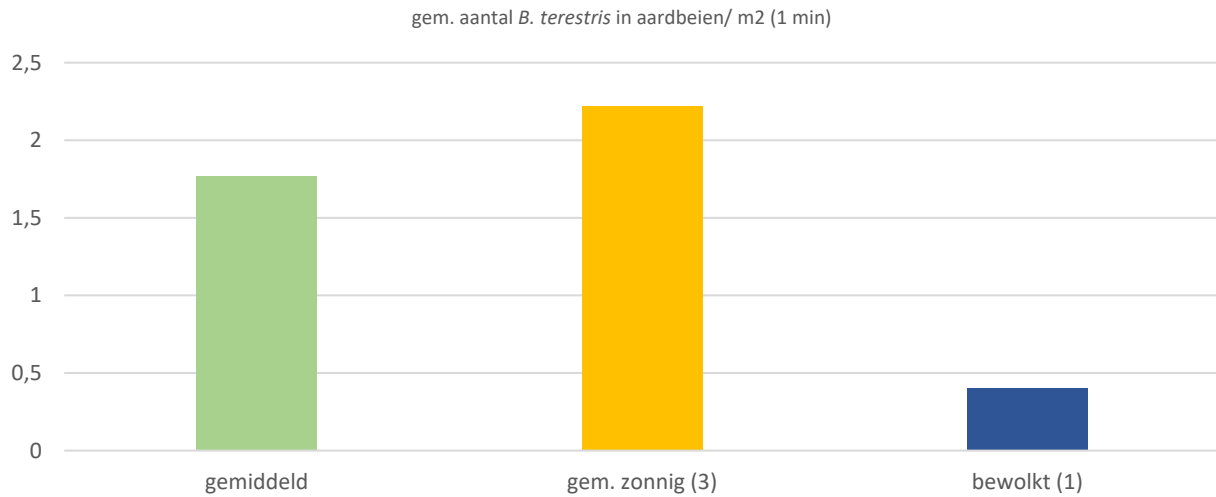


Figuur 64 Gemiddeld aantal honingbijen aanwezig in bramen gedurende 1 minuut verdeeld over volle bloei en einde bloei (zonder belichting).

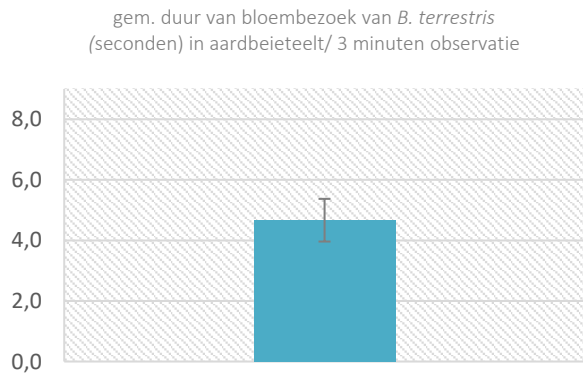


Figuur 65 Gemiddeld duur van bloembezoek van honingbijen in bramen tijdens 3 minuten observaties verdeeld over volle bloei en einde bloei (zonder belichting).

Bombus terrestris- aardhommel in aardbeienteelt zonder belichting

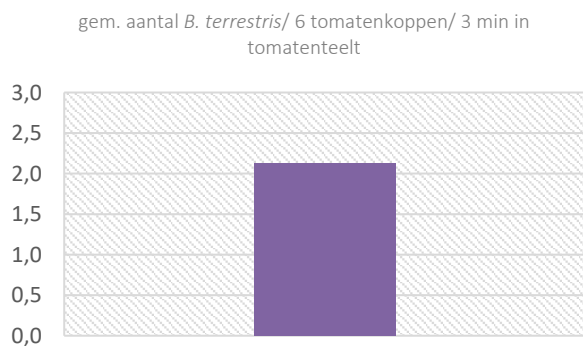


Figuur 66 Gemiddeld aantal hommels aanwezig in aardbeien gedurende 1 minuut verdeeld over volle bloei en einde bloei (zonder belichting).

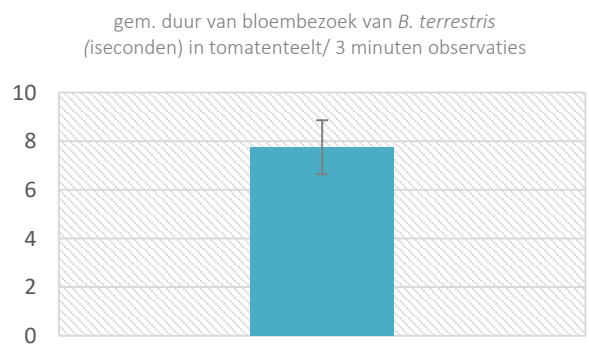


Figuur 67 Gemiddeld duur van bloembezoek van hommels in aardbeien tijdens 3 minuten observaties (zonder belichting).

Bombus terrestris- aardhommel in tomatenteelt zonder belichting

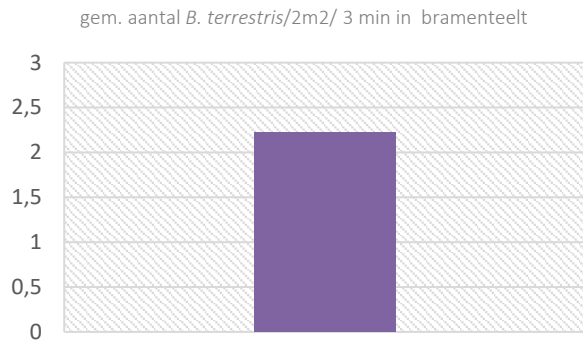


Figuur 68 Gemiddeld aantal hommels aanwezig in 6 tomatenkoppen gedurende 3 minuut (zonder belichting).

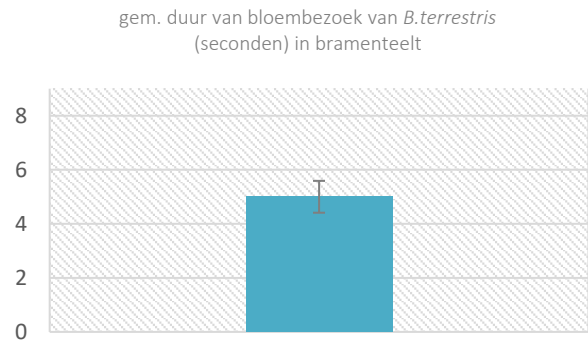


Figuur 69 Gemiddeld duur van bloembezoek van hommels in tomaten tijdens 3 minuten observaties (zonder belichting).

Bombus terrestris- hommels in bramenteelt zonder belichting

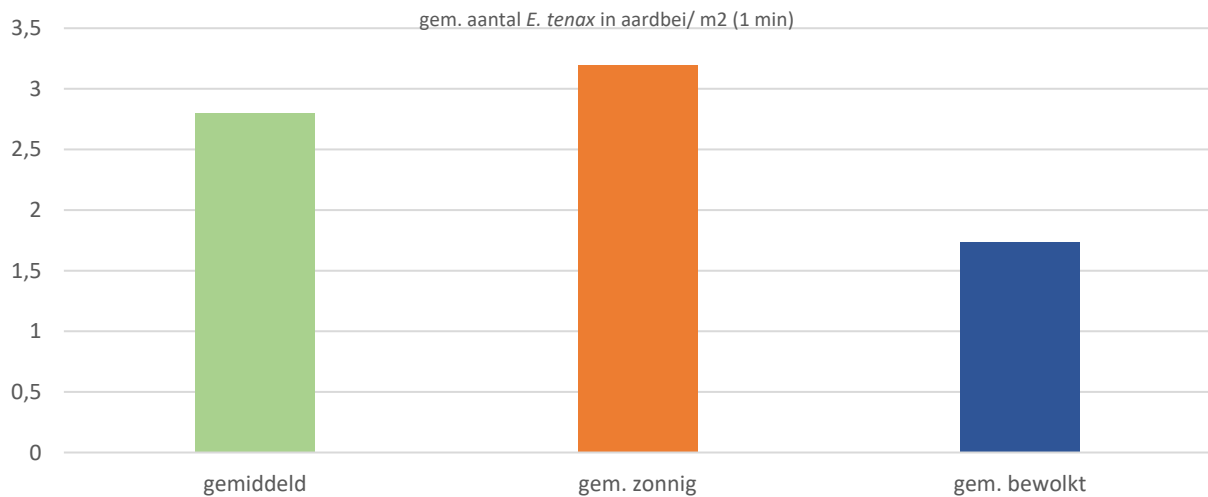


Figuur 70 Gemiddeld aantal hommels aanwezig in bramen gedurende 3 minuut (zonder belichting).

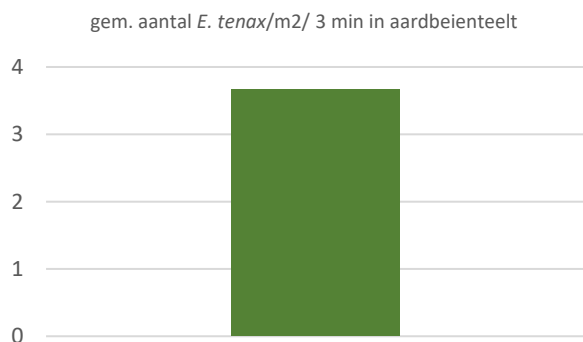


Figuur 71 Gemiddeld duur van bloembezoek van hommels in bramentijdens 3 minuten observaties (zonder belichting).

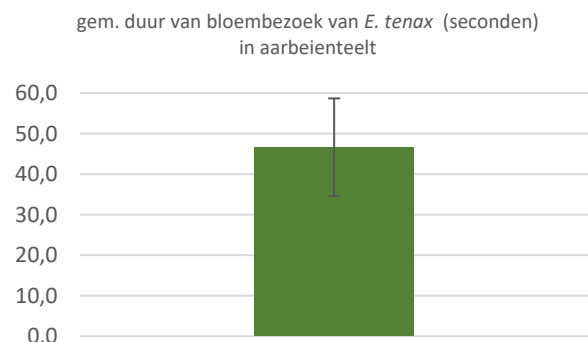
Eristalis tenax- zweefvlieg in aardbeienteelt zonder belichting



Figuur 72 Gemiddeld aantal zweefvliegen aanwezig in bramen gedurende 1 minuut verdeeld over zonnig en bewolkt weeromstandigheden (zonder belichting).



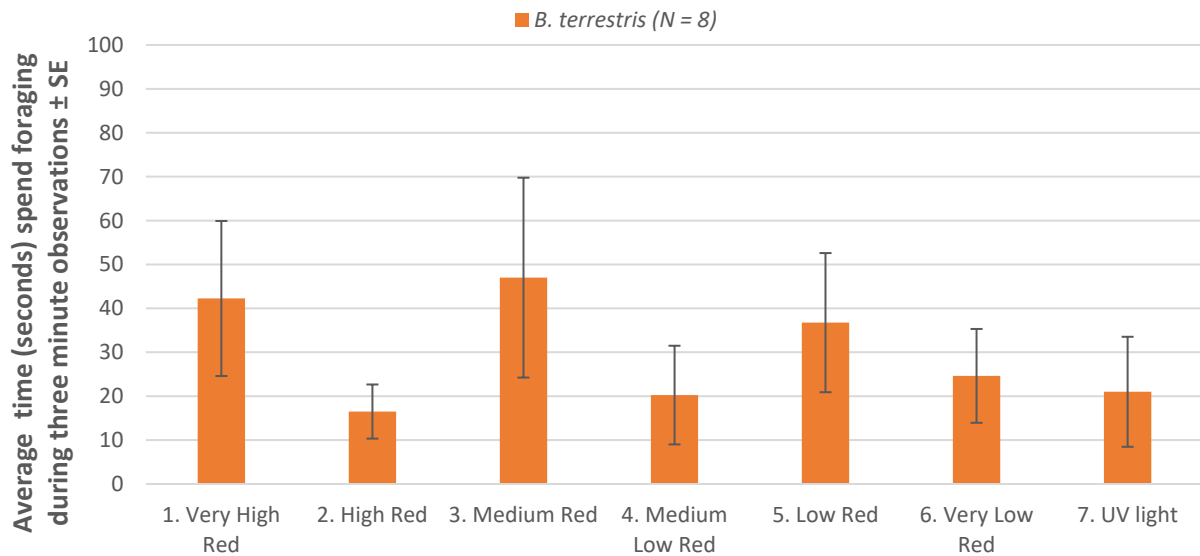
Figuur 73 Gemiddeld aantal zweefvliegen aanwezig in aardbeien gedurende 3 minuut (zonder belichting).



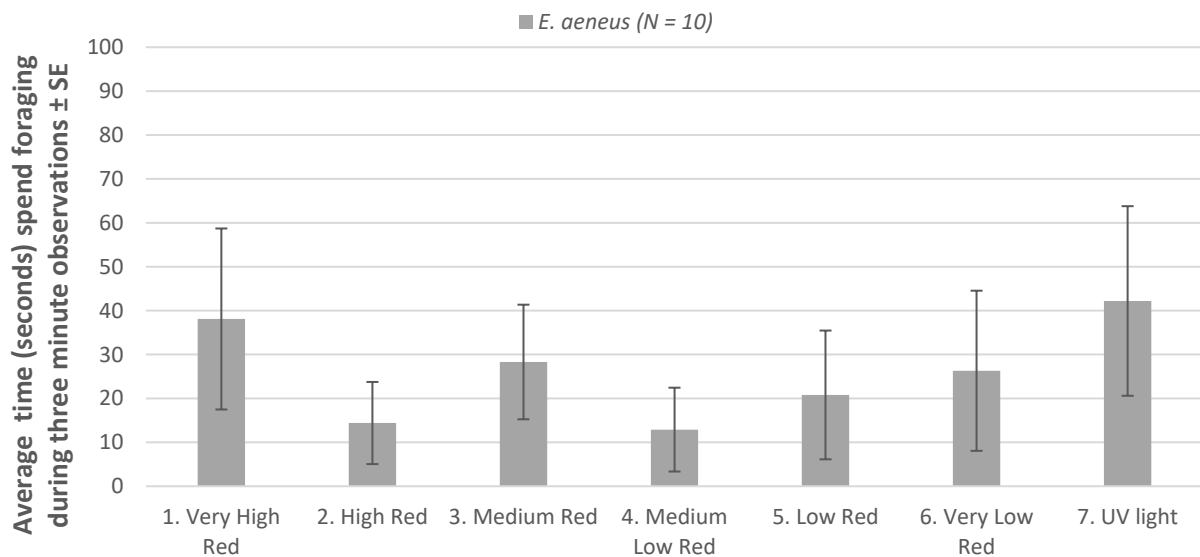
Figuur 74 Gemiddeld duur van bloembezoek van zweefvliegen in aardbeien tijdens 3 minuten observaties (zonder belichting).

Bijlage 2

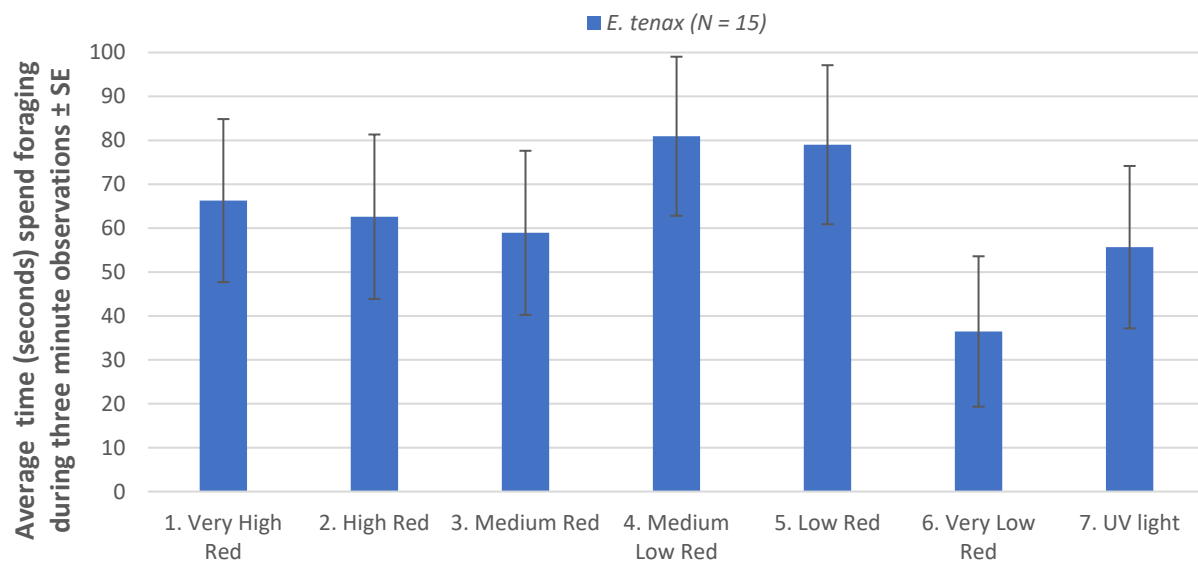
Tijd besteed aan het foerageren in boekweit:



Figuur 75 Gemiddelde tijd die *B. terrestris* besteedt aan het foerageren op boekweitbloemen tijdens de drie minuten durende observaties.

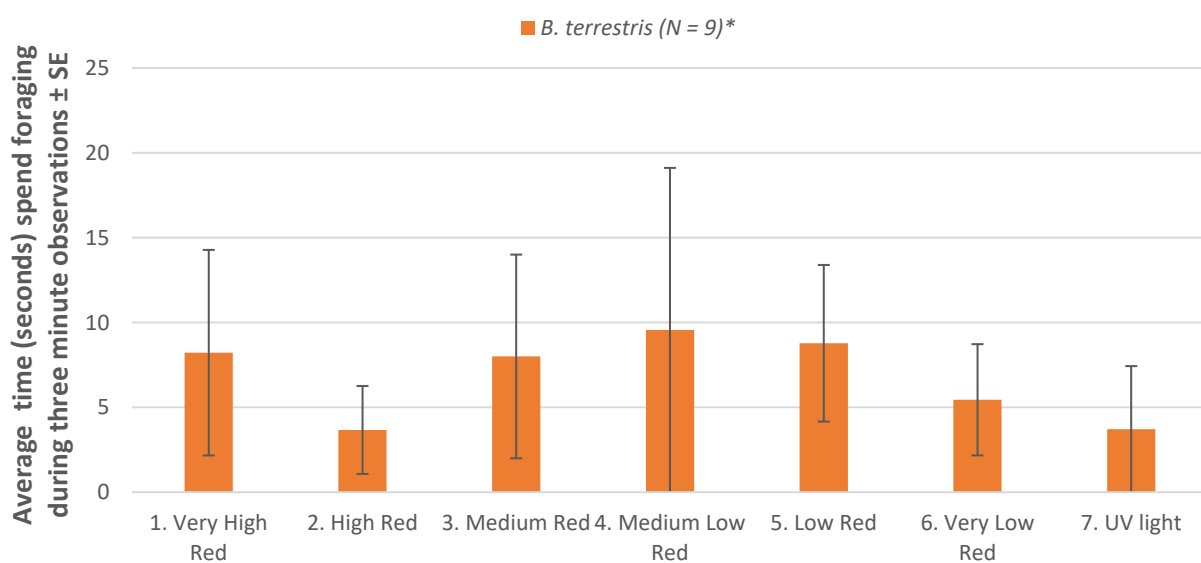


Figuur 76 Gemiddelde tijd die *E. aeneus* besteedt aan het foerageren op boekweitbloemen tijdens de drie minuten durende observaties.

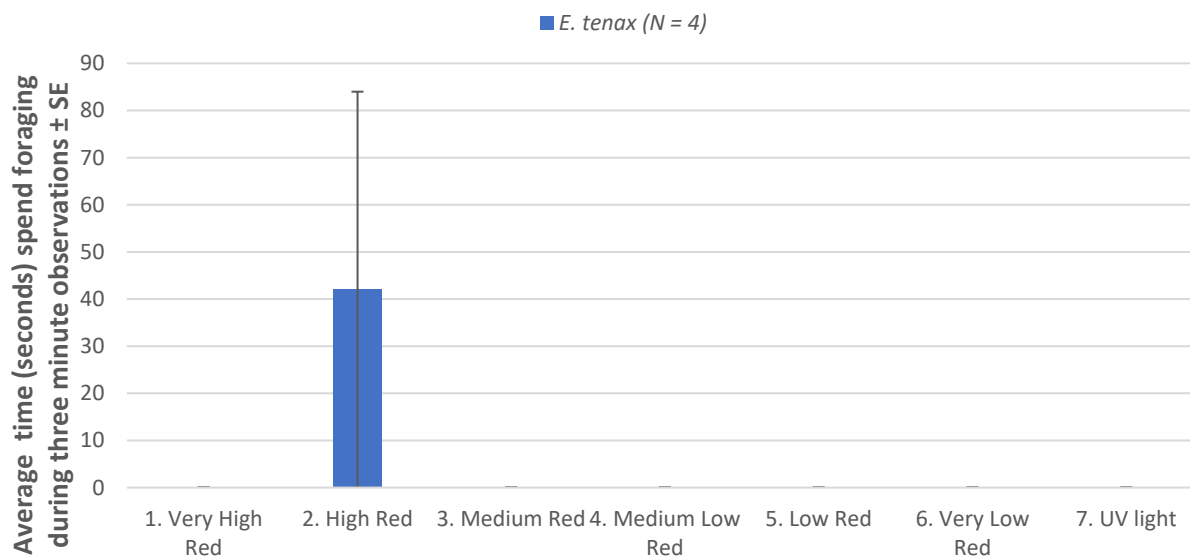


Figuur 77 Gemiddelde tijd die *E. tenax* besteedt aan het foerageren op boekweitbloemen tijdens de drie minuten durende observaties.

Tijd besteed aan het foerageren in aardbeien:

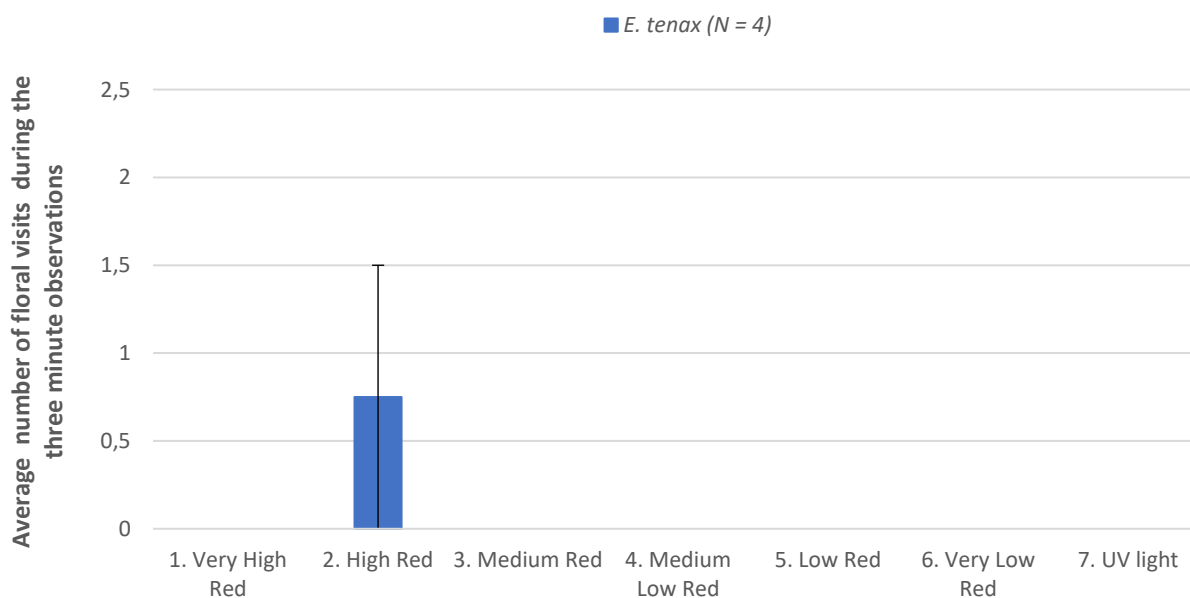


Figuur 78 Gemiddelde tijd die *B. terrestris* besteedt aan het foerageren op aardbeibloemen tijdens de drie minuten durende observaties. De UV-behandeling had 7 herhalingen.



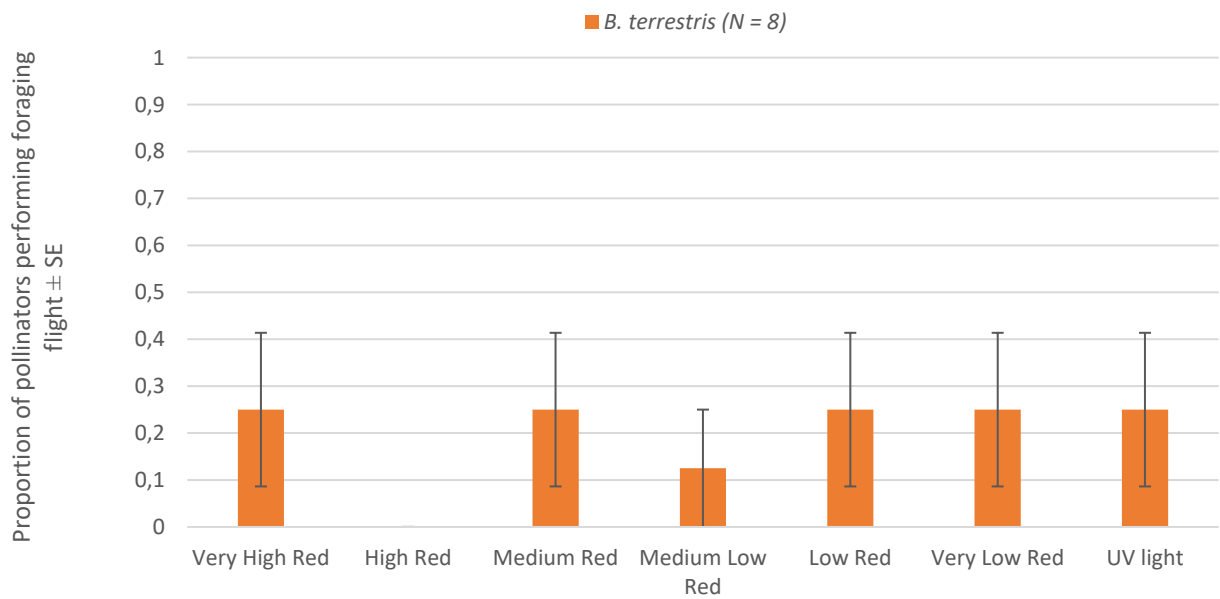
Figuur 79 Gemiddelde tijd die *E. tenax* besteedt aan het foerageren op aardbeibloemen tijdens de drie minuten durende observaties.

Aantal bloemenbezoeken in aardbei:

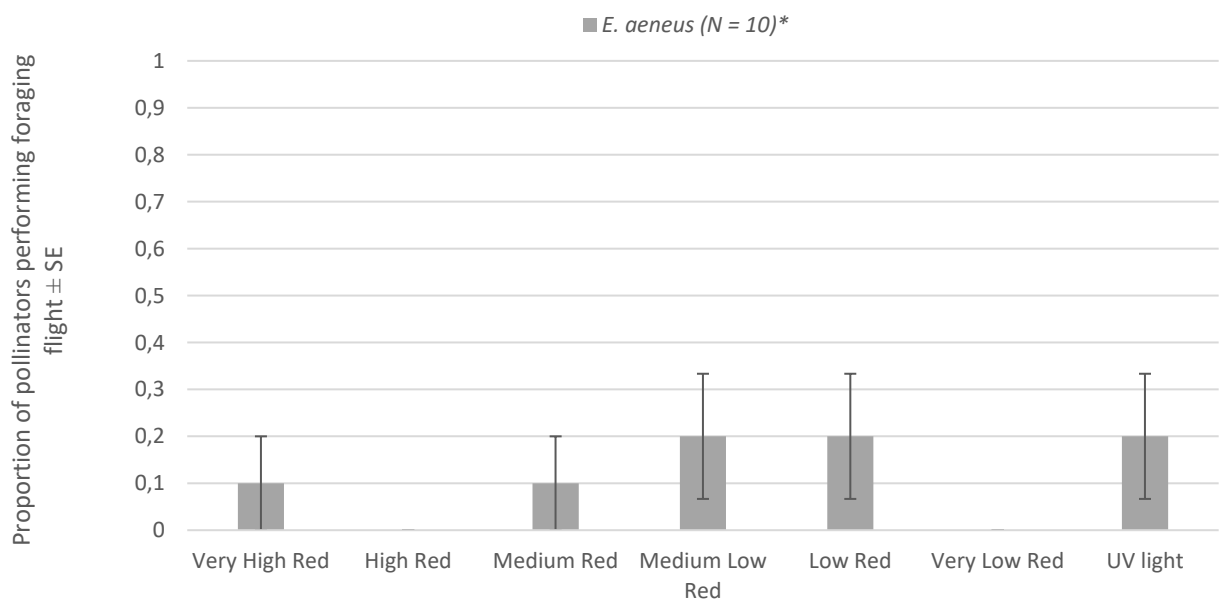


Figuur 80 Gemiddeld aantal aardbeibloemen bezocht door *E. tenax* tijdens de drie minuten durende waarnemingen.

Aandeel bestuivers dat een foerageervlucht maakt in boekweit:



Figuur 81 Aandeel *B. terrestris* dat een foerageervlucht uitvoert tijdens de observaties van één minuut met boekweitplanten.

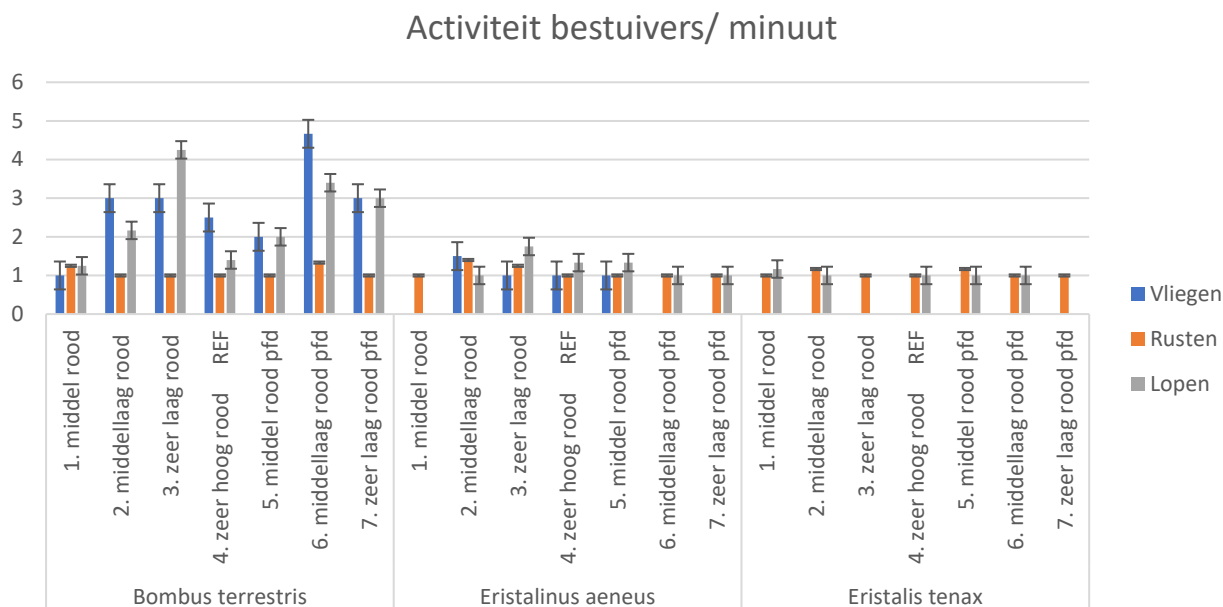


Figuur 82 Aandeel *E. aeneus* dat een foerageervlucht uitvoert tijdens de observaties van één minuut met boekweitplanten.

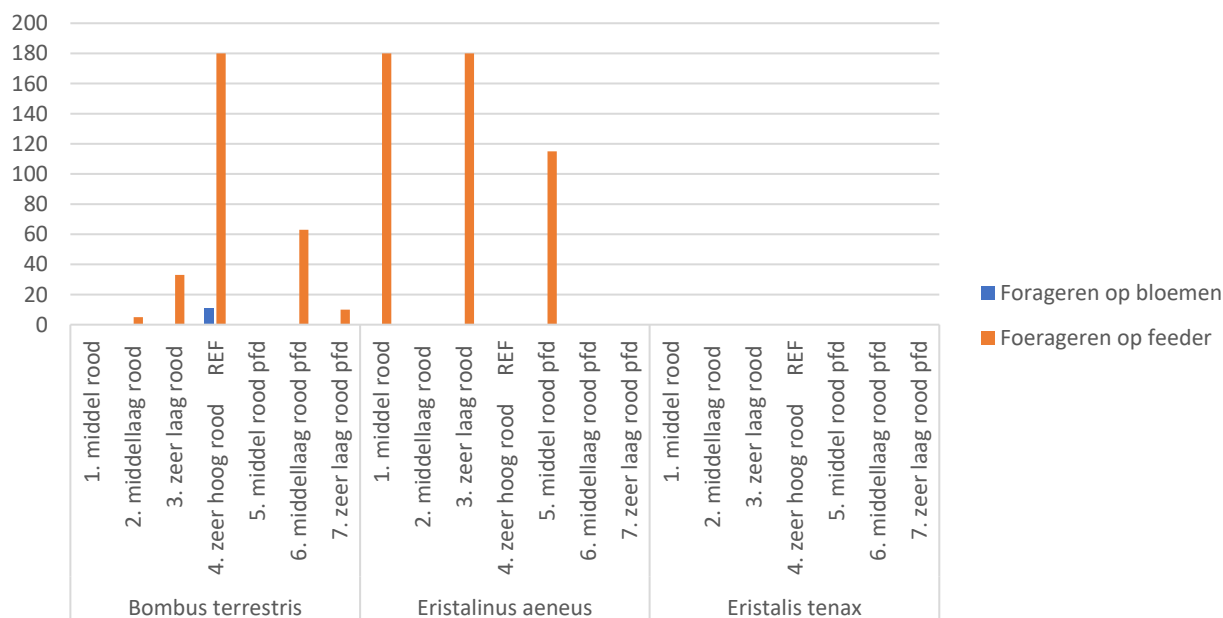
Bijlage 3

Activiteit bestuivers onder verschillende lichtspectra op aardbeien gedurende 1 minuut observaties

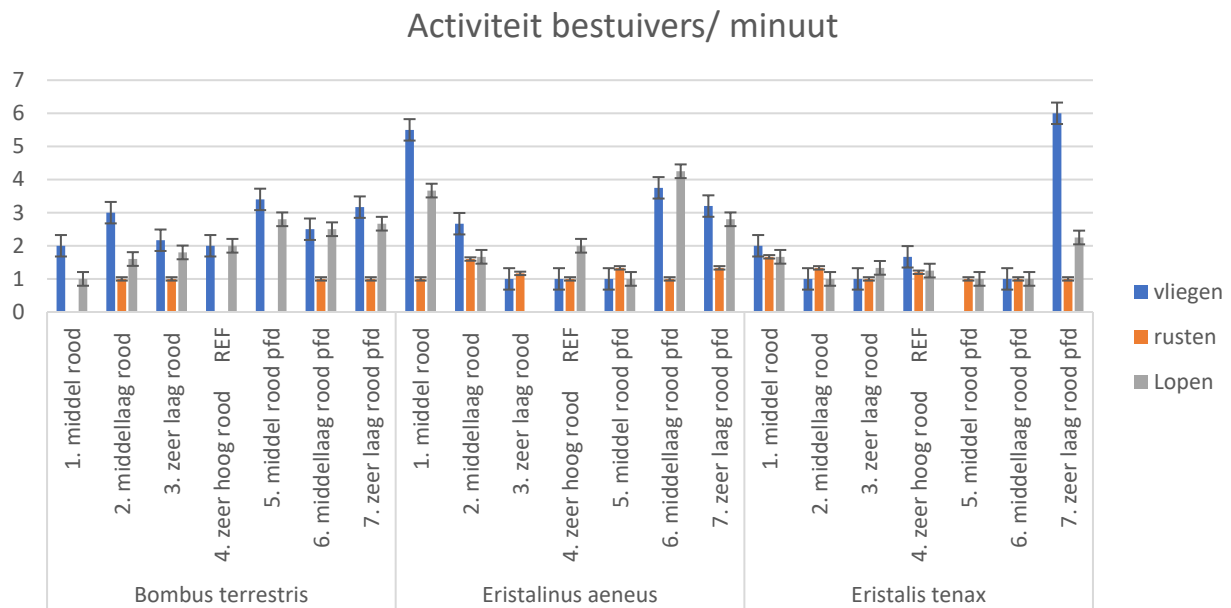
Week 46- 47



Figuur 83 Activiteit bestuivers tijdens 1 minuut observaties, week 46-47.

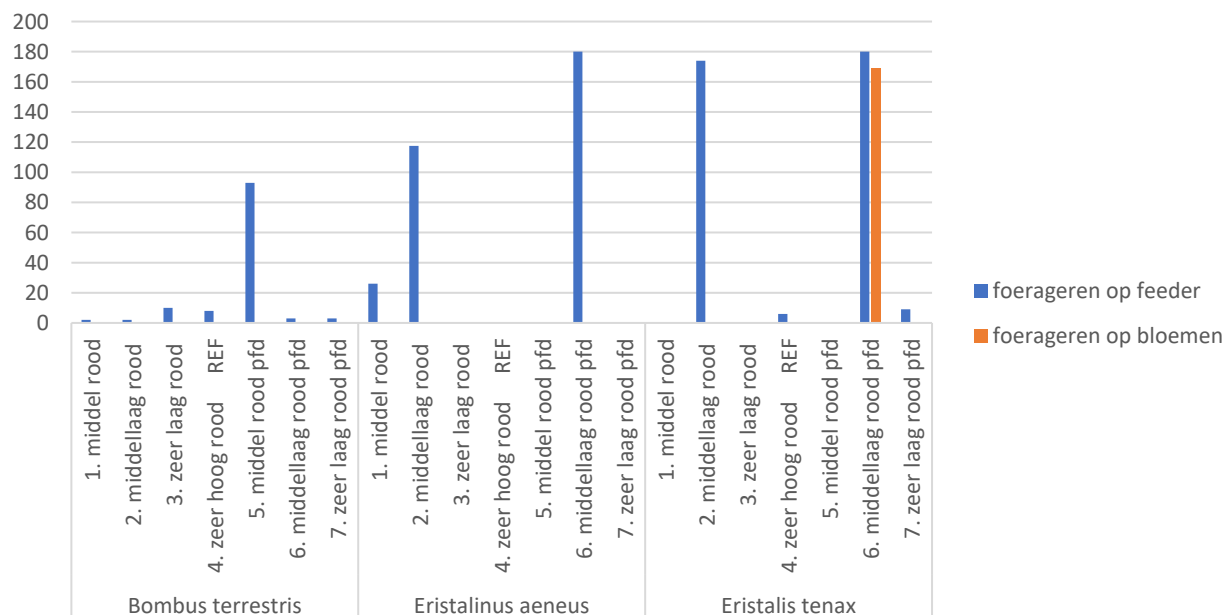


Figuur 84 Gemiddeld duur van bloembezoek per bestuiver onder verschillende lichtspectra tijdens 3 minuten observaties, week 46-47.



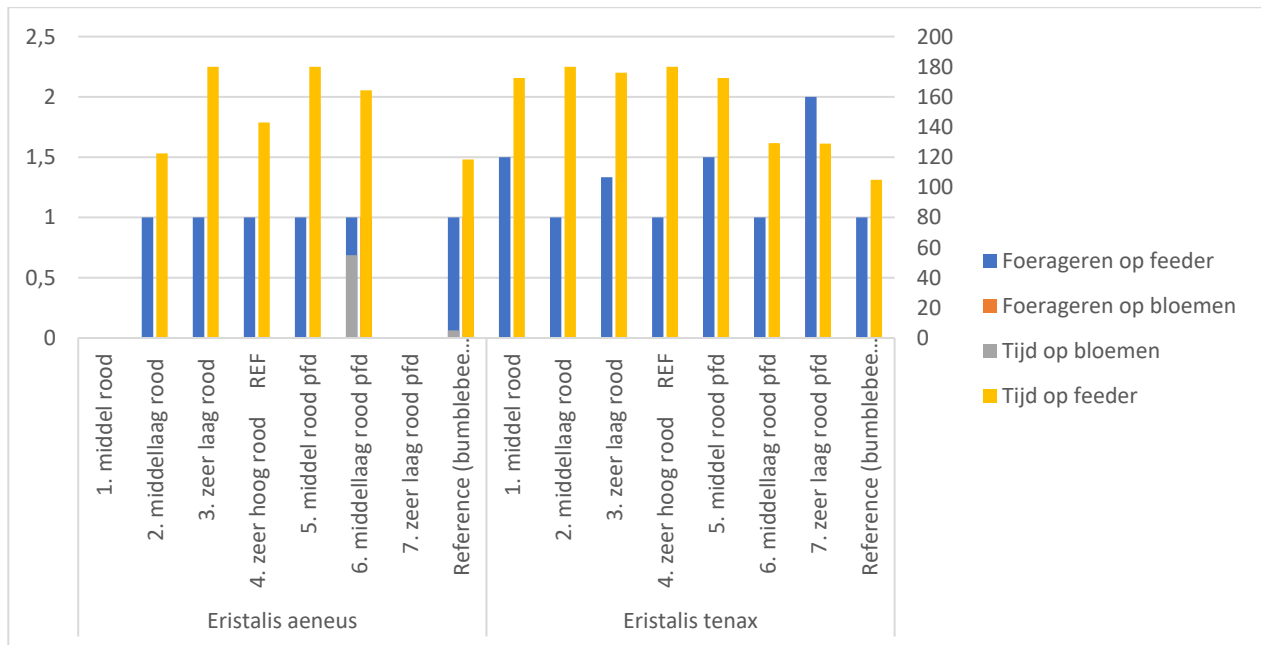
Figuur 85 Activiteit bestuivers tijdens 1 minuut observaties, week 48-50.

Week 51



Figuur 86 Gemiddeld duur van bloembezoek per bestuiver onder verschillende lichtspectra tijdens 3 minuten observaties, week 51.

Week 3



Figuur 87 Gemiddeld aantal zweefvliegen foeragerend en duur van bloembezoek per bestuiver onder verschillende lightspectra tijdens 3 minuten observaties, week 3. De zweefvliegen verbleven op feeders.

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



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

Rapport WPR-1289

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, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 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.